

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

**Fitodepuración con cuatro especies de
macrófitas flotantes mediante el sistema de aireación a
escala piloto de la laguna “Mansión” de la Universidad
Peruana Unión**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autores:

Juan Sebastian Lopez Diaz

Juan Daniel Barrera Alvan

Asesor:

Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga

Lima, setiembre de 2021

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DE TESIS

Milda Amparo Cruz Huaranga, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“FITODEPURACIÓN CON CUATRO ESPECIES DE MACRÓFITAS FLOTANTES MEDIANTE EL SISTEMA DE AIREACIÓN A ESCALA PILOTO DE LA LAGUNA “MANSIÓN” DE LA UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN”** constituye la memoria que presentan los Bachilleres Juan Sebastian Lopez Diaz y Juan Daniel Barrera Alvan, para obtener el título de Profesional de Ingeniero Ambiental, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los 27 días del mes de septiembre del año 2021



Asesor

Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los **27 días** día(s) del mes de **setiembre del año 2021** siendo las **9:30 horas**, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: **Mg. Jackson Edgardo Pérez Carpio**, el secretario: **Ing. Orlando Alan Poma Porras**, y los demás miembros: **Mg. Iliana Del Carmen Gutiérrez Rodríguez** **Mg. Joel Hugo Fernández Rojas** y el asesor **Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga**, con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Fitodepuración con cuatro especies de macrófitas flotantes mediante el sistema de aireación a escala piloto de la laguna "Mansión" de la Universidad Peruana Unión"

de el(los)/la(las) bachiller/es: a) **JUAN SEBASTIAN LOPEZ DIAZ**

.....b) **JUAN DANIEL BARRERA ALVAN**.....

.conducente a la obtención del título profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**

(Nombre del Título profesional)

con mención en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/la(las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): **JUAN SEBASTIAN LOPEZ DIAZ**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	18	A-	Muy bueno	Sobresaliente


Candidato (b): **JUAN DANIEL BARRERA ALVAN**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	17	B+	Muy bueno	Sobresaliente

(*) *Ver parte posterior*

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente
Mg. Jackson Edgardo
Perez Carpio



Secretario
Ing. Orlando Alan
Poma Porras

Asesor
Mg. Milda Amparo
Cruz Huaranga

Miembro
Mg. Iliana Del Carmen
Gutierrez Rodriguez

Miembro
Mg. Joel Hugo
Fernandez Rojas

Candidato/a (a)
Juan Sebastián Lopez
Díaz

Candidato/a (b)
Juan Daniel Barrera
Alvan

DEDICATORIA

A Dios, por cuidarme todo este tiempo, por haberme ayudado a hacer proezas en esta larga travesía profesional.

A mi querida mamita Daysi Diaz, la persona más importante en mi vida, siempre confió en mí y nunca desistió en apoyarme; eres m

A mi buen padrastro Mark Dinnissen, quien nos ayudó y motivo a salir adelante.

A la señora Paula y señor Toom, quienes siempre nos apoyaron bondadosamente

.
A mis queridas hermanas Marcela, Alci y Paula, por ser mi motor, mi motivo, mi fuerza y mis ganas para seguir adelante

A mis queridos hermanos Jhon, Frederick y Patrick, quienes han sido mi sostén y mi esperanza para salir adelante.

A mi querido papito Kenet Lopez, para ti en el cielo.

A mi novia Analí, por todo su inmenso apoyo.

Juan Sebastián Lopez Diaz

La presente tesis se la dedico a Dios en primer lugar, por darme la fuerza y la inspiración de llegar en este momento importante de mi etapa profesional.

A mi papá Ego que siempre estuvo conmigo en cada momento, él jamás me abandonó, siempre estuvo allí motivándome y alentándome a ser un profesional de bien como él y que ahora descansa en el SEÑOR, y me cuida, sé que estaría saltando con un pie por este anhelado logro de su ultimo hijo Nanin.

A mi mamá Magdalena, que desde un inicio apostó ciegamente por mi educación en la UPeU, me enseñó a no rendirme y a que todo lo que se inicia se termina.

A los dos los dedico este logro profesional, que a pesar de tantas vicisitudes que pasamos juntos se llegó a la meta.

Juan Daniel Barrera Alván

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios en primer lugar por habernos brindado la vida, la salud, la economía, la sabiduría, la paciencia y la fortaleza espiritual que nos permitió culminar nuestra carrera profesional y nuestra presente investigación.

Agradecemos a nuestros padres, por la gran inversión de tiempo, sacrificio y dinero realizada a través de todos nuestros años de estudio; y por el apoyo brindado en todo nuestro proceso de titulación.

Expresamos nuestra gratitud a la Universidad Peruana Unión, y con todos los docentes que compartieron sus valiosos conocimientos para nuestra formación profesional y personal.

Agradecemos a nuestra asesora de tesis, la Mg. Milda Cruz, por habernos brindado su asesoramiento permanente, enseñanzas y disponibilidad de tiempo y apoyo.

Asimismo, agradecemos a nuestros dictaminadores, los magísteres Jackson Pérez y Hugo Fernández, por su asesoramiento y aportes en beneficio de nuestro trabajo.

Expresamos también nuestra gratitud al sr. Rufo Atamari, gerente de servicios de la UPeU, por habernos brindado todas las facilidades para el desarrollo de nuestra tesis al interior de la universidad.

Asimismo, agradecemos a la sra. Vilma Quispe y a los señores Augusto Rodríguez, Job Mayta y Pedro Ceballos, jefa y trabajadores de las áreas de ornato y limpieza de la universidad respectivamente, por su valioso apoyo en la ejecución de nuestro proyecto.

Expresamos nuestra gratitud también al MSc. Linkolk López, por su valioso apoyo en la conclusión de la parte final de nuestra investigación.

Finalmente, agradecemos a todas aquellas personas que con sus palabras nos alentaron y motivaron, a no rendirnos y seguir adelante, en este largo caminar de nuestra vida profesional que hoy ve un primer final.

ÍNDICE GENERAL

GLOSARIO DE TÉRMINOS	1
RESUMEN	2
ABSTRACT.....	3
1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	4
1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	7
1.3. PRESUPOSICIÓN FILOSÓFICA	8
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	9
Objetivo General.....	9
Objetivos Específicos.....	9
2. CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	10
2.1. Antecedentes de la Investigación.....	10
Antecedentes Locales.....	10
Antecedentes Nacionales	12
Antecedentes Internacionales.....	14
2.2. Fundamentos teóricos de las aguas residuales	16
Clasificación de las aguas residuales	16
Características generales de las aguas residuales.....	19
Parámetros para el tratamiento de aguas.....	22
Tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales.....	31
2.3. Fundamentos teóricos de la fitodepuración de aguas	44
Base científica para la fitodepuración de aguas	46
2.4. Plantas macrófitas acuáticas	49
Formas de vida de las plantas macrófitas acuáticas	49
Criterios para la selección de las plantas macrófitas acuáticas de un sistema acuático (cultivos acuáticos)	52
2.5. Marco legal.....	69
Constitución Política del Perú.....	69
Ley General del Ambiente	70
Autoridad Nacional del Agua	70

Ley de Recursos Hídricos	70
Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales.....	71
Estándares de Calidad Ambiental para agua.....	72
3. CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	75
3.1. Lugar de ejecución	75
3.2. Materiales y equipos.....	76
Materia prima.....	76
3.2.2. Materiales, equipos y herramientas.....	77
3.3. Metodología de investigación.....	79
Fase pre-operacional	80
Fase operacional.....	87
Fase post-operacional.....	110
3.4. Formulación de la hipótesis	120
- Hipótesis nula.....	120
- Hipótesis alterna.....	120
3.5. Variables de estudio	121
- Variable independiente.....	121
- Variables dependientes.....	121
3.6. Operacionalización de variables	122
4. CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	124
4.1. Resultados	124
Evaluación de los resultados del pre-tratamiento	127
Evaluación de los resultados del pos-tratamiento 1	132
Evaluación de los resultados del pos-tratamiento 2.....	136
Evaluación de los resultados del pos-tratamiento 3	140
Evaluación de los resultados del pos-tratamiento 4	143
Evaluación de los resultados del pos-tratamiento 5	147
Evaluación de los resultados del pos-tratamiento 6.....	151
4.2. Análisis descriptivo exploratorio de las variables.....	155

Aceites y grasas.....	155
Coliformes fecales (termotolerantes)	157
Conductividad	159
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5).....	161
Demanda química de oxígeno.....	164
Nitrógeno total	165
Oxígeno disuelto	167
pH (potencial de hidrogeno)	169
Solidos suspendidos totales.....	171
Temperatura.....	173
Turbiedad.....	174
Aluminio.....	176
Boro.....	178
Hierro.....	180
Litio.....	182
Zinc.....	184
Potasio.....	186
Sílice.....	188
4.3. Determinación general de la eficiencia de remoción de los parámetros.....	190
4.4. Prueba POST HOC de las diferentes variables.	196
5.1. Conclusión.....	202
5.2. Recomendaciones.....	203
5. REFERENCIAS.....	204
6. ANEXOS	214

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

TABLAS

Tabla 1. Clasificación y composición de las aguas residuales de acuerdo a su origen (Palta & Morales, 2013) citado en (Nuñez, 2019)	18
Tabla 2. Características físicas, químicas y biológicas del agua residual y sus procedencias (CEA Jalisco, 2013)	19
Tabla 3. Composición típica del agua residual domestica bruta (Nuñez, 2019)	21
Tabla 4. Clasificación analítica de la materia solida (Saavedra, 2017)	23
Tabla 6. Concentración de oxígeno disuelto y consecuencias en ecosistemas acuáticos (Rodriguez, 2018)	28
Tabla 6. Clasificación científica de bacterias coliformes (Castro, 2007)	31
Tabla 7. Procesos operacionales en el tratamiento de aguas residuales (Lazcano, 2014)	34
Tabla 8. Métodos naturales de tratamiento de aguas residuales (Moreno, 2003)	38
Tabla 10. Ventajas y desventajas de los métodos de tratamiento mediante aplicación del agua sobre el terreno (Rodríguez, 2014)	39
Tabla 11. Ventajas y desventajas de los métodos de tratamiento mediante sistemas acuáticos (Rodríguez, 2014)	40
Tabla 11. Características para el diseño de sistemas de cultivos acuáticos (Moreno, 2003)	43
Tabla 12. Mecanismos (fitotecnologías) de fitorremediación (Delgadillo et al., 2011)	45
Tabla 14. Ventajas y desventajas de la fitodepuración (fitorremediación) (Núñez et al., 2004)	48
Tabla 15. Ejemplos de macrófitas acuáticas emergentes	50
Tabla 16. Ejemplos de macrófitas acuáticas sumergidas	51
Tabla 17. Ejemplos de macrófitas acuáticas de hoja flotante	51
Tabla 18. Ejemplos de macrófitas acuáticas de libre flotación	52
Tabla 18. Especies macrófitas comúnmente usadas en la depuración de aguas residuales (Sánchez, 2010)	53

Tabla 19. Análisis comparativo de las plantas macrófitas acuáticas identificadas (Granados, 2018)	55
Tabla 20. Macrófitas acuáticas planteadas y su presencia en las tres regiones naturales (Kahn et al., 1993)	57
Tabla 21. Ficha taxonómica del Jacinto de agua (<i>Eichhornia Crassipes</i>) (EcuRed, 2015)	59
Tabla 23. Ficha taxonómica de la Lechuga de agua (<i>Pistia stratiotes</i>) (EcuRed, 2019a)	61
Tabla 24. Ficha taxonómica del Lentejón de agua (<i>Limnobium laevigatum</i>) (SiB Colombia, n.d.)	63
Tabla 25. Ficha taxonómica de la Lenteja de agua (<i>Spirodela polyrhiza</i>) (EcuRed, 2019)	66
Tabla 26. Ficha taxonómica de la Lenteja de agua (<i>Lemna minor</i>) (EcuRed, 2019)	68
Tabla 26. Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de PTAR (2010)	72
Tabla 29. Categorías y subcategorías de los ECA para Agua (2017)	72
Tabla 28. Valores de los parámetros para el riego de vegetales y bebida de animales (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM)	73
Tabla 29. Valores de los parámetros para la conservación del ambiente acuático de lagunas y lagos (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM)	74
Tabla 30. Materiales, equipos, y herramientas empleadas en el desarrollo del proyecto.	77
Tabla 31. Ensayos y plazos de ejecución del sistema de fitodepuración.	97
Tabla 32. Orden de los tratamientos aplicados en el sistema de fitodepuración.	99
Tabla 33. Aplicación de aireación en los tratamientos.	104
Tabla 34. Lineamientos en la toma y preservación de las muestras de laboratorio	116
Tabla 35. Método de ensayo empleado por el laboratorio	118
Tabla 36. Operacionalización de variables	122
Tabla 37. Resultados físico-químicos, microbiológicos e inorgánicos de los monitoreos	124
Tabla 38. Evaluación de los resultados del pre-tratamiento frente a los ECA (subcat D1)	127
Tabla 39. Evaluación de los resultados del pre-tratamiento frente a los ECA (subcat D2)	128
Tabla 40. Evaluación de los resultados del pre-tratamiento frente a los ECA (subcat E1)	130
Tabla 41. Evaluación de los resultados del pre-tratamiento frente a los LMP (PTAR)	131

Tabla 42. Evaluación de los resultados del pos-tratamiento frente a los ECA (subcat D1)	132
Tabla 43. Evaluación de los resultados del pos-tratamiento frente a los ECA (subcat D2)	133
Tabla 44. Evaluación de los resultados del pos-tratamiento frente a los ECA (subcat E1).....	134
Tabla 45. Evaluación de los resultados del post-tratamiento frente a los LMP (PTAR).....	135
Tabla 46. Evaluación de los resultados del pos-tratamiento frente a los ECA (subcat D1)	136
Tabla 47. Evaluación de los resultados del pos-tratamiento frente a los ECA (subcat D2)	137
Tabla 48. Evaluación de los resultados del pos-tratamiento frente a los ECA (subcat E1).....	138
Tabla 49. Evaluación de los resultados del post-tratamiento frente a los LMP (PTAR).....	139
Tabla 50. Evaluación de los resultados del pos-tratamiento frente a los ECA (subcat D1)	140
Tabla 51. Evaluación de los resultados del pos-tratamiento frente a los ECA (subcat D2)	141
Tabla 52. Evaluación de los resultados del pos-tratamiento frente a los ECA (subcat E1).....	142
Tabla 53. Evaluación de los resultados del pos-tratamiento frente a los LMP (PTAR).....	143
Tabla 54. Evaluación de los resultados del pos-tratamiento frente a los ECA (subcat D1)	143
Tabla 55. Evaluación de los resultados del pos-tratamiento frente a los ECA (subcat D2)	144
Tabla 56. Evaluación de los resultados del pos-tratamiento frente a los ECA (subcat E1).....	145
Tabla 57. Evaluación de los resultados del post-tratamiento frente a los LMP (PTAR).....	147
Tabla 58. Evaluación de los resultados del pos-tratamiento frente a los ECA (subcat D1)	147
Tabla 59. Evaluación de los resultados del pos-tratamiento frente a los ECA (subcat D2)	148
Tabla 60. Evaluación de los resultados del pos-tratamiento frente a los ECA (subcat E1).....	149
Tabla 61. Evaluación de los resultados del post-tratamiento frente a los LMP (PTAR).....	150
Tabla 62. Evaluación de los resultados del pos-tratamiento frente a los ECA (subcat D1)	151
Tabla 63. Evaluación de los resultados del pos-tratamiento frente a los ECA (subcat D2)	152
Tabla 64. Evaluación de los resultados del pos-tratamiento frente a los ECA (subcat E1).....	153
Tabla 65. Evaluación de los resultados del post-tratamiento frente a los LMP (PTAR).....	154
Tabla 66. Tabla de determinación de eficiencia de remoción.....	190
Tabla 67. Resultados de eficiencia de remoción de los tratamientos de fitodepuración	193

FIGURAS

Figura 1. Procesos para el tratamiento de aguas residuales (Noyola et al., 2013).....	32
Figura 2. Tecnologías para el tratamiento de aguas residuales (CIDERH, 2015).....	33
Figura 3. Sistema de tratamiento de aguas residuales (Proyecto Biosfera, n.d.).....	35
Figura 4. Cámara de rejillas en plantas de tratamiento (Anónimo, 2010).....	35
Figura 5. Desinfección de aguas residuales por radiación ultravioleta (TSS, n.d.).....	37
Figura 6. Localización de los mecanismos de fitorremediación (Lumelli, 2010).....	45
Figura 7. Oxigenación natural de plantas macrófitas (Fernández, 2012).....	47
Figura 8. Degradación microbiana de la materia orgánica (Cupe y Portocarrero, 2009).....	48
Figura 9. Clasificación de plantas macrófitas acuáticas (Saavedra, 2017).....	50
Figura 10. Morfología de la macrófitas flotante <i>Eichhornia crassipes</i> (Martelo y Lara, 2012).....	58
Figura 11. Morfología de la macrófitas flotante <i>Pistia stratiotes</i> (StudyAdda, n.d.).....	61
Figura 12. Morfología de la macrófitas flotante <i>Limnobium laevigatum</i> (IBODA, n.d.).....	63
Figura 13. Morfología de la macrófitas flotante <i>Spirodela polyrhiza</i> ; a) vista inferior, b) vista superior, c) vista lateral). (Luévano, 2016).....	66
Figura 14. Morfología de la macrófitas flotante <i>Lemna minor</i> (Chirinos, n.d.).....	68
Figura 15. Plano de ubicación de la Universidad Peruana Unión.....	75
Figura 16. Plano de ubicación del proyecto, al interior de la UPeU (SENAMHI, 2020).....	76
Figura 17. Imagen satelital de la laguna de la zona de la mansión (Google Maps, 2021).....	77
Figura 18. Vista panorámica de la laguna de la mansión de la UPeU (Cruz et al., 2016).....	77
Figura 19. Procedimiento de desarrollo del proyecto de investigación.....	79
Figura 20. Vista satelital del área de trabajo y espacios circundantes (Google Maps, 2021).....	81
Figura 21. Diagnostico preliminar in situ: retiro manual de residuos sólidos urbanos.....	82
Figura 22. Estado inicial del área de ejecución del proyecto.....	83
Figura 23. Estado final del vivero de ejecución del proyecto.....	84
Figura 24. Estado inicial y final del estanque de adaptación de macrófitas.....	85
Figura 25. Acarreo de las aguas de la laguna de la mansión.....	86

Figura 26. Colocación de las especies macrófitas en el estanque de adaptación.....	87
Figura 27. Estado de las especies macrófitas en el estanque de adaptación a los 15 días	88
Figura 28. Estado de las especies macrófitas en los estanques de adaptación a los 20 días.	89
Figura 29. Estado de la especie <i>Eichhornia crassipes</i> a los 30 días de adaptación.....	90
Figura 30. Dimensiones de los estanques de fitodepuración	92
Figura 31. Conexión de tuberías del sistema de fitodepuración.....	94
Figura 32. Colocación de caños de plástico en los estanques de tratamiento.....	94
Figura 33. Bombas de aireación a pilas empleadas en los tratamientos	95
Figura 34. Aireación y circulación de los tratamientos con bombas de aireación.....	96
Figura 35. Estado final de la implementación del sistema piloto de fitodepuración.	97
Figura 36: Esbozo de ejecución de los tratamientos del sistema piloto de fitodepuración.....	99
Figura 37. Trasvase de las aguas de la laguna de la mansión hacia los estanques.	100
Figura 38. Estado inicial de las aguas de laguna de la mansión en los estanques.	101
Figura 39. Muestras de individuos óptimos para los tratamientos.	102
Figura 40. Vista lateral derecha de la plantación completa de todos los tratamientos	103
Figura 41. Vista lateral izquierda de la plantación completa de todos los tratamientos	103
Figura 42. Tratamientos con <i>E. crassipes</i> y <i>S. polyrhiza</i> a los cinco (5) días.	105
Figura 43. Tratamientos con <i>P. stratiotes</i> y <i>S. polyrhiza</i> a los cinco (5) días.....	105
Figura 44. Tratamientos con <i>L. laevigatum</i> y <i>S. polyrhiza</i> a los cinco (5) días.	106
Figura 45. Estado del sistema piloto de fitodepuración a los cinco (5) días.	106
Figura 46. Tratamientos con <i>E. crassipes</i> y <i>S. polyrhiza</i> a los diez (10) días	107
Figura 47. Tratamientos con <i>P. stratiotes</i> y <i>S. polyrhiza</i> a los diez (10) días.	107
Figura 48. Tratamientos con <i>L. laevigatum</i> y <i>S. polyrhiza</i> a los diez (10) días.	108
Figura 49. Estado del sistema piloto de fitodepuración a los diez (10) días.	108
Figura 50. Estado del sistema piloto de fitodepuración al término de la corrida experimental	109
Figura 51. Muestra pre (lado izquierdo) y post (lado derecho) de las aguas de la laguna	110
Figura 52. Recolección de muestra para la medición de parámetros de campo.	114

Figura 53. Análisis de los parámetros de campo de las aguas pre-tratamiento.	115
Figura 54. Análisis de los parámetros de campo de las aguas post-tratamiento.....	115
Figura 55. Muestras pre-tratamiento de parámetros analizados en laboratorio	117
Figura 56. Muestras post-tratamiento de parámetros analizados en laboratorio	118
Figura 57. Comparación de los aceites y grasas antes y después de los tratamientos	156
Figura 58. Eficiencia de remoción de los aceites y grasas de todos los tratamientos	157
Figura 59. Comparación de los coliformes fecales antes y después de los tratamientos	158
Figura 60. Eficiencia de remoción de los coliformes fecales de todos los tratamientos.....	159
Figura 61. Comparación de la conductividad antes y después de los tratamientos	160
Figura 62. Eficiencia de remoción de la conductividad de todos los tratamientos	161
Figura 63. Comparación de la DBO5 antes y después de los tratamientos	162
Figura 64. Eficiencia de remoción de la DBO5 de todos los tratamientos.....	163
Figura 65. Comparación de la DQO antes y después de los tratamientos.....	164
Figura 66. Eficiencia de remoción de la DQO de todos los tratamientos	165
Figura 67. Comparación del nitrógeno total antes y después de los tratamientos	166
Figura 68. Eficiencia de remoción del nitrógeno total de todos los tratamientos.....	167
Figura 69. Comparación del oxígeno disuelto antes y después de los tratamientos	168
Figura 70. Eficiencia de incremento del oxígeno disuelto de todos los tratamientos.....	169
Figura 71. Comparación del pH antes y después de los tratamientos	170
Figura 72. Eficiencia de equilibrio del pH de todos los tratamientos	171
Figura 73. Comparación de los SST antes y después de los tratamientos.....	172
Figura 74. Eficiencia de remoción de los SST de todos los tratamientos	173
Figura 75. Comparación de la temperatura antes y después de los tratamientos.....	174
Figura 76. Comparación de la turbiedad antes y después de los tratamientos	175
Figura 77. Comparación de la turbiedad antes y después de los tratamientos	176
Figura 78. Comparación del aluminio antes y después de los tratamientos	177
Figura 79. Eficiencia de remoción del aluminio de todos los tratamientos.....	178

Figura 80. Comparación del boro antes y después de los tratamientos	179
Figura 81. Eficiencia de remoción del boro de todos los tratamientos.....	180
Figura 82. Comparación del hierro antes y después de los tratamientos	181
Figura 83. Eficiencia de remoción del hierro de todos los tratamientos	182
Figura 84. Comparación del litio antes y después de los tratamientos.....	183
Figura 85. Eficiencia de remoción del litio de todos los tratamientos	184
Figura 86. Comparación del zinc antes y después de los tratamientos	185
Figura 87. Eficiencia de remoción del zinc de todos los tratamientos	186
Figura 88. Comparación del potasio antes y después de los tratamientos.....	187
Figura 89. Comparación del potasio antes y después de los tratamientos.....	188
Figura 90. Comparación del potasio antes y después de los tratamientos.....	189
Figura 91. Eficiencia de remoción de la sílice de todos los tratamientos.....	190
Figura 92. Muestra los resultados de los parámetros físicos-químicos	197
Figura 93. Muestra los resultados de los parámetros físicos-químicos_2	198
Figura 94. Muestra los resultados de los parámetros físicos-químicos_3	199
Figura 95. Muestra los resultados del parámetro microbiológico	200

ÍNDICE DE ANEXO

Anexo 1. Cadena de custodia pre-tratamiento	214
Anexo 2. Cadena de custodia post-tratamiento.....	214
Anexo 3. Informe de ensayo pre-tratamiento	215
Anexo 4. Informe de ensayo de los parámetros analizados del pre-tratamiento	215
Anexo 5. Resultados del pre-tratamiento _1.....	216
Anexo 6. Resultados del pre-tratamiento _2.....	216
Anexo 7. Resultados del pre-tratamiento _3.....	217
Anexo 8. Informe de ensayo del post-tratamiento	217
Anexo 9. Informe de ensayo de los parámetros analizados del post-tratamiento.....	218
Anexo 10. Resultados del post-tratamiento _1	218
Anexo 11. Resultados del post-tratamiento _2	219
Anexo 12. Resultados del post-tratamiento _3	219
Anexo 13. Resultados del post-tratamiento _4	220
Anexo 14. Resultados del post-tratamiento _5	220
Anexo 15. Resultados del post-tratamiento _6.....	221
Anexo 16. Certificación por INACAL “ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L”	221
Anexo 18. Dia final del desarrollo de la investigación	222
Anexo 17. Acreditación por IAS “ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L”	222
Anexo 19. Muestras del pre-tratamiento y post-tratamiento.....	223
Anexo 20. Análisis de los parámetros de campo	223
Anexo 21. Esquema de la metodología _1	224
Anexo 22. Esquema de la metodología _2	224

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Aireación: se utiliza en mezclar o disolver aire dentro de un líquido. Este proceso mayormente es utilizado en el tratamiento de efluentes, también llamados mezcladores o difusores de aire.

Eichhornia crassipes: es una especie de planta acuática vienen de la familia de las Pontederiácea. Estas tienen bulbos con que almacenan aire que le permiten flotar y nacen flores moradas.

Fitodepuración: es un sistema de depuración utilizando plantas acuáticas que no producen olores, ni genera algún tipo de daño al medio ambiente. Por lo tanto, es utilizado como depuración de aguas residuales industriales.

Limnobium laevigatum: es una planta acuática flotante y es miembro de la familia Hydrocaritácea. Tiene formas elípticas a circulares.

Macrófitas: son plantas que liberan oxígeno por fotosíntesis, esas especies pueden flotar y vivir en medios acuáticos.

Monitoreo: es el proceso de analizar, recolectar y utilizar información para hacer seguimiento al avance de un programa en pos de la obtención de sus objetivos, y para guiar los arbitrajes de gestión.

Pistia stratiotes: es una especie de planta acuática, estas flotan en la superficie del agua, tienen raíces que cuelgan debajo de las hojas flotantes.

Spirodela polyrhiza: es una especie de planta acuática de la familia de las lemnáceas. Tiene ovaes casi redondeadas que le permite flotar.

RESUMEN

Se realizó un estudio acerca de la fitodepuración de cuatro especies de macrófitas flotantes mediante un sistema de aireación a escala piloto. cómo objetivo es, evaluar la eficiencia en la fitodepuración con cuatro especies de macrófitas flotantes mediante un sistema de aireación a escala piloto de la laguna artificial de la Universidad Peruana Unión. La problemática es que el afluente de la laguna de la mansión arrastra consigo aguas residuales de origen doméstico clandestino con restos fecales, trozos de comida, residuos sólidos urbanos, además de la presencia de metales pesados., ya que su uso del agua es para riego en espacios verdes, y esto puede ser un riesgo para la salud del personal de la universidad. El desarrollo de la presente investigación permitirá proyectar viables y permanentes mecanismos que ayuden a evitar, de forma directa, el impacto ambiental negativo que se viene ejerciendo sobre la laguna de la mansión y la vida silvestre presente en su entorno. La metodología aplicada en esta, es tratar el agua de la laguna a través de la fitodepuración, utilizando cuatro especies de macrófitas. los parámetros físicos-químicos (DBO₅, DQO, nitrógeno total, oxígeno disuelto, pH, SST y turbidez) y microbiológicos (coliformes fecales). en el (PT01, PT02, PT03, PT04, PT05 y PT06); se obtuvo una eficiencia de los parámetros físicos-químicos con promedio respectivamente (83.7%, 84.9%, 81.4%, 83.3%, 86.5% y 81.2%) y microbiológicos con promedio (99.9%, 97.5%, 99.9%, 99.9%, 99.9% y 99.9%).

Palabras claves: fitodepuración, macrófitas, *eichhornia crassipes*, *pistia stratiotes*, *limnobium laevigatum*, *spirodela polyrhiza*.

ABSTRACT

A study was carried out on phytodepuration with four species of floating macrophytes using a pilot-scale aeration system. To evaluate the efficiency of phytodepuration with four species of floating macrophytes by means of a pilot-scale aeration system of the artificial lagoon of the Universidad Peruana Unión. The problem is that water comes from clandestine domestic origin with fecal waste, food pieces, solid urban waste, since its use of water is for irrigation in green spaces, and this can be a health risk for university staff. The development of this research will allow viable and permanent mechanisms to be designed to help avoid, in a direct way, the negative environmental impact that has been exerted on the lagoon of the mansion and the wildlife present in its surroundings. The methodology applied in this one is to treat the water of the lagoon through phytodepuration, using four species of macrophytes. The physical-chemical parameters (DBO5, COD, total nitrogen, dissolved oxygen, pH, SST and turbidity) and microbiological (fecal coliforms). In (PT01, PT02, PT03, PT04, PT05 and PT06); the physical-chemical parameters were efficiently averaged respectively (83.7%, 84.9%, 81.4%, 83.3%, 86.5% and 81.2%) and microbiological parameters averaged (99.9%, 97.5%, 99.9%, 99.9%, 99.9% and 99.9%).

Keywords: phytodepuration, macrophytes, fecal coliforms.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La generación de aguas residuales ha sido siempre una actividad presente en todas las sociedades, dado que son un producto inevitable de las actividades antropogénicas; para López (2013) ello muestra lo determinante que ha sido el uso del agua para el desarrollo de las civilizaciones. Este progreso social ha traído consigo también problemas concatenados como la contaminación de fuentes de agua, transmisión de enfermedades y muertes masivas en todas las épocas de la historia. Por ejemplo, durante la Edad Media se enfrentaron serios problemas de higiene en el agua, puesto que los residuos y excrementos eran vertidos en los cuerpos de agua que las personas usaban directamente, en consecuencia, éstas enfermaban y posteriormente morían (Ramos, 2010).

En ese sentido, los vertimientos de aguas residuales sin tratamiento contaminan y deterioran cuerpos naturales de agua, afectando no solo a la biota, sino también a la salubridad pública.

El agua residual entonces es y ha sido siempre un problema que se enfrenta en todo el mundo, pero ¿qué es el agua residual? y ¿por qué representa un problema?, Tchobanoglous, Burton y Stensel (2003) definen al agua residual como “esencialmente el suministro de agua de una comunidad después de haber sido utilizada en una variedad de aplicaciones” (p. 58) , y de acuerdo a los autores representa un problema por el grado de contaminación que puede llegar a albergar, es decir, dependiendo del origen del agua residual se puede encontrar en ella: microorganismos patógenos, materia orgánica en descomposición, compuestos tóxicos, compuestos potencialmente mutagénicos y/o cancerígenos, etc.

De acuerdo al Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos, los países de ingresos altos tratan cerca del 70% de las aguas residuales municipales e industriales que generan, los países de ingresos medios-altos (como Perú) caen a un promedio de 38%, a un 28% los países de ingresos medios-bajos y en los países de ingresos bajos solo el 8% recibe algún tratamiento. “Estas estimaciones sustentan la aproximación que se cita comúnmente que, en el mundo, más del 80% de las aguas residuales son vertidas (a cuerpos naturales) sin tratamiento alguno” (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization [UNESCO], 2017, p. 17). Al igual que los problemas, las soluciones no se hacen esperar, las Naciones Unidas mediante el objetivo seis (6) (Agua Limpia y Saneamiento) de los Objetivos del Desarrollo Sostenible agenda 2030 proyecta en

su meta 6.3 reducir a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentar considerablemente el reciclado y la reutilización segura a nivel mundial.

Respecto al ámbito nacional, en las últimas décadas el Perú ha experimentado un escaso crecimiento en el tratamiento de las aguas residuales y actualmente seguimos enfrentando grandes problemas. De acuerdo a un informe parlamentario, la cobertura de tratamiento de aguas residuales paso de 11.1% en 1996 a 32.7% en 2011 (Congreso de la República, 2015). Por otro lado, respecto a la proporción de aguas residuales recolectadas que se tratan para ser reusadas en riego o vertidas a un cuerpo receptor, para el año 2013 el porcentaje a nivel nacional se había incrementado a 48% y para el 2017 “el promedio nacional aumento en 18.37%, manteniendo un crecimiento ininterrumpido desde el 2013 a 2017” (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento [SUNASS], 2018, p. 25).

En su mensaje a la nación del 2017, el ex-Presidente Pedro Pablo Kuczynski señaló que: “hoy, aproximadamente solo el 15% (de aguas residuales) es tratado y el resto revierte a nuestros ríos, lagos y al mar”; y en el 2010 la entonces Viceministra de Gestión Ambiental Ana María González afirmó que “solo el 30% de las aguas residuales recibe tratamiento” (Andina, 2010), es decir, ha habido un retroceso en la materia y lo que es peor, según la SUNASS dichas cifras no implican necesariamente el cumplimiento de las normativas vigentes. Ello, desde luego, debido a dificultades claramente identificadas en la gestión de las aguas residuales en el Perú: el déficit de cobertura de tratamiento y la ineficiencia operativa de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) (SUNASS, 2008).

Entidades públicas como el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) y la SUNASS evidencian reportes de que solo alrededor del 30% de las aguas residuales generadas son tratadas en plantas especializadas (PTAR), lo que significa que el 70% de dicha generación no se depura y se encuentra vertiéndose tal cual en los cuerpos naturales de agua como lagos, ríos y mares, concretándose en ellas evidente contaminación. Esto es pues, uno de los problemas de salubridad más relevante en el país

Las cifras en la actualidad, tanto a nivel mundial como en el Perú, no han variado mucho e inclusive podrían acrecentarse si las naciones en su conjunto no comienzan a tomar medidas que giren en torno a variables como: la reutilización segura de las aguas residuales, la investigación y el desarrollo de tecnologías verdes para el tratamiento de las aguas residuales y biotecnologías para la descontaminación de los cuerpos naturales de agua. Es ciertamente frente a esta problemática, que las universidades y sus educandos vienen tomando gran impacto como figuras claves, pues desempeñan un papel importante en la

investigación, la innovación y el desarrollo de tecnologías verdes y su aplicación frente a la contaminación ambiental. En nuestro caso, especialmente dirigido a la fitodepuración de aguas fluviales contaminadas por aguas residuales de uso doméstico.

La fitodepuración también llamada fitorremediación es un proceso natural que consiste en “la utilización de plantas superiores para destoxificar, transformar y degradar contaminantes orgánicos, así como remover y acumular contaminantes inorgánicos en suelos, sedimentos y aguas” (Alarcón & Ferrera-Cerrato, 2013, p. 15). En las últimas dos décadas se han desarrollado en Perú decenas de proyectos relacionados a este fenómeno, obteniendo prósperos resultados; garantizando de alguna manera buenos pronósticos para la innovación en el campo de la fitodepuración de aguas residuales y descontaminación de cuerpos de agua.

Dentro de la Universidad Peruana Unión (UPeU) en la zona conocida como “La Mansión” y señalada por Cruz et al. (2016) como “refugio de aves silvestres y área de recreación” (p. 5) se encuentra una laguna con un área de 3050.16 m² cuyo canal de alimentación de agua fluvial (afluente) arrastra consigo principalmente aguas residuales de origen doméstico clandestino con restos fecales, trozos de comida, residuos sólidos urbanos, además de la presencia de metales pesados. Esto pues, viene alterando sus ciclos y procesos biológicos, deteriorando su calidad como ecosistema de agua dulce y suponiendo una amenaza para la biodiversidad presente en ella.

Del mismo modo, es menester precisar que el uso de dichas aguas (potencialmente contaminadas) en el actual riego de las áreas verdes de la universidad presupone un significativo riesgo para la salud de los integrantes de la comunidad universitaria.

En tal sentido, ante el evidente impacto ambiental negativo recibido por la laguna de la mansión de la UPeU por parte de su afluente contaminado con efluentes domésticos provenientes de conexiones clandestinas aguas arriba, se propuso la implementación y análisis de un proyecto de fitodepuración de las aguas de la laguna de la mansión mediante la utilización de cuatro especies (plantas) macrófitas flotantes, distribuidos en seis (06) tratamientos pilotos de flujo controlado aplicados en estanques plásticos; y bajo la inyección de aire asistida por pequeñas bombas de aireación a pilas. Es importante resaltar que, el desarrollo de nuestra investigación fue viable gracias los económicos costos que supuso su puesta en marcha a escala piloto.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Ante los escenarios de contaminación de cuerpos de agua por vertimientos de efluentes residuales de uso doméstico, es necesario la investigación, innovación y desarrollo de tecnologías limpias y eficientes que no impliquen necesariamente elevados costes de construcción, operación y mantenimiento, ni la disponibilidad de grandes extensiones de terreno, condiciones normalmente requeridas por las tecnologías convencionales de tratamiento de aguas residuales.

Nuestra propuesta de implementación de un sistema piloto para la depuración de las aguas de la laguna de la mansión mediante el uso de cultivos acuáticos es una alternativa significativamente eficiente y apoyada por facilidades técnicas como: los bajos costes de construcción, fácil operación y sencillo mantenimiento (permitiendo su manejo por personal no especializado) además de su nulo consumo energético; y considerando que, esta visible simplicidad no le exime de alcanzar altos rendimientos de depuración (Rodríguez, 2014).

El desarrollo de la presente investigación permitirá proyectar viables y permanentes mecanismos que ayuden a evitar, de forma directa, el impacto ambiental negativo que se viene ejerciendo sobre la laguna de la mansión y la vida silvestre presente en su entorno; de esta manera consolidar el cumplimiento institucional de los lineamientos para la conservación del ambiente acuático de lagunas y lagos regulada bajo la cuarta categoría de los estándares de calidad ambiental (ECA) para agua.

Asimismo, bajo la premisa de propiciar a la comunidad universitaria áreas verdes saludables y espacios de recreación libres de contaminación, los resultados serán evaluados también frente a los lineamientos normados bajo la tercera categoría de los ECA para agua. Finalmente, el presente proyecto posee la tajante intención de evidenciar la factibilidad técnica y la factibilidad económica de la implementación, operación, mantenimiento y sostenibilidad en el tiempo del proyecto a gran escala; además, nuestro proyecto permitirá fomentar en la comunidad universitaria una cultura que contribuya a la preservación y protección del medio ambiente.

1.3. PRESUPOSICIÓN FILOSÓFICA

Desde primer capítulo del libro de Génesis se muestra como Dios “creador de la humanidad y de todas las cosas” establece un orden en la instauración del Edén; para finalmente según Génesis 2:15: Jehová Dios tome pues a la persona, y lo pusiese en la huerta de Edén para que lo cultivara y lo recogiese. Es decir que, desde una perspectiva creacionista, Dios entrega al hombre el deber de administrar los recursos naturales, el de ejercer dominio sobre todo ser viviente y el de mantener armonía en el Edén.

Las evidencias bíblicas en las cuales Dios resalta la importancia del medio ambiente son abundantes, es decir que desde los tiempos remotos de la historia bíblica existe un interés en el cuidado del Tierra, sus ecosistemas y recursos. En Génesis 1:20 se muestra una clara evidencia en la que Dios resalta a las fuentes de agua como “hábitat para los seres vivientes”, y en Génesis 21: 14 – 19 a través del relato del nacimiento de Isaac, se resalta la importancia del agua como un servicio básico para los seres vivos.

La problemática de la contaminación ambiental de nuestros días, está íntegramente relacionada con las escrituras bíblicas, pues, cuando el pecado se asoció con los primeros humanos de Edén, ésta se expandió hacia todos los confines de la Tierra, es así que la creación de Dios se denigró, es por ello que a través de los siglos la integridad de la creación se ha deteriorado y puesto en un declive progresivo. Aquello fundamenta el porqué de la contaminación de recursos naturales y la extinción de especies.

La investigación y desarrollo de tecnologías naturales para el saneamiento de aguas contaminadas y/o residuales, permite generar cambios coherentes a las escrituras bíblicas, pues mediante mecanismos para evitar problemas contaminación ensalzamos la creación, lo cual permite el develamiento del hacedor y compositor de la Creación. Nuestra responsabilidad implica la toma de acciones que fomenten una correcta gestión de los recursos naturales, para el provecho y bienestar de generaciones futuras.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo General

Evaluar la eficiencia de la fitodepuración con cuatro especies de macrófitas flotantes mediante el sistema de aireación a escala piloto de la laguna “mansión” de la Universidad Peruana Unión

Objetivos Específicos

- Evaluar los resultados de los parámetros físico-químicos, microbiológicos e inorgánicos de las aguas de la laguna antes y después de los tratamientos, comparándolos con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua y Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de PTAR vigentes
- Describir las características de adaptabilidad de las especies macrófitas flotantes a lo largo de la fase previa de la investigación (en el estanque de adaptación) y durante la puesta en marcha de los tratamientos pilotos de fitodepuración
- Analizar el aporte de las bombas de aireación en la remoción de los parámetros físico-químicos, microbiológicos e inorgánicos de las aguas de la laguna antes y después de los tratamientos

CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Antecedentes de la Investigación

Para la fundamentación empírica del proyecto de investigación “fitodepuración con cuatro especies de macrófitas flotantes mediante el sistema de aireación a escala piloto de la laguna “mansión” de la Universidad Peruana Unión”, se consideró necesario indagar algunos antecedentes cronológicos relacionados al objeto de estudio, dentro del ámbito local, nacional e internacional.

Las investigaciones que serán mencionadas permitirán admitir elementos rescatables y de esa manera esté presente proyecto de investigación. A continuación, se exponen de forma común las siguientes investigaciones documentadas relacionadas a la fitodepuración de aguas.

Antecedentes Locales

a. Evaluación de la eficiencia de plantas acuáticas flotantes *Lemna minor* (Lenteja de agua), *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) y *Pistia stratiotes* (Lechuga de agua) para el tratamiento de aguas residuales domésticas

Cupe y Portocarrero (2009) demostró que los sistemas de tratamiento acuáticos son una variante adecuada para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Para la presente investigación se instaló una pequeña planta piloto en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la UNI (UNITRAR). La planta piloto se conformó de dos unidades; la primera unidad consta de un tanque almacenador que funcionó durante el primer mes con el fin de regular el caudal de ingreso, para los posteriores análisis se extrajo la muestra de desague crudo directamente del efluente del desarenador de la PTAR UNITRAR.

La segunda unidad estuvo conformada por tres estanques de vidrio de flujo discontinuo en donde se encontraban las plantas acuáticas flotantes, simulando humedales en donde se realizaba el tratamiento de las aguas residuales para periodos de retención determinados. Los análisis se realizaron al cabo de los periodos de retención de dos, tres y cuatro días para cada estanque con su respectiva macrófita, dichos análisis fueron: DBO, Coliformes Totales y Fecales, Nitrógeno Total y Fósforo Total, Sólidos Totales Fijos y Volátiles, Sólidos Disueltos Fijos y Volátiles, Sólidos Suspendidos Fijos y Volátiles.

Las pruebas de campo fueron: mediciones de pH, T° de evapotranspiración. Después de analizar los resultados obtenidos se llega a la conclusión que las tres plantas acuáticas

macrófitas son eficientes en la remoción de materia orgánica, sólidos suspendidos, nitrógeno, fósforo, coliformes totales y fecales. Sin embargo, se hace presente que el Jacinto de Agua fue la planta acuática que ha presentado mayor eficiencia en la remoción de contaminantes de las aguas residuales.

b. Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas

García (2012) desarrollo un estudio comparativo acerca de la capacidad depuradora de nutrientes presentes en las aguas residuales, de tres plantas acuáticas flotantes *Azolla filiculoides*, *Lemna minor* y *Eichhornia crassipes*. La primera fase la investigación consistió en la aplicación de plantas acuáticas en monocultivo con *Lemna M.* y *Eichhornia C.* utilizando el efluente de la PTAR-CITRAR UNI, además de ello se trabajó con un control (sin plantas). La técnica de esta investigación consistió en un flujo lento del efluente, atravesando los estanques con niveles de agua poco profundas, donde las plantas acuáticas fueron cultivadas.

En dicho proceso las plantas acuáticas mantienen condiciones de degradación anaeróbica y aeróbica de la materia orgánica y sedimentos filtrados gracias a sus raíces, donde se desarrolla una intensa actividad bacteriana. En el estudio realizado se observó que fue posible remover los nutrientes a un 90% como se esperaba pues estudios recientes hechos en el Perú y en América Latina que señalan eficiencia promedio del 95%; además determinó como mejor tratamiento a la *Eichhornia crassipes*.

c. Determinación de la eficiencia de tres especies macrófitas para el tratamiento de aguas residuales domésticas

Mellado (2019) da a conocer a los humedales artificiales de flujo subsuperficial como una alternativa para el tratamiento de las aguas residuales domésticas. Para ello, se determinó las eficiencias de tres especies macrófitas: *Typha domingensis* (totora), *Phragmites australis* (carrizillo) y *Schoenoplectus americanus* (junco) sembrados en tres sistemas de humedales artificiales de flujo subsuperficial; las muestras de agua residual se obtuvieron de la Planta de tratamiento de aguas residuales domésticas “María Reiche” del distrito de Miraflores (provincia de Lima, departamento de Lima) y fueron tomadas a la salida de la unidad de pre-tratamiento. Se instaló un reservorio para el almacenamiento y distribución del agua residual hacia los sistemas de humedales.

Typha domingensis (tatora) fue sembrada en el primer sistema (H1); *Phragmites australis* (carricillo), en el segundo sistema (H2); y *Schoenoplectus americanus* (junco), en el tercer sistema (H3). El tiempo de retención en cada sistema fue de 48 horas. Se determinó la calidad del agua residual antes del ingreso a los humedales y a la salida en cada sistema. La eficiencia de remoción de la Demanda Bioquímica Oxígeno (DBO) fue de 86.7 %, 83.4 % y 87 % para *Typha domingensis* (tatora), *Phragmites australis* (carricillo) y *Schoenoplectus americanus* (junco) respectivamente; para la DQO se obtuvo, 70.37%, 72.85 % y 70.12 % en cada uno; para el caso de los Fosfatos, 43.89 %, 35.91 % y 47.96 %; para los Aceites y grasas, 97.10 %, 95.91 % y 96.90 %. Otros parámetros analizados (parámetros básicos, Amonio, SST) mostraron valores aceptables a la salida de los sistemas.

Antecedentes Nacionales

a. Eficiencia del Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y Lenteja de agua (*Lemna minor*) en el tratamiento de las aguas residuales de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas – Chachapoyas

Coronel (2016) desarrollo una investigación para determinar la eficiencia de Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y Lenteja de agua (*Lemna minor*). El agua residual utilizada fue previamente tratada en un filtro de grava para atrapar los residuos sólidos existentes; en la primera fase del estudio se depositaron las plantas acuáticas en tres estanques de vidrio incluyendo un control de agua residual sin planta acuática.

El tiempo que permaneció el agua residual en los estanques fue de diez días, y se cambió de efluente por cuatro veces. Se analizó la concentración de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua residual que ingresó a los tratamientos y después de los diez días de estancado; obteniendo como resultado que la planta *Eichhornia crassipes* es más eficiente en el tratamiento de las aguas residuales con un porcentaje promedio de remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del 88,24%, mientras que *Lemna minor* obtuvo un promedio de remoción del 81,24%.

b. Dos especies de macrófitas en la fitorremediación de aguas residuales en una granja porcina de Zungarococha, San Juan Bautista, 2018

Marquez (2018) desarrolló este experimento utilizando el agua residual procedente de un proyecto porcino de la facultad de agronomía de la UNAP ubicada en Iquitos, utilizó dos especies macrófitas flotantes: *Azolla caroliniana* y *Azolla filiculoides*, con seis repeticiones. Registraron datos de la muestra inicial antes del inicio del experimento, a los 90 días y a los 120 días.

Se concluyó a los 90 días de estudio que, el pH, fósforo total, sólidos totales, sales disueltas en mg/l de muestra de agua residual no presenta diferencias significativas entre las medianas, siendo los efectos estadísticamente iguales. En el caso de sólidos suspendidos y sólidos sedimentables muestran diferencias estadísticas significativas entre las medias de los tratamientos, diferencias de efectos, siendo la media del T1 (*A. caroliniana*) mayor que el T2 (*A. filiculoides*). En cuanto a la DBO5 a los 90 días, se observan diferencias estadísticas significativas, del mismo modo estas diferencias son significativas para la variable Nitrógeno Amoniacal, con una confianza del 95%. En cuanto a las muestras a los 120 días las variables mencionadas no reportaron diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los tratamientos en estudio.

c. Fitorremediación por el proceso de fitodegradación con dos especies macrófitas acuáticas, *Limnobium laevigatum* y *Eichhornia crassipes* para el tratamiento de aguas residuales domesticas de la laguna facultativa en la localidad de Pacaypampa, distrito de Santa María del Valle (Huánuco), agosto - setiembre 2018

Carhuaricra (2019) tuvo como objetivo determinar la capacidad fitorremediadora por el proceso de fitodegradación a escala experimental con las especies acuáticas, *Limnobium laevigatum* y *Eichhornia crassipes* en el tratamiento de aguas residuales. Se diseñó un humedal artificial de flujo libre superficial a escala experimental, donde se incorporó dos especies macrófitas flotantes conocido comúnmente como Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y Trébol de agua (*Limnobium laevigatum*), donde se realizó la fitorremediación por el proceso de fitodegradación en función al tiempo de retención del sistema el cual fue de 23.4 horas, 31.2 horas, 39 horas y 46.8 horas, de esta manera remover los contaminantes de una forma económica, eficiente y acorde con el paisaje.

En el mencionado sistema se experimentó el tratamiento de aguas residuales domésticas tomando como parámetros del sistema los siguientes: pH, Conductividad,

Temperatura, Coliformes Termotolerantes, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Sólidos Totales en Suspensión. Los resultados que se obtuvieron de dicho tratamiento fueron: Para sólidos totales en suspensión se redujo en: 23.4 horas (132 mg/l), 31.2 horas (26 mg/l), 39 horas (31 mg/l) y 46.8 horas (68 mg/l); para demanda bioquímica de oxígeno se redujo en: 23.4 horas (99.8 mg/l), en 31.2 horas (42.5 mg/l), en 39 horas (34.7 mg/l) y 46.8 horas (36.5 mg/l).

Para demanda química de oxígeno se redujo en: 23.4 horas (271.1 mg/l), en 31.2 horas (156.8 mg/l), en 39 horas (128.4 mg/l) y 46.8 horas (166.9 mg/l); el pH aumentó en: 23.4 horas (6.2), en 31.2 horas (6.6), en 39 horas (6.7) y 46.8 horas (7.5); la conductividad se redujo en: 23.4 horas (487 μ S/cm), en 31.2 horas (414 μ S/cm), en 39 horas (342 μ S/cm) y 46.8 horas (315 μ S/cm); los coliformes fecales o termotolerantes se redujo en: 23.4 horas (1300000 NMP/100ml), en 31.2 horas (7900 NMP/100ml), en 39 horas (230 NMP/100ml) y 46.8 horas (790 NMP/100ml).

Antecedentes Internacionales

a. Uso de dos especies macrófitas acuáticas, *Limnobium laevigatum* y *Eichhornia crassipes* para el tratamiento de aguas residuales agroindustriales (Colombia)

Valderrama (1996) evaluó a escala piloto el efecto de dos macrófitas acuáticas *Limnobium laevigatum* y *Eichhornia crassipes* para el mejoramiento de la calidad de un agua residual agroindustrial. Las dos macrófitas evaluadas fueron eficientes en la estabilización y neutralización del pH, disminución de las concentraciones de coliformes totales, DBO, DQO y sólidos suspendidos totales. Eficiencias promedio de remoción: coliformes totales, 68 y 22% con *L. laevigatum* y *E. crassipes* respectivamente; DBO, 76 Y 53%; DQO, 26 Y 18%; sólidos suspendidos totales, 70 y 56% con *L. laevigatum* y *E. crassipes* respectivamente.

Limnobium laevigatum produjo un incremento en la alcalinidad total con respecto al afluente y fue más eficiente en la remoción de coliformes fecales que *Eichhornia crassipes*. Para los otros parámetros evaluados: temperatura, conductividad, sólidos disueltos y cloruros, las macrófitas no produjeron diferencias significativas en el afluente. El autor abre la posibilidad de estudiar el comportamiento de estas especies con otros tipos de residuos líquidos.

b. Application of *Eichhornia crassipes* and *Pistia stratiotes* for treatment of urban sewage in Israel (Aplicación de la *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes* para el tratamiento de aguas residuales urbanas en Israel)

Zimmels et al. (2006) demostraron la eficacia de purificación de aguas residuales por medio de plantas acuáticas como el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y la Lechuga de agua (*Pistia stratiotes*). Los experimentos realizados verificaron que las plantas son capaces de disminuir todos los indicadores probados de calidad del agua a niveles que permitan el uso del agua purificada para el riego de los cultivos arbóreos. Estos resultados aplican a la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno (DQO), los sólidos suspendidos totales (SST) y la turbidez. Las pruebas a escala de laboratorio confirman la capacidad de las plantas para alcanzar y mantener niveles razonablemente bajos de DBO (5–7mg L⁽⁻¹⁾) y DQO (40–50mg L⁽⁻¹⁾) y niveles muy bajos de TSS (3–5mgL⁽⁻¹⁾) y turbidez (1–2 NTU).

Los resultados muestran que el uso de este sistema de flujo libre de agua superficial (FWS) y su sistema de bajo mantenimiento para el tratamiento de aguas residuales urbanas y agrícolas es una opción viable.

c. Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante plantas macrófitas típicas en los Altos de Jalisco, México

Castañeda & Flores (2015) evidencian en su investigación el déficit del saneamiento de las aguas residuales en México, principalmente el déficit de infraestructura, altos costos de instalación, operación y mantenimiento, así como falta de personal capacitado. Por ello desarrollan su investigación en base a la fitorremediación ya que representa a las tecnologías alternas para el tratamiento de aguas residuales domésticas, con una eficiencia significativa en la eliminación de contaminantes.

Los investigadores evaluaron tres tipos diferentes de plantas típicas de los humedales naturales en la región de Los Altos de Jalisco tales como: el carrizo común (*Phragmites australis*), el gladiolo (*Gladiolus spp*) y la totora (*Typha latifolia*), mediante la medición de parámetros de calidad de agua contenidos en las normas oficiales mejicanas como el potencial de hidrógeno (pH), la demanda bioquímica de oxígeno en cinco días, el nitrógeno total, el fósforo total y las grasas y aceites, en unidades experimentales con tiempos de retención de tres, cinco y siete días realizando cuatro evaluaciones en un año. Los resultados mostraron reducciones significativas en todos los parámetros estudiados, de tal forma los

autores concluyen que las plantas evaluadas pueden ser una alternativa sustentable para la remoción de carga orgánica y nutrientes presentes en aguas residuales domésticas con bajo costo de instalación, operación y mantenimiento.

2.2. Fundamentos teóricos de las aguas residuales

El término de aguas residuales es amplia, por ello cuenta con un sinnúmero de conceptos. La Norma Técnica OS.090 - Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) la define como “agua que ha sido utilizada por una comunidad o industria y que contiene material orgánico o inorgánico disuelto o en suspensión” (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS], 2006, p. 88).

Según Espigares & Pérez (2005) “las aguas residuales se pueden definir como aquellas que por el uso del hombre, representan un peligro y deben ser desechadas, porque contienen una gran cantidad de sustancias y microorganismos” (p. 2). Aun así, los autores señalan que el concepto variara de acuerdo al origen del que provenga el agua residual.

Para el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA], (2014) se define como “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). Dichas aguas residuales tratadas o no tratadas, se descargan habitualmente en un medio receptor de agua superficial (mares, ríos, lagos, etc.) (Ramalho, 1994).

Desde el punto de vista de las fuentes de generación, las aguas residuales pueden definirse como una combinación de residuos líquidos arrastrados por el agua expulsada de residencias, instituciones, establecimientos comerciales e industriales, junto con las aguas subterráneas, superficiales y pluviales que puedan estar presentes (Tchobanoglous, Burton & Stensel, 2003).

Clasificación de las aguas residuales

A continuación, se presenta la clasificación de las aguas residuales. En primer lugar, desde el punto de vista de la normativa legal peruana y en segundo lugar desde la descripción de varios autores importantes en el campo del tratamiento de aguas residuales.

Clasificación según normas legales

De acuerdo a la Norma Técnica OS.090 - Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) (MVCS, 2006), se clasifican de la siguiente manera:

- Agua residual: Agua que ha sido utilizada por una comunidad o industria y que contiene material orgánico o inorgánico disuelto o en suspensión.
- Agua residual doméstica: Agua de origen doméstico, comercial e institucional que contiene desechos fisiológicos y otros provenientes de la actividad humana.
- Agua residual municipal: Son aguas residuales domésticas. Se puede incluir bajo esta definición a la mezcla de aguas residuales domésticas con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial.

Según la Autoridad Nacional del Agua – ANA, en la Resolución Jefatural N° 224-2013-ANA (Aprobación del nuevo reglamento para el otorgamiento de autorizaciones de vertimiento y reúsos de aguas residuales tratadas) en su anexo 1, se clasifican de la siguiente manera:

- Aguas residuales: Aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades antrópicas, que tengan que ser vertidas a un cuerpo natural de agua o reusadas y que por sus características de calidad requieran un tratamiento previo
- Aguas residuales domésticas: Aguas residuales de origen residencial, comercial e institucional que contienen desechos fisiológicos y otros provenientes de la actividad humana (preparación de alimentos, aseo personal, etc.).
- Aguas residuales industriales: Aguas residuales originadas como consecuencia del desarrollo de un proceso productivo, incluyéndose a las provenientes de la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, entre otras.
- Aguas residuales municipales: Aguas residuales domésticas que pueden incluir la mezcla con aguas residuales de origen industrial siempre que estén cumplan con los requisitos para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado.

Clasificación según autores

Las aguas residuales se clasifican de acuerdo a la composición que presente, lo cual está ligado a su previo uso antropogénico, es decir, a su origen,

Para Espigares & Pérez (2005) las aguas residuales se pueden clasificar de acuerdo a su procedencia, de la siguiente manera:

- Aguas residuales domésticas o aguas negras: proceden de las heces y orina humana, del aseo personal, la cocina y la limpieza de la casa.
- Aguas blancas: pueden ser de procedencia atmosférica (lluvia, nieve o hielo) o del riego y limpieza de calles, parques y lugares públicos.
- Aguas residuales industriales: proceden de los procesamientos realizados en fábricas y establecimientos industriales, contienen aceites, detergentes, antibióticos, ácidos y grasas y otros productos y subproductos de origen mineral, químico, vegetal o animal.
- Aguas residuales agrícolas: procedentes de labores agrícolas en zonas rurales.

Para Ramalho (1994) existen cuatro fuentes fundamentales de aguas residuales: (1) aguas residuales domésticas o urbanas, (2) aguas residuales industriales, (3) escurrimientos de usos agrícolas y (4) aguas pluviales.

Palta & Morales (2013) citado en Nuñez (2019) clasifican los tipos de aguas residuales de acuerdo a su origen y composición en la siguiente tabla.

Tabla 1. Clasificación y composición de las aguas residuales de acuerdo a su origen (Palta & Morales, 2013) citado en (Nuñez, 2019)

Tipo	Origen	Composición	Fuente
Domesticas	Viviendas, lavado, instituciones, oficinas, zonas residenciales, instalaciones comerciales por consumo de agua potable	Detergentes, residuos animales y vegetales, sales, celulosa, almidón, orina, excremento.	(Poveda, 2014) (Metcalf y Eddy, 1995) (Gómez, 2017) (Rincón y Millán, 2013)
Industriales	Diversos tipos de industria, lavado de materiales	Colorantes, grasas, barros, metales	(Poveda, 2014)

		solventes, químicos y otros	
Agrícolas	Agricultura	Fertilizantes, herbicidas y pesticidas, residuos orgánicos	(Poveda, 2014)
Pluviales	Lluvias	Escorrentía superficial	(Metcalf y Eddy, 1995)

Características generales de las aguas residuales

Las aguas residuales se distinguen por sus diversas características físicas, químicas, biológicas y microbiológicas; dichas características varían en función de la procedencia o generación de dichas aguas; además estas características guardan entre si una interrelación muy fuerte, pues el comportamiento de una característica influye directa o indirectamente en el comportamiento de otra característica.

De acuerdo a Guevara (2011) es fundamental conocer la naturaleza y procedencia del agua residual para implementar la tecnología apropiada tanto en la captación así como en el proceso de tratamiento. En la siguiente tabla podemos apreciar las principales características físicas, químicas y biológicas que presenta las aguas residuales en función de su procedencia.

Tabla 2. Características físicas, químicas y biológicas del agua residual y sus procedencias (CEA Jalisco, 2013)

Características		Procedencia
Propiedades físicas		
Color		Aguas residuales domesticas e industriales, degradación natural de materia orgánica
Olor		Agua residual en descomposición, residuos industriales
Solidos		Agua de suministro, aguas residuales domesticas e industriales, erosión del suelo, infiltración y conexiones incontroladas
Temperatura		Aguas residuales domesticas e industriales
Constituyentes químicos		
<u>Orgánicos:</u>		
Carbohidratos		Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales

Grasas animales, aceites y grasa	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Pesticidas	Residuos agrícolas
Fenoles	Vertidos industriales
Proteínas	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Contaminantes prioritarios	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Agentes tensoactivos	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Compuestos orgánicos volátiles	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Otros	Degradación natural de materia orgánica
<u>Inorgánicos:</u>	
Alcalinidad	Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea
Cloruros	Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea
Metales pesados	Vertidos industriales
Nitrógeno	Residuos agrícolas y aguas residuales domesticas
pH	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Fosforo	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales; aguas de escorrentía
Azufre	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
<u>Gases:</u>	
Sulfato de hidrogeno	Descomposición de residuos orgánicos
Metano	Descomposición de residuos orgánicos
Oxigeno	Aguas de suministro, infiltración
Constituyentes biológicos	
Animales	Curso de agua y plantas domesticas
Plantas	Curso de agua y plantas domesticas
Protistas	
Eubacterias	Aguas residuales domésticas, aguas superficiales, plantas de tratamiento de agua
Arqueobacterias	Aguas residuales domésticas, aguas superficiales, plantas de tratamiento de agua
Virus	Aguas residuales domesticas

Características de las aguas residuales domesticas

Las aguas residuales domésticas, como bien se sabe, son principalmente de origen familiar y/o residencial, es decir son aguas con heces y orina de las personas, del aseo personal, del uso de la cocina, de la limpieza de la casa y otros usos similares. De acuerdo a Hernández y Luna (2016) las concentraciones de los contaminantes son variables, es decir,

pueden cambiar según la hora del día, el día de la semana, el mes o estación del año, condiciones climáticas, fenómenos naturales u otras condiciones locales.

En la siguiente tabla podemos apreciar los valores típicos de la composición de contaminantes de las aguas residuales domésticas, clasificadas como débil, media y de fuerte concentración.

Tabla 3. Composición típica del agua residual domestica bruta (Nuñez, 2019)

Contaminantes	Unidades	Concentración		
		Débil	Media	Fuerte
Solidos totales (ST)	mg/l	350	720	1200
Disueltos totales (SDT)	mg/l	250	500	850
Fijos	mg/l	145	300	525
Volátiles	mg/l	105	200	325
Sólidos en suspensión (SS)	mg/l	100	220	350
Fijos	mg/l	20	55	75
Volátiles	mg/l	80	165	275
Solidos sedimentables	mg/l	5	10	20
Demanda bioquímica de oxígeno, 5 días, 20°C (DBO5 20°C)	mg/l	110	220	400
Carbono orgánico total (COT)	mg/l	80	160	290
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/l	250	500	1000
Nitrógeno (total en la forma N)	mg/l	20	40	85
Orgánico	mg/l	8	15	35
Amoniac libre	mg/l	12	25	50
Nitritos	mg/l	0	0	0
Nitratos	mg/l	0	0	0
Fosforo (total en la forma P)	mg/l	4	8	15
Orgánico	mg/l	1	3	5
Inorgánico	mg/l	3	5	10
Cloruros	mg/l	30	50	100
Sulfato	mg/l	20	30	50
Alcalinidad (como CaCo3)	mg/l	50	100	200
Grasa	mg/l	50	100	150
Coliformes totales	n/100 ml	10 ⁶ -10 ⁷	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁷ -10 ⁹
Compuestos orgánicos volátiles (COV)	ug/l	< 100	100-400	> 400

2.1. Tratamiento de las aguas residuales

“El objetivo principal del tratamiento del agua residual es minimizar el impacto en salud y el impacto ambiental al verter los contaminantes constituyentes del agua residual

(...) en cuerpos de agua receptores” (González, 2012, p. 305). Las aguas residuales en su conjunto, antes de ser vertidas a los cuerpos de agua o suelos, deben ser acondicionadas de tal forma que reúnan los requisitos de calidad que permiten las normas legales y regulaciones de cada país, con la finalidad de que los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) permanezcan inalterables en el tiempo y permitir la preservación sustentable de los ecosistemas (Lazcano, 2014).

Según el Ministerio del Ambiente [MINAM] (2009) “la complejidad del sistema de tratamiento está en función de los objetivos que se establezca para el efluente resultante de dicho tratamiento” (p.20), es decir los objetivos del tratamiento de aguas residuales están ligadas a su uso requerido; entonces será preciso realizar un estudio de caracterización del agua que permita conocer el estado de los parámetros físicos, químicos, biológicos y microbiológicos previo al tratamiento.

Lazcano (2014) describe en cuatro ítems los objetivos del tratamiento de aguas residuales:

- a. Reducir la carga orgánica del desagüe en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) o Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- b. Remover o reducir los nutrientes: N, P, a fin de evitar la infiltración en el subsuelo que contamine las aguas subterráneas, y/o evitar el crecimiento acelerado de las algas que podrían ocasionar problemas de eutrofización en las aguas receptoras.
- c. Remover o inactivar a los organismos patógenos, incluyendo las formas parasitarias (huevos de helmintos, quistes de protozoarios y etc.).
- d. Cumplir con las normas o reglamentos legales que permiten el uso de las aguas residuales, vertimiento a la red de alcantarillado de aquellas aguas residuales no domésticas y vertimiento a las fuentes de agua o aguas marinas.

Parámetros para el tratamiento de aguas

Para Mellado (2019) los parámetros de estudio nos mostrarán el grado y naturaleza de contaminación que posee el agua residual a tratar, a su vez revelará los problemas a enfrentar posteriormente en el sistema de tratamiento.

De acuerdo a la naturaleza de la presente investigación (aguas fluviales contaminadas con aguas residuales de origen doméstico) los parámetros de estudio nos mostrarán el grado de contaminación presente en la laguna de la mansión.

En seguida se describen los principales parámetros de estudio a considerar:

Parámetros físicos

Estos parámetros son las características presentes en las aguas residuales que responden a los sentidos humanos, como la vista, olfato, tacto y etc.

Sólidos

De acuerdo a Saavedra (2017) todos los contaminantes del agua, a excepción de los gases disueltos, forman parte de la materia sólida, y según su asociación con el medio líquido se pueden encontrar en forma suspendida, en dispersión coloidal y en solución total. Se puede clasificar también a la materia sólida en tres grupos con determinadas características de estudio.

Tabla 4. Clasificación analítica de la materia sólida (Saavedra, 2017)

Tamaño y condición	Características químicas	Capacidad de sedimentación
Sólidos suspendidos	Sólidos volátiles	Sólidos sedimentables
Sólidos disueltos	Sólidos fijos	Sólidos no sedimentables

A continuación, se definen los siguientes parámetros de los sólidos:

- Sólidos suspendidos y disueltos: Los sólidos suspendidos son aquellas partículas; como arcillas, limo, residuos fecales, etc.; que no llegan a estar disueltas y pueden estar en suspensión mientras el movimiento del agua las arrastre (1) o en suspensión estable o coloidal (2). En cambio los sólidos disueltos son aquella materia diluida en un medio acuoso y que sólo pueden ser retenidas mediante procesos de filtración fina (Minaya, 2017)
- Sólidos volátiles y fijos: Se denomina sólidos volátiles a que aquellos sólidos que se disipan al exponer una muestra de agua a elevadas temperaturas, y los sólidos fijos será aquellos sólidos que permanecen en la muestra de agua (Saavedra, 2017). Según Romero (1999) los sólidos volátiles representan a los sólidos orgánicos, mientras que los sólidos fijos a los sólidos inorgánicos.
- Sólidos sedimentables y no sedimentables: Se determina a los sólidos sedimentables a aquellos sólidos en suspensión presentes en una muestra de agua que se sedimentarán, en condiciones tranquilas, por acción de la gravedad (Romero, 1999). A su vez la materia disuelta y coloidal no precipitada se tomará como sólidos no sedimentables.

- Sólidos totales: Es aquel residuo o materia resultante de una muestra de agua sometida a altas temperaturas hasta su evaporación (Romero, 1999)

Turbiedad

Romero (1999) afirma que la turbiedad “es la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea reemitida y no transmitida a través de la suspensión” (p. 107). Los niveles de turbiedad en el agua se deben generalmente a la presencia de diversos materiales en suspensión como arcillas, limos, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, algas, organismos planctónicos, etc., es decir, que varían de tamaño y permanecerán en suspensión gracias a la fuerza de arrastre de la corriente de agua, o debido a su naturaleza coloidal.

El nivel de turbiedad es un importante indicador de la calidad del agua, es trascendental controlarlo para garantizar la efectividad de los procesos de un sistema de tratamiento de agua para consumo humano o residual. Es menester indicar que elevados niveles de turbiedad pueden interferir en la efectividad del proceso de desinfección, protegiendo y estimulando el crecimiento de microorganismos (DIGESA, 2009).

Temperatura

La temperatura del agua es un parámetro muy importante en el tratamiento de las aguas residuales, pues su influencia afecta directamente el desarrollo de la vida acuática, la proliferación de microorganismos y sobre las reacciones químicas del sistema de tratamiento; en otras palabras la temperatura condicionará el comportamiento de otros indicadores de la calidad del agua (DIGESA, 2009). Según Silva (2004) “la temperatura de las aguas residuales es mayor que la de las aguas no contaminadas, debido a la energía liberada en las reacciones bioquímicas que se presentan en la degradación de la materia orgánica” (p. 12).

Conductividad

Para Romero (1999) “la conductividad del agua es una expresión numérica de su habilidad para transportar una corriente eléctrica” (p. 10), esta capacidad depende de la concentración total de sustancias ionizadas disueltas en el agua, así como de la temperatura de la medición. En otras palabras son las sales disueltas las que aportan dicha capacidad de conducción eléctrica al agua; al mismo tiempo la medición de dicho parámetro permitirá conocer indirectamente el contenido de salinidad de una muestra de agua (Nuñez, 2019).

Los valores de conductividad que presenta el agua potable varían normalmente entre 50 a 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (micro Siemens/cm) y en el caso de agua residual doméstica los valores se oscilan habitualmente entre 1000 a 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Saavedra, 2017). La conductividad además es un indicador que condiciona el uso del agua residual tratada en el riego, puesto que un gran número de plantas son sensibles al contenido en sales disueltas además de una posible inutilización de los terrenos de cultivo expuestos a los riegos constantes con aguas de elevada conductividad (CIDTA, n.d.)

Aceites y grasas

Las principales fuentes de aceites y grasas presentes en las aguas residuales proceden del uso doméstico del agua y del uso en procesos industriales, en las que se generan restos alimenticios (p. ej. aceites vegetales usados) y residuos industriales (automóviles, lubricantes, etc.) respectivamente. La presencia de un elevado contenido de aceites y grasas podría dar paso a una interrupción de los procesos biológicos aeróbicos y anaeróbicos lo que causaría una merma en la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales a aplicar (Mellado, 2019).

Olor

De acuerdo al CIDTA (n.d.) el agua residual no debería presentar olores fuertemente desagradables, siempre y cuando se evite grandes distancias y tiempos en el recorrido del agua residual desde la población hasta la planta depuradora. En cambio el agua residual de condiciones sépticas (en proceso de putrefacción) presentará un olor ofensivo que se asemeja comúnmente a huevos podridos por la presencia del gas sulfuro de hidrogeno (H_2S) generado, además la presencia de olores atípicos podrían evidenciar la presencia de efluentes de origen industrial (Saavedra, 2017).

Color

Según Saavedra (2017) el color del agua residual indica su condición de fresca o séptica, quiere decir que, un agua residual fresca presentará una coloración grisácea con sólidos en suspensión o flotantes fácilmente reconocibles. A medida que más tiempo pase desde la generación del agua residual y su tratamiento, presentará una coloración negra ocasionada por el consumo de oxígeno en la descomposición de la materia orgánica. Asimismo la presencia de coloraciones atípicas en las aguas residuales domésticas ponen en

evidencia la presencia de vertidos industriales (Guevara, 2011).

Parámetros químicos

Los parámetros químicos son aquellas características indicativas de contaminación de aguas relacionadas a reacciones e interrelaciones químicas, y que son de fundamental estudio en los sistemas de depuración.

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

De acuerdo a la Norma Técnica OS.090 – Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) expresa la cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica en condiciones específicas de tiempo y temperatura (generalmente a cinco (5) días y a 20 °C) (MVCS, 2006); es por tanto, según la norma, un valor que mide el oxígeno consumido por los microorganismos aeróbicos para la degradación de la materia orgánica en un determinado lapso de tiempo.

Según Ramalho (1994) “la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) se usa como una medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación de la materia orgánica biodegradable presente en la muestra de agua y como resultado de la acción de oxidación bioquímica aerobia” (p. 34), describe además que la “DBO” es el resultado de tres tipos de materiales: materia orgánica carbónica, nitrógeno oxidable y compuestos químicos reductores.

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) se calcula mediante la diferencia entre el oxígeno disuelto (OD) inicial y final, el ensayo se denominado DBO5 se determina usualmente en cinco (05) días y bajo una temperatura de 20 °C que representa la temperatura media de las aguas residuales, por su parte los cinco (05) días hacen referencia al tiempo que la muestra de agua se somete al análisis en el laboratorio y representará un 65% a 80% del total de la materia orgánica oxidable (Rodríguez, 2018).

Rodríguez (2018) indica que el tiempo total necesario para completar la reacción química de oxidación biológica de la materia orgánica es teóricamente difícil de calcular, sin embargo, para fines prácticos la reacción se considerará completa en un plazo de 20 (veinte) días, y se expresará como la DBO total o última (DBOU). En conclusión, cuanto más contaminación presente el agua residual más alto serán los valores de la “DBO” en el bioensayo de DBO5 y DBOU.

Demanda química de oxígeno (DQO)

Según la Norma Técnica OS.090 – Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales del Reglamento Nacional de Construcción (RNE), la demanda química de oxígeno (DQO) expresa “la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidantes sales inorgánicas” (MVCS, 2006, p. 89). Ramalho (1994) precisa que la DQO “corresponde al volumen de oxígeno requerido para oxidar la fracción orgánica de una muestra susceptible de oxidación al dicromato o permanganato, en medio ácido” (p. 29).

Según Silva (2004) esta ensayo de oxidación logra la degradación de la materia orgánica biodegradable y no biodegradable; por lo tanto, el valor de la DQO no podrá ser inferior que la DBO ya que la cantidad de sustancias oxidables por vía química es mayor que por vía biológica (Espigares & Pérez, 2005). Para la degradación química de la materia orgánica se emplear un oxidante químico como el dicromato de potasio o permanganato de potasio, usados comúnmente en pruebas de agua para consumo y aguas residuales respectivamente.

Por último Rodríguez (2018) menciona que una de la grandes limitaciones que presenta la prueba de la DBO es su imposibilidad para diferenciar entre la materia orgánica degradable biológicamente (relacionado a la DBO y la materia orgánica no oxidable biológicamente); por el contrario la principal ventaja del ensayo de la DQO es el poco tiempo que se necesita para su evaluación, los resultados se pueden obtener en un plazo rápido de tres (03) horas, en vez de los cinco (05) días necesarios para la prueba de la DBO5.

Oxígeno disuelto (OD)

De acuerdo a la DIGESA (2009) la oxigenación del agua se debe especialmente a la solubilización del oxígeno atmosférico y en menor grado debido a la fotosíntesis realizada por las algas marinas. Cabe precisar que además del oxígeno, existen en el agua diversos gases con diversas concentraciones, sin embargo, es el oxígeno disuelto (OD) el gas más importante puesto que toda la vida acuática aerobia depende de ella; a su vez la cantidad de oxígeno disuelto (OD) dependerá de la actividad física, química y biológica que presente un determinado cuerpo de agua (Pérez et al., 2013)

Según CIDTA (n.d.) el oxígeno disuelto (OD) en cuerpos de agua residual se consume

rápida durante la degradación de la materia orgánica, es decir, la estabilización de la materia orgánica demanda un suministro de oxígeno disuelto (OD); por otra parte, si el consumo supera el aporte de oxígeno disuelto, la masa de agua cae en un estado anaeróbico (ausencia de oxígeno) lo que conlleva desde problemas de olores, interferencias en las unidades de tratamiento, hasta la inoperatividad del sistema de tratamiento. A continuación, se describen las condiciones de un cuerpo de agua en relación a su concentración de oxígeno disuelto.

Tabla 5. Concentración de oxígeno disuelto y consecuencias en ecosistemas acuáticos (Rodríguez, 2018)

OD (mg/l)	Condición	Consecuencias
0	Anoxia	Muerte masiva de organismos aerobios
0 - 5	Hipoxia	Desaparición de organismos y especies sensibles
5 - 8	Aceptable	(OD) adecuada para la vida de la gran mayoría de
8 - 12	Buena	especies de peces y otros organismos acuáticos
> 12	Sobresaturada	Sistema en plena producción fotosintética

Materia orgánica

De acuerdo al CIDTA (n.d.) el contenido de materia orgánica es la característica más importante de las cuerpos de aguas residuales domésticas, pues, la eliminación de la materia orgánica será el objetivo más importante del tratamiento de las aguas residuales. La mayor parte de la materia orgánica presente en cuerpos de de agua preceden de los desechos de actividades humana como excrementos y orina, restos alimenticios y detergentes, por tanto, estará compuesta por contaminantes biodegradables en un 90% (hidratos de carbono, proteínas, grasas y aceites), por lo que pueden ser degradados en compuestos mas simples por la acción de microorganismos presentes en el agua (Silva, 2004)

La materia orgánica está íntimamente relacionada con los parámetros de DBO, DQO y OD, por lo que será necesario centrarse en estos parámetros para el correcto funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales convencional. Para el caso de un sistema de tratamiento de aguas residuales no convencional mediante fitodepuración, será importante monitorizar el sistema radicular de las plantas fitorremediadoras pues, la biodegradación de la materia orgánica es realizada por microorganismos adheridos particularmente a las raíces (Delgadillo et al., 2010).

Potencial de hidrogeno (pH)

El potencial de hidrógeno o pH se utiliza generalmente para establecer si una solución es ácida o básica (alcalina), es decir, es la forma de evaluar la concentración de iones de hidrógeno en una solución. La escala de pH posee una serie de números que varían de 0 (cero) a 14 (catorce), aquellos valores inferiores a 7 (siete) y próximos a 0 (cero) indican acidez de menor a mayor grado, en cambio valores superiores a 7 (siete) y próximos a 14 (catorce) indican de basicidad de menor a mayor grado respectivamente; asimismo se indicará la neutralidad en una solución cuando el valor de concentración iones de hidrógeno sea 7 (siete) (Garcia, 2012)

Saavedra (2017) indica que aguas residuales que contienen valores de pH inferiores a 5 (cinco) y superiores a 9 (nueve) son difíciles de tratar mediante procesos biológicos, esto manifiesta una sensibilidad de los microorganismos respecto a la concentración del ion hidrógeno (valor de pH). De acuerdo a Silva (2004) el valor de pH adecuado para la existencia de la mayoría de la vida biológica y microbiológica suele ser muy restrictiva, bordeando valores de 6.5 a 8.5 generalmente, valores adecuados que también aplican a diferentes procesos de tratamiento de aguas residuales.

Nitrógeno

Cárdenas & Sánchez (2013) señalan que “el tratamiento de aguas residuales (...) ha puesto especial interés en la eliminación de los nutrientes, principalmente el nitrógeno, debido a las consecuencias medioambientales y sanitarias de su presencia en el recurso hídrico” (p. 2). Según los autores, la presencia de nitrógeno en concentraciones elevadas puede provocar un desequilibrio del sistema hídrico conllevando a un aumento de la acidez, la eutrofización (exceso de nutrientes), la toxicidad y la inestabilidad de los ecosistemas acuáticos.

Por su parte Espigares y Pérez (2005) destaca que el nitrógeno es esencial para el desarrollo de los microorganismos y las plantas, y que la ausencia de nitrógeno puede provocar cambios en la composición bioquímica de los organismos y a su vez reducir las tasas de crecimiento. Por lo tanto, aunque el nitrógeno es necesario para los ecosistemas acuáticos, su exceso, principalmente procedente de la fertilización en la agricultura (uso de abonos artificiales) constituye un problema en el tratamiento de las aguas residuales.

Fosforo

De acuerdo a Ronzano y Dapena (2001) el fósforo es un elemento esencial para la vida biológica, tanto para los microorganismos como para organismos más complejos, por tanto, su presencia en cuerpos de agua es importante, asimismo que su ausencia es preocupante, aun cuando se necesite en niveles mucho más bajos que el nitrógeno. En el agua residual podemos encontrar fosfato como: ortofosfato, polifosfato y fosfato orgánico, y al igual que el nitrógeno, su presencia en altas concentraciones es responsable de procesos de eutrofización (Espigares & Pérez, 2005)

Saavedra (2017) indica que los fosfatos orgánicos provenientes de desechos fisiológicos se encuentran generalmente en forma particulada que, de forma soluble, y los fosfatos inorgánicos (ortofosfatos y polifosfatos) provenientes principalmente de los detergentes y otros productos químicos del hogar se encuentran en forma soluble. Ronzano y Dapena (2001) estiman que el 85% de fosforo presente en las aguas residuales provienen de los grupos antes mencionados: desechos humanos y detergentes, y que el 15% restante proviene de actividades de la agricultura.

Parámetros microbiológicos

Los parámetros biológicos son características relacionadas con la contaminación de las aguas residuales por microorganismos, es decir, dependiendo de la composición y la concentración de las aguas residuales, pueden albergar en ellas una gran cantidad de organismos.

Coliformes

Según Castro (2007) los coliformes son un grupo de especies bacterianas que comparten ciertas características bioquímicas y que son importantes como indicadores de la contaminación del agua. Debido a su gran diversidad, suelen clasificarse en dos grupos principales: coliformes totales (que constituyen todo el grupo) y coliformes fecales (los de origen intestinal). Según el autor, se suele deducir que la mayoría de los coliformes presentes en el medio ambiente son de origen fecal, es decir, que se introducen en el medio ambiente a través de las heces de personas y animales.

De acuerdo Campos (2003) los coliformes fecales también se denominan termotolerantes por su capacidad de aguantar temperaturas más altas, y ésta "sería una forma más apropiada de definir este subgrupo que se diferencia de los coliformes totales por la característica de crecer a una temperatura superior" (p. 3). El grupo de coliformes fecales

como la Escherichia Coli tienen la capacidad de crecer a temperaturas altas de hasta 45 °C, no obstante poseen una temperatura óptima de crecimiento de 37 °C, con un intervalo de crecimiento de 10 a 40 °C (Galvis y Rivera, 2013).

Tabla 6. Clasificación científica de bacterias coliformes (Castro, 2007)

Clasificación científica de bacterias coliformes	
Reino:	Bacteria
Filo:	Proteobacteria
Clase:	Gamma Proteobacteria
Orden:	Enterobacteriales
Familia:	Enterobacteriaceae
Géneros:	Escherichia
	Klebsiella
	Enterobacter
	Citrobacter

De acuerdo al estudio de Valderrama, Campos, Velandia, y Zapata (2005) la presencia de macrófitas en un sistema de fitodepuración de aguas residuales domésticas, acelera el proceso de remoción de coliformes fecales Escherichia coli. Por otra parte Campos (2003) menciona que el uso de indicadores microbiológicos como coliformes totales y coliformes fecales, no garantizan de manera efectiva la ausencia de virus (fagos) o parásitos (protozoos y helmintos), por ser más resistentes a los factores ambientales y a la cloración que los coliformes y bacterias en general.

Tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales

Existen diversas tecnológicas empleadas en los sistemas de tratamiento de aguas residuales, sin embargo se puede clasificar dos grandes grupos ampliamente diferenciados: tecnologías de tratamiento convencional y tecnologías de tratamiento no convencional (o natural); la aplicación de una u otra depende de una serie de factores como la disponibilidad de terreno, disponibilidad energética, los costes de construcción, operación y mantenimiento entre otros, además de ciertos criterios técnicos para una adecuada ejecución.

En general, cuando las poblaciones son muy grandes, como en el caso de las

megaciudades, no se dispone de grandes extensiones de terreno, por lo que las tecnologías más sofisticadas se consideran la mejor opción a pesar de los elevados costes de implementación, así como de consumo energético. Por otro lado, las tecnologías cuyos procesos son netamente naturales y sólo requieren de energía solar, si bien sus bajos costes en aspectos de construcción, funcionamiento y mantenimiento son mínimos, requieren grandes extensiones de terreno.

De acuerdo a Metcalf y Eddy Inc. (1995) citado en Nuñez (2019) es necesario estudiar y seleccionar adecuadamente las tecnologías de una planta de tratamiento, pues deberán cumplir con una adecuada remoción de contaminantes acorde a las normativas legales de vertido y reutilización de efluentes tratados. En la siguiente figura Noyola et al. (2013) presenta un abanico de posibilidades tecnológicas para emplear en un sistema de tratamiento de aguas residuales, asimismo destaca la división en dos grandes grupos: tratamientos físico-químicos y biológicos.

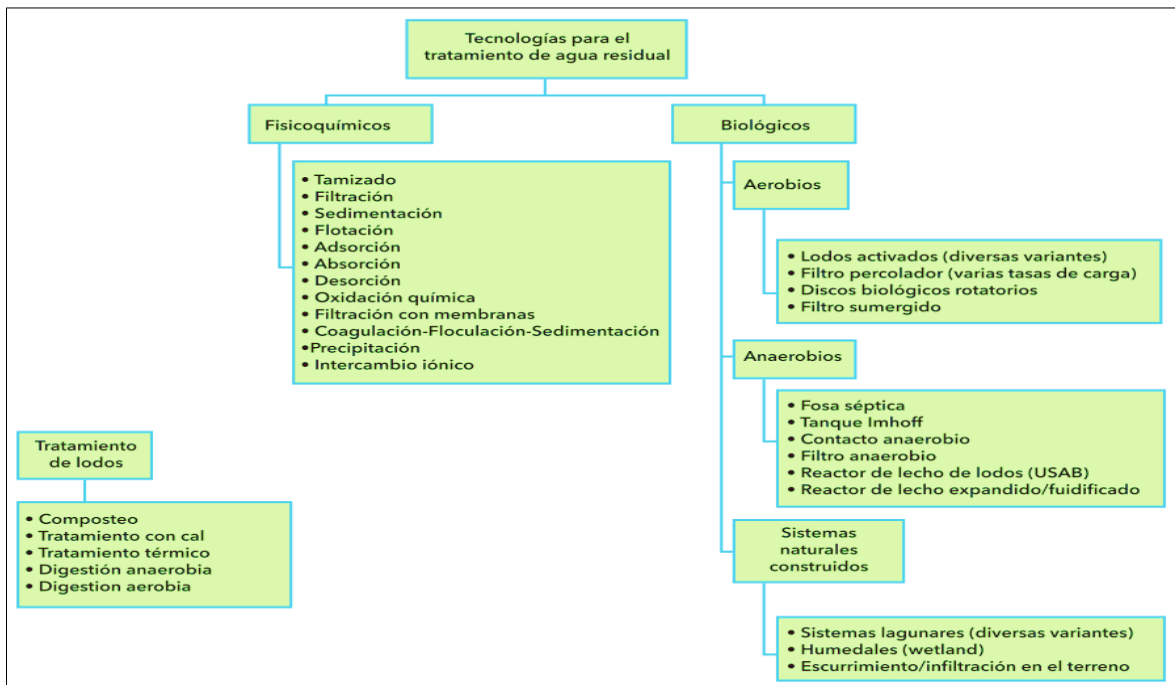


Figura 1. Procesos para el tratamiento de aguas residuales (Noyola et al., 2013)

Noyola et al., (2013) también señalan que en la implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales debe tener en cuenta diversos factores como: la disponibilidad de recursos económicos y técnicos, las características de las aguas residuales a tratar, los criterios establecidos para la descarga del efluente tratado o para su eventual

utilización. Para los autores también es importante analizar el impacto social, económico y medioambiental que puede producir la instalación de una planta de tratamiento de aguas residuales en una población.

El Centro de Investigación y Desarrollo de Recursos Hídricos [CIDERH] (2015) hace una distinción técnica entre las tecnologías de tratamiento de aguas residuales convencionales y no convencionales.

- Tecnologías convencionales: se caracterizan por sus elevadas necesidades constructivas, su bajo valor estético y su especialización para su operación. Ejemplos: lodos activados en sus diversas modalidades, reactores anaeróbicos de flujo ascendente (UASB)
- Tecnologías no convencionales (naturales): se caracterizan por su sencillez de construcción y operación; las aguas residuales se tratan mediante la interacción de los componentes del medio natural (suelo, plantas, agua), sin utilizar aditivos químicos. Ejemplos: filtros verdes, sistemas de lagunas, humedales construidos.

En la siguiente figura se presenta a grandes rasgos las diferencias entre las dos tecnologías de tratamiento de aguas residuales.



Figura 2. Tecnologías para el tratamiento de aguas residuales (CIDERH, 2015)

Niveles de tratamiento de las aguas residuales

Para el (MINAM, 2009, p. 20) “los sistemas de tratamiento de aguas residuales son un conjunto integrado de operaciones y procesos físicos, químicos y biológicos, que se utilizan

con la finalidad de depurar las aguas residuales hasta un nivel tal que permita alcanzar la calidad requerida para su disposición final, o su aprovechamiento mediante el reúso.

Según Oakley y Salguero (2011), los niveles de tratamiento de aguas residuales pueden alcanzar hasta cuatro etapas que comprenden procesos químicos, físicos y microbiológicos. Debido al “gran número de operaciones y procesos disponibles para la depuración de las aguas residuales es común hablar de niveles de tratamiento, los cuales (...) han sido clasificados como: preliminar o pre tratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario o avanzado” (MINAM, 2009, p. 20).

A continuación, se presentará los principales procesos operacionales por cada uno niveles de tratamiento previamente mencionados:

Tabla 7. Procesos operacionales en el tratamiento de aguas residuales (Lazcano, 2014)

Pre-tratamiento	Tratamiento primario		Tratamiento secundario		Tratamiento terciario	Desinfección
	Químico	Físico	Biológico	Remoción de sólidos		
Cribado y remoción de arena	Neutralización	Flotación	Lodos activados	Sedimentación	Coagulación y sedimentación	Cloración
Dilaceración	Coagulación	decantación	Laguna anaeróbica		Filtración	Radiación UV
Desgrasado		Filtración	Filtro percolador		Absorción con carbón activado	Iones de plata
Homogeneización		Floculación	Laguna aireada		Intercambio iónico	
			Lagunas convencionales		Membranas	
			Biodiscos		Lagunas de maduración	
			Filtro y reactor anaeróbico		Lagunas de alta producción de biomasa	

El objetivo de cada proceso operativo es eliminar contaminantes orgánicos o inorgánicos que pueden estar presentes en forma de partículas suspendidas o disueltas, a fin de alcanzar una calidad requerida; este objetivo de depuración se consigue gracias a la integración de operaciones físicas y procesos unitarios químicos y biológicos unitarios dentro de un sistema de tratamiento de aguas residuales (Noyola et al., 2013).



Figura 3. Sistema de tratamiento de aguas residuales (Proyecto Biosfera, n.d.)

Tratamiento preliminar

Es un proceso destinado a la eliminación de residuos sólidos fácilmente separables y en algún caso un proceso de pre-aireación. Su fin es facilitar los procesos posteriores, con la retención de sólidos gruesos y sólidos finos con densidad mayor al agua y arenas (MINAM, 2009). Son usuales en el tratamiento de aguas residuales municipales el empleo de canales con rejas gruesas y finas (cribas), desarenadores y en casos especiales se emplean tamices”.



Figura 4. Cámara de rejas en plantas de tratamiento (Anónimo, 2010)

Tratamiento primario

Comprende un sistema destinado a la remoción de material en suspensión tales como sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables (excepto material coloidal y sustancias disueltas). De acuerdo a la Norma Técnica OS.090 – Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) “los procesos del tratamiento primario para las aguas residuales pueden ser: tanques imhoff, tanques de sedimentación y tanques de flotación” (MVCS, 2006, p. 98)

La importancia del tratamiento primario radica en su capacidad para remover una importante fracción de carga orgánica, que puede llegar a representar entre el 25% y 40% de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y entre el 50% y 65% de los sólidos suspendidos (Rojas, 2002)

Tratamiento secundario

De acuerdo al Manual para Municipios Ecoeficientes, el tratamiento secundario comprende “la inclusión de procesos biológicos en los que predominan las reacciones bioquímicas, generadas por microorganismos que logran eficientes resultados en la remoción de entre el 50% y el 95% de la DBO” (MINAM, 2009, p. 23)

Según Rojas (2002) este proceso convierte la materia orgánica finamente dividida y/o disuelta, en sólidos sedimentables floculantes que pueden ser separados por sedimentación en tanques de decantación. De acuerdo al autor el proceso biológico puede emplear oxígeno puro o ser completamente anaeróbico; la variedad de modificaciones de este proceso depende de los requerimientos específicos del agua a tratar.

De acuerdo con la norma técnica OS.090 - Plantas de tratamiento de aguas residuales del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), se incluyen los siguientes sistemas: “lagunas de estabilización, lodos activados, filtros biológicos y módulos rotatorios de contacto rotativo”. Los humedales artificiales se encuentran incluidos en este nivel de tratamiento, ya que presentan procesos anaeróbicos o aeróbicos destinados a la remoción de carga orgánica (Gomez, 2017).

Tratamiento terciario

Este nivel de tratamiento tiene como finalidad la remoción de nutrientes como nitrógeno y fosforo, este nivel de proceso evita que el agua residual tratada ocasione eutrofización (enriquecimiento excesivo en nutrientes de un medio acuático) y a su vez un crecimiento generalizado de algas lo que finalmente trae en consecuencia el consumo de

oxígeno disuelto del medio acuático afectando e impactando sobre la vida acuática (MINAM, 2009).

Según Rojas (2002) este proceso complementa al tratamiento secundario logrando un efluente más puro y con mucho menor carga contaminante; pero su implementación dependerá de la disposición final que este destinada las aguas residuales tratadas. Un efluente de tratamiento terciario es comúnmente usado en: el riego de áreas agrícolas, la crianza de peces y otras actividades productivas, inclusive puede llegar a usarse en la recarga de acuíferos o en actividades industriales (MINAM, 2009).

De acuerdo a Gomez (2017) en este nivel de tratamiento podemos encontrar unidades como: filtración, humedales artificiales, intercambio iónico, coagulación química, osmosis inversa, electrodiálisis, absorción y radiación gamma.

Tratamiento avanzado

Este nivel de tratamiento se utiliza para reducir, inactivar o destruir el contenido de microorganismos patógenos, como bacterias, virus y quistes de protozoos, que aún pueden estar presentes en el efluente de aguas residuales previamente tratado y que están asociados a diferentes tipos de enfermedades. Este nivel de tratamiento emplea el proceso de desinfección el cual cuenta con tres principales métodos que son: la cloración, la ozonización y la radiación ultravioleta (UV) (MINAM, 2009).

Cabe precisar que para que la desinfección sea efectiva, el agua residual (efluente) que viene de procesos o etapas anteriores debe estar adecuadamente tratada.



Figura 5. Desinfección de aguas residuales por radiación ultravioleta (TSS, n.d.)

Tecnologías naturales para el tratamiento de aguas

De acuerdo a Noyola et al. (2013), los sistemas naturales construidos para el tratamiento de aguas residuales aprovechan las transformaciones bioquímicas que se llevan a cabo en el medio natural; es decir que estos sistemas comprenden aquellos procedimientos en los que el efecto depurador principal es suministrado por componentes del medio natural (plantas, suelo, luz solar, microorganismos, etc.) sin la intervención de medios artificiales (Saavedra, 2017), y a su vez otorgando un mayor beneficio económico y ambiental.

Moreno (2003) señala que “habitualmente se diferencian dos grandes grupos de técnicas de depuración natural: los métodos de tratamiento mediante aplicación del agua sobre el terreno (1), y los sistemas acuáticos (2)” (p.13), a su vez recalca el autor que, el efecto depurador se debe a una acción conjunta entre la vegetación, el suelo, y los microorganismos (terrestres y acuáticos), sin la intervención de agentes artificiales. En la siguiente tabla se muestra los dos métodos naturales del régimen de aguas residuales y sus diferentes variedades de aplicaciones:

Tabla 8. Métodos naturales de tratamiento de aguas residuales (Moreno, 2003)

Métodos naturales de tratamiento	
Tratamiento en el terreno	Sistemas acuáticos
Filtro verde	Lagunaje
Infiltración rápida	Humedales
Escorrentía superficial	Cultivos acuáticos
Lechos de turba	
Lecho de arena	

Por último Moreno (2003) señala un par de factores limitantes presentes en ambos sistemas naturales de tratamiento: como primer punto, la demanda de mayor superficie de terreno disponible (entre 4 y 40 m²/habitante equivalente) y como segundo punto, Los sistemas naturales sólo pueden utilizarse con determinados tipos de efluentes que han de ser totalmente biodegradables; ante la presencia de residuos tóxicos o peligrosos (industriales), existe el riesgo de inducir un proceso de intoxicación en el sistema de tratamiento con la consiguiente contaminación del medio receptor.

Métodos de tratamiento mediante aplicación del agua sobre el terreno

De acuerdo a Moreno (2003) el tratamiento mediante aplicación directa en el terreno cumple con dos funciones específicas: (1) como medio receptor de las aguas residuales, evitando así su vertido a otros medios, y (2) como agente activo, ya que el proceso de depuración tiene lugar tanto en la superficie como en su interior, eliminando nutrientes, materia orgánica, microorganismos y otros componentes como metales pesados o micro contaminantes orgánicos. Otro aspecto a tener en cuenta es su sistema planta-suelo-agua que desarrolla procesos físicos, químicos y biológicos naturales para una óptima depuración.

En la siguiente tabla se enumeran las principales ventajas e inconvenientes de los métodos de aplicación directa sobre el terreno:

Tabla 9. Ventajas y desventajas de los métodos de tratamiento mediante aplicación del agua sobre el terreno (Rodríguez, 2014)

	Ventajas	Desventajas
a. Filtro verde	<ul style="list-style-type: none"> - Reducido o nulo gasto energético y mínimo mantenimiento sin dificultades técnicas, lo que permite su explotación por personal no especializado - Para casi todas las especies de árboles la aplicación favorece la germinación sin tener efectos adversos sobre estas - Elevada eficiencia de tratamiento para casi todos los constituyentes del agua residual. 	<ul style="list-style-type: none"> - Gran extensión de terreno que requiere para su instalación - En climas de invierno frío se produce una parada vegetativa en el crecimiento de los cultivos instalados en el filtro.
b. Infiltración rápida	<ul style="list-style-type: none"> - La recarga artificial de los acuíferos y la posibilidad de reutilizar el agua tratada recuperándola a través de acequias o pozos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Tendencia a la colmatación rápida del filtrante por ello el agua residual requerir, al menos, un tratamiento primario previo a la aplicación.
c. Escorrentía superficial	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere escaso pretratamiento - Adaptable a un amplio rango de permeabilidades - Buena reducción de nitrógeno. 	<ul style="list-style-type: none"> - Poco desarrollado en Europa - No muy buen rendimiento en fosforo.

d. Lechos de turba	<ul style="list-style-type: none"> - No produce olores - Se puede utilizar en climas muy fríos - Admite sensibles variaciones de caudal sin afectar, prácticamente, al rendimiento - Fácil adaptación estética al paisaje - Alta descontaminación bacteriana. 	<p>En comparación con los de arena:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Peor resistencia a la colmatación - Mayor volumen - Mayor costo.
e. Lechos de arena	<p>En comparación con los de turba:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mayor resistencia a la colmatación - Menor volumen - Menos costo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Insuficiencia para ser considerado como sistema de las aguas residuales, pudiendo ser empleados no obstante como tratamiento complementario.

Métodos de tratamiento mediante sistemas acuáticos

Los sistemas acuáticos se basan en la creación de un flujo controlado, en el que plantas (especialmente sus raíces) y microorganismos principalmente, degradan la materia orgánica y otros contaminantes (IGME, 1995). De acuerdo a Moreno (2003) los sistemas acuáticos de tratamiento pueden funcionar de forma estacional o durante todo el año, dependiendo principalmente del clima, y que con frecuencia se diseñan para mantener un flujo continuo.

En la siguiente tabla se mencionan las principales ventajas y desventajas de los métodos de tratamiento mediante sistemas acuáticos.

Tabla 10. Ventajas y desventajas de los métodos de tratamiento mediante sistemas acuáticos (Rodríguez, 2014)

	Ventajas	Desventajas
Lagunaje	<ul style="list-style-type: none"> - Altos rendimientos en la disminución de la DBO5, sólidos en suspensión, nutrientes y patógenos - Permite regular y almacenar agua que por sus características es sanitaria y agrícolamente apta para el riego - La retirada de fangos se realiza cada 10 años, dependiendo del agua residual. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se necesitan superficies de aplicación relativamente extensas - Se producen elevadas pérdidas de agua por evaporación - A veces las aguas depuradas presentan una elevada de algas

<p>Humedales</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Bajos gastos de operación y mantenimiento - Soportan bien las variaciones de caudal - La operación y mantenimiento no requieren un trabajo permanente en la instalación. 	<ul style="list-style-type: none"> - Son de difícil adaptación a los cambios climáticos - Posible aparición de malos olores, dependiente el contenido en azufre (fase anaerobia) - Presencia en el efluente de sólidos en suspensión en forma de algas (fase aerobia). - Requieren grandes extensiones de terreno - Los componentes biológicos son sensibles a sustancias como el amoníaco y pesticidas que llegan a ser tóxicos - Requieren una mínima cantidad de aguas para que, pero no soportan estar completamente secos.
<p>Cultivos acuáticos</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Alcanza altos rendimientos en la depuración. 	<ul style="list-style-type: none"> - El clima es un factor limitante ya que las plantas crecen a determinadas temperaturas.

Procesos en los tratamientos mediante sistemas acuáticos

La remoción de la materia orgánica en los métodos de tratamiento mediante sistemas acuáticos es el resultado de una compleja serie de procesos físicos-químicos y biológicos; según Rodríguez (2009), los procesos más importantes que tienen lugar en estos sistemas son:

- Oxidación de la materia orgánica por bacterias aeróbicas. La respiración bacteriana descompone la DBO5 de las aguas residuales en dióxido de carbono (CO2) y agua (H2O), produciendo energía y nuevas células.
- Producción de oxígeno por fotosíntesis. La fotosíntesis de las algas produce nuevas algas a partir de dióxido de carbono (CO2) y oxígeno (O2) que se utiliza en la respiración bacteriana.

Rodríguez (2009) hace mención que, dentro de estos procesos también se involucran

factores físicos, químicos y bioquímicos como los siguientes:

- **Estratificación:** la densidad del agua varía con la temperatura, es mínima a 4 °C y aumenta para temperaturas mayores o menores, el agua más cálida es más ligera y tiende a flotar sobre las capas más frías. En primavera y verano, la superficie se calienta y las capas superiores están más calientes que las inferiores, menos densas, y flotan unas sobre otras sin mezclarse. En primavera, la temperatura de la mayoría de las lagunas es casi uniforme, por lo que éstas se mezclan fácilmente debido a las corrientes inducidas por el viento. Al acercarse el verano, el agua de las capas superiores se calienta, se vuelve menos densa y se produce una estratificación estable.
- **Flujo en la laguna:** la circulación del agua en la laguna está influenciada por la forma y el tamaño de la laguna, la ubicación de las entradas y salidas, la velocidad y dirección de los vientos dominantes y la aparición de diferencias de densidad en la laguna. Las anomalías de flujo más comunes son las zonas muertas, es mencionar, partes de la laguna donde el agua permanece estancada durante largos períodos.
- **pH:** El valor del pH de la laguna está determinado principalmente por la actividad fotosintética del fitoplancton y la descomposición de la materia orgánica por las bacterias. Las algas consumen dióxido de carbono mediante la fotosíntesis, lo que modifica el equilibrio de carbonatos y provoca un aumento del pH. Por otro lado, la descomposición de la materia orgánica produce dióxido de carbono como producto final, lo que conlleva una disminución del pH. Como la fotosíntesis depende de la radiación solar, el pH de la laguna varía a lo largo del día y del año. Cuanto mayor sea la intensidad de la luz, mayor será el valor del pH.
- **Oxígeno disuelto:** quiere decir que es el mejor indicador de la actividad de la laguna. La principal fuente de oxígeno disuelto es la fotosíntesis, seguida de la reaeración superficial. Las concentraciones de oxígeno disuelto muestran una variación sinusoidal durante el día. Los niveles de oxígeno son los más bajos al amanecer, los más altos por la tarde y oscilan entre cero y la sobresaturación. En verano, se puede observar que la superficie de la laguna está saturada de oxígeno disuelto. El oxígeno disuelto muestra importantes fluctuaciones en profundidad. La concentración de oxígeno disuelto es máxima en la superficie y disminuye al aumentar la profundidad hasta que el oxígeno disuelto desaparece. La profundidad a la que se inactiva el

oxígeno disuelto se denomina oxidasa, y su localización depende de la actividad fotosintética, del consumo de oxígeno por parte de las bacterias y del grado de mezcla provocado por el viento. En invierno, la capa de oxígeno tiende a ser mucho menor que en verano.

- Nutrientes: Los nutrientes son esenciales para el buen funcionamiento del tratamiento de las lagunas. A medida que avanza la depuración, se produce el agotamiento de los nutrientes y puede dar lugar a que uno o más nutrientes alcancen concentraciones que sean limitantes para el posterior crecimiento de algas o bacterias. En las balsas de estabilización, el agotamiento de nutrientes sólo se produce en algunas balsas con alta actividad biológica, y suele deberse a la expulsión de la materia orgánica hasta los niveles máximos de este tipo de tratamiento.

Cultivos acuáticos

De acuerdo a Moreno (2003) los cultivos acuáticos, también conocidos como sistemas de plantas acuáticas flotantes, son esencialmente una variación de los humedales artificiales de flujo superficial (FWS), en las que se introduce un cultivo de plantas macrófitas flotantes, como los jacintos de agua o la lenteja de agua, y cuyo objetivo principal es la eliminación de determinados componentes del agua a través de sus raíces, que constituyen un buen sustrato responsable de una parte importante del tratamiento.

Según el IGME (1995) las plantas acuáticas comúnmente cultivadas son los jacintos de agua (*Eichhornia sp.*), cultivos de los cuales se puede encontrar amplia documentación, también es común el cultivo de lentejas de agua (*Lemna sp.*) y otras plantas macrófitas. Resalta el autor que el éxito (rendimiento) del tratamiento dependerá en gran medida de las condiciones climáticas en las que se desarrolle el proyecto, porque estas plantas sólo crecen a determinadas temperaturas.

En la siguiente tabla se indican algunas características para el diseño a gran escala de un sistema de tratamiento de aguas residuales mediante cultivos acuáticos.

Tabla 11. Características para el diseño de sistemas de cultivos acuáticos (Moreno, 2003)

Características	Condición
Técnica de aplicación	Superficial
Carga hidráulica anual (m/a o)	5,5 - 18

Superficie necesaria (m²/hab)

Pretratamiento mínimo necesario	Sedimentación primaria. Desbaste
Evacuación del agua residual aplicada	Algo de evapotranspiración
Vegetación	Necesaria
Limitaciones climáticas	La posibilidad de utilización de las plantas está directamente relacionada con el clima.

2.3. Fundamentos teóricos de la fitodepuración de aguas

Etimológicamente el vocablo fitodepuración proviene de los términos phyto (planta) y “depurare” (purificar), y se entiende como “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” (Jesús Fernández et al., 2004, p. 61). Sin embargo, desde un punto de vista estricto, el término fitodepuración puede aplicarse bajo la intervención de cualquier organismo fotosintético, ya sean plantas superiores (macrófitas) o algas macroscópicas o microscópicas.

Actualmente el concepto más generalizado del término fitodepuración, representa directa e implícitamente a la intervención de plantas macrófitas. Por otra parte existe una similitud entre los términos fitodepuración y fitorremediación, lo que a su vez genera una confusión, sin embargo de acuerdo a Saavedra (2017) el término fitodepuración hace referencia específicamente a la depuración de las aguas residuales, mientras que el término fitorremediación se refiere generalmente a la limpieza o recuperación de ambientes contaminados (suelo, aire, agua, etc.).

Según Cupe y Portocarrero (2009), el término fitorremediación fue acuñado por el investigador ruso Ilya Raskin, quien la definió como: el conjunto de tecnologías que ayudan a la recuperación de suelos, aguas y otros medios contaminados mediante el uso in situ de biomasa vegetal viva.

2.1.1. Mecanismos de fitorremediación (fitodepuración)

De acuerdo a Thabgavel y Subhram (2004) citado en Delgadillo, González, Prieto, Villagómez, y Acevedo (2011) dependiendo del tipo de contaminante, las condiciones del sitio y el nivel de limpieza requerido; los mecanismos de fitorremediación se pueden

utilizar como medio de contención (rizofiltración, fitoestabilización y fitoinmovilización) o eliminación (fitodegradación, fitoextracción y fitovolatilización). Estos mecanismos que tienen lugar en las plantas y en los microorganismos asociadas a ellas, se basan en medios fisiológicos básicos como: fotosíntesis, transpiración, nutrición y metabolismo.

A continuación, se muestra y se describe los distintos mecanismos de fitorremediación (fitodepuración):

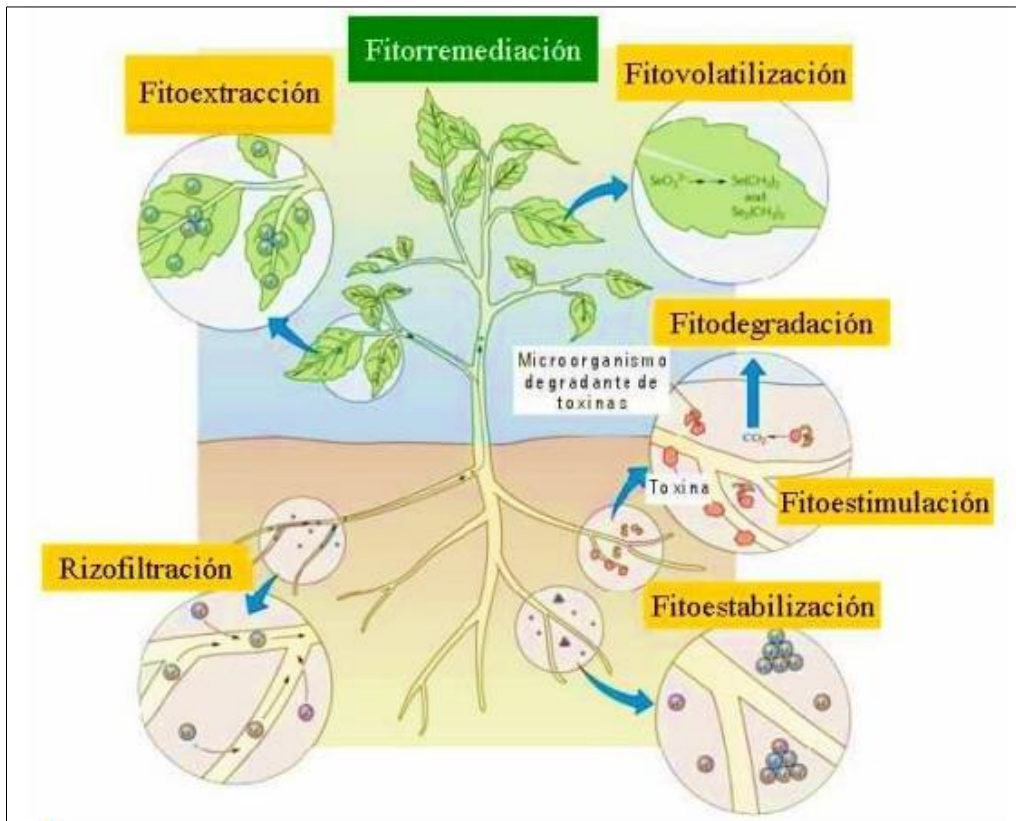


Figura 6. Localización de los mecanismos de fitorremediación (Lumelli, 2010)

Tabla 12. Mecanismos (fitotecnologías) de fitorremediación (Delgadillo et al., 2011)

Tipo	Proceso involucrado	Contaminación tratada
Fitoextracción	Las plantas se usan para concentrar los contaminantes en las partes cosechables (principalmente la parte aérea).	Aguas contaminadas con compuestos inorgánicos
Rizofiltración	Las raíces de las plantas se usan para absorber, precipitar y concentrar los contaminantes a partir de	Aguas contaminadas con compuestos orgánicos e inorgánicos

	líquidos contaminados y degradar compuestos orgánicos.	
Fitoestabilización	Las plantas tolerantes se usan para reducir su movilidad y evitar el pasaje a capas subterráneas o al aire.	Aguas contaminadas con compuestos orgánicos e inorgánicos
Fitoestimulación	Se usan los exudados radiculares para promover el desarrollo de microorganismos degradativos (bacterias y hongos).	Aguas contaminadas con compuestos orgánicos e inorgánicos
Fitovolatilización	Las plantas captan y modifican los contaminantes o compuestos orgánicos y los liberan a la atmósfera con la transpiración.	Aguas contaminadas con compuestos orgánicos e inorgánicos
Fitodegradación	Las plantas acuáticas y terrestres captan, almacenan y degradan compuestos orgánicos para dar subproductos menos tóxicos o no tóxicos.	Aguas contaminadas con compuestos orgánicos

De acuerdo a Núñez, Vong, Ortega, & Olguín (2004) generalmente las medidas correctivas para contaminantes orgánicos incluyen la fitodegradación y la fitoestimulación, mientras que para los contaminantes inorgánicos como metales pesados (incluido metaloides y radionúclidos) y ciertos tipos de contaminantes orgánicos, se aplican la fitovolatilización, la fitoestabilización, la fitoextracción y la rizofiltración. Nuñez (2019) enfatiza que las plantas emergentes y acuáticas flotantes captan, almacenan y degradan la materia orgánica desarrollando componentes menos o nada tóxicos.

Base científica para la fitodepuración de aguas

De acuerdo a Cupe & Portocarrero (2009) la base científica para el tratamiento de aguas residuales mediante plantas acuáticas, se fundamenta en la eliminación de la materia orgánica (fitodegradación) mediante microorganismos adheridos al sistema radicular (conjunto de raíces) de las plantas, quienes necesitan aportes de oxígeno que provendrán de “(1) la aireación superficial (oxígeno procedente de la atmósfera), (2) fotosíntesis (oxígeno liberado por organismos fotosintéticos, a consecuencia de la fotoasimilación del

carbono), y (3) transferencia de la planta (liberación de oxígeno presente en el aerénquima)” (Fernández et al., 2004, p. 72).

En la siguiente figura se aprecia el proceso de aireación natural de las raíces de las plantas macrófitas:

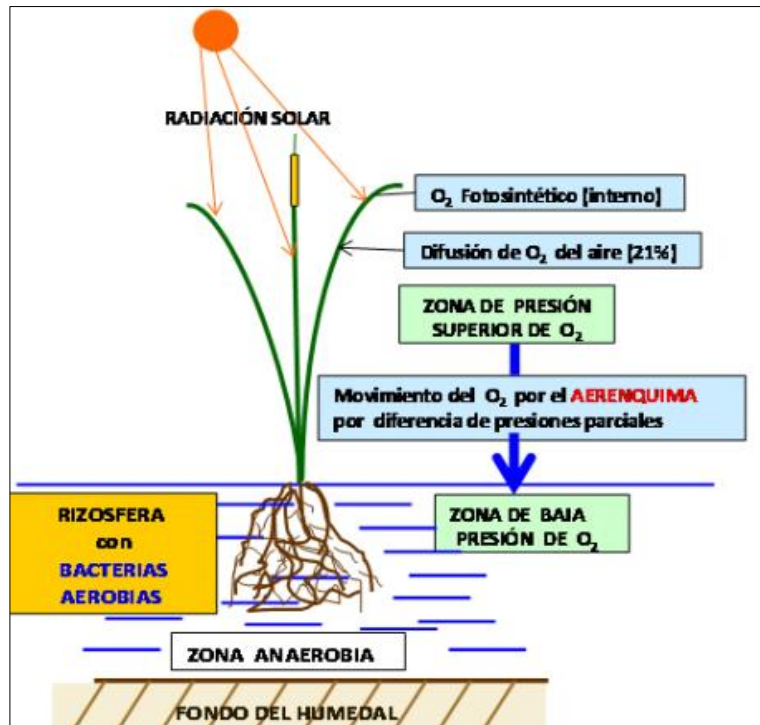


Figura 7. Oxigenación natural de plantas macrófitas (Fernández, 2012)

Por último, mediante intercambio gaseoso en las raíces se libera oxígeno al medio, originando en el agua un microambiente aerobio contiguo a las raíces, en consecuencia, el microambiente estimula el desarrollo de microorganismos aerobios responsables de la degradación de la materia orgánica, resultando en la disminución de la carga contaminante del sistema (Fernández et al., 2004). Además, durante el proceso de degradación microbiana de la materia orgánica, se producen descomposiciones metabólicas que las plantas acuáticas absorberán y utilizarán (junto con el nitrógeno, el fósforo y otros minerales) como fuente de alimento.

Cupe y Portocarrero (2009), señalan también que las raíces (sistema radicular) de las plantas acuáticas son capaces de absorber, concentrar y en algunos casos, cambiar la localización de metales pesados y ciertos compuestos radioactivos que podrían estar presente en aguas residuales de origen industrial. En la siguiente figura se puede apreciar que, las enzimas microbianas (grupo de proteínas que aceleran las reacciones químicas) presentes en

el sistema radicular de las plantas degradan los contaminantes orgánicos, posteriormente estos fragmentos residuales se incorporaran en el tejido nuevo de las plantas.

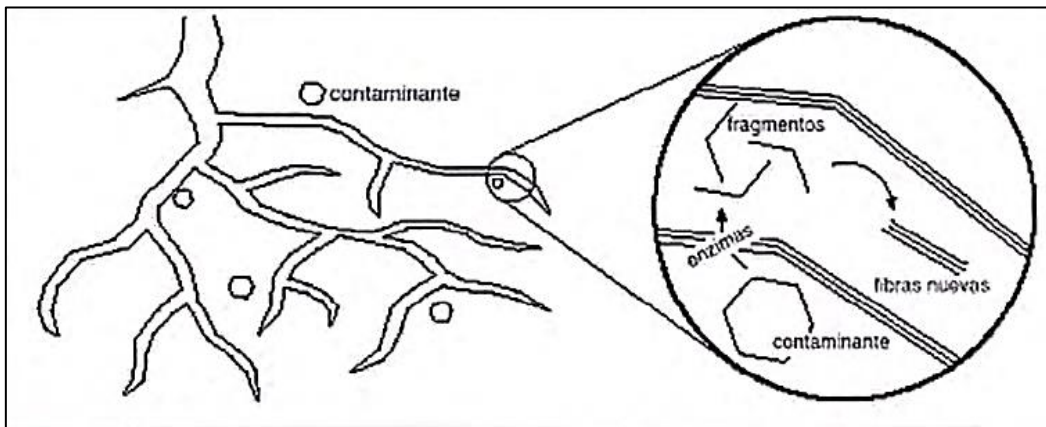


Figura 8. Degradación microbiana de la materia orgánica (Cupe y Portocarrero, 2009)

Ventajas y desventajas de la fitodepuración

La fitodepuración es una tecnología que presenta muchas ventajas y desventajas, por lo tanto, su aplicación y desarrollo deberá fundamentarse a profundidad desde diversos puntos de vista (económico, social y ambiental). La siguiente tabla ofrece una visión general de las principales ventajas e inconvenientes de la fitodepuración (fitorremediación).

Tabla 13. Ventajas y desventajas de la fitodepuración (fitorremediación) (Núñez et al., 2004)

Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Es una tecnología sustentable - Es eficiente para tratar diversos tipos de contaminantes <i>in situ</i> - Es aplicable a ambientes con concentraciones de contaminantes de bajas a moderadas - Es de bajo costo, no requiere personal especializado para su manejo ni consumo de energía - Es poco perjudicial para el ambiente - No produce contaminantes secundarios y por lo mismo no hay necesidad de rellenos - Tiene una alta probabilidad de ser aceptada por el público, ya que es estéticamente agradable - Evita la excavación y el tráfico pesado. - Tiene una versatilidad potencial para tratar una gama diversa de material peligroso - Se pueden reciclar recursos (agua, biomasa, metales)
Desvent	<ul style="list-style-type: none"> - Es un proceso lento (cuando las especies son de vida larga, como los árboles o arbustos) - Es dependiente de las estaciones

- El crecimiento de la vegetación puede estar limitado por extremos de la toxicidad ambiental
 - Los contaminantes acumulados en las hojas pueden ser liberados nuevamente al ambiente durante el otoño (especies perennes)
 - Los contaminantes pueden acumularse en maderas para combustión
 - No todas las plantas son tolerantes o acumuladoras
 - La solubilidad de algunos contaminantes puede incrementarse, resultando en un mayor daño ambiental o migración de contaminantes
 - Se requiere áreas relativamente grandes
 - Pudiera favorecer el desarrollo de mosquitos (en sistemas acuáticos)
-

2.4. Plantas macrófitas acuáticas

De acuerdo a Fernández et al. (2004) desde el punto de vista botánico, el término "macrófita" se refiere a cualquier planta visible a simple vista (plantas herbáceas, arbustos, árboles), mientras que el término "micrófita" se utiliza para referirse a las vegetales no visibles a simple vista (algas microscópicas). Los investigadores mencionan que en el ámbito de la investigación sobre los humedales (cultivos acuáticos), sean naturales o artificiales, el término "macrófita" se utiliza de una forma que no coincide estrictamente con el concepto botánico, así pues, dentro de la comunidad científica el término 'macrófita' ha llegado ya a incluir el concepto de que se trata de una planta acuática.

Estas macrófitas acuáticas (también llamadas hidrofitas) son plantas que completan su ciclo biológico cuando todas sus partes se encuentran sumergidas o flotando en la superficie del agua (Den Hartog & Segal, 1964; Cirujano & al., 2002) citado en Cirujano, Meco, y Garcia (2014). Además, los autores indican considerar dentro de las macrófitas acuáticas (hidrofitas) a las plantas herbáceas que se conocen con el nombre de helófitos o plantas emergentes, es decir, plantas que colonizan los bordes de las lagunas y ríos o viven en zonas húmedas poco profundas, de tal manera que la mayor parte de su aparato vegetativo es emergente.

Formas de vida de las plantas macrófitas acuáticas

Según Saavedra (2017), las plantas macrófitas se clasifican de acuerdo a su fisiología y forma de vida, que generalmente se divide en tres grupos claramente definidos: plantas macrófitas emergentes (A), plantas macrófitas flotantes (de flotación libre (B1), de flotación arraigada (B2) y plantas macrófitas sumergidas (C).

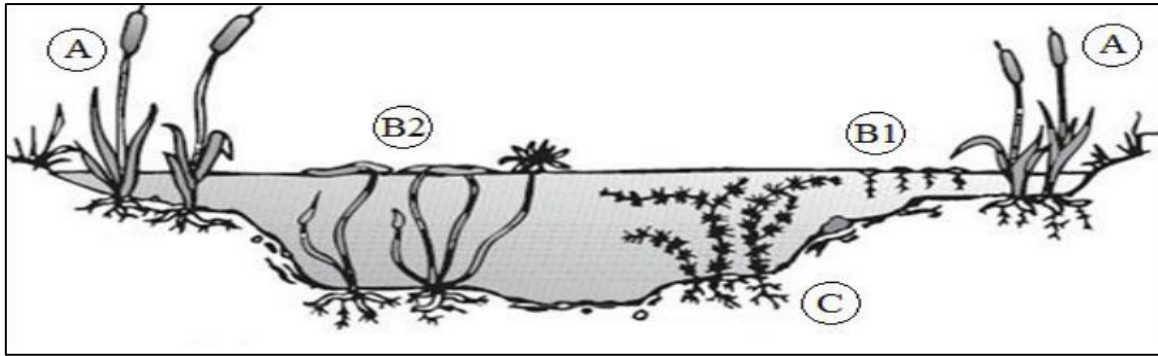





Figura 9. Clasificación de plantas macrófitas acuáticas (Saavedra, 2017)

Macrófitas acuáticas emergentes

De acuerdo a Núñez et al. (2004) la raíz de las plantas macrófitas emergentes (también llamadas plantas helófitas o anfibias) “está enterrada en los sedimentos y su parte superior se extiende hacia arriba de la superficie del agua” (p. 72), sus estructuras reproductoras están en la porción aérea de la planta. Por lo general viven en aguas poco profundas, tiene un mayor acceso a luz solar y no sufren limitaciones de agua (Jaramillo y Flores, 2012).

Tabla 14. Ejemplos de macrófitas acuáticas emergentes




Carrizo (<i>Phragmites communis</i>)	Platanillo (<i>Sagittaria latifolia</i>)	Tule (<i>Thypha domingensis</i>)
		

Macrófitas acuáticas sumergidas

De acuerdo a Núñez et al. (2004) las plantas macrófitas flotantes “se desarrollan debajo de la superficie del agua o complemente sumergidas. Sus órganos reproductores pueden estar sumergidos, emergidos o por encima de la superficie del agua” (p. 72). Además se distinguen por su habilidad para absorber oxígeno, dióxido de carbono (CO₂) y nutrientes de la columna de agua; por otra parte están condicionadas a inhibirse en caso de niveles de turbiedad

elevados (Jaramillo & Flores, 2012).

Tabla 15. Ejemplos de macrófitas acuáticas sumergidas


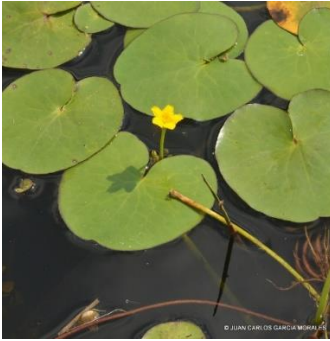

Bejuquillo (<i>Cerathophyllum demersum</i>)	Hidrilla (<i>Hydrilla verticillata</i>)	Pastos (<i>Phyllospadix torreyi</i>)
		

Macrófitas acuáticas flotantes

De acuerdo a Jaramillo y Flores (2012) los macrófitas flotantes se distinguen por su capacidad de extraer el dióxido de carbono (CO₂) y el oxígeno que necesitan directamente de la atmósfera. Asimismo, según Núñez et al. (2004, p. 72), las plantas macrófitas flotantes se subdividen en dos grupos:

a. Plantas de hoja flotante (fijas): tienen sus hojas flotando sobre la superficie del agua, pero sus raíces están fijas en los sedimentos.



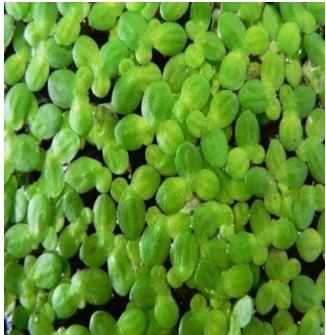
Tabla 16. Ejemplos de macrófitas acuáticas de hoja flotante

Nenúfar (<i>Nymphaea elegans</i>)	Nenúfar (<i>Nymphoides fallax</i>)	Victoria regia (<i>Victoria amazónica</i>)
		

b. Plantas flotantes (no adheridas): sus tallos y hojas crecen en la superficie del agua.

Sin embargo, las raíces no están unidas a ningún sustrato y cuelgan en la columna de agua. Sus estructuras vegetativas y reproductivas siguen siendo emergentes.

Tabla 17. Ejemplos de macrófitas acuáticas de libre flotación

Jacinto de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>)	Lenteja de agua (<i>Pistia Stratiotes</i>)	Lechuga de agua (<i>Lemna Minor</i>)
		

Criterios para la selección de las plantas macrófitas acuáticas de un sistema acuático (cultivos acuáticos)

De acuerdo a Fernández et al. (2004) la selección de las especies de macrófitas se debe realizar teniendo en cuenta factores como: su adaptabilidad al clima local, su capacidad de transportar oxígeno desde las hojas hasta las raíces, su tolerancia a las altas concentraciones de contaminantes, su capacidad de asimilar contaminantes, su tolerancia a las diferentes condiciones climáticas, su resistencia a los insectos o a las enfermedades y su facilidad de manejo.

Sánchez (2010) enumera en su investigación (Depuración de aguas residuales de una población mediante humedales artificiales) los siguientes criterios para la selección de las plantas macrófitas acuáticas a emplear en sistemas fitodepuración:





- Deben elegirse plantas adaptadas al clima de la zona donde se va a desarrollar el proyecto. Las especies locales suelen ser las más adecuadas.
- Deben localizarse especies que toleren los contaminantes presentes en el agua a tratar.
- Deben ser especies de gran crecimiento, que tiendan a alcanzar la mayor biomasa posible, ya que ello redundará en una mayor asimilación de nutrientes.
- Deben tener un sistema radicular vigoroso para facilitar el crecimiento de la biopelícula y de la propia planta.





- Deben poseer un buen sistema de aporte de oxígeno hacia las raíces para facilitar la nitrificación y los procesos aeróbicos

Plantas macrófitas acuáticas utilizadas en sistemas acuáticos

A modo de ejemplo, se describe continuación una serie de especies macrófitas acuáticas que comúnmente se someten a investigaciones, y que han demostrado buenos resultados de fitodepuración.

Tabla 18. Especies macrófitas comúnmente usadas en la depuración de aguas residuales (Sánchez, 2010)

Nombre común	Nombre científico	Clasificación	Imagen
Jacinto de agua	<i>Eichhornia crassipes</i>	Flotante	
Papiro	<i>Cyperus papyrus</i>	Emergente	
Papiro enano	<i>Cyperus haspan</i>	Emergente	
Carrizo	<i>Phragmites australis</i>	Emergente	

Totora	<i>Typha angustifolia</i>	Emergente	
Lenteja de agua	<i>Lemna minor</i>	Flotante	
Lentejuela de agua	<i>Salvinia mínima</i>	Flotante	
Lechuga de agua	<i>Pistia stratiotes</i>	Flotante	

En la subsiguiente tabla se muestra un análisis comparativo entre las plantas macrófitas acuáticas previamente ejemplificadas. La información vertida en el grafico está basada en el estudio realizado por Granados (2018).

Tabla 19. Análisis comparativo de las plantas macrófitas acuáticas identificadas (Granados, 2018)

Nombre común	Nombre científico	Rango		Remoción de contaminantes (*)					Profundidad radicular	Comentarios	Referencias
		Temperatura	pH	DBO5	DQO	SST	Metales pesados	Otros			
Jacinto de agua	<i>Eichhornia crassipes</i>	15 - 30 °C, por debajo de los 10 °C las plantas mueren	6.5 - 8.5	70 - 86 %	50 %	0%	Si	Fosfato Plomo Cromo	0.20 m	- Hace parte de las 100 especies exóticas invasoras del mundo - Puede ocasionar eutrofización - Sirve como hospedero de larvas de mosquito	(Quispe et al., 2017) (Roig,2016)
Papiro	<i>Cyperus papyrus</i>	10 - 25 °C	6.0 - 8.5	91 %	72 %	73 %	Si	Fosforo s.	0.20 - 0.40 m	- Ha sido utilizada desde los inicios de los humedales artificiales. - No es afectado por plagas	(Torres et al., 2017)
Papiro enano	<i>Cyperus haspan</i>	10 - 25 °C	4.0 - 8.5	91.8 %	78.7 %	98.8 %	Si	Hierro Magnesio Zinc Nitrógeno Fosforo	0.30 - 0.50 m	- Resultó exitoso en la purificación de lixiviados	(Akinbile, Ahmad y Suffian, 2012)
Carrizo	<i>Phragmites australis</i>	20 - 24 °C	2.0 - 8.0	88.5 %	87.4 %	89 %	-	Plomo Zinc Nitrógeno o. Coliformes f.	0.70 - 0.80 m	- Tiene un efecto oxigenador que es potencialmente mayor	(Torres et al., 2017)

Totora	<i>Typha angustifolia</i>	25 - 35 °C	6.5 - 8.5	82.03 %	50 - 90 %	25 - 38 %	-	Nitrato	Más de 0.30 m		(Alemendas et al., 2017)
Lenteja de agua	<i>Lemna minor</i>	5 - 30 °C	4.5 - 7.0	97.1 %	-	90 %	Si	Cadmio Selenio Cobre	< 0.01 m	- Puede ser usado como complemento alimenticio para ganado	(Malaver,2013) (Gualán,2016) (Roig,2016)
Lechuga de agua	<i>Pistia stratiotes</i>	15 - 35 °C	5.5 - 7.2	82 %	82 %	60 %	-	Fosfato Amonio Nitrato Coliformes f.	0.20 m	- La planta puede vivir o no en contacto directo con el agua, el terreno deberá estar siempre muy húmedo.	(Masache, 2016)
Lentejuela de agua	<i>Salvinia minima</i>	10 - 25 °C	5.0 - 9.0	-	-	-	-		< 0.01 m	- Rápida reproducción y agresividad para desplazar otras especies. - Hace parte de las 100 especies exóticas invasoras del mundo. - Altura máxima de 1800 m.s.n.m.	(Garcés et Al.,2006)

(*) Es válido precisar que los rendimientos expuestos se basan en referencias, de modo que, *de acuerdo al autor*, estos no se podrían comparar directamente entre sí ya que factores como: el tiempo de retención, las temperaturas, el tipo de humedal artificial y otros varían en cada estudio; sin embargo, sus análisis facilitan una referencia del posible potencial en los sistemas de fitodepuración.

Selección de las plantas macrófitas acuáticas

Las plantas macrófitas acuáticas preseleccionadas para el desarrollo de este proyecto de investigación serán las especies flotantes (libres o no fijas): (1) *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua), (2) *Pistia stratiotes* (lechuga de agua), (3) *Limnobium laevigatum* (lenteja de agua), (4) *Spirodela polyrhiza* (lenteja de agua) y (5) *Lemna minor* (lenteja de agua).

Estas especies macrófitas acuáticas cumplen con las características que según Olguín y Hernández (1998) citado en (Arroyave, 2004) deben contar las plantas acuáticas usadas para el tratamiento de las aguas residuales: alta productividad, alta eficiencia de remoción de nutrientes y contaminantes, alta predominancia en condiciones naturales adversas y fácil cosecha.

Este propósito de la investigación se llevará a cabo en la región natural de la Costa (una zona por debajo de los 2000 m de altitud en la vertiente occidental de los Andes), específicamente en la ciudad de Lima Metropolitana, por lo tanto, de acuerdo a los criterios mencionados se planteó el uso plantas macrófitas acuáticas locales y/o adaptadas a la climatología de la zona costera.

Kahn, Leon, y Young (1993), proporcionan en su libro (Las plantas vasculares en las aguas continentales del Perú) una lista de las plantas vasculares del Perú y su presencia en las tres regiones naturales, que se utilizó para demostrar la presencia geográfica de las especies de macrófitas acuáticos flotantes propuestas provisionalmente para el desarrollo de la presente investigación.

Tabla 20. Macrófitas acuáticas planteadas y su presencia en las tres regiones naturales (Kahn et al., 1993)

Familia	Genero	Especie	Presencia		
			Costa	Sierra	Selva
Pontederiaceae	Eichhornia	<i>Eichhornia crassipes</i>	x		x
Araceae	Pistia	<i>Pistia stratiotes</i>	x		x
Hydrocharitaceae	Limnobium	<i>Limnobium laevigatum</i> (*)	x		x
Lemnaceae	Spirodela	<i>Spirodela polyrhiza</i>	x		x
Araceae	Lemna	<i>Lemna minor</i> (**)	x	x	

(*) Con presencia confirmada en la zona costera
(**) Presentada en el libro como *Lemna valdiviana*

Planta macrófitas acuática flotante: jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*)

Descripción

El jacinto de agua conocido también como camalote, lirio de agua, taruya, putu entre otros, es una planta vascular acuática perenne (se caracteriza por vivir más de dos años) de libre flotación con raíces sumergibles, fibrosas y comúnmente coloreadas (Jaramillo y Flores, 2012). Es además la octava planta con el crecimiento en el mundo, lo que le permite extenderse y sobrevivir en muchos sitios a tal grado de considerarse una planta cosmopolita. De acuerdo Holm et al. (1977) citado en Kahn et al. (1993) esta especie se encuentra entre las malezas de mayor impacto económico en el mundo; es una maleza difícil de erradicar gracias a su rápido crecimiento vegetativo.

Morfología

De acuerdo a Martelo y Lara (2012) el jacinto de agua es una planta perenne de agua dulce, con desarrollo ascendente, de tallo vegetativo muy corto, hojas verdes brillantes y espigas de flores de color lavanda, con pecíolos alargados y abultados de aire que contribuyen a la flotabilidad de la planta. La siguiente figura ilustra las características descritas.

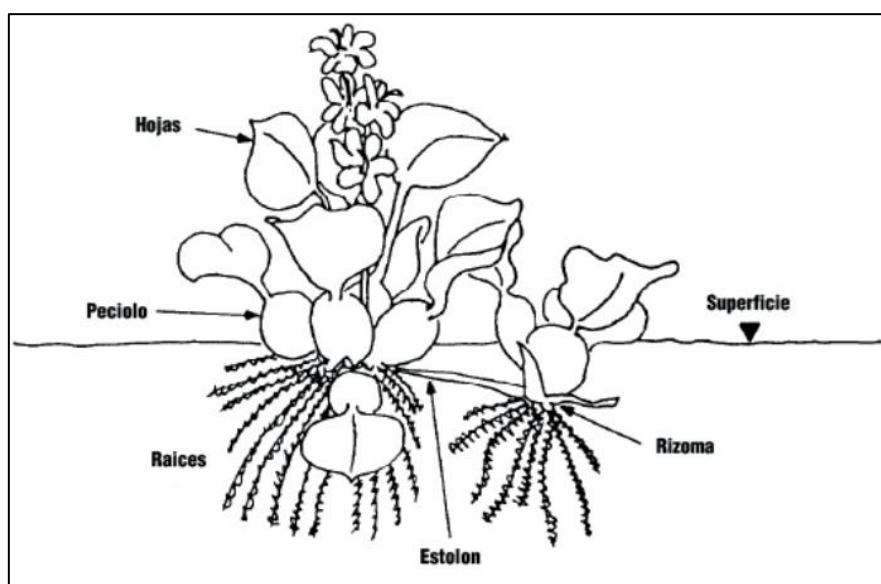



Figura 10. Morfología de la macrófitas flotante *Eichhornia crassipes* (Martelo y Lara, 2012)

Taxonomía

Tabla 21. Ficha taxonómica del Jacinto de agua (*Eichhornia Crassipes*) (EcuRed, 2015)

Nombre común	Jacinto de agua
Nombre científico	<i>Eichhornia crassipes</i>
Imagen	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Commelinales
Familia	Pontederiaceae
Genero	<i>Eichhornia</i>
Especie	<i>E. crassipes</i>

Hábitat y distribución geográfica

De acuerdo Kahn et al. (1993) el jacinto de agua habita en ambientes acuáticos de la costa y la Amazonia peruana. Puede vivir en aguas dulces tranquilas o de ligero movimiento (acequias, canales, presas, arroyos, ríos y pantanos). En la actualidad el Jacinto de agua se encuentra distribuido casi en toda América tropical y parte de la zona templada, además se encuentra naturalizado en distintas partes del mundo de clima cálido o tropical (Nuñez, 2019).

Reproducción

De acuerdo a Jaramillo y Flores (2012) su reproducción es sexual y asexual, es decir, se reproducen por propagación vegetativa (mediante estolones producidos por la planta madre) y además por medio del rebrote de semillas eliminadas de las plantas adultas. Se

reproducen con facilidad bajo una temperatura de 25 – 30 °C, una (1) planta es capaz de generar treinta (30) plantas nuevas en poco más de tres semanas (Gamboa, 2017).

Condiciones de cultivo y crecimiento

De acuerdo a Cortés y Florez (2017), para el cultivo y crecimiento del Jacinto de agua se necesitan las siguientes condiciones: superficies extensas de poca corriente provistas de nutrientes (materia orgánica u otros contaminantes), aguas neutras que mantengan un pH entre 6.5 - 7.5, profundidades de al menos veinte (20) centímetros , una temperatura optima entre 20 – 30 °C (aunque pueden resistir bajo los 15 °C) y además requieren de una intensa iluminación.

Planta macrófitas acuática flotante: lechuga de agua (*pistia stratiotes*)

Descripción

La lechuga de agua también conocida como huama o repollito de agua (en Perú) es una planta flotante casi acualescente (con un tallo tan corto que parece inexistente), flota en la superficie del agua con sus raíces sumergidas y no arraigadas, se considera una monocotiledónea perenne con hojas gruesas que forman una roseta. En algunos casos se convierte en maleza en áreas destinadas a la navegación fluvial, pues de acuerdo a Holm et al. (1977), citado en Kahn et al. (1993), esta especie se encuentra también entre las malezas de mayor impacto económico en el mundo.

Morfología

Sus hojas pueden tener hasta quince (15) centímetros de largo y tener algún vástago, son de márgenes verdes con las venas paralelas prominentes, onduladas ligeramente y que se cubren con pelos cortos que forman la estructura de una cesta que atrapa burbujas de aire, aumentando la flotabilidad de la planta (Gomez, 2013). En la siguiente figura se ilustran las características descritas.

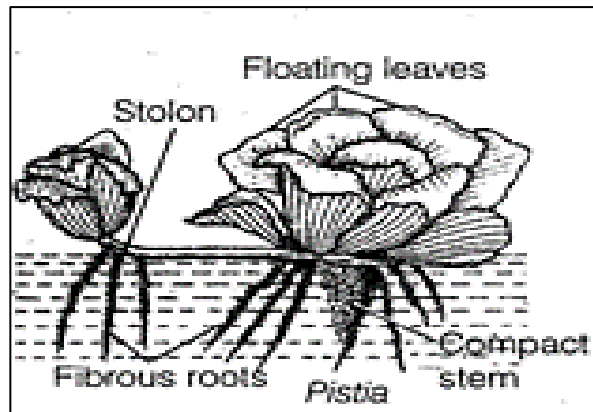



Figura 11. Morfología de la macrófita flotante *Pistia stratiotes* (StudyAdda, n.d.)

Taxonomía

Tabla 22. Ficha taxonómica de la Lechuga de agua (*Pistia stratiotes*) (EcuRed, 2019a)

Nombre común	Lechuga de agua
Nombre científico	<i>Pistia stratiotes</i>
Imagen	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Alismatales
Familia	Araceae
Subfamilia	Aroideae
Genero	<i>Pistia</i>
Especie	<i>P. stratiotes</i>

Hábitat y distribución geográfica

De acuerdo Kahn et al. (1993) la lechuga de agua habita en ambientes acuáticos de la costa y selva amazónica peruana, a altitudes por debajo de los 1000 metros sobre el nivel de

mar (m.s.n.m.). Actualmente se encuentra presente en todas las regiones tropicales y subtropicales del mundo (Cupe & Portocarrero, 2009)

Reproducción

La lechuga de agua se reproduce sexual y asexualmente. En su reproducción sexual las plantas arrojan las semillas en el fondo del cuerpo de agua y en un periodo de diez (10) a doce (12) días las plantas nuevas suben a la superficie (Cupe & Portocarrero, 2009); en la reproducción asexual la planta se propaga rápidamente a través de los estolones subacuáticos. Cuenta con una temperatura óptima de crecimiento de 22 a 30 °C y 15 °C de temperatura mínima (Gamboa, 2017)

Condiciones de cultivo y crecimiento

De acuerdo a Cupe y Portocarrero (2009) para el cultivo y crecimiento de la lechuga de agua, hay que tener en cuenta las siguientes situaciones: su temperatura mínima de crecimiento es de 15 °C siendo su temperatura óptima de 22 a 30 °C, cuerpos de agua que mantengan un pH entre 5.5 - 7.5, requiere estar expuesta a luz solar o semisombra al aire libre y contar con profundidades mínimas de al menos veinte (20) centímetros.

Planta macrófitas acuática flotante: *limnobium laevigatum* (lentejón de agua)

Descripción

Es una especie acuática que puede vivir enraizada en zonas inundadas poco profundas de humedales, pero cuando el nivel de inundación es elevado, la planta desarrolla hojas esponjosas que le permiten flotar sobre la superficie del agua, pero si vive enraizada sus hojas dejan de ser esponjosas y crecen con largos pecíolos. Puede ser muy prolífica en aguas contaminadas. Presenta un alto potencial reproductivo y puede llegar a beneficiarse actividades como la navegación o el propio mantenimiento de los cuerpos de agua cuando se intenta remover (SiB Colombia, s.f.).

Morfología

Las hojas de *Limnobium laevigatum* son subcirculares, flotantes, glabras y brillantes por el arriba, con una gruesa capa de tejido esponjoso lleno de aire (aerénquima) en el envés (superficie inferior), base redondeada o superficialmente cordada. La principal característica de la planta juvenil es la presencia de tejido de aerénquima esponjoso en la superficie inferior de la hoja (Carhuaricra, 2019). las plantas maduras pueden crecer hasta 60 cm de longitud y tienen hojas emergentes que nacen en pecíolos que no están hinchados o inflados como los pecíolos esponjosos del jacinto de agua; este crecimiento tiende a acelerarse cuando el espacio disponible está tupida de ellas, es decir, apretadas unas de otras.

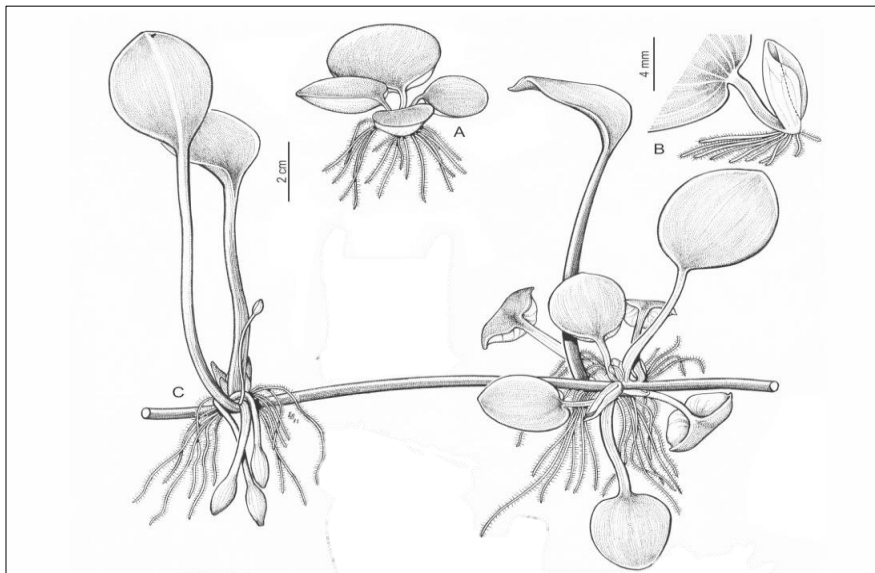


Figura 12. Morfología de la macrófita flotante *Limnobium laevigatum* (IBODA, n.d.)

Taxonomía

Tabla 23. Ficha taxonómica del Lentejón de agua (*Limnobium laevigatum*) (SiB Colombia, n.d.)

Nombre común	Lentejón de agua
Nombre científico	<i>Limnobium laevigatum</i>

Imagen



Reino	Plantae
División	Angiospermae
Clase	Monocotyledoneae
Orden	Alismatales
Familia	Hydrocharitaceae
Subfamilia	-
Genero	<i>Limnobium</i>
Especie	<i>L. laevigatum</i>

Hábitat y distribución geográfica

El *Limnobium laevigatum* proviene de hábitats de agua dulce de regiones tropicales y subtropicales del continente americano; en el Perú se ha registrado su presencia en ambientes lacustres y ribereños de las regiones de Lima, Ucayali y Loreto (Carhuaricra, 2019). El rango altitudinal de esta especie se encuentra entre 0 - 2000 metros de altitud (Kahn et al., 1993).

Reproducción

Esta especie posee dos tipos de reproducción: la reproducción sexual a través de la producción de flores y semillas y la reproducción vegetativa por medio de la producción de nuevos vástagos que forman parte de una misma planta madre hasta la separación (Aponte y Pachares, 2013) citado (*SiB Colombia*, n.d.). Así pues, esta especie puede rápidamente formar densos parches en el espejo de agua de ecosistemas lenticos, llegándolos a cubrir completamente. En 1993, Kahn, León y Young ya mencionaban que esta especie podría constituir una plaga para la navegación fluvial.

Condiciones de cultivo y crecimiento

Esta especie se desarrolla con gran facilidad en ambientes lenticos soportando,

también favorecidos por, altos grados de eutrofización y de materia orgánica; no requiere de radiación solar intensa para prosperar adecuadamente (Boettcher, 2007). Se mantiene en perfectas condiciones entre 12 °C y 26 °C; puede tolerar un amplio rango de entre 6.0 y 9.0 de la escala de pH.

Planta macrófitas acuática flotante: *spirodela polyrhiza* (lenteja de agua)

Descripción

La *Spirodela polyrhiza* es una pequeña planta acuática de libre flotación, es comúnmente llamada como lenteja de agua, y es la más grande (lenteja acuática) dentro de la familia Lemnáceae (Luévano, 2016). Es muy común encontrarla junto y/o entre plantas macrófitas de mayor tamaño como: jacintos o lechugas de agua. En condiciones favorables crecen rápidamente formando densos y extensos mantos sobre el espejo de agua de lagos y lagunas (aguas lenticas); por otro lado, es continuamente estudiada, evaluada y usada como suplemento alimenticio para peces, aves de corral, ganado, cerdos, etc. (Zetina et al., 2009)

Morfología

La *Spirodela polyrhiza* es una especie acuática monocotiledónea; no tienen tallo ni hoja verdadera, en cambio, presentan frondas planas de forma ovoide a casi redondeadas, estas poseen una coloración verde clara brillante (vista superior) y por su envés presenta un tono rojo violáceo. Una fronda es la fusión de hojas y tallos, y representa la máxima reducción de una planta vascular (o superior). Crecen comúnmente en colonias de 4 a 5 frondas unidas y cada una presenta de 2 a 6 raíces; el tamaño de cada fronda varía entre 4 - 12 mm de longitud y de 4 - 6 mm de ancho; su crecimiento y propagación está directamente relacionada a la (alta o baja) disponibilidad de nutrientes (Zetina et al., 2009) (Luévano, 2016)

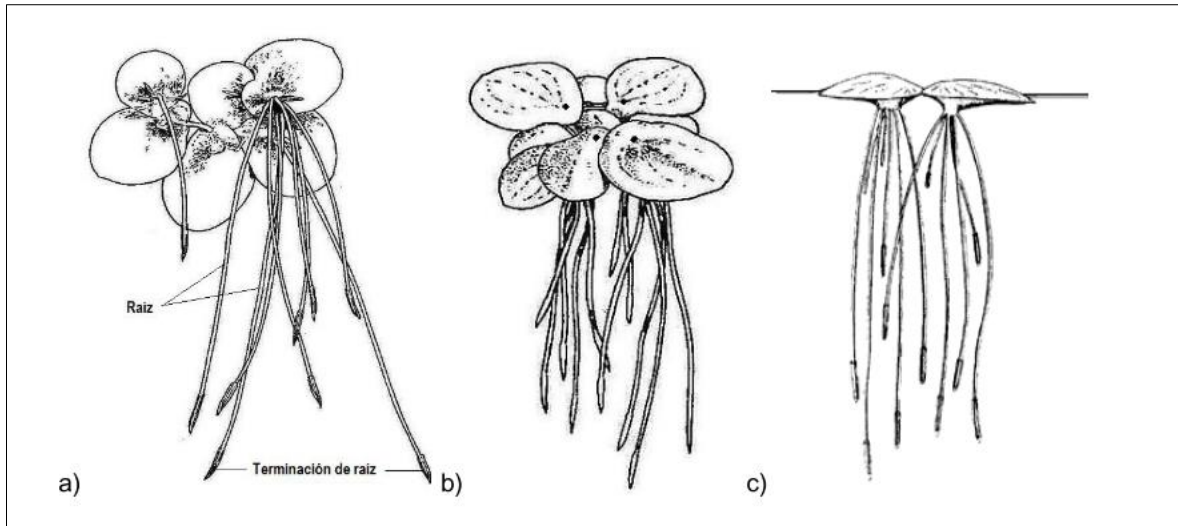


Figura 13. Morfología de la macrófitas flotante *Spirodela polyrhiza*; a) vista inferior, b) vista superior, c) vista lateral). (Luévano, 2016)

Taxonomía

Tabla 24. Ficha taxonómica de la Lenteja de agua (*Spirodela polyrhiza*) (EcuRed, 2019)

Nombre común	Lenteja de agua
Nombre científico	<i>Spirodela polyrhiza</i>
Imagen	
Reino	Plantae
División	Tracheophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Alismatales
Familia	Lemnoideae
Subfamilia	-
Genero	<i>Spirodela</i>
Especie	<i>S. polyrhiza</i>

Hábitat y distribución geográfica

De acuerdo a Cirujano et al. (2014) la *Spirodela polyrhiza* necesita de aguas estancadas ricas en nutrientes para desarrollarse óptimamente. Es una especie de distribución cosmopolita, se encuentra especialmente en regiones con climas tropicales cálidos o templados con veranos cálidos. En Perú, según estudios de Landolt (1986) es conocida solo en Lima, y con probable presencia en las regiones amazónicas (Kahn et al., 1993).

Reproducción

Al igual que otras lentejas acuáticas, de la familia Araceae, la *Spirodela polyrhiza* posee la capacidad de reproducirse sexual y asexualmente: la reproducción sexual es un acontecimiento escaso pues depende de la frecuencia de floración, la cual es muy rara, y depende de incrementos inusuales de temperatura durante el estío; por su parte la reproducción asexual o vegetativa ocurre por gemación de la misma planta madre que al crecer y desarrollarse origina una planta nueva (genéticamente idéntica) que se separa una vez madura; este tipo de reproducción representa la forma más común de su propagación (Luévano Vargas, 2016)

Condiciones de cultivo y crecimiento

La especie se propaga con gran facilidad en sistemas de aguas estancadas ricas en nutrientes, con altos niveles de fosforo, nitrógeno y materia orgánica; se desarrolla óptimamente en un rango de temperatura de 18 a 25 °C, temperaturas más elevadas ocasionan estrés y da os en las colonias de lentejas, por su parte, bajo condiciones de frio extremo su crecimiento se limita (Luévano, 2016). El rango típico de pH que favorece su crecimiento es de 4.5 – 7.5, pero llegando a tolerar ambientes con un pH mínimo de 3.7 hasta un máximo de 10.0 (Zetina et al., 2009).

Planta macrófitas acuática flotante: lenteja de agua (*lemna minor*)

Descripción

La lenteja de agua pertenece a las plantas del género Lemna, comúnmente llamadas "lentejitas" por su forma discoide (semejante a un disco), poseen pequeñas frondas que raramente alcanzan los cinco (5) milímetros de longitud. Posee un cuerpo vegetativo con forma de taloide, es decir, en la que no se diferencian el tallo y las hojas (Gomez, 2013). De acuerdo a Martelo y Lara (2012) la lenteja de agua posee además un gran potencial como

recurso económico, pues posee una alta digestibilidad tan buena o mejor que el pasto para nutrición de animales; por su tamaño y naturaleza flotante es fácil de cosechar, lo que se traduce en bajos costos.

Morfología

Según Arroyave (2004) la lenteja de agua (*Lemna minor*) es una angiosperma (planta con flor), monocotiledónea y perteneciente a la familia Aráceae, antes Lemnáceae; su estructura vegetativa se asemeja a una forma taloide, es decir, en la que el tallo y las hojas son indistinguibles. Raven et al. (1971) señala que “es una de las especies de angiospermas más pequeñas que existen en el reino de las plantas” (Arroyave, 2004, p. 34), pues su tamaño reducido puede alcanzar de 2 a 4 mm de longitud y 2 mm de ancho. En la siguiente figura se ilustran sus características morfológicas.

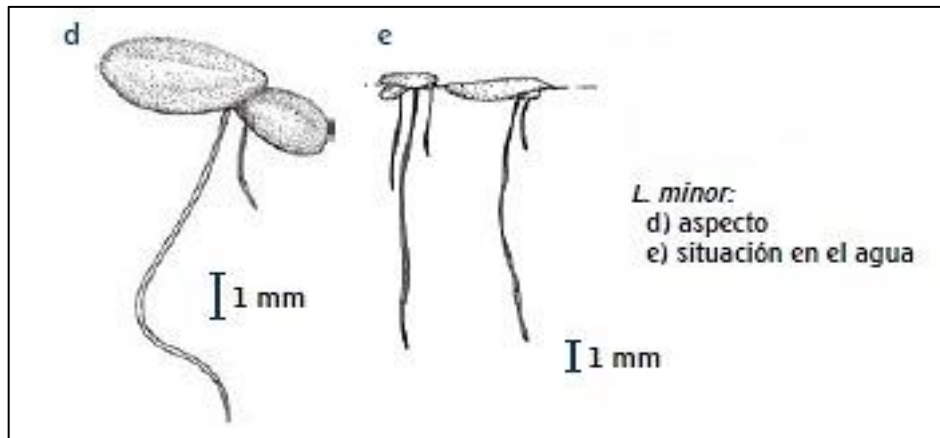



Figura 14. Morfología de la macrófitas flotante *Lemna minor* (Chirinos, n.d.)

Taxonomía

Tabla 25. Ficha taxonómica de la Lenteja de agua (*Lemna minor*) (EcuRed, 2019)

Nombre común	Lenteja de agua
Nombre científico	<i>Lemna minor</i>
Imagen	

Reino	Plantae
División	Fanerógama Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Alismatales
Familia	Araceae
Subfamilia	Lemnoideae
Genero	<i>Lemna</i>
Especie	<i>L. minor</i>

Hábitat y distribución geográfica

De acuerdo a Cupe y Portocarrero (2009) la lenteja de agua se encuentra en hábitats acuáticos de superficies tranquilas con poco movimiento; según Amstrong (2003) citado Arroyave (2004) se encuentra principalmente en charcos de agua dulce, ciénagas, lagos y ríos calmados. En la actualidad es una planta cosmopolita, de amplia distribución tropical y subtropical.

Reproducción

La lenteja de agua cuenta con reproducción asexual por gemación, en sus bordes basales se desarrolla una yema peque a que origina una nueva planta, que luego se separa de la planta progenitora (Arroyave, 2004). Asimismo, al ser una angiosperma posee reproducción sexual (a través de semillas). Esta planta macrófita flotante ostenta además, una de las tasas de crecimiento más altas del mundo (Jaramillo & Flores, 2012)

Condiciones de cultivo y crecimiento

Arroyave (2004) considera varias características para el cultivo y crecimiento de la lenteja de agua: la planta puede desarrollarse en un amplio rango de temperatura, que varían entre 5 – 30 °C, teniendo una temperatura optima de crecimiento entre los 15 – 18 °C; puede tolerar también un amplio rango de pH, siendo el óptimo entre 4.5 – 7.5. Se adapta bien a todas las condiciones de luz y crece mejor en presencia de altos niveles de nitrógeno y fosfatos.

2.5. Marco legal

Constitución Política del Perú

La Constitución Política Del Perú de 1993 otorga en el Título III (del régimen

económico) Capítulo II, el apartado Del Ambiente y los Recursos Naturales, dentro de ella el artículo 67° menciona que “el Estado determina la política nacional del ambiente. Promueve el uso sostenible de sus recursos naturales” (p.21), es decir, la defensa de nuestra ecología y biodiversidad debe ser una consigna nacional que implique acciones y medidas por parte de los tres poderes del Estado: Ejecutivo, Legislativo y Judicial.

Ley General del Ambiente

La Ley N° 28611- Ley General Del Ambiente (2005), tiene por objeto establecer los principios y normas básicas para asegurar el ejercicio efectivo del derecho a un ambiente sano, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, así como el cumplimiento del deber de contribuir a la gestión ambiental efectiva y proteger el ambiente, así como sus componentes, con el fin de mejorar la calidad de vida de la población y lograr el desarrollo sostenible del país.

Los artículos 120 y 121 del Capítulo 3 (Calidad Ambiental) se centran en la protección de la calidad del agua, promoviendo el tratamiento de las aguas residuales para su reutilización, y regulando el vertido de aguas residuales en función de la capacidad de carga de los cuerpos receptores, siempre que dicho vertido no cause el deterioro de su calidad, y en base al cumplimiento de las directrices establecidas en los estándares de calidad ambiental correspondientes.

Autoridad Nacional del Agua

La Autoridad Nacional del Agua (ANA) se creó en el 2008 por Decreto Legislativo N° 997, en el marco de la gestión integrada de los recursos naturales. La ANA administra, conserva, protege y promueve el uso sostenible y responsable del agua en las cuencas hidrográficas del país. Según la Ley de Recursos Hídricos, la ANA es el ente rector y máxima autoridad técnico-normativa del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos (SNGRH).

Ley de Recursos Hídricos

A través de la Ley N° 29338 “Ley de Recursos Hídricos” publicada en 2009, el Estado busca regular el uso y la gestión de los recursos hídricos; comprende principalmente los cuerpos de agua superficiales, subterráneos y continentales, y se extiende también a los cuerpos de agua marítimos y atmosféricos según resulte aplicable. En ella también se crea

el Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos (SNGRH).

En los capítulos VI y VII del Título V (Protección del agua) se resalta el vertimiento de aguas residuales tratadas y el reúso de aguas residuales tratadas respectivamente. En el artículo 133 (parte del capítulo VI) se establece condiciones para la autorización de vertimiento de aguas residuales tratadas; la Autoridad Nacional del Agua (ANA) podrá autorizar el vertimiento de aguas residuales únicamente cuando:

- Las aguas residuales sean sometidas a un tratamiento previo, que permitan el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles – LMP
- No se transgredan los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, ECA - Agua en el cuerpo receptor, según las disposiciones que dicte el Ministerio del Ambiente para su implementación.
- Las condiciones del cuerpo receptor permitan los procesos naturales de purificación.
- No se cause perjuicio a otro uso en cantidad o calidad del agua.
- No se afecte la conservación del ambiente acuático.
- Se cuente con el instrumento ambiental aprobado por la autoridad ambiental sectorial competente.
- Su lanzamiento submarino o subacuático, con tratamiento previo, no cause perjuicio al ecosistema y otras actividades lacustres, fluviales o marino costeras, según corresponda.

Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales

Mediante el (Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, se decretó la aprobación de los Límites Máximos Permisibles (LMP) para los Efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR), cuyo cumplimiento es exigible legalmente por el MINAM y organismos que conforman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental

Para la presente normativa el Límite Máximo Permisible (LMP) “es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente” (p. 1).

Los titulares de las PTAR están obligados a realizar el monitoreo de sus efluentes, de

conformidad con el programa de monitoreo aprobado por el MVCS. Asimismo, están obligados a reportar periódicamente de los resultados del monitoreo de los parámetros regulados, que se encuentran en el anexo de la norma.

Tabla 26. Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de PTAR (2010)

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	Unidad	6.5 - 8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

Estándares de Calidad Ambiental para agua

Mediante el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, se decretó la aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, en ella se considera cuatro (4) categorías y once (11) subcategorías de cuerpos de agua:

Tabla 27. Categorías y subcategorías de los ECA para Agua (2017)

CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA
1 Poblacional y recreacional	A Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable, (A1) (A2) (A3).
	B Aguas superficiales destinada para recreación, (B1) (B2).
2 Extracción, cultivo y otras actividades	C1 Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras

marino costeras y continentales	C2	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras
	C3	Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras
	C4	Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas
3 Riego de vegetales y bebida de animales	D1	Riego de vegetales (Agua para riego no restringido) (Agua para riego restringido)
	D2	Bebida de animales
4 Conservación del ambiente acuático	E1	Lagunas y Lagos
	E2	Ríos (Ríos de la costa y sierra) (Ríos de la selva)
	E3	Ecosistemas costeros y marinos (Estuarios) (Marinos)

Para fines del presente proyecto de investigación, se considera como referencia (del análisis de los tratamientos) los valores de los parámetros físico-químicos y microbiológicos regulados en las subcategorías D1 (riego de vegetales), D2 (bebida de animales) y E1 (conservación de lagunas y lagos) de la tercera y cuarta categoría respectivamente.

Tabla 28. Valores de los parámetros para el riego de vegetales y bebida de animales (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM)

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40
Solidos Suspendidos Totales	mg/L	-
Oxígeno disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4
Potencial de Hidrogeno (pH)	Unidad de pH	6.5 – 8.5

Conductividad	μS/cm	2500
Nitritos	mg/L	10
Aceites y Grasas	mg/L	5
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1000

Tabla 29. Valores de los parámetros para la conservación del ambiente acuático de lagunas y lagos (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM)

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	5
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	-
Solidos Suspendidos Totales	mg/L	≤ 25
Oxígeno disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5
Potencial de Hidrogeno (pH)	Unidad de pH	6.5 – 9.0
Conductividad	μS/cm	1000
Nitritos	mg/L	-
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5.0
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1000

El Decreto Supremo precisa que “para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, sólo aplican los parámetros microbiológicos y parasitólogos del tipo de riego no restringido” (p. 8); en cuanto a lagunas y lagos indica explícitamente referirse a “cuerpos naturales de agua lénticos, que no presentan corriente continua, incluyendo humedales” (p. 2).

CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

El proyecto se realizó en las cercanías de la zona de la laguna de la mansión de la Universidad Peruana Unión (UPeU), ubicada en el valle del río Rímac en el kilómetro 19,5 de la carretera central, distrito de Lurigancho-Chosica, provincia de Lima, departamento de Lima, Perú.

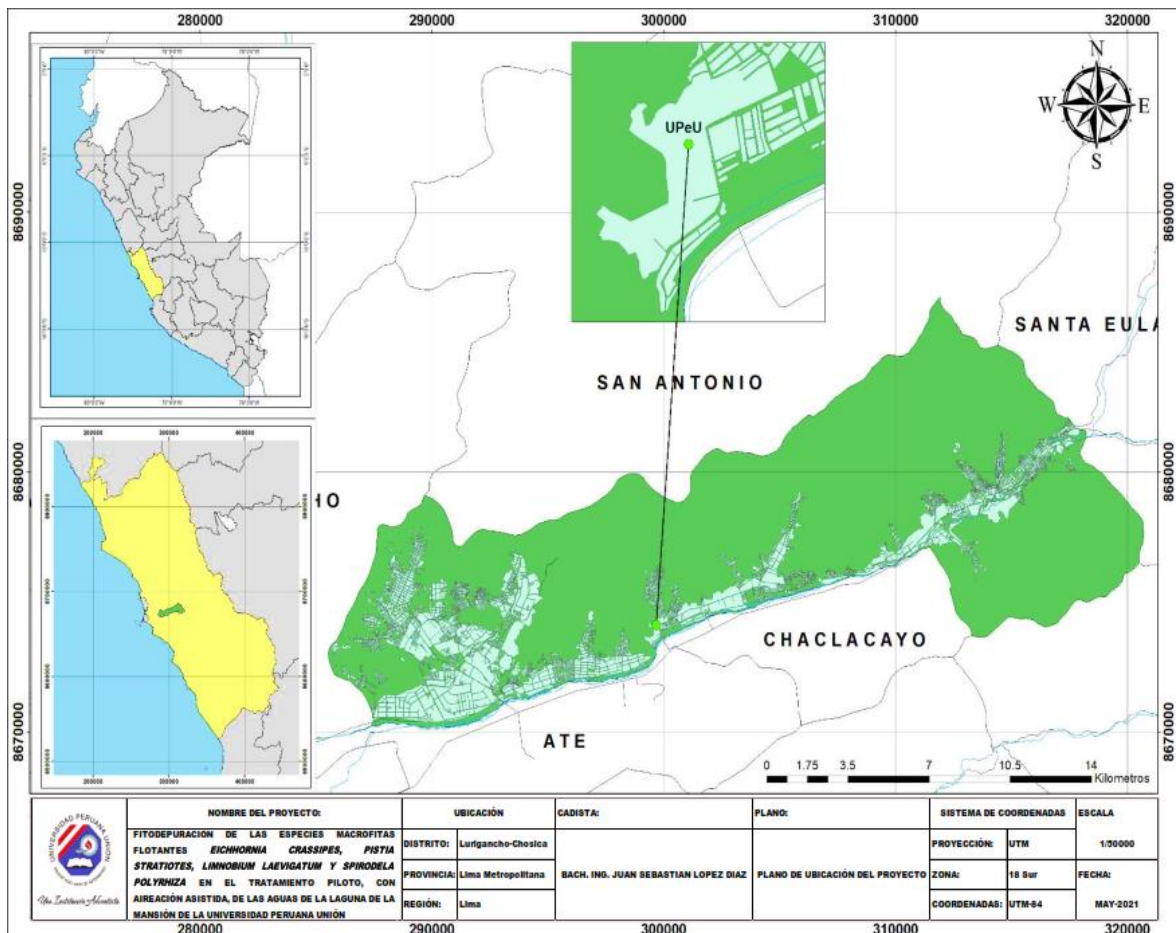


Figura 15. Plano de ubicación de la Universidad Peruana Unión



Figura 16. Plano de ubicación del proyecto, al interior de la UPeU (SENAMHI, 2020)

3.2. Materiales y equipos

Materia prima

De acuerdo a la indagación de la revisión de la literatura, las aguas residuales, en particular las domésticas, pueden definirse como una combinación de los residuos líquidos transportados por el agua expulsada de las viviendas junto con las aguas subterráneas, superficiales (fluviales) y/o pluviales que pudieran estar presentes (Tchobanoglous, Burton y Stensel, 2003).

Entonces, para los fines prácticos del presente proyecto de investigación, el caudal de agua del canal de alimentación de la laguna de la mansión de la UPeU, y esta última en su

defecto, se podrán considerar y referenciar como “aguas residuales de uso doméstico” ya que por su elevado grado de contaminación se asemejan más a aguas de esta naturaleza.



Figura 17. Imagen satelital de la laguna de la zona de la mansión (Google Maps, 2021)



Figura 18. Vista panorámica de la laguna de la mansión de la UPeU (Cruz et al., 2016)

3.2.2. Materiales, equipos y herramientas

Tabla 30. Materiales, equipos, y herramientas empleadas en el desarrollo del proyecto.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
1. MATERIALES EMPLEADOS EN EL DIAGNOSTICO DE CAMPO			
1.1.	Tablero de apuntes	Unidad	02

1.2.	Lapiceros	Unidad	10
1.3.	Hojas bond	Millar	02

2. MATERIALES EMPLEADOS EN LOS TRABAJOS DE CAMPO

2.1.	Listones de madera	Unidad	10
2.2.	Troncos secos de bambú	Unidad	10
2.3.	Pallets de madera	Unidad	15
2.4.	Pala	Unidad	02
2.5.	Carretilla	Unidad	02
2.6.	Alambre de construcción	KG	05
2.7.	Plástico azul	M2	48
2.8.	Malla Raschel	M2	150
2.9.	Soportes metálicos	Unidad	02
2.10.	Tachos plásticos (150 L)	Unidad	05
2.11.	Baldes plásticos (1 GAL)	Unidad	02
2.12.	Estanques plásticos (<i>Caja Megaforte #160</i>)	Unidad	06
2.13.	Bombas de aireación	Unidad	06
2.14.	Pilas recargables tipo <i>D</i>	Unidad	12
2.15.	Tubo de PVC 1" (9M)	Unidad	02
2.16.	Llaves de paso de PVC 1" (válvulas de bola)	Unidad	07
2.17.	Ca os plásticos simples	Unidad	06
2.18.	Codos de PVC 1"	Unidad	03
2.19.	Pegamento azul para PVC	Unidad	02
2.20.	Cinta teflón	Unidad	02
2.21.	Cinta de embalaje transparente	Unidad	02
2.22.	Guantes de hilo con puntos de PVC	Par	12
2.23.	Cajas de cartón corrugado	Unidad	20
2.24.	Guardapolvo	Unidad	02
2.25.	Mascarillas quirúrgicas de 3 pliegues	Caja	04
2.26.	Cinta métrica (Wincha)	Unidad	01

3. ESPECIES MACROFITAS EMPLEADAS EN LA FASE DE ADAPTACIÓN

3.1.	Eichhornia crassipes	Unidad	50
------	----------------------	--------	----

3.2.	Pistia stratiotes	Unidad	50
3.3.	Limnobium laevigatum	Unidad	100
3.4.	Spirodela polyrhiza	GR	350
3.5.	Lemna minor	GR	250
4. EQUIPOS EMPLEADOS EN LOS ANÁLISIS DE CAMPO			
4.1.	Turbidímetro Hach	Unidad	02
4.2.	Multiparámetro Hach	Unidad	02
4.3.	GPS Garmin	Unidad	02
5. EQUIPOS EMPLEADOS EN LOS TRABAJOS DE GABINETE			
5.1.	Laptop core i5	Unidad	02
5.2.	Calculadora científica	Unidad	02
5.3.	Memoria USB de 32 GB	Unidad	02
5.4.	Teléfono inteligente (<i>Smartphone</i>)	Unidad	02
6. SOFTWARES EMPLEADOS EN LOS TRABAJOS DE GABINETE			
6.1.	Microsoft Office 2013	Paquete	02
6.2.	ArcMap 10.5	Unidad	02
6.3.	Mendeley Desktop	Unidad	02
6.4.	AutoCAD 2019	Unidad	02

3.3. Metodología de investigación

El proyecto de investigación se desarrolló principalmente en tres (3) etapas generales.



Figura 19. Procedimiento de desarrollo del proyecto de investigación

A continuación, se detalla cada paso del procedimiento experimental, cuyo objetivo fue evaluar la eficiencia de fitodepuración con cuatro especies de macrófitas flotantes mediante un sistema de aireación a escala piloto de la laguna “mansión” de la Universidad Peruana Unión.

Antes de empezar la descripción cada una de las etapas, es importante indicar que el proyecto se desarrolló en el contexto de la pandemia por la COVID-19, enfermedad que azota nuestro país desde inicios de marzo del año 2020.

Fase pre-operacional

Evaluación y diagnóstico preliminar de la zona y objeto de estudio

En primer lugar, tal como se planeó, el proyecto se llevaría a cabo al interior de la Universidad Peruana Unión en las cercanías de la zona de la laguna de la mansión; debido a la pandemia el ingreso a la UPeU quedó restringida para alumnos en general. Para poder acceder, como tesistas, solicitamos un permiso al Gerente de Servicios de la universidad, el sr. Rufo Atamari Charca, quien nos solicitó: (1) una carta de presentación de parte de la directora de la escuela profesional de ingeniería ambiental (y nuestra asesora) la Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga, y (2) una carta de compromiso en la que nos comprometíamos primordialmente al cumplimiento irrestricto de los protocolos y lineamientos de la universidad frente a la prevención y control de la COVID-19, además se estableció los días de ingreso, el horario de las mismas, y la restricción de ingresar en compañía de terceras personas ajenas al desarrollo de la tesis.

Obtenido nuestro ingreso y según lo coordinado con el sr. Rufo Atamari, conversamos con la sra. Vilma Quispe, jefa de las áreas de ornato y limpieza, con quien coordinamos la designación de un área cercana a la laguna de la mansión, para la ejecución del proyecto. Se nos asignó un espacio de aproximadamente sesenta (63) metros cuadrados, a una distancia de treinta (30) metros frontales del centro de acopio de residuos sólidos de la universidad, y a unos a unos doscientos (200) metros de la laguna de la mansión. Por un tema de guardar la estética de la zona de la mansión no se pudo contar con un espacio más cercano a ésta; considerando también que en esta zona descampada de la universidad ya se habían realizados varios proyectos de investigación de la escuela profesional de ingeniería ambiental.



Figura 20. Vista satelital del área de trabajo y espacios circundantes (Google Maps, 2021)

Obtenido el área de trabajo, procedimos con el diagnóstico situacional in situ de la zona y objeto de estudio, es decir, de la zona de la mansión y de la laguna respectivamente. Para esta actividad se contó con el apoyo de los señores Augusto Rodríguez y Job Mayta, trabajadores del área de ornato, quienes nos brindaron información respecto al funcionamiento, mantenimiento y propósito de la laguna de la mansión, como también de los impases que presenta. Mediante este diagnóstico preliminar en campo se logró recopilar (datos), verificar y observar entre otras cosas:

- El estado manifiesto (a simple vista) de la laguna de la mansión, y de su canal de alimentación al interior de la universidad.
- Las zonas de captación aguas arriba, localizados entre los kilómetros 28 (puente Los Ángeles) y 23.5 (puente Morón) de la carretera central.
- La presencia (aunque escasa) de especies piscícolas como la tilapia.
- La presencia de diversas especies de aves silvestres, y reptiles como iguanas y lagartijas.
- La habitual caída de heces de aves (situadas en la copa de los árboles) sobre las aguas de la laguna.
- La frecuencia de ingreso de las aguas fluviales a la laguna de la mansión, según los trabajadores, una vez a semana los días miércoles.
- El sistema de rebase de las aguas de la laguna, y su distribución a través de la apertura de compuertas.

- El sistema de bombeo de las aguas de la laguna, con dirección a la zona de Las Tunas para el posterior riego de las áreas verdes de casi toda la universidad.
- La presencia de residuos sólidos urbanos en la laguna arrastrados por caudal de agua; según la información brindada se colocaron rejillas de desbaste, sin embargo, debido a la gran cantidad de basura arrastrada se obstruía haciendo que el agua rebasara el canal, requiriendo por defecto de constante limpieza.
- El arrastre ocasional de residuos líquidos provenientes de la crianza de porcinos.
- La limpieza de todo el tramo del canal de alimentación cada dos meses; desde el límite con La Era, en la zona del cultivo de lúcumos, hasta la laguna.

Esta evaluación preliminar permitió primordialmente verificar el estado de la laguna e identificar los factores que influyen en su contaminación; por otro lado, evaluamos que la ejecución de nuestra investigación (a escala piloto) no genere inconvenientes para los habitantes de la zona ni para los trabajadores del área de ornato; e incluso a escala real pues en un principio se planteó esta idea desestimada bajo el visto bueno del gerente de servicios y el de nuestra asesora.



Figura 21. Diagnostico preliminar in situ: retiro manual de residuos sólidos urbanos

Recolectada toda la información y evidencias fotográficas pertinentes, concluimos esta primera fase de la investigación; estas visitas preliminares a campo nos permitieron esencialmente identificar todos los factores externos que podrían haber entorpecido el normal desarrollo de la investigación.

Etapa de diseño y configuración del sistema a escala piloto (implementación del vivero de trabajo)

Esta etapa consistió en primer lugar en el acondicionamiento del área de trabajo asignada. Delimitamos la superficie a emplear, se quitó toda la vegetación (maleza) y basura (botellas plásticas, cartones, etc.) presente en el área; Las dimensiones fueron aproximadamente de: nueve (9) metros de largo por siete (7) metros de ancho haciendo un total de sesenta y tres (63) metros cuadrados de superficie.

Como siguiente paso, debido a la necesidad de resguardar los componentes trazados del proyecto (estanques plásticos, tanque de agua, etc.) se incrustaron listones de madera a modo de cerco, y se complementó todo el perímetro empleando troncos secos de bambú, pallets de madera y barandas de metal, todo ello material en desuso abandonado en esta zona descampada.



Figura 22. Estado inicial del área de ejecución del proyecto.

Hecho esto, se dispuso a enmallar toda el área con mallas raschel a modo de vivero casero, con el fin de proteger y garantizar el apropiado desarrollo del proyecto. Es menester

aclarar que en esta zona descampada de la universidad hay: (1) constantes vientos que levantan bastante polvo, (2) continuo tránsito de vehículos y personas debido a la existencia de una zona de aparcamiento (a cien metros) y otra de acopio de residuos sólidos (a 30 metros) de productos unión circundantes al área del proyecto, y (3) la presencia de niños y animales domésticos (gatos, perros y caballos).



Figura 23. Estado final del vivero de ejecución del proyecto.

Tanto el cercado perimétrico como el enmallado del área a intervenir, fue fijada con el uso de alambre de acero. Como se observa, este enmallado constó también de la colocación de un techo de malla raschel. Las mallas raschel negra y azul empleadas fueron de 50% y 80% de sombra respectivamente; estas mallas fueron reutilizadas pues se encontraban en desuso dejadas en los alrededores de las instalaciones del área de ornato (contigua a la zona de cultivos de lúcumos), área a la cual se solicitó el permiso para su uso. En cuanto al suelo del vivero se colocó también malla raschel a modo de piso.

Etapas de construcción y ajuste del sistema a escala piloto (implementación del estanque de adaptación de macrófitas)

Siguiendo en lo que respecta a esta fase; efectuamos la implementación de un estanque

para la adaptación de las especies (plantas) macrófitas flotantes a emplear en el proyecto. Ésta se realizó con soportes de fierro sujetas unas a otras con alambre de acero, y sobre este armazón se colocaron cajas de cartón corrugado extendidas a modo de paredes del estanque. Finalmente, sobre todo esto se colocó una doble cubierta plástica, impermeabilizándolo para su funcional uso.



Figura 24. Estado inicial y final del estanque de adaptación de macrófitas.

Las dimensiones del estanque de adaptación fueron aproximadamente de: tres (3) metros de largo por dos (2) metros de ancho por sesenta (60) centímetros de altura total; el volumen de agua empleada en la adaptación de las macrófitas fue, en base a una altura útil de treinta y cinco (35) centímetros, alrededor de dos (2) metros cúbicos o sea dos mil (2000) litros.

Es importante aclarar que, si bien pudo utilizar la laguna de la mansión para la adaptación de las especies macrófitas, se desistió de esta idea, por la alta proliferación documentada de las macrófitas flotantes seleccionadas, una eventual propagación masiva de éstas se podía volver, para nosotros dos, inviable de controlar. Por otro lado, sin embargo, nuestra principal consideración fue la de evitar en lo posible la alteración del estado de la calidad original de las aguas de la laguna, siendo ésta pues el objeto de interés de nuestro estudio.

El estanque se llenó con las aguas de la laguna de la mansión, trasladadas en contenedores (tachos) plásticos y acarreadas hasta el vivero con ayuda de la furgoneta del área de limpieza solicitada al gerente de servicios, coordinada con la jefa del área y conducida por el sr. Pedro Ceballos. Las aguas se captaron de una de las válvulas hidrantes de acople rápido usadas para el riego de las áreas verdes de la zona de la mansión.



Figura 25. Acarreo de las aguas de la laguna de la mansión.

Concerniente a la obtención a las especies macrófitas flotantes planteadas para el desarrollo de la investigación, desde un principio se había planteado recolectarlas del refugio de vida silvestre Los Pantanos de Villa, sin embargo, esa posibilidad no prosperó a pesar de haber obtenido la Carta de Consentimiento de Ingreso suscrita por el jefe de la Oficina de Investigación Científica y Desarrollo de Proyectos de la Autoridad Municipal de Los Pantanos de Villa – PROHVILLA.

Informando lo acontecido a nuestra asesora, se nos sugirió buscar dichas especies macrófitas en algún mercado de flores. Así pues, efectivamente se encontró las especies macrófitas en el mercado de flores de Acho. Se coordinó con el mercader y unas semanas después se adquirió las especies macrófitas: *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua), *Pistia stratiotes* (lechuga de agua), *Limnobium laevigatum* (lentejón de agua), *Spirodela polyrhiza* (lenteja de agua) y *Lemna minor* (lentejita de agua); y finalmente las trasladamos hasta el

vivero de trabajo al interior de la UPeU.

Fase operacional

Fase de adaptación de macrófitas

Inicialmente las cinco (5) especies macrófitas fueron distribuidas en todo el espejo de agua del estanque de adaptación, sin embargo, días después se optó por colocar a las lentejas de agua *Spirodela polyrhiza* y *Lemna minor* en estanques plásticos individuales (que más adelante utilizamos en los tratamientos) para tener un mejor control y seguimiento de estas diminutas plantas. El tiempo que se optó para la adaptación y aclimatación de nuestras especies macrófitas flotantes fue de treinta (30) días.



Figura 26. Colocación de las especies macrófitas en el estanque de adaptación.

Durante los primeros quince (15) días de la adaptación de las especies macrófitas se pudo observar el crecimiento longitudinal y diametral de las especies *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes* y *Limnobium laevigatum*. Asimismo, se observó la proliferación de las especies, es decir, se presenció el aumento del número de individuos debido a la característica reproducción vegetativa (o asexual) que estas plantas presentan. Tal es el caso, por ejemplo, de las lentejas de agua *Spirodela polyrhiza* y *Lemna minor* que en un principio no cubrían el espejo de agua del par de estanques plásticos individuales en el que se

encontraban cada especie, a llegar cubrir totalmente el espejo de agua de tres estanques en dos tercios del tiempo total de adaptación.

Adicional a ello, se pudo apreciar también el caso particular de la especie *Eichhornia crassipes* (conocida como jacinto de agua) que presento una floración muy vistosa de matiz tenuemente purpura; quizá, podríamos considerar a esto como prueba o indicador contundente de una prospera fase de adaptación.



Figura 27. Estado de las especies macrófitas en el estanque de adaptación a los 15 días

Es menester resaltar que, la reproducción vegetativa de estas especies es una característica destinada a prosperar en la laguna de la mansión puesto que sus aguas se encuentran en un constante estado de eutrofización (incremento de nutrientes); estado ocasionado principalmente por las aguas contaminadas que ingresan periódicamente, pero en el que contribuyen también el singular número de especies de aves que han encontrado en la laguna de la mansión su hábitat de refugio (Florez-Gómez et al., 2018).



Figura 28. Estado de las especies macrófitas en los estanques de adaptación a los 20 días.

Esta fase fue importante, pues una buena adaptación y aclimatación nos aseguraba el normal desempeño del propósito de las especies macrófitas flotantes durante la fase de experimentación, en cambio, lo contrario nos hubiera indicado que las especies no cumplirían su función, que no podían ser empleadas en la experimentación, significando pues el estancamiento de la investigación.

Finalmente, concluida esta fase se pudo evidenciar una buena adaptación de las especies macrófitas en las aguas eutrofizadas de la laguna de la mansión, además de una buena aclimatación a las condiciones ambientales del entorno; dicho, en otros términos, se pudo concluir que: terminada prósperamente el tiempo de adaptación y aclimatación, las especies macrófitas contaban con las condiciones necesarias para ser utilizadas en los tratamientos pilotos de fitodepuración.



Figura 29. Estado de la especie *Eichhornia crassipes* a los 30 días de adaptación.

En la recolección de las macrófitas para su uso en los tratamientos de fitodepuración se tomó en cuenta condiciones como: la buena pigmentación de los individuos, la ausencia de anomalías en las hojas, peciolo, raíces y aerénquima de las especies, y la elección preferente de plantas jóvenes. Por otro lado, aunque la lentejita de agua *Lemna minor* fue incluida inicialmente en el estudio y completó óptimamente la fase de adaptación, no fue empleada finalmente en los sistemas de tratamiento.

Diseño e implementación del sistema piloto de fitodepuración

Para el desarrollo de esta fase de la investigación se empleó cuatro (4) especies macrófitas flotantes distribuidas en seis (6) tratamientos pilotos de flujo controlado aplicados en estanques plásticos (a modo de pequeñas lagunas) conectados a un tanque de agua general en el que se depositaron las aguas de la laguna de la mansión.

A través de la creación de estos flujos controlados de aguas contaminadas se permite a los cultivos acuáticos (especialmente a sus raíces) y la actividad microbiológica asociada a ella una mayor acción simbiótica en la degradación, transformación, y disminución de los contaminantes (Moreno, 2003).

Cada uno de los seis (6) tratamientos consto de la combinación de dos especies macrófitas, en las que el común denominador fue la presencia de la lenteja de agua *Spirodela polyrhiza*; asimismo, en tres (3) de los tratamientos se aplicó la inyección de aire asistida por pequeñas bombas de aireación a pilas.

Además de probar la capacidad fitodepuradora de las especies macrófitas bajo tratamientos con la misma calidad de agua, se buscó potenciar el proceso a través del aporte de la aeración asistida (o forzada) sobre la oxigenación y circulación de las aguas estancadas; evaluando una posible correlación en la remoción de los parámetros de contaminación.

Descripción y consideraciones de los estanques de tratamiento

Los estanques (o cajas) empleados para los tratamientos fueron de material plástico transparente, y tuvieron en las siguientes dimensiones:

- Largo : 0.90 metros (90.0 cm)
- Ancho : 0.36 metros (36.0 cm)
- Altura : 0.30 metros (30.0 cm)

El volumen de agua empleada por estanque, en base a una altura útil de veinticinco (25) centímetros, fue de unos ochenta (80) litros aproximadamente.



Figura 30. Dimensiones de los estanques de fitodepuración

Los estanques plásticos empleados tuvieron una relación rectangular de largo/ancho de 2.5:1, la adquisición se consideró por haber sido la más cercana a una relación de largo/ancho de 3:1, relación que suele ser la mejor selección para humedales artificiales desde un punto de vista de costo/eficiencia (Raymundo, 2017).

Sin embargo, de acuerdo a Rabat (2016), las relaciones de largo/ancho de 1:1 hasta 3:1 o 4:1 son aceptables para el diseño de sistemas de flujo libre. Es necesario precisar que, nuestro sistema de estanques de fitodepuración con cultivos acuáticos es por teoría una variación de los humedales artificiales de flujo superficial (Coronel, 2016).

Tiempo de retención

Delgadillo et al. (2010), muestra que el valor usual del tiempo de retención en el diseño de humedales artificiales es de siete (7) días en un margen de cuatro (4) a quince (15) días. Núñez (2016) indica que, si el tiempo de retención es mayor al margen el agua comienza a tornarse oscura, y si es menor no se consigue una buena remoción.

En el proyecto el tiempo de retención establecida para todos los tratamientos fue de catorce (14) días; valor determinado en base a los parámetros del diseño típico de humedales artificiales de flujo superficial y criterios de diseño de sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas con juncitos de agua expuestos por Rabat (2016).

Es necesario acotar el tiempo de retención en este caso es un valor referencial exclusivamente para el desarrollo de la investigación, pues tal como viene indicando el proyecto es un estudio piloto con aguas de la laguna de la mansión, es decir, se tiene la intención de sentar las bases para una posible aplicación a escala real.

En tal sentido, se podría jugar con los rangos del tiempo de retención, es decir, evaluar la eficiencia de la fitodepuración en tiempos mayores a lo establecido; en nuestro caso por un tema estrictamente económico no se pudo realizar más evaluaciones que nos permitan disponer de más consideraciones para una aplicación a escala real.

Instalación de los componentes del sistema piloto

El primer componente a instalar fue el tanque de agua en el que se depositaron las aguas de la laguna de la mansión, del cual se abastecería a los estanques de tratamiento para la corrida experimental. Dicho tanque con una capacidad de almacenamiento de mil cien (1100) litros se nos fue prestada por parte de la jefatura del área de ornato.

El tanque fue colocado sobre unos pallets de madera quedando a una altura de medio metro. El llenado se dio del mismo modo que del estanque de adaptación, es decir, las aguas se captaron de la misma válvula hidrante para riego y fueron acarreadas hasta el vivero en contenedores plásticos con la ayuda de la furgoneta del área de limpieza.

Si bien se hubiera podido prescindir del uso del tanque y colocar las aguas acarreadas en contenedores directamente en los estanques de tratamientos, se corría el riesgo de haber trasladado volúmenes de agua algo heterogéneas, y que finalmente no todos los tratamientos se ejecuten con las mismas proporciones de contaminación.

Es por ello que se optó por emplear el tanque de agua (que fue llenado al tope de su capacidad), pues nuestra primordial intención fue la de homogeneizar los volúmenes de aguas contaminadas acarreadas, de tal modo que, todos los estanques de tratamientos partan inequívocamente con las mismas condiciones de calidad de agua.

Igualmente, se inició la instalación y conexión de tuberías que conectaron el tanque de agua con los seis (6) estanques de tratamiento; se implementaron además llaves de paso (válvulas de bola) de PVC para cada uno de los tratamientos.



Figura 31. Conexión de tuberías del sistema de fitodepuración

Terminada la conexión de tuberías, se instalaron también grifos (caños) de plástico en los mismos estanques de tratamiento; para esto se contó con el apoyo sr. Job Mayta.



Figura 32. Colocación de caños de plástico en los estanques de tratamiento

Terminado todo el trabajo descrito, se colocaron tres (3) pallets de madera extendidos a modo de base para los estanques de tratamiento, quedando éstas a una altura de quince (15)

centímetros sobre el nivel del suelo.

Finalmente, los últimos componentes instalados del sistema piloto fueron las pequeñas bombas de aireación a pilas, se contaron con seis (6) de estas bombas y se aplicaron a tres (3) de los seis (6) tratamientos, o sea, dos (2) por estanque.

La función de las bombas de aireación fue la de aportar oxígeno a los estanques; básicamente lo que hacen es bombear aire hasta el fondo de los estanques, que sale expulsado en forma de burbujas a través de una piedra difusora porosa.

Cuando las burbujas llegan hasta la superficie provocan un estado de agitación que rompe la capa de tensión superficial favoreciendo el intercambio de gases entre el agua (arrastrada desde el fondo de los estanques) y el aire que lo rodea.

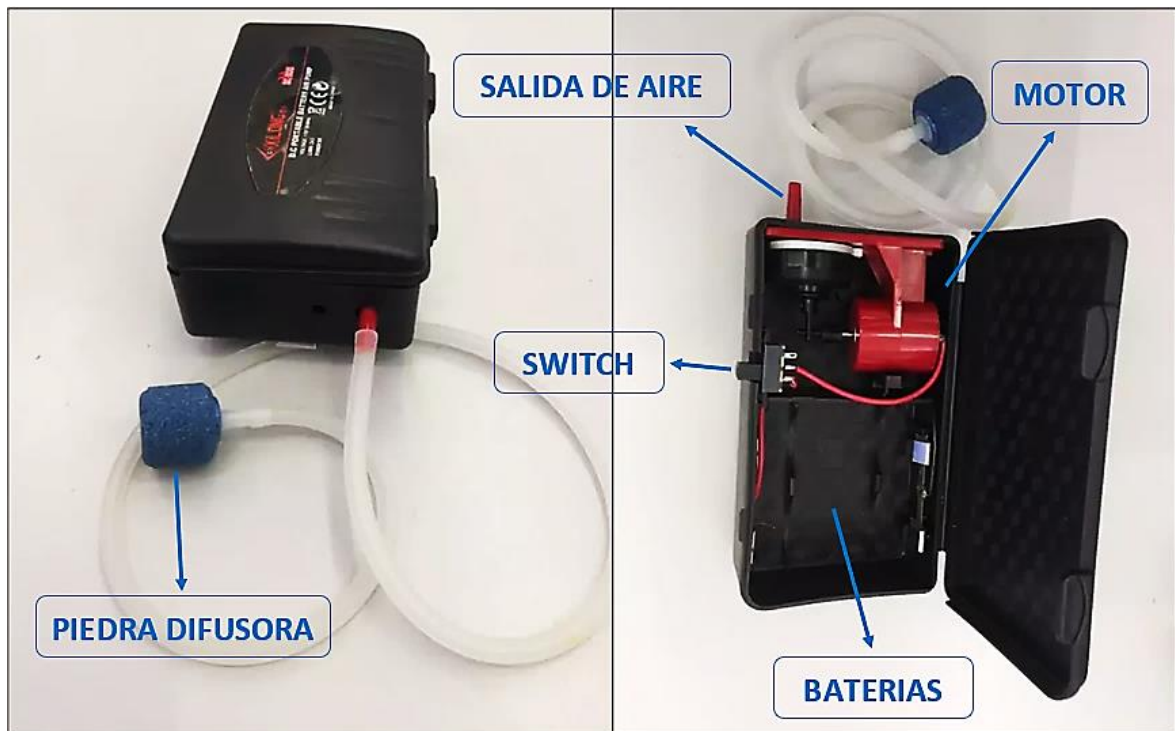


Figura 33. Bombas de aireación a pilas empleadas en los tratamientos

Por otro lado, este mecanismo de aireación suplementaria evita que las aguas adopten un estado de estancamiento, pues rompe el flujo laminar de las aguas calmadas permitiendo la circulación continua de las aguas a lo largo de los estanques, en consecuencia, la dispersión del oxígeno absorbido por difusión del aire atmosférico.

Asimismo, esta difusión de aire y circulación del volumen de agua fomenta la liberación a la atmosfera de algunos gases presentes en el agua tales como: dióxido de

carbono (CO_2), amoníaco (NH_3) y sulfuro de hidrógeno (H_2S); estas dos últimas sustancias indeseables comúnmente generadas en aguas contaminadas.

En definitiva, como se desprende de la descripción hecha, la corriente de agua producida por las burbujas la que favorece en: (1) el aporte de oxígeno por difusión del aire en los estanques con aguas de la laguna de la mansión, y (2) la circulación del volumen de agua (dispersando oxígeno y nutrientes) evitando condiciones de estancamiento.

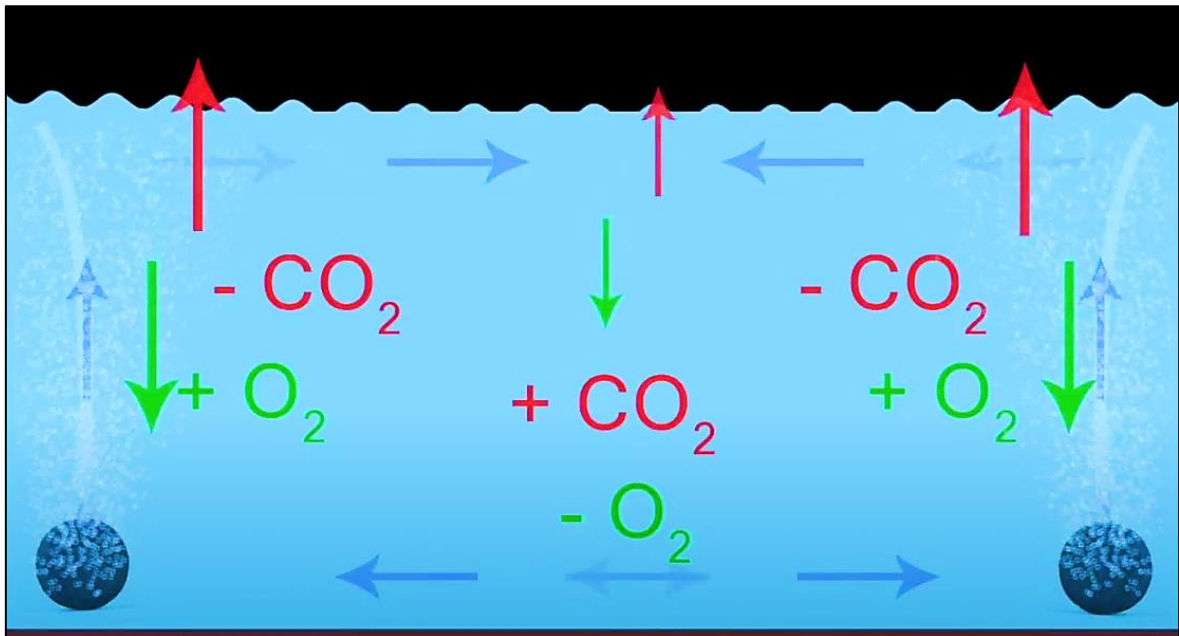


Figura 34. Aireación y circulación de los tratamientos con bombas de aireación

Finalmente, instalados todos los componentes necesarios, se pudo dar paso con el planteamiento de la puesta en marcha del sistema piloto de fitodepuración.



Figura 35. Estado final de la implementación del sistema piloto de fitodepuración.

Puesta en marcha del sistema piloto de fitodepuración

Por una dificultad netamente económica se realizó una sola corrida experimental, que se ejecutó entre mediados de febrero y principios de marzo del 2021. Todo la implementación y desarrollo del proyecto albergó en su conjunto un lapso de tiempo aproximado de doscientos (200) días calendario, dentro de los meses de noviembre - mayo del 2020 - 2021 respectivamente.

Tabla 31. Ensayos y plazos de ejecución del sistema de fitodepuración.

ETAPAS DE IMPLEMENTACIÓN	PLAZOS DE EJECUCIÓN
Evaluación y diagnostico preliminar de la zona y objeto de estudio	NOV/2020 – DIC/2020
Implementación del vivero de trabajo y estanque de adaptación de macrófitas	DIC/2020 – ENE/2021

Diseño e implementación del sistema piloto de fitodepuración	ENE/2021 – FEB/2021
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Puesta en marcha del sistema piloto de fitodepuración (corrida experimental) 	FEB/2021 – MAR/2021
Monitoreo y análisis de las muestras de agua antes y después de los tratamientos	FEB/2021 – MAR/2021
Análisis estadístico y determinación de la eficiencia de fitodepuración de los tratamientos	MAR/2021 – MAY/2021

La puesta en marcha de la corrida experimental y la etapa de monitoreo (y análisis) de las muestras de agua, concretamente del pre-tratamiento, fueron actividades evidentemente simultáneas; por tanto, es menester detallar que el muestro pre-tratamiento de la calidad de las aguas de la mansión se efectuó en el tanque general de almacenamiento (detallado anteriormente) antes de la distribución del agua hacia los estanques de tratamiento, y posterior sembrío (colocación) de las respectivas especies macrófitas flotantes.

Todo lo demás concerniente a la etapa de monitoreo y análisis de las muestras de agua antes y después de los tratamientos se detallará a en la fase post-operacional. Realizado el pre-monitoreo de las aguas se continuó con la puesta en marcha del sistema piloto de fitodepuración, el seguimiento de la corrida experimental y demás alcances y consideraciones.

Como se detalló al principio en todos los tratamientos se aplicaron dos especies macrófitas de manera asociada, se consideró así puesto que en los cuerpos naturales de agua es muy común encontrar a las especies macrófitas grandes en compañía de especies macrófitas pequeñas, generalmente en compañía de especies de lentejas de agua.

Los seis (6) tratamientos desarrollados se pueden dividir, de acuerdo a los cultivos empleados, en los siguientes tres grupos de pares: (01) tratamientos con *Eichhornia crassipes* y *Spirodela polyrhiza*, (02) tratamientos con *Pistia stratiotes* y *Spirodela polyrhiza*, y (3) tratamientos con *Limnobium laevigatum* y *Spirodela polyrhiza*.

La aireación forzada se aplicó en un tratamiento de cada par, es decir, como ya se explicó, se aplicó a tres (3) de los seis (6) tratamientos (o estanques); por otro lado, la aplicación de las especies macrófitas sobre los estanques de tratamiento se dio de acuerdo al orden que se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 32. Orden de los tratamientos aplicados en el sistema de fitodepuración.

TRATAMIENTOS	COMPONENTES
T1	Tratamiento con <i>Eichhornia crassipes</i> y <i>Spirodela polyrhiza</i>
T2	Tratamiento con <i>Eichhornia crassipes</i> y <i>Spirodela polyrhiza</i> (+ aireación)
T3	Tratamiento con <i>Pistia stratiotes</i> y <i>Spirodela polyrhiza</i>
T4	Tratamiento con <i>Pistia stratiotes</i> y <i>Spirodela polyrhiza</i> (+ aireación)
T5	Tratamiento con <i>Limnobium laevigatum</i> y <i>Spirodela polyrhiza</i>
T6	Tratamiento con <i>Limnobium laevigatum</i> y <i>Spirodela polyrhiza</i> (+ aireación)

Para una mejor perspectiva, se puede visualizar en el siguiente esbozo la disposición o secuencia de implementación de los tratamientos al interior del vivero.

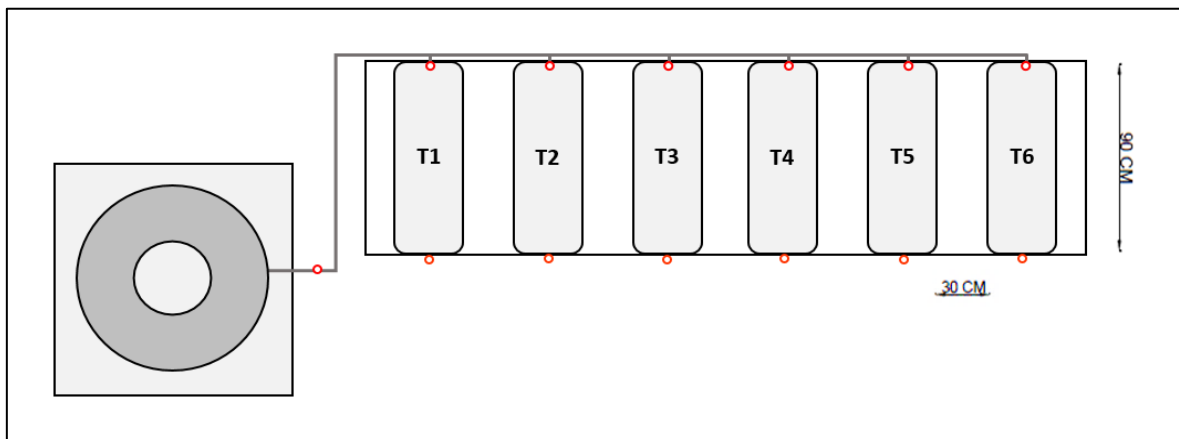


Figura 36. Esbozo de ejecución de los tratamientos del sistema piloto de fitodepuración.

Como ya se indicó, las aguas contaminadas de la laguna de la mansión se depositaron en el tanque general, dichas aguas fueron muestreados para los diversos parámetros de calidad, para finalmente dar pasó a la abertura de válvulas para el llenado simultáneo de los estanques de tratamiento.



Figura 37. Trasvase de las aguas de la laguna de la mansión hacia los estanques.

Una de las características más notables que se puede constatar de las aguas de la laguna de la mansión es su claro e intenso olor, quizá fétido, a heces de aves; por otra parte, se puede destacar también su visible tonalidad verdosa oscura (indicador de que está en proceso de eutrofización) debido a la proliferación de microalgas y presencia de sólidos en suspensión (Cruz et al., 2016) (Florez-Gómez et al., 2018).



Figura 38. Estado inicial de las aguas de laguna de la mansión en los estanques.

El volumen total de agua empleada en la corrida experimental fue de unos quinientos (500) litros (0.5 metros cúbicos) aproximadamente. Por otra parte, en la recolección de las especies macrófitas para su empleo en los distintos estanques de tratamiento se tomaron en cuenta consideraciones como:

- La selección preferente de plantas jóvenes
- La buena pigmentación de los individuos, es decir, la presencia de un vivo verdor especialmente en las hojas
- La ausencia de anomalías en las hojas, peciolo, raíces y parénquima de las especies
- La ausencia de coloración blanquecina o amarillenta en las hojas

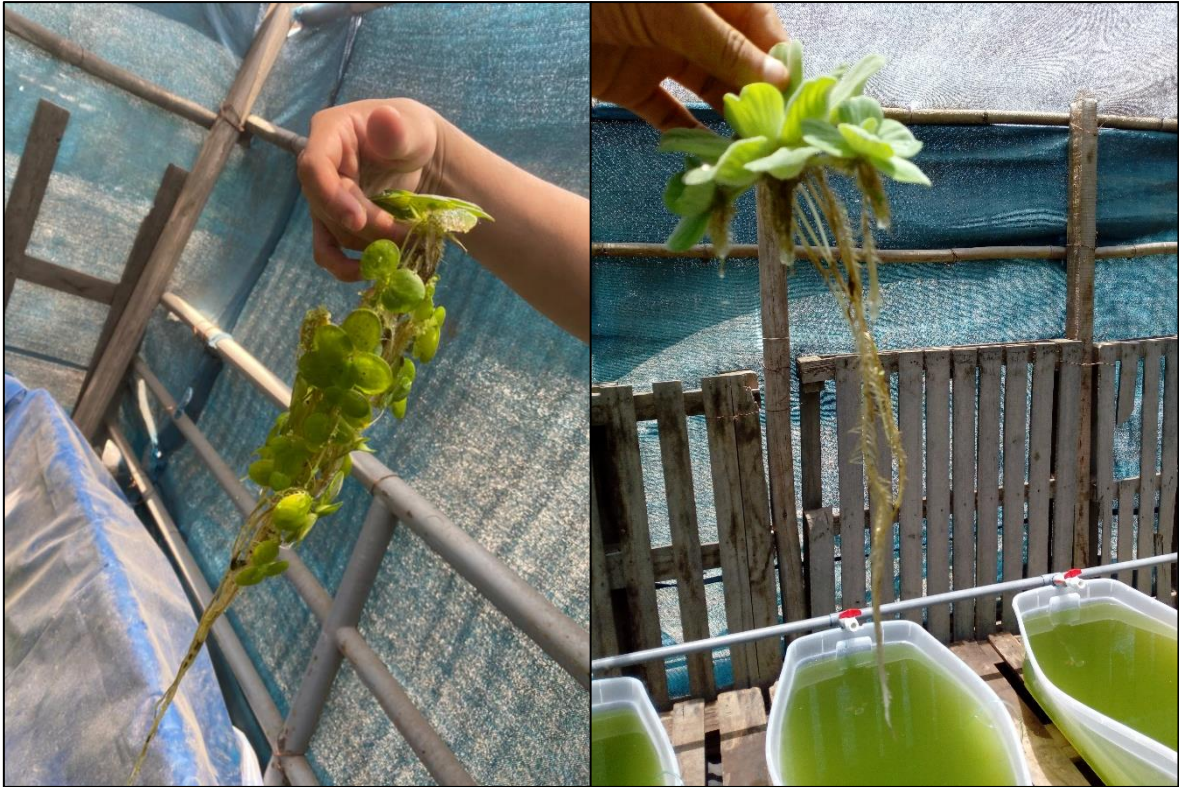


Figura 39. Muestras de individuos óptimos para los tratamientos.

Para la aplicación de las mismas, dispusimos a lavarlas con agua corriente y plantarlas diligentemente en sus correspondientes estanques de tratamiento.

En primer lugar, se colocó la especie de lenteja de agua *Spirodela polyrhiza* hasta llegar a cubrir el 50% del espejo de agua de todos estanques de tratamiento; enseguida continuamos con la colocación de los individuos de las especies macrófitas *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes* y *Limnobium laevigatum* hasta cubrir la superficie de agua restante de todos los tratamientos. En las siguientes imágenes se puede apreciar la plantación completa de todos los tratamientos.



Figura 40. Vista lateral derecha de la plantación completa de todos los tratamientos



Figura 41. Vista lateral izquierda de la plantación completa de todos los tratamientos

Así pues, se marcó el inicio de la puesta en marcha del proyecto piloto de

fitodepuración de las aguas de la laguna de la mansión; durante toda la corrida experimental se monitoreó constantemente en campo a fin garantizar el normal desarrollo y desempeño de esta etapa de la investigación.

Como ya se detalló, el tiempo de retención establecida para la experimentación fue de catorce (14) días, es decir, fueron alrededor de trescientos treinta y seis (336) horas el tiempo que las aguas de la laguna de la mansión fueron expuestas a los diversos tratamientos con macrófitas flotantes, y aireación suplementaria.

Finalmente, como ultima precisión respecto al uso de las bombas de aireación, éstas fueron empleadas en cinco (6) oportunidades (días) durante ocho (8) horas seguidas de funcionamiento, es decir, en otras palabras, cada bomba fue empleada durante cuarenta y ocho (48) horas aproximadamente a lo largo de corrida experimental.

Tabla 33. Aplicación de aireación en los tratamientos.

DÍAS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
HORAS	0	24	48	72	96	120	144	168	192	216	240	264	288	312	336
USO			X		X		X		X		X		X		

En las siguientes imágenes se puede apreciar el desarrollo en el tiempo de la corrida experimental, con cada tratamiento debidamente rotulado.



Figura 42. Tratamientos con *E. crassipes* y *S. polyrhiza* a los cinco (5) días.



Figura 43. Tratamientos con *P. stratiotes* y *S. polyrhiza* a los cinco (5) días.



Figura 44. Tratamientos con *L. laevigatum* y *S. polyrhiza* a los cinco (5) días.



Figura 45. Estado del sistema piloto de fitodepuración a los cinco (5) días.



Figura 46. Tratamientos con *E. crassipes* y *S. polyrhiza* a los diez (10) días



Figura 47. Tratamientos con *P. stratiotes* y *S. polyrhiza* a los diez (10) días.



Figura 48. Tratamientos con *L. laevigatum* y *S. polyrhiza* a los diez (10) días.



Figura 49. Estado del sistema piloto de fitodepuración a los diez (10) días.

Al término del tiempo de retención se concluyó finalmente con la puesta en marcha del sistema piloto de fitodepuración de las aguas de la laguna de la mansión; inmediatamente se realizó el muestreo post-tratamiento de las aguas, además, se contó con la presencia de la asesora de nuestra investigación, la Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga, quién pudo constatar personalmente el término del desarrollo de la investigación en campo.



Figura 50. Estado del sistema piloto de fitodepuración al término de la corrida experimental

Finalizado los catorce días del proceso de fitodepuración con las especies macrófitas flotantes se obtuvo una calidad de agua visiblemente limpia y perceptiblemente inodora.



Figura 51. Muestra pre (lado izquierdo) y post (lado derecho) de las aguas de la laguna

Fase post-operacional

Planificación del monitoreo y análisis de las muestras de agua (premonitoreo)

En esta fase de la investigación se realizó la planificación del monitoreo de las aguas de la laguna de la mansión, antes y después de ser sometidas a los tratamientos con macrófitas del sistema piloto de fitodepuración; el objetivo básico de esta fase fue la de determinar el estado de la calidad inicial y final de las aguas estudiadas, en función del porcentaje de remoción de los contaminantes físico-químicos, microbiológicos e inorgánicos presentes en su composición.

Tanto el muestreo in situ de las aguas como el análisis de las muestras fueron realizadas por Analytical Laboratory EIRL (ALAB) laboratorio de ensayo debidamente acreditado por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) y por el International Accreditation Service (IAS) con base en la norma NTP-ISO/IEC 17025:2017 (General requirements for the competence of testing and calibration laboratories) en su versión más actualizada al momento de la solicitud.

Los parámetros básicos (descritos en la revisión de la literatura) sujetos a los monitoreos de calidad de agua de nuestra investigación fueron de naturaleza microbiológica

y físico-química; a continuación, se enlistan todas:

- Coliformes fecales (termotolerantes)
- Aceites y grasas
- Conductividad
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)
- Demanda química de oxígeno (DQO)
- Nitrógeno total
- Oxígeno disuelto (OD)
- pH
- Sólidos suspendidos totales (SST)
- Temperatura
- Turbiedad

Por una dificultad estrictamente económica no se pudo considerar más parámetros físico-químicos y microbiológicos; por otro lado, y directamente relacionado con el punto anterior, no se pudo contar (tal como se planteó en un principio) con los equipos de monitoreo de calidad de agua ni con la disponibilidad del laboratorio de monitoreo ambiental de la escuela profesional de ingeniería ambiental, debido al contexto de emergencia sanitaria por la pandemia de la COVID-19 en el país.

Por otra parte, es importante reiterar que, acorde a la naturaleza de la investigación (fitodepuración de las aguas fluviales de la laguna de la mansión contaminadas esencialmente por aguas residuales domésticas) se planteó evaluar exclusivamente parámetros físico-químicos y microbiológicos correspondientes a aguas de esta naturaleza; naturaleza; sin embargo, dado al hallazgo (presencia) de metales pesados en las aguas de la laguna de la mansión por parte de investigaciones realizadas por Cruz et al. (2016) y Quispe et al. (2017) y bajo la sugerencia de la Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga, coautora de ambas investigaciones, se optó además por la inclusión de los siguientes cuatro (4) parámetros inorgánicos (metales pesados):

- Arsénico
- Cadmio
- Cromo
- Plomo

Adicionalmente a estos parámetros, la determinación o corrida de metales totales por parte del laboratorio nos arrojó también los valores de los siguientes treinta (30) parámetros (metales totales):

- | | |
|-------------|-------------|
| - Aluminio | - Magnesio |
| - Antimonio | - Manganeso |
| - Bario | - Mercurio |
| - Berilio | - Molibdeno |
| - Bismuto | - Níquel |
| - Boro | - Plata |
| - Calcio | - Potasio |
| - Cerio | - Selenio |
| - Cobalto | - Sílice |
| - Cobre | - Sodio |
| - Estaño | - Talio |
| - Estroncio | - Titanio |
| - Fosforo | - Uranio |
| - Hierro | - Vanadio |
| - Litio | - Zinc |

Desarrollo del monitoreo y análisis de las muestras de agua

El muestro in situ de las aguas del pre y post-tratamiento fue llevada a cabo de acuerdo a las siguientes referencias indicadas en el procedimiento de muestreo de agua facilitada por el laboratorio:

- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater-APHA-AWWA-WEF, 23rd Ed – 2017.
- Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (Resolucion Jefatural N° 010-2016-ANA).
- CALIDAD DE AGUA. Clasificación de la matriz agua para ensayos de laboratorio NTP 214.042:2012.

En todos los casos, los monitoristas, tomaron muestras simples (o puntuales) de agua; una muestra simple “es la que se toma en un tiempo y lugar determinado para su análisis

individual; representa la composición del agua residual para un lugar, tiempo y circunstancia en la que fue recolectada la muestra” (R.M. N° 273-2013-VIVIENDA).

La composición de las aguas, tanto en el tanque de almacenamiento como en los estanques de tratamiento, fue relativamente constante por todo el volumen (flujo) de éstas; es decir, la distribución de los contaminantes presentes fue uniforme; en tales circunstancias el material a estudiar (aguas de la laguna de la mansión cruda y tratada) estuvieron adecuadamente representadas por muestras simples.

En ambos monitoreos se tomaron en primer lugar los parámetros físico-químicos de campo, estos parámetros fueron:

- Conductividad
- pH
- Oxígeno disuelto (OD)
- Temperatura
- Turbiedad

Aunque estos parámetros pueden ser analizados también de manera ex situ en un laboratorio, por su naturaleza cambiante deben ser medidos preferentemente in situ, en campo; la lectura (in situ) de estos parámetros nos permite formar un pre-diagnóstico inmediato de la calidad del agua en cuestión.

El análisis de los primeros cuatro parámetros se realizó con un equipo multiparámetro portátil marca HACH, mientras que para el análisis de la turbiedad se empleó un equipo turbidímetro portátil marca HACH también; en cada ocasión se emplearon equipos distintos. A fin de asegurar la confiabilidad de los valores arrojados por los equipos, se coordinó con el laboratorio la entrega de los certificados de calibración correspondientes.

Adicionalmente, antes de la toma de datos se realizó la calibración o verificación en campo de los equipos, en el caso de los multiparámetros mediante el uso de soluciones, y en el caso de los turbidímetros mediante el uso de estándares de turbiedad.

La medición de los parámetros de campo no fue realizada directamente en los volúmenes de agua, es decir, en el mismo tanque de almacenamiento y en los mismos estanques de tratamiento; tanto en el pre como en el post-monitoreo se tomaron para cada parámetro muestras simples en un recipiente plástico apropiado y limpio. En el caso del monitoreo de las aguas post-tratamiento, las muestras agua fueron recolectadas de los grifos plásticos instalados en los mismos estanques de tratamiento.

La lectura de valores fue realizada de forma inmediata a la toma de la muestra de agua, una vez estabilizada la lectura de cada parámetro se procedió con el registro de los valores (datos) arrojados. Los equipos de muestreo fueron inmediatamente limpiados después de su uso y adicionalmente entre muestreo y muestreo, mejor dicho, en el caso del multiparámetro por ejemplo los sensores o electrodos (encargados de la lectura de los parámetros) se limpiaron constantemente con agua destilada.



Figura 52. Recolección de muestra para la medición de parámetros de campo.



Figura 53. Análisis de los parámetros de campo de las aguas pre-tratamiento.



Figura 54. Análisis de los parámetros de campo de las aguas post-tratamiento.

Concluido el muestro de los parámetros de campo, se procedió consecutivamente a la toma de muestras de los parámetros con análisis de laboratorio; en la siguiente tabla se puede apreciar los lineamientos seguidos en ambos monitoreos.

Tabla 34. Lineamientos en la toma y preservación de las muestras de laboratorio

DETERMINACIÓN/ PARÁMETRO	TIPO DE RECIPIENTE	CONDICIONES DE PRESERVACIÓN Y ALMACENAMIENTO
Microbiológico		
Coliformes fecales	Plástico, estéril	Refrigerado
Físico-químico		
Aceites y grasas	Vidrio ámbar, boca ancha	Se agregó unas gotas de H ₂ SO ₄ , refrigerado
DBO ₅	Plástico	Refrigerado
DQO	Plástico	Se agregó unas gotas de H ₂ SO ₄ , refrigerado
Nitrógeno total	Plástico	Refrigerado
SST	Plástico	Refrigerado
Inorgánico		
Metales totales	Plástico (HDPE)	Se agregó unas gotas de HNO ₃ , refrigerado

En el caso del pre-monitoreo las muestras de agua para estos parámetros si fueron tomadas directamente del tanque de almacenamiento, por su parte, las muestras del pos-monitoreo fueron, al igual que los parámetros de campo, recolectadas de los grifos plásticos instalados en los estanques de tratamiento.

El volumen de las muestras de agua no fue uniforme, en todos los casos, el volumen necesario de muestra quedó determinado por método analítico empleado por el laboratorio; por otro lado, como parte del aseguramiento y control de la calidad, en cada actividad se contó con los blancos de campo y de viaje, además de la toma de duplicados de campo.

En todo el proceso de la toma y manipulación de las muestras se emplearon guantes estériles a fin de evitar algún tipo de contaminación cruzada, especialmente en las muestras

de coliformes fecales, que, por cierto, se cubrieron con papel estraza (hasta el cuello) y se protegieron (inmediatamente) en bolsas herméticas.

Tomadas y preservadas adecuadamente las muestras de agua se procedió a almacenarlas en cajas térmicas conocidas como cooler, a fin de mantener una adecuada refrigeración ($5\text{ }^{\circ}\text{C} - 3\text{ }^{\circ}\text{C}$) de las muestras los coolers fueron equipados con bolsas de hielo a modo de refrigerante.



Figura 55. Muestras pre-tratamiento de parámetros analizados en laboratorio



Figura 56. Muestras post-tratamiento de parámetros analizados en laboratorio

Concluidos los muestreos y realizadas las cadenas de custodia las muestras pre y post, fueron transportadas al laboratorio de ensayo.

Análisis de las muestras de agua (posmonitoreo)

Como parte del posmonitoreo, el laboratorio acreditado realizó el análisis correspondiente de las muestras de agua (con análisis de laboratorio) tomadas en el pre y pos-tratamiento; los métodos de ensayo empleados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 35. Método de ensayo empleado por el laboratorio

PARÁMETRO	MÉTODO DE ENSAYO DE LABORATORIO	
Aceites y grasas	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5520 B, 23 rd Ed 2017:	Oil and Grease. Liquid-Liquid, Partition-Gravimetric Method
Coliformes fecales	SMEWW 9221 F.2, 23 rd Ed. 2017	Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique
DBO5	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23 rd Ed. 2017	Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test

DQO	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23 rd Ed. 2017	Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method
Metales totales	EPA Method 200.7 Rev. 4.4. 1994	Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry
Nitrógeno total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-N C, 23 rd Ed. 2017	Nitrogen (Total). Colorimetric Method
SST	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23 rd Ed. 2017	Solids. Total Suspended Solids Dried at 103- 105°C

Finalmente, el laboratorio nos reportó los informes de ensayo con los resultados de ambas actividades de monitoreo; estos resultados globales fueron empleados para el desarrollo de la última etapa de nuestro proyecto de investigación.

Etapa de procesamiento estadístico de la información

En esta etapa final, se realizó el análisis estadístico de los resultados pre y post-tratamiento obtenidos en la fase de experimentación; la data fue primariamente analizada con el software informático Excel, y posteriormente con el software de programación estadística R (R Development Core Team).

Los resultados finales se analizaron mediante un análisis descriptivo-exploratorio, en el que se realizó el análisis de la varianza (ANOVA) conjuntamente a la prueba de Tukey; asimismo se consideró un error inferencial de 5% es decir, un 95% de nivel de confianza.

Diseño de la investigación

La presente investigación corresponde a un diseño de investigación experimental puro (donde existe manipulación de la variable independiente) de diseño con pre-prueba y pos-prueba. Además presenta un enfoque cuantitativo (que representa un conjunto de procesos) que es secuencial y probatorio; “cada etapa precede a la siguiente y no podemos “brincar o eludir” pasos, el orden es riguroso, aunque, desde luego, podemos redefinir alguna fase” (Hernandez et al., 2010, p. 4)

El diseño de nuestra investigación consistió en aplicar mediciones de los parámetros físico-químicos, microbiológicos e inorgánicos de las aguas contaminadas de la laguna de la mansión antes de aplicar diversos tratamientos de fitodepuración a escala piloto, finalmente al término de la corrida experimental se volvieron a medir los mismos parámetros en las

mismas aguas, ahora tratadas, y de esta manera determinar la eficiencia de los tratamientos en función de la remoción de los contaminantes.

Determinación de la eficiencia de fitodepuración de los tratamientos

La interpretación de los resultados para la determinación de la eficiencia del sistema de sistema de fitodepuración serán basadas en las variables de estudio. Para evaluar la eficiencia de remoción de cada tratamiento de fitodepuración se realizará una comparación de la calidad de las aguas de la laguna de la mansión antes y después de ser sometidas a la corrida experimental; para ello se recurrió a la siguiente formula ejemplificada con la DBO:

$$DBO_r = \frac{DBO_A - DBO_D}{DBO_A} * 100$$

Donde:

DBO_r: Demanda Bioquímica de Oxígeno removida (%)

DBO_A: Demanda Bioquímica de Oxígeno antes de los tratamientos (mg BOD5/L)

DBO_D: Demanda Bioquímica de Oxígeno después de los tratamientos (mg BOD5/L)

El cálculo de la eficiencia de remoción, expresada en porcentaje, se aplicará a todos los parámetros a excepción de la temperatura; en el caso del oxígeno disuelto los valores del numerador se invertirán para conocer el porcentaje de incremento del parámetro, y en cuanto al pH el cálculo se referirá a la reducción o equilibrio del parámetro

3.4. Formulación de la hipótesis

- Hipótesis nula

H₀: Los tratamientos del sistema piloto de fitodepuración mediante las especies macrófitas flotantes *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Limnobium laevigatum* y *Spirodela polyrhiza* no son eficientes en el tratamiento de las aguas de la laguna de la mansión de la UPeU.

- Hipótesis alterna

H₁: Los tratamientos del sistema piloto de fitodepuración mediante las especies macrófitas flotantes *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Limnobium laevigatum* y *Spirodela polyrhiza* son eficientes en el tratamiento de las aguas de la laguna de la mansión de la UPeU.

3.5. Variables de estudio

- Variable independiente

Sistema piloto de fitodepuración mediante las especies de macrófitas flotantes *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Limnobium laevigatum* y *Spirodela polyrhiza* en el tratamiento de las aguas de la laguna de la mansión de la UPeU

- Variables dependientes

Parámetros físicos-químicos (aceites y grasas, conductividad, DBO5, DQO, nitrógeno total, oxígeno disuelto, pH, sólidos suspendidos totales, temperatura y turbiedad).

Parámetros microbiológicos (coliformes fecales)

Parámetros inorgánicos (metales totales)

3.6. Operacionalización de variables

Tabla 36. Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN	UNIDAD	MÉTODO/ EQUIPO	RANGO
INDEPENDIENTE				
Sistema piloto de fitodepuración	Opción tecnológica para la remoción de contaminantes de la laguna de la mansión	%	Eficiencia de remoción/ Estanques con cultivos acuáticos	0 – 100
DEPENDIENTES				
FÍSICO-QUÍMICAS				
Aceites y grasas	Cantidad de lípidos solidos o líquidos presentes en los cuerpos de agua	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5520 B, 23 rd Ed 2017: Oil and Grease. Liquid-Liquid, Partition-Gravimetric Method	0 – 20
Conductividad	Es un indicador de la cantidad de sales y sustancias ionizadas disueltas en el agua	µS/cm	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B 23rd Ed. 2017: Conductivity. Laboratory Method.	0 – 5000
DBO5	Es el oxígeno que requieren las bacterias para degradar la materia orgánica en 5 días a 20°C	mg BOD5/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23 rd Ed. 2017: Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test	0 – 100
DQO	Es la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidantes sales inorgánicas	COD as mg O2/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23 rd Ed. 2017: Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method	0 – 200
Nitrógeno total	Es la medida de todas las varias formas de nitrógeno que se encuentran en una muestra de agua	mg N/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-N C, 23 rd Ed. 2017: Nitrogen (Total). Colorimetric Method	0 – 100

Oxígeno disuelto	Es la cantidad de oxígeno gaseoso que esta disuelto en el agua	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500 -O G, 23 rd Ed. 2017: Oxygen (Dissolved) Optical-Probe Method	0 – 12
pH	Es un indicador del grado de acidez o alcalinidad del agua residual	Unidad de pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23 rd Ed. 2017: pH Value Electrometric Method	0 – 14
Solidos suspendidos totales	Son las partículas que se encuentran en forma de coloides y que dan los valores de turbiedad.	mg TSS/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23 rd Ed. 2017: Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C	0 – 150
Temperatura	Es un parámetro que mide el calor del agua residual in situ	°C	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2550 B. 23rd Ed. 2017: Temperature. Laboratory and Field Methods	±5
Turbiedad	Material en suspensión en formas de partículas y coloides, interfiere el paso de la luz solar en el agua	NTU	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B 23rd Ed. 2017: Turbidity. Nephelometric Method.	0.09 – 100
MICROBIOLÓGICAS				
Coliformes fecales (Termotolerantes)	Indicadores de contaminación fecal u de otras bacterias patógenas que son causantes de enfermedades gastrointestinales.	NMP/100 mL	SMEWW 9221 F.2, 23 rd Ed. 2017: Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique	0 – 20000
INORGÁNICAS				
Metales totales	Indicadores de contaminación inorgánica por aguas residuales procedentes de instalaciones industriales, actividades mineras, etc.	mg/L	EPA Method 200.7 Rev. 4.4. 1994: Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry	0 – 100

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Resultados

Este capítulo aborda los reportes de los parámetros físico-químicos, microbiológicos e inorgánicos antes y después de los tratamientos; en ese sentido, se mostrarán diferentes análisis estadísticos computacionales elaborados.

Los resultados obtenidos de las actividades de monitoreo de la calidad de las aguas de la laguna de la mansión se encuentran en los Informes de Ensayo N°: IE-21-1423 e IE-21-1899, reportes del pre y pos-tratamiento respectivamente, emitidos por el laboratorio acreditado (ALAB) encargado de las mediciones y análisis. En la siguiente tabla se exponen los resultados en su totalidad.

Tabla 37. Resultados físico-químicos, microbiológicos e inorgánicos de los monitoreos

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADOS DEL PRE Y POS-TRATAMIENTO						
		T0 (**)	T1	T2	T3	T4	T5	T6
MICROBIOLÓGICOS								
Coliformes Fecales ⁽²⁾	NMP/100mL	13000.0	<1.80	330.00	<1.80	<1.80	<1.80	<1.80
FISICO-QUÍMICOS								
Aceites y Grasas (*)	mg/L	1.50	1.60	1.40	1.20	0.90	1.10	0.60
Conductividad (*) (c)	µS/cm	459.00	486.00	491.00	470.00	455.00	452.00	459.00
DBO ₅ (*)	mg BOD ₅ /L	42.3	11.4	9.6	14.5	9.8	9.8	11.8
DQO (*)	COD as mg O ₂ /L	62	24	18	31	20	19	21
Nitrógeno Total ⁽²⁾	mg N/L	7.77	0.31	0.42	0.59	0.52	0.45	0.75
Oxígeno Disuelto (*) (c)	mg/L	5.6	6.6	6.0	5.3	5.9	6.9	7.4
pH (*) (c)	Unidad de pH	8.93	7.27	7.36	7.13	7.41	7.16	7.54
SST (*)	mg TSS/L	52	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Temperatura (*) (c)	°C	25.9	24.5	26.7	26.0	26.7	25.3	25.5
Turbiedad ⁽²⁾ (c)	NTU	50.00	2.40	1.50	1.50	2.10	1.50	1.80
METALES TOTALES ⁽²⁾								

Aluminio	mg/L	0.432	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Antimonio	mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Arsénico	mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.003	<0.002	<0.002
Bario	mg/L	0.0503	0.0468	0.0490	0.0505	0.0448	0.0482	0.0505
Berilio	mg/L	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Bismuto.	mg/L	<0.009	0.012	0.014	0.013	0.013	0.012	0.010
Boro	mg/L	0.204	0.186	0.120	0.147	0.123	0.118	0.111
Cadmio	mg/L	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Calcio.	mg/L	78.565	85.759	84.640	81.312	76.106	78.368	83.317
Cerio	mg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Cobalto	mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Cobre	mg/L	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	0.0004	0.0004
Cromo	mg/L	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002
Estaño	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Estroncio.	mg/L	0.66410	0.76347	0.74010	0.69597	0.67662	0.68609	0.69397
Fosforo	mg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Hierro	mg/L	0.537	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Litio	mg/L	0.0053	0.0045	0.0042	0.0043	0.0039	0.0038	0.0041
Magnesio	mg/L	9.618	8.249	9.200	9.795	9.256	8.151	8.762
Manganeso	mg/L	0.0010	<0.0001	0.0019	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Mercurio	mg/L	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Molibdeno	mg/L	<0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.0006
Níquel	mg/L	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Plata	mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Plomo	mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Potasio.	mg/L	4.47	<0.04	0.10	1.27	1.34	0.07	0.19
Selenio	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Silice.	mg/L	14.223	8.056	5.467	9.301	9.136	9.659	9.527

Sodio.	mg/L	17.236	19.463	20.251	19.979	19.003	16.852	17.735
Talio	mg/L	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Titanio	mg/L	<0.0007	<0.0007	<0.0007	<0.0007	<0.0007	<0.0007	<0.0007
Uranio	mg/L	<0.01	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Vanadio	mg/L	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002
Zinc	mg/L	0.0187	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

Fuente: Informe de Ensayo N°: IE-21-1899

(**) Informe de Ensayo N°: IE-21-1423 (PRE-TRATAMIENTO)

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL – DA

(2) Ensayo acreditado por el IAS

(c) Ensayo realizado en campo (medido in situ)

Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP)

DBO₅: Demanda Bioquímica de Oxígeno (*Test DBO de 5 días*)

DQO: Demanda Química de Oxígeno

SST: Sólidos Suspendidos Totales

De acuerdo a lo establecido en el primer capítulo de la presente investigación, se consideró como referencia normativa elemental los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua suscritos en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, específicamente los estándares señalados en las subcategorías D1 (riego de vegetales), D2 (bebida de animales) y E1 (conservación del ambiente acuático de lagunas y lagos); por tanto, todos los parámetros (resultados) expuestos serán comparados con sus pares establecidos en la norma en cuestión.

Como aclaración previa, es menester precisar que los parámetros inorgánicos: Bismuto, Calcio, Cerio, Estaño, Estroncio, Molibdeno, Plata, Potasio, Sílice, Sodio, Titanio, Uranio y Vanadio no se encuentran contempladas en ninguna de las subcategorías indicadas, por tanto, estos trece (13) parámetros de la corrida de metales no serán tomadas en cuenta en la evaluación de los resultados (tablas de comparación).

Asimismo, además de la comparación de los resultados frente a los ECA para agua, los parámetros físico-químicos y microbiológicos (que apliquen) serán adicionalmente comparados, según lo planteado, con los Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR) señalados en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM. Esta normativa presenta los LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de aguas; y por su naturaleza no se encuentran

contemplados parámetros de carácter inorgánico.

Finalmente, se indica que, el parámetro físico-químico de turbiedad (o turbidez) tampoco se encuentra contemplada en ninguna de las subcategorías de los ECA indicadas ni en los LMP de efluentes de PTAR, sin embargo, se consideró por ser un importante indicador de la calidad de las aguas en general; en la discusión de los resultados se analizará su comportamiento en todos tratamientos

Evaluación de los resultados del pre-tratamiento

Tabla 38. Evaluación de los resultados del pre-tratamiento frente a los ECA (subcat D1)

PARÁMETROS	UNIDAD	PRE-TRATAMIENTO	D1: RIEGO DE VEGETALES (*)	CONDICIÓN DE LOS RESULTADOS
MICROBIOLÓGICOS				
Coliformes Fecales	NMP/100mL	13000.0	1000 – 2000 ^(c)	NO CUMPLE ECA
FISICO-QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	1.50	5	CUMPLE ECA
Conductividad	µS/cm	459.00	2500	CUMPLE ECA
DBO ₅	mg BOD5/L	42.3	15	NO CUMPLE ECA
DQO	COD as mg O ₂ /L	62	40	NO CUMPLE ECA
Nitrógeno Total	mg N/L	7.77	**	NA
Oxígeno Disuelto	mg/L	5.6	≥ 4	CUMPLE ECA
pH	Unidad de pH	8.93	6.5 – 8.5	NO CUMPLE ECA
SST	mg TSS/L	52	**	NA
Temperatura	°C	25.9	Δ 3	CUMPLE ECA
METALES TOTALES				
Aluminio	mg/L	0.432	5	CUMPLE ECA
Antimonio	mg/L	<0.002	**	NA
Arsénico	mg/L	<0.002	0.1	CUMPLE ECA
Bario	mg/L	0.0503	0.7	CUMPLE ECA
Berilio	mg/L	<0.0003	0.1	CUMPLE ECA
Boro	mg/L	0.204	1	CUMPLE ECA
Cadmio	mg/L	<0.0001	0.01	CUMPLE ECA
Cobalto	mg/L	<0.002	0.05	CUMPLE ECA
Cobre	mg/L	<0.0003	0.2	CUMPLE ECA
Cromo	mg/L	<0.0002	0.1 ^(T)	CUMPLE ECA

Fosforo	mg/L	<0.01	**	NA
Hierro	mg/L	0.537	5	CUMPLE ECA
Litio	mg/L	0.0053	2.5	CUMPLE ECA
Magnesio	mg/L	9.618	**	NA
Manganeso	mg/L	0.0010	0.2	CUMPLE ECA
Mercurio	mg/L	<0.0001	0.001	CUMPLE ECA
Níquel	mg/L	<0.0003	0.2	CUMPLE ECA
Plomo	mg/L	<0.002	0.05	CUMPLE ECA
Selenio	mg/L	<0.001	0.02	CUMPLE ECA
Talio	mg/L	<0.0003	**	NA
Zinc	mg/L	0.0187	2	CUMPLE ECA

(*) Categoría 3 del D.S. N° 004-2017-MINAM – Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua

El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

Δ 3 significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

NA: No aplica valoración

⁽⁶⁾: Riego no restringido (1000); Riego restringido (2000)

⁽⁷⁾ Total

Como referencia, se expresa que: la calidad de las aguas de la laguna de la mansión antes de los tratamientos supera los valores de los ECA de la subcategoría D1 en cuatro (4) parámetros:

- Coliformes fecales
- DBO5
- DQO
- pH

Tabla 39. Evaluación de los resultados del pre-tratamiento frente a los ECA (subcat D2)

PARÁMETROS	UNIDAD	PRE-TRATAMIENTO	D2: BEBIDA DE ANIMALES (*)	CONDICIÓN DE LOS RESULTADOS
MICROBIOLÓGICOS				
Coliformes Fecales	NMP/100mL	13000.0	1000	NO CUMPLE ECA
FISICO-QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	1.50	10	CUMPLE ECA
Conductividad	μS/cm	459.00	5000	CUMPLE ECA

DBO ₅	mg BOD5/L	42.3	15	NO CUMPLE ECA
DQO	COD as mg O ₂ /L	62	40	NO CUMPLE ECA
Nitrógeno Total	mg N/L	7.77	**	NA
Oxígeno Disuelto	mg/L	5.6	≥ 5	CUMPLE ECA
pH	Unidad de pH	8.93	6.5 – 8.4	NO CUMPLE ECA
SST	mg TSS/L	52	**	NA
Temperatura	°C	25.9	Δ 3	CUMPLE ECA

METALES TOTALES

Aluminio	mg/L	0.432	5	CUMPLE ECA
Antimonio	mg/L	<0.002	**	NA
Arsénico	mg/L	<0.002	0.2	CUMPLE ECA
Bario	mg/L	0.0503	**	NA
Berilio	mg/L	<0.0003	0.1	CUMPLE ECA
Boro	mg/L	0.204	5	CUMPLE ECA
Cadmio	mg/L	<0.0001	0.05	CUMPLE ECA
Cobalto	mg/L	<0.002	1	CUMPLE ECA
Cobre	mg/L	<0.0003	0.5	CUMPLE ECA
Cromo	mg/L	<0.0002	1 ^(T)	CUMPLE ECA
Fosforo	mg/L	<0.01	**	NA
Hierro	mg/L	0.537	**	NA
Litio	mg/L	0.0053	2.5	CUMPLE ECA
Magnesio	mg/L	9.618	250	CUMPLE ECA
Manganeso	mg/L	0.0010	0.2	CUMPLE ECA
Mercurio	mg/L	<0.0001	0.01	CUMPLE ECA
Níquel	mg/L	<0.0003	1	CUMPLE ECA
Plomo	mg/L	<0.002	0.05	CUMPLE ECA
Selenio	mg/L	<0.001	0.05	CUMPLE ECA
Talio	mg/L	<0.0003	**	NA
Zinc	mg/L	0.0187	24	CUMPLE ECA

(*) Categoría 3 del D.S. N° 004-2017-MINAM – Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua

El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

Δ 3 significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

NA: No aplica valoración

^(T) Total

Como referencia, se expresa que: la calidad de las aguas de la laguna de la mansión

antes de los tratamientos supera los valores de los ECA de la subcategoría D2 en cuatro (4) parámetros:

- Coliformes fecales
- DBO5
- DQO
- pH

Tabla 40. Evaluación de los resultados del pre-tratamiento frente a los ECA (subcat E1)

PARÁMETROS	UNIDAD	PRE-TRATAMIENTO	E1: LAGUNAS Y LAGOS (*)	CONDICIÓN DE LOS RESULTADOS
MICROBIOLÓGICOS				
Coliformes Fecales	NMP/100mL	13000.0	1000	NO CUMPLE ECA
FISICO-QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	1.50	5	CUMPLE ECA
Conductividad	µS/cm	459.00	1000	CUMPLE ECA
DBO	mg BOD5/L	42.3	5	NO CUMPLE ECA
DQO	COD as mg O2/L	62	**	NA
Nitrógeno Total	mg N/L	7.77	0.315	NO CUMPLE ECA
Oxígeno Disuelto	mg/L	5.6	≥ 5	CUMPLE ECA
pH	Unidad de pH	8.93	6.5 – 9.0	CUMPLE ECA
SST	mg TSS/L	52	≤ 25	NO CUMPLE ECA
Temperatura	°C	25.9	Δ 3	CUMPLE ECA
METALES TOTALES				
Aluminio	mg/L	0.432	**	NA
Antimonio	mg/L	<0.002	0.64	CUMPLE ECA
Arsénico	mg/L	<0.002	0.15	CUMPLE ECA
Bario	mg/L	0.0503	0.7	CUMPLE ECA
Berilio	mg/L	<0.0003	**	NA
Boro	mg/L	0.204	**	NA
Cadmio	mg/L	<0.0001	0.00025 ^(D)	CUMPLE ECA
Cobalto	mg/L	<0.002	**	NA
Cobre	mg/L	<0.0003	0.1	CUMPLE ECA

Cromo	mg/L	<0.0002	0.011 ^(VI)	CUMPLE ECA
Fosforo	mg/L	<0.01	0.035 ^(T)	CUMPLE ECA
Hierro	mg/L	0.537	**	NA
Litio	mg/L	0.0053	**	NA
Magnesio	mg/L	9.618	**	NA
Manganeso	mg/L	0.0010	**	NA
Mercurio	mg/L	<0.0001	0.0001	CUMPLE ECA
Níquel	mg/L	<0.0003	0.052	CUMPLE ECA
Plomo	mg/L	<0.002	0.0025	CUMPLE ECA
Selenio	mg/L	<0.001	0.005	CUMPLE ECA
Talio	mg/L	<0.0003	0.0008	CUMPLE ECA
Zinc	mg/L	0.0187	0.12	CUMPLE ECA

(*) Categoría 4 del D.S. N° 004-2017-MINAM – Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua

El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

Δ 3 significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

NA: No aplica valoración

^(D) Disuelto

^(VI) Hexavalente

^(T) Total

Como referencia, se expresa que: la calidad de las aguas de la laguna de la mansión antes de los tratamientos supera los valores de los ECA de la subcategoría E1 en cuatro (4) parámetros:

- Coliformes fecales
- DBO5
- Nitrógeno total
- Sólidos suspendidos totales

Tabla 41. Evaluación de los resultados del pre-tratamiento frente a los LMP (PTAR)

PARÁMETROS	UNIDAD	PRE-TRATAMIENTO	LMP: EFLUENTES DE PTAR (*)	CONDICIÓN DE LOS RESULTADOS
MICROBIOLÓGICOS				
Coliformes Fecales	NMP/100mL	13000.0	10000	NO CUMPLE LMP
FISICO-QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	1.50	20	CUMPLE LMP
DBO	mg BOD5/L	42.3	100	CUMPLE LMP

DQO	COD as mg O ₂ /L	62	200	CUMPLE LMP
pH	Unidad de pH	8.93	6.5 – 8.5	NO CUMPLE LMP
SST	mg TSS/L	52	150	CUMPLE LMP
Temperatura	°C	25.9	< 35	CUMPLE LMP

(*) D.S. N° 003-2010-MINAM - Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de PTAR Domesticas o Municipales

El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica

NA: No aplica valoración

Como referencia, se expresa que: la calidad de las aguas de la laguna de la mansión antes de los tratamientos supera los valores de los LMP para los efluentes de PTAR en dos (2) parámetros:

- Coliformes fecales

- pH

Evaluación de los resultados del pos-tratamiento 1

Tabla 42. Evaluación de los resultados del pos-tratamiento frente a los ECA (subcat D1)

PARÁMETROS	UNIDAD	POS-TRATAMIENTO 1	D1: RIEGO DE VEGETALES (*)	CONDICIÓN DE LOS RESULTADOS
MICROBIOLÓGICOS				
Coliformes Fecales	NMP/100mL	<1.80	1000 – 2000 ^(c)	CUMPLE ECA
FISICO-QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	1.60	5	CUMPLE ECA
Conductividad	µS/cm	486.00	2500	CUMPLE ECA
DBO ₅	mg BOD ₅ /L	11.4	15	CUMPLE ECA
DQO	COD as mg O ₂ /L	24	40	CUMPLE ECA
Nitrógeno Total	mg N/L	0.31	**	NA
Oxígeno Disuelto	mg/L	6.6	≥ 4	CUMPLE ECA
pH	Unidad de pH	7.27	6.5 – 8.5	CUMPLE ECA
SST	mg TSS/L	<5	**	NA
Temperatura	°C	24.5	Δ 3	CUMPLE ECA
METALES TOTALES				
Aluminio	mg/L	<0.005	5	CUMPLE ECA
Arsénico	mg/L	<0.002	0.1	CUMPLE ECA

Bario	mg/L	0.0468	0.7	CUMPLE ECA
Boro	mg/L	0.186	1	CUMPLE ECA
Cobre	mg/L	<0.0003	0.2	CUMPLE ECA
Hierro	mg/L	<0.001	5	CUMPLE ECA
Litio	mg/L	0.0045	2.5	CUMPLE ECA
Magnesio	mg/L	8.249	**	NA
Manganeso	mg/L	<0.0001	0.2	CUMPLE ECA
Zinc	mg/L	<0.0001	2	CUMPLE ECA

(*) Categoría 3 del D.S. N° 004-2017-MINAM – Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua

El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

Δ 3 significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

NA: No aplica valoración

(c): Riego no restringido (1000); Riego restringido (2000)

Como referencia, se expresa que: la calidad de las aguas de la laguna de la mansión después de ser sometida al primer tratamiento no supera ninguno de los valores de los ECA de la subcategoría D1.

Tabla 43. Evaluación de los resultados del pos-tratamiento frente a los ECA (subcat D2)

PARÁMETROS	UNIDAD	POS-TRATAMIENTO 1	D2: BEBIDA DE ANIMALES (*)	CONDICIÓN DE LOS RESULTADOS
MICROBIOLÓGICOS				
Coliformes Fecales	NMP/100mL	<1.80	1000	CUMPLE ECA
FISICO-QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	1.60	10	CUMPLE ECA
Conductividad	μS/cm	486.00	5000	CUMPLE ECA
DBO ₅	mg BOD5/L	11.4	15	CUMPLE ECA
DQO	COD as mg O ₂ /L	24	40	CUMPLE ECA
Nitrógeno Total	mg N/L	0.31	**	NA
Oxígeno Disuelto	mg/L	6.6	≥ 5	CUMPLE ECA
pH	Unidad de pH	7.27	6.5 – 8.4	CUMPLE ECA
SST	mg TSS/L	<5	**	NA
Temperatura	°C	24.5	Δ 3	CUMPLE ECA
METALES TOTALES				
Aluminio	mg/L	<0.005	5	CUMPLE ECA

Arsénico	mg/L	<0.002	0.2	CUMPLE ECA
Bario	mg/L	0.0468	**	NA
Boro	mg/L	0.186	5	CUMPLE ECA
Cobre	mg/L	<0.0003	0.5	CUMPLE ECA
Hierro	mg/L	<0.001	**	NA
Litio	mg/L	0.0045	2.5	CUMPLE ECA
Magnesio	mg/L	8.249	250	CUMPLE ECA
Manganeso	mg/L	<0.0001	0.2	CUMPLE ECA
Zinc	mg/L	<0.0001	24	CUMPLE ECA

(*) Categoría 3 del D.S. N° 004-2017-MINAM – Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua

El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

Δ 3 significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

NA: No aplica valoración

Como referencia, se expresa que: la calidad de las aguas de la laguna de la mansión después de ser sometida al primer tratamiento no supera ninguno de los valores de los ECA de la subcategoría D2.

Tabla 44. Evaluación de los resultados del pos-tratamiento frente a los ECA (subcat E1)

PARÁMETROS	UNIDAD	POS-TRATAMIENTO 1	E1: LAGUNAS Y LAGOS (*)	CONDICIÓN DE LOS RESULTADOS
MICROBIOLÓGICOS				
Coliformes Fecales	NMP/100mL	<1.80	1000	CUMPLE ECA
FISICO-QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	1.60	5	CUMPLE ECA
Conductividad	μS/cm	486.00	1000	CUMPLE ECA
DBO	mg BOD5/L	11.4	5	NO CUMPLE ECA
DQO	COD as mg O2/L	24	**	NA
Nitrógeno Total	mg N/L	0.31	0.315	CUMPLE ECA
Oxígeno Disuelto	mg/L	6.6	≥ 5	CUMPLE ECA
pH	Unidad de pH	7.27	6.5 – 9.0	CUMPLE ECA
SST	mg TSS/L	<5	≤ 25	CUMPLE ECA
Temperatura	°C	24.5	Δ 3	CUMPLE ECA
METALES TOTALES				
Aluminio	mg/L	<0.005	**	NA

Arsénico	mg/L	<0.002	0.15	CUMPLE ECA
Bario	mg/L	0.0468	0.7	CUMPLE ECA
Boro	mg/L	0.186	**	NA
Cobre	mg/L	<0.0003	0.1	CUMPLE ECA
Hierro	mg/L	<0.001	**	NA
Litio	mg/L	0.0045	**	NA
Magnesio	mg/L	8.249	**	NA
Manganeso	mg/L	<0.0001	**	NA
Zinc	mg/L	<0.0001	0.12	CUMPLE ECA

(*) Categoría 4 del D.S. N° 004-2017-MINAM – Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua

El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

Δ 3 significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

NA: No aplica valoración

Como referencia, se expresa que: la calidad de las aguas de la laguna de la mansión después de ser sometida al primer tratamiento supera los valores de los ECA de la subcategoría E1 en un (1) solo parámetro:

- DBO5

Tabla 45. Evaluación de los resultados del post-tratamiento frente a los LMP (PTAR)

PARÁMETROS	UNIDAD	POS-TRATAMIENTO 1	LMP: EFLUENTES DE PTAR (*)	CONDICIÓN DE LOS RESULTADOS
MICROBIOLÓGICOS				
Coliformes Fecales	NMP/100mL	<1.80	10000	CUMPLE LMP
FISICO-QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	1.60	20	CUMPLE LMP
DBO	mg BOD5/L	11.4	100	CUMPLE LMP
DQO	COD as mg O2/L	24	200	CUMPLE LMP
pH	Unidad de pH	7.27	6.5 – 8.5	CUMPLE LMP
SST	mg TSS/L	<5	150	CUMPLE LMP
Temperatura	°C	24.5	< 35	CUMPLE LMP

(*) D.S. N° 003-2010-MINAM - Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de PTAR Domesticas o Municipales
 El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica
 NA: No aplica valoración

Como referencia, se expresa que: la calidad de las aguas de la laguna de la mansión después de ser sometida al primer tratamiento no supera ninguno de los valores de los LMP para los efluentes de PTAR.

Evaluación de los resultados del pos-tratamiento 2

Tabla 46. Evaluación de los resultados del pos-tratamiento frente a los ECA (subcat D1)

PARÁMETROS	UNIDAD	POS-TRATAMIENTO 2	D1: RIEGO DE VEGETALES (*)	CONDICIÓN DE LOS RESULTADOS
MICROBIOLÓGICOS				
Coliformes Fecales	NMP/100mL	330.00	1000 – 2000 ^(c)	CUMPLE ECA
FISICO-QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	1.40	5	CUMPLE ECA
Conductividad	µS/cm	491.00	2500	CUMPLE ECA
DBO ₅	mg BOD5/L	9.6	15	CUMPLE ECA
DQO	COD as mg O ₂ /L	18	40	CUMPLE ECA
Nitrógeno Total	mg N/L	0.42	**	NA
Oxígeno Disuelto	mg/L	6.0	≥ 4	CUMPLE ECA
pH	Unidad de pH	7.36	6.5 – 8.5	CUMPLE ECA
SST	mg TSS/L	<5	**	NA
Temperatura	°C	26.7	Δ 3	CUMPLE ECA
METALES TOTALES				
Aluminio	mg/L	<0.005	5	CUMPLE ECA
Arsénico	mg/L	<0.002	0.1	CUMPLE ECA
Bario	mg/L	0.0490	0.7	CUMPLE ECA
Boro	mg/L	0.120	1	CUMPLE ECA
Cobre	mg/L	<0.0003	0.2	CUMPLE ECA
Hierro	mg/L	<0.001	5	CUMPLE ECA
Litio	mg/L	0.0042	2.5	CUMPLE ECA

Magnesio	mg/L	9.200	**	NA
Manganeso	mg/L	0.0019	0.2	CUMPLE ECA
Zinc	mg/L	<0.0001	2	CUMPLE ECA

(*) Categoría 3 del D.S. N° 004-2017-MINAM – Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua

El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

Δ 3 significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

NA: No aplica valoración

(^o): Riego no restringido (1000); Riego restringido (2000)

Como referencia, se expresa que: la calidad de las aguas de la laguna de la mansión después de ser sometida al segundo tratamiento no supera ninguno de los valores de los ECA de la subcategoría D1.

Tabla 47. Evaluación de los resultados del pos-tratamiento frente a los ECA (subcat D2)

PARÁMETROS	UNIDAD	POS-TRATAMIENTO 2	D2: BEBIDA DE ANIMALES (*)	CONDICIÓN DE LOS RESULTADOS
MICROBIOLÓGICOS				
Coliformes Fecales	NMP/100mL	330.00	1000	CUMPLE ECA
FISICO-QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	1.40	10	CUMPLE ECA
Conductividad	μS/cm	491.00	5000	CUMPLE ECA
DBO ₅	mg BOD5/L	9.6	15	CUMPLE ECA
DQO	COD as mg O ₂ /L	18	40	CUMPLE ECA
Nitrógeno Total	mg N/L	0.42	**	NA
Oxígeno Disuelto	mg/L	6.0	≥ 5	CUMPLE ECA
pH	Unidad de pH	7.36	6.5 – 8.4	CUMPLE ECA
SST	mg TSS/L	<5	**	NA
Temperatura	°C	26.7	Δ 3	CUMPLE ECA
METALES TOTALES				
Aluminio	mg/L	<0.005	5	CUMPLE ECA
Arsénico	mg/L	<0.002	0.2	CUMPLE ECA
Bario	mg/L	0.0490	**	NA
Boro	mg/L	0.120	5	CUMPLE ECA
Cobre	mg/L	<0.0003	0.5	CUMPLE ECA
Hierro	mg/L	<0.001	**	NA

Litio	mg/L	0.0042	2.5	CUMPLE ECA
Magnesio	mg/L	9.200	250	CUMPLE ECA
Manganeso	mg/L	0.0019	0.2	CUMPLE ECA
Zinc	mg/L	<0.0001	24	CUMPLE ECA

(*) Categoría 3 del D.S. N° 004-2017-MINAM – Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua

El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

Δ 3 significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

NA: No aplica valoración

Como referencia, se expresa que: la calidad de las aguas de la laguna de la mansión después de ser sometida al segundo tratamiento no supera ninguno de los valores de los ECA de la subcategoría D2.

Tabla 48. Evaluación de los resultados del pos-tratamiento frente a los ECA (subcat E1)

PARÁMETROS	UNIDAD	POS-TRATAMIENTO 2	E1: LAGUNAS Y LAGOS (*)	CONDICIÓN DE LOS RESULTADOS
MICROBIOLÓGICOS				
Coliformes Fecales	NMP/100mL	330.00	1000	CUMPLE ECA
FISICO-QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	1.40	5	CUMPLE ECA
Conductividad	μS/cm	491.00	1000	CUMPLE ECA
DBO	mg BOD5/L	9.6	5	NO CUMPLE ECA
DQO	COD as mg O2/L	18	**	NA
Nitrógeno Total	mg N/L	0.42	0.315	NO CUMPLE ECA
Oxígeno Disuelto	mg/L	6.0	≥ 5	CUMPLE ECA
pH	Unidad de pH	7.36	6.5 – 9.0	CUMPLE ECA
SST	mg TSS/L	<5	≤ 25	CUMPLE ECA
Temperatura	°C	26.7	Δ 3	CUMPLE ECA
METALES TOTALES				
Aluminio	mg/L	<0.005	**	NA
Arsénico	mg/L	<0.002	0.15	CUMPLE ECA
Bario	mg/L	0.0490	0.7	CUMPLE ECA
Boro	mg/L	0.120	**	NA
Cobre	mg/L	<0.0003	0.1	CUMPLE ECA
Hierro	mg/L	<0.001	**	NA

Litio	mg/L	0.0042	**	NA
Magnesio	mg/L	9.200	**	NA
Manganeso	mg/L	0.0019	**	NA
Zinc	mg/L	<0.0001	0.12	CUMPLE ECA

(*) Categoría 4 del D.S. N° 004-2017-MINAM – Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua

El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

Δ 3 significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

NA: No aplica valoración

Como referencia, se expresa que: la calidad de las aguas de la laguna de la mansión después de ser sometida al segundo tratamiento supera los valores de los ECA de la subcategoría E1 en dos (2) parámetros:

- DBO5
- Nitrógeno total

Tabla 49. Evaluación de los resultados del post-tratamiento frente a los LMP (PTAR)

PARÁMETROS	UNIDAD	POS-TRATAMIENTO 2	LMP: EFLUENTES DE PTAR (*)	CONDICIÓN DE LOS RESULTADOS
MICROBIOLÓGICOS				
Coliformes Fecales	NMP/100mL	330.00	10000	CUMPLE LMP
FISICO-QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	1.40	20	CUMPLE LMP
DBO	mg BOD5/L	9.6	100	CUMPLE LMP
DQO	COD as mg O2/L	18	200	CUMPLE LMP
pH	Unidad de pH	7.36	6.5 – 8.5	CUMPLE LMP
SST	mg TSS/L	<5	150	CUMPLE LMP
Temperatura	°C	26.7	< 35	CUMPLE LMP

(*) D.S. N° 003-2010-MINAM - Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de PTAR Domesticas o Municipales

El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica

NA: No aplica valoración

Como referencia, se expresa que: la calidad de las aguas de la laguna de la mansión después de ser sometida al segundo tratamiento no supera ninguno de los valores de los LMP para los efluentes de PTAR.

Evaluación de los resultados del pos-tratamiento 3

Tabla 50. Evaluación de los resultados del pos-tratamiento frente a los ECA (subcat D1)

PARÁMETROS	UNIDAD	POS-TRATAMIENTO 3	D1: RIEGO DE VEGETALES (*)	CONDICIÓN DE LOS RESULTADOS
MICROBIOLÓGICOS				
Coliformes Fecales	NMP/100mL	<1.80	1000 – 2000 ^(c)	CUMPLE ECA
FISICO-QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	1.20	5	CUMPLE ECA
Conductividad	µS/cm	470.00	2500	CUMPLE ECA
DBO ₅	mg BOD ₅ /L	14.5	15	CUMPLE ECA
DQO	COD as mg O ₂ /L	31	40	CUMPLE ECA
Nitrógeno Total	mg N/L	0.59	**	NA
Oxígeno Disuelto	mg/L	5.3	≥ 4	CUMPLE ECA
pH	Unidad de pH	7.13	6.5 – 8.5	CUMPLE ECA
SST	mg TSS/L	<5	**	NA
Temperatura	°C	26.0	Δ 3	CUMPLE ECA
METALES TOTALES				
Aluminio	mg/L	<0.005	5	CUMPLE ECA
Arsénico	mg/L	<0.002	0.1	CUMPLE ECA
Bario	mg/L	0.0505	0.7	CUMPLE ECA
Boro	mg/L	0.147	1	CUMPLE ECA
Cobre	mg/L	<0.0003	0.2	CUMPLE ECA
Hierro	mg/L	<0.001	5	CUMPLE ECA
Litio	mg/L	0.0043	2.5	CUMPLE ECA
Magnesio	mg/L	9.795	**	NA
Manganeso	mg/L	<0.0001	0.2	CUMPLE ECA
Zinc	mg/L	<0.0001	2	CUMPLE ECA

(*) Categoría 3 del D.S. N° 004-2017-MINAM – Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua

El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

Δ 3 significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

NA: No aplica valoración

^(c): Riego no restringido (1000); Riego restringido (2000)

Como referencia, se expresa que: la calidad de las aguas de la laguna de la mansión después de ser sometida al tercer tratamiento no supera ninguno de los valores de los ECA de la subcategoría D1.

Tabla 51. Evaluación de los resultados del pos-tratamiento frente a los ECA (subcat D2)

PARÁMETROS	UNIDAD	POS-TRATAMIENTO 3	D2: BEBIDA DE ANIMALES (*)	CONDICIÓN DE LOS RESULTADOS
MICROBIOLÓGICOS				
Coliformes Fecales	NMP/100mL	<1.80	1000	CUMPLE ECA
FISICO-QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	1.20	10	CUMPLE ECA
Conductividad	µS/cm	470.00	5000	CUMPLE ECA
DBO ₅	mg BOD5/L	14.5	15	CUMPLE ECA
DQO	COD as mg O ₂ /L	31	40	CUMPLE ECA
Nitrógeno Total	mg N/L	0.59	**	NA
Oxígeno Disuelto	mg/L	5.3	≥ 5	CUMPLE ECA
pH	Unidad de pH	7.13	6.5 – 8.4	CUMPLE ECA
SST	mg TSS/L	<5	**	NA
Temperatura	°C	26.0	Δ 3	CUMPLE ECA
METALES TOTALES				
Aluminio	mg/L	<0.005	5	CUMPLE ECA
Arsénico	mg/L	<0.002	0.2	CUMPLE ECA
Bario	mg/L	0.0505	**	NA
Boro	mg/L	0.147	5	CUMPLE ECA
Cobre	mg/L	<0.0003	0.5	CUMPLE ECA
Hierro	mg/L	<0.001	**	NA
Litio	mg/L	0.0043	2.5	CUMPLE ECA
Magnesio	mg/L	9.795	250	CUMPLE ECA
Manganeso	mg/L	<0.0001	0.2	CUMPLE ECA
Zinc	mg/L	<0.0001	24	CUMPLE ECA

(*) Categoría 3 del D.S. N° 004-2017-MINAM – Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua

El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

Δ 3 significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

NA: No aplica valoración

Como referencia, se expresa que: la calidad de las aguas de la laguna de la mansión después de ser sometida al tercer tratamiento no supera ninguno de los valores de los ECA de la subcategoría D2.

Tabla 52. Evaluación de los resultados del pos-tratamiento frente a los ECA (subcat E1)

PARÁMETROS	UNIDAD	POS-TRATAMIENTO 3	E1: LAGUNAS Y LAGOS (*)	CONDICIÓN DE LOS RESULTADOS
MICROBIOLÓGICOS				
Coliformes Fecales	NMP/100mL	<1.80	1000	CUMPLE ECA
FISICO-QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	1.20	5	CUMPLE ECA
Conductividad	µS/cm	470.00	1000	CUMPLE ECA
DBO	mg BOD5/L	14.5	5	NO CUMPLE ECA
DQO	COD as mg O2/L	31	**	NA
Nitrógeno Total	mg N/L	0.59	0.315	NO CUMPLE ECA
Oxígeno Disuelto	mg/L	5.3	≥ 5	CUMPLE ECA
pH	Unidad de pH	7.13	6.5 – 9.0	CUMPLE ECA
SST	mg TSS/L	<5	≤ 25	CUMPLE ECA
Temperatura	°C	26.0	Δ 3	CUMPLE ECA
METALES TOTALES				
Aluminio	mg/L	<0.005	**	NA
Arsénico	mg/L	<0.002	0.15	CUMPLE ECA
Bario	mg/L	0.0505	0.7	CUMPLE ECA
Boro	mg/L	0.147	**	NA
Cobre	mg/L	<0.0003	0.1	CUMPLE ECA
Hierro	mg/L	<0.001	**	NA
Litio	mg/L	0.0043	**	NA
Magnesio	mg/L	9.795	**	NA
Manganeso	mg/L	<0.0001	**	NA
Zinc	mg/L	<0.0001	0.12	CUMPLE ECA

(*) Categoría 4 del D.S. N° 004-2017-MINAM – Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua

El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

Δ 3 significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

NA: No aplica valoración

Como referencia, se expresa que: la calidad de las aguas de la laguna de la mansión después de ser sometida al tercer tratamiento supera los valores de los ECA de la subcategoría E1 en dos (2) parámetros:

- DBO5
- Nitrógeno total

Tabla 53. Evaluación de los resultados del pos-tratamiento frente a los LMP (PTAR)

PARÁMETROS	UNIDAD	POS-TRATAMIENTO 3	LMP: EFLUENTES DE PTAR (*)	CONDICIÓN DE LOS RESULTADOS
MICROBIOLÓGICOS				
Coliformes Fecales	NMP/100mL	<1.80	10000	CUMPLE LMP
FISICO-QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	1.20	20	CUMPLE LMP
DBO	mg BOD5/L	14.5	100	CUMPLE LMP
DQO	COD as mg O2/L	31	200	CUMPLE LMP
pH	Unidad de pH	7.13	6.5 – 8.5	CUMPLE LMP
SST	mg TSS/L	<5	150	CUMPLE LMP
Temperatura	°C	26.0	< 35	CUMPLE LMP

(*) D.S. N° 003-2010-MINAM - Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de PTAR Domesticas o Municipales

El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica

NA: No aplica valoración

Como referencia, se expresa que: la calidad de las aguas de la laguna de la mansión después de ser sometida al tercer tratamiento no supera ninguno de los valores de los LMP para los efluentes de PTAR.

Evaluación de los resultados del pos-tratamiento 4

Tabla 54. Evaluación de los resultados del pos-tratamiento frente a los ECA (subcat D1)

PARÁMETROS	UNIDAD	POS-TRATAMIENTO 4	D1: RIEGO DE VEGETALES (*)	CONDICIÓN DE LOS RESULTADOS
MICROBIOLÓGICOS				
Coliformes Fecales	NMP/100mL	<1.80	1000 – 2000 ^(c)	CUMPLE ECA

FISICO-QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	0.90	5	CUMPLE ECA
Conductividad	µS/cm	455.00	2500	CUMPLE ECA
DBO ₅	mg BOD5/L	9.8	15	CUMPLE ECA
DQO	COD as mg O2/L	20	40	CUMPLE ECA
Nitrógeno Total	mg N/L	0.52	**	NA
Oxígeno Disuelto	mg/L	5.9	≥ 4	CUMPLE ECA
pH	Unidad de pH	7.41	6.5 – 8.5	CUMPLE ECA
SST	mg TSS/L	<5	**	NA
Temperatura	°C	26.7	Δ 3	CUMPLE ECA
METALES TOTALES				
Aluminio	mg/L	<0.005	5	CUMPLE ECA
Arsénico	mg/L	0.003	0.1	CUMPLE ECA
Bario	mg/L	0.0448	0.7	CUMPLE ECA
Boro	mg/L	0.123	1	CUMPLE ECA
Cobre	mg/L	<0.0003	0.2	CUMPLE ECA
Hierro	mg/L	<0.001	5	CUMPLE ECA
Litio	mg/L	0.0039	2.5	CUMPLE ECA
Magnesio	mg/L	9.256	**	NA
Manganeso	mg/L	<0.0001	0.2	CUMPLE ECA
Zinc	mg/L	<0.0001	2	CUMPLE ECA

(*) Categoría 3 del D.S. N° 004-2017-MINAM – Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua

El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

Δ 3 significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

NA: No aplica valoración

(c): Riego no restringido (1000); Riego restringido (2000)

Como referencia, se expresa que: la calidad de las aguas de la laguna de la mansión después de ser sometida al cuarto tratamiento no supera ninguno de los valores de los ECA de la subcategoría D1.

Tabla 55. Evaluación de los resultados del pos-tratamiento frente a los ECA (subcat D2)

PARÁMETROS	UNIDAD	POS-TRATAMIENTO 4	D2: BEBIDA DE ANIMALES (*)	CONDICIÓN DE LOS RESULTADOS
MICROBIOLÓGICOS				

Coliformes Fecales	NMP/100mL	<1.80	1000	CUMPLE ECA
FISICO-QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	0.90	10	CUMPLE ECA
Conductividad	µS/cm	455.00	5000	CUMPLE ECA
DBO ₅	mg BOD5/L	9.8	15	CUMPLE ECA
DQO	COD as mg O2/L	20	40	CUMPLE ECA
Nitrógeno Total	mg N/L	0.52	**	NA
Oxígeno Disuelto	mg/L	5.9	≥ 5	CUMPLE ECA
pH	Unidad de pH	7.41	6.5 – 8.4	CUMPLE ECA
SST	mg TSS/L	<5	**	NA
Temperatura	°C	26.7	Δ 3	CUMPLE ECA
METALES TOTALES				
Aluminio	mg/L	<0.005	5	CUMPLE ECA
Arsénico	mg/L	0.003	0.2	CUMPLE ECA
Bario	mg/L	0.0448	**	NA
Boro	mg/L	0.123	5	CUMPLE ECA
Cobre	mg/L	<0.0003	0.5	CUMPLE ECA
Hierro	mg/L	<0.001	**	NA
Litio	mg/L	0.0039	2.5	CUMPLE ECA
Magnesio	mg/L	9.256	250	CUMPLE ECA
Manganeso	mg/L	<0.0001	0.2	CUMPLE ECA
Zinc	mg/L	<0.0001	24	CUMPLE ECA

(*) Categoría 3 del D.S. N° 004-2017-MINAM – Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua

El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

Δ 3 significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

NA: No aplica valoración

Como referencia, se expresa que: la calidad de las aguas de la laguna de la mansión después de ser sometida al cuarto tratamiento no supera ninguno de los valores de los ECA de la subcategoría D2

Tabla 56. Evaluación de los resultados del pos-tratamiento frente a los ECA (subcat E1)

PARÁMETROS	UNIDAD	POS-TRATAMIENTO 4	E1: LAGUNAS Y LAGOS (*)	CONDICIÓN DE LOS RESULTADOS
MICROBIOLÓGICOS				

Coliformes Fecales	NMP/100mL	<1.80	1000	CUMPLE ECA
FISICO-QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	0.90	5	CUMPLE ECA
Conductividad	µS/cm	455.00	1000	CUMPLE ECA
DBO	mg BOD5/L	9.8	5	NO CUMPLE ECA
DQO	COD as mg O2/L	20	**	NA
Nitrógeno Total	mg N/L	0.52	0.315	NO CUMPLE ECA
Oxígeno Disuelto	mg/L	5.9	≥ 5	CUMPLE ECA
pH	Unidad de pH	7.41	6.5 – 9.0	CUMPLE ECA
SST	mg TSS/L	<5	≤ 25	CUMPLE ECA
Temperatura	°C	26.7	Δ 3	CUMPLE ECA
METALES TOTALES				
Aluminio	mg/L	<0.005	**	NA
Arsénico	mg/L	0.003	0.15	CUMPLE ECA
Bario	mg/L	0.0448	0.7	CUMPLE ECA
Boro	mg/L	0.123	**	NA
Cobre	mg/L	<0.0003	0.1	CUMPLE ECA
Hierro	mg/L	<0.001	**	NA
Litio	mg/L	0.0039	**	NA
Magnesio	mg/L	9.256	**	NA
Manganeso	mg/L	<0.0001	**	NA
Zinc	mg/L	<0.0001	0.12	CUMPLE ECA

(*) Categoría 4 del D.S. N° 004-2017-MINAM – Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua

El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

Δ 3 significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

NA: No aplica valoración

Como referencia, se expresa que: la calidad de las aguas de la laguna de la mansión después de ser sometida al cuarto tratamiento supera los valores de los ECA de la subcategoría E1 en dos (2) parámetros:

- DBO5
- Nitrógeno total

Tabla 57. Evaluación de los resultados del post-tratamiento frente a los LMP (PTAR)

PARÁMETROS	UNIDAD	POS-TRATAMIENTO 4	LMP: EFLUENTES DE PTAR (*)	CONDICIÓN DE LOS RESULTADOS
MICROBIOLÓGICOS				
Coliformes Fecales	NMP/100mL	<1.80	10000	CUMPLE LMP
FISICO-QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	0.90	20	CUMPLE LMP
DBO	mg BOD5/L	9.8	100	CUMPLE LMP
DQO	COD as mg O2/L	20	200	CUMPLE LMP
pH	Unidad de pH	7.41	6.5 – 8.5	CUMPLE LMP
SST	mg TSS/L	<5	150	CUMPLE LMP
Temperatura	°C	26.7	< 35	CUMPLE LMP

(*) D.S. N° 003-2010-MINAM - Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de PTAR Domesticas o Municipales
 El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica
 NA: No aplica valoración

Como referencia, se expresa que: la calidad de las aguas de la laguna de la mansión después de ser sometida al cuarto tratamiento no supera ninguno de los valores de los LMP para los efluentes de PTAR.

Evaluación de los resultados del pos-tratamiento 5

Tabla 58. Evaluación de los resultados del pos-tratamiento frente a los ECA (subcat D1)

PARÁMETROS	UNIDAD	POS-TRATAMIENTO 5	D1: RIEGO DE VEGETALES (*)	CONDICIÓN DE LOS RESULTADOS
MICROBIOLÓGICOS				
Coliformes Fecales	NMP/100mL	<1.80	1000 – 2000 ^(c)	CUMPLE ECA
FISICO-QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	1.10	5	CUMPLE ECA
Conductividad	µS/cm	452.00	2500	CUMPLE ECA
DBO ₅	mg BOD5/L	9.8	15	CUMPLE ECA
DQO	COD as mg O2/L	19	40	CUMPLE ECA
Nitrógeno Total	mg N/L	0.45	**	NA
Oxígeno Disuelto	mg/L	6.9	≥ 4	CUMPLE ECA
pH	Unidad de pH	7.16	6.5 – 8.5	CUMPLE ECA

SST	mg TSS/L	<5	**	NA
Temperatura	°C	25.3	Δ 3	CUMPLE ECA
METALES TOTALES				
Aluminio	mg/L	<0.005	5	CUMPLE ECA
Arsénico	mg/L	<0.002	0.1	CUMPLE ECA
Bario	mg/L	0.0482	0.7	CUMPLE ECA
Boro	mg/L	0.118	1	CUMPLE ECA
Cobre	mg/L	0.0004	0.2	CUMPLE ECA
Hierro	mg/L	<0.001	5	CUMPLE ECA
Litio	mg/L	0.0038	2.5	CUMPLE ECA
Magnesio	mg/L	8.151	**	NA
Manganeso	mg/L	<0.0001	0.2	CUMPLE ECA
Zinc	mg/L	<0.0001	2	CUMPLE ECA

(*) Categoría 3 del D.S. N° 004-2017-MINAM – Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua

El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

Δ 3 significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

NA: No aplica valoración

(c): Riego no restringido (1000); Riego restringido (2000)

Como referencia, se expresa que: la calidad de las aguas de la laguna de la mansión después de ser sometida al quinto tratamiento no supera ninguno de los valores de los ECA de la subcategoría D1.

Tabla 59. Evaluación de los resultados del pos-tratamiento frente a los ECA (subcat D2)

PARÁMETROS	UNIDAD	POS-TRATAMIENTO 5	D2: BEBIDA DE ANIMALES (*)	CONDICIÓN DE LOS RESULTADOS
MICROBIOLÓGICOS				
Coliformes Fecales	NMP/100mL	<1.80	1000	CUMPLE ECA
FISICO-QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	1.10	10	CUMPLE ECA
Conductividad	μS/cm	452.00	5000	CUMPLE ECA
DBO ₅	mg BOD5/L	9.8	15	CUMPLE ECA
DQO	COD as mg O2/L	19	40	CUMPLE ECA
Nitrógeno Total	mg N/L	0.45	**	NA
Oxígeno Disuelto	mg/L	6.9	≥ 5	CUMPLE ECA

pH	Unidad de pH	7.16	6.5 – 8.4	CUMPLE ECA
SST	mg TSS/L	<5	**	NA
Temperatura	°C	25.3	Δ 3	CUMPLE ECA
METALES TOTALES				
Aluminio	mg/L	<0.005	5	CUMPLE ECA
Arsénico	mg/L	<0.002	0.2	CUMPLE ECA
Bario	mg/L	0.0482	**	NA
Boro	mg/L	0.118	5	CUMPLE ECA
Cobre	mg/L	0.0004	0.5	CUMPLE ECA
Hierro	mg/L	<0.001	**	NA
Litio	mg/L	0.0038	2.5	CUMPLE ECA
Magnesio	mg/L	8.151	250	CUMPLE ECA
Manganeso	mg/L	<0.0001	0.2	CUMPLE ECA
Zinc	mg/L	<0.0001	24	CUMPLE ECA

(*) Categoría 3 del D.S. N° 004-2017-MINAM – Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua

El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

Δ 3 significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

NA: No aplica valoración

Como referencia, se expresa que: la calidad de las aguas de la laguna de la mansión después de ser sometida al quinto tratamiento no supera ninguno de los valores de los ECA de la subcategoría D2.

Tabla 60. Evaluación de los resultados del pos-tratamiento frente a los ECA (subcat E1)

PARÁMETROS	UNIDAD	POS-TRATAMIENTO 5	E1: LAGUNAS Y LAGOS (*)	CONDICIÓN DE LOS RESULTADOS
MICROBIOLÓGICOS				
Coliformes Fecales	NMP/100mL	<1.80	1000	CUMPLE ECA
FISICO-QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	1.10	5	CUMPLE ECA
Conductividad	μS/cm	452.00	1000	CUMPLE ECA
DBO	mg BOD5/L	9.8	5	NO CUMPLE ECA
DQO	COD as mg O2/L	19	**	NA
Nitrógeno Total	mg N/L	0.45	0.315	NO CUMPLE ECA
Oxígeno Disuelto	mg/L	6.9	≥ 5	CUMPLE ECA

pH	Unidad de pH	7.16	6.5 – 9.0	CUMPLE ECA
SST	mg TSS/L	<5	≤ 25	CUMPLE ECA
Temperatura	°C	25.3	Δ 3	CUMPLE ECA
METALES TOTALES				
Aluminio	mg/L	<0.005	**	NA
Arsénico	mg/L	<0.002	0.15	CUMPLE ECA
Bario	mg/L	0.0482	0.7	CUMPLE ECA
Boro	mg/L	0.118	**	NA
Cobre	mg/L	0.0004	0.1	CUMPLE ECA
Hierro	mg/L	<0.001	**	NA
Litio	mg/L	0.0038	**	NA
Magnesio	mg/L	8.151	**	NA
Manganeso	mg/L	<0.0001	**	NA
Zinc	mg/L	<0.0001	0.12	CUMPLE ECA

(*) Categoría 4 del D.S. N° 004-2017-MINAM – Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua

El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

Δ 3 significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

NA: No aplica valoración

Como referencia, se expresa que: la calidad de las aguas de la laguna de la mansión después de ser sometida al quinto tratamiento supera los valores de los ECA de la subcategoría E1 en dos (2) parámetros:

- DBO5
- Nitrógeno total

Tabla 61. Evaluación de los resultados del post-tratamiento frente a los LMP (PTAR)

PARÁMETROS	UNIDAD	POS-TRATAMIENTO 5	LMP: EFLUENTES DE PTAR (*)	CONDICIÓN DE LOS RESULTADOS
MICROBIOLÓGICOS				
Coliformes Fecales	NMP/100mL	<1.80	10000	CUMPLE LMP
FISICO-QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	1.10	20	CUMPLE LMP
DBO	mg BOD5/L	9.8	100	CUMPLE LMP
DQO	COD as mg O2/L	19	200	CUMPLE LMP

pH	Unidad de pH	7.16	6.5 – 8.5	CUMPLE LMP
SST	mg TSS/L	<5	150	CUMPLE LMP
Temperatura	°C	25.3	< 35	CUMPLE LMP

(*) D.S. N° 003-2010-MINAM - Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de PTAR Domesticas o Municipales

El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica

NA: No aplica valoración

Como referencia, se expresa que: la calidad de las aguas de la laguna de la mansión después de ser sometida al quinto tratamiento no supera ninguno de los valores de los LMP para los efluentes de PTAR.

Evaluación de los resultados del pos-tratamiento 6

Tabla 62. Evaluación de los resultados del pos-tratamiento frente a los ECA (subcat D1)

PARÁMETROS	UNIDAD	POS-TRATAMIENTO 6	D1: RIEGO DE VEGETALES (*)	CONDICIÓN DE LOS RESULTADOS
MICROBIOLÓGICOS				
Coliformes Fecales	NMP/100mL	<1.80	1000 – 2000 ^(c)	CUMPLE ECA
FISICO-QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	0.60	5	CUMPLE ECA
Conductividad	µS/cm	459.00	2500	CUMPLE ECA
DBO ₅	mg BOD5/L	11.8	15	CUMPLE ECA
DQO	COD as mg O2/L	21	40	CUMPLE ECA
Nitrógeno Total	mg N/L	0.75	**	NA
Oxígeno Disuelto	mg/L	7.4	≥ 4	CUMPLE ECA
pH	Unidad de pH	7.54	6.5 – 8.5	CUMPLE ECA
SST	mg TSS/L	<5	**	NA
Temperatura	°C	25.5	Δ 3	CUMPLE ECA
METALES TOTALES				
Aluminio	mg/L	<0.005	5	CUMPLE ECA
Arsénico	mg/L	<0.002	0.1	CUMPLE ECA
Bario	mg/L	0.0505	0.7	CUMPLE ECA
Boro	mg/L	0.111	1	CUMPLE ECA
Cobre	mg/L	0.0004	0.2	CUMPLE ECA
Hierro	mg/L	<0.001	5	CUMPLE ECA

Litio	mg/L	0.0041	2.5	CUMPLE ECA
Magnesio	mg/L	8.762	**	NA
Manganeso	mg/L	<0.0001	0.2	CUMPLE ECA
Zinc	mg/L	<0.0001	2	CUMPLE ECA

(*) Categoría 3 del D.S. N° 004-2017-MINAM – Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua

El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

Δ 3 significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

NA: No aplica valoración

(c): Riego no restringido (1000); Riego restringido (2000)

Como referencia, se expresa que: la calidad de las aguas de la laguna de la mansión después de ser sometida al sexto tratamiento no supera ninguno de los valores de los ECA de la subcategoría D1.

Tabla 63. Evaluación de los resultados del pos-tratamiento frente a los ECA (subcat D2)

PARÁMETROS	UNIDAD	POS-TRATAMIENTO 6	D2: BEBIDA DE ANIMALES (*)	CONDICIÓN DE LOS RESULTADOS
MICROBIOLÓGICOS				
Coliformes Fecales	NMP/100mL	<1.80	1000	CUMPLE ECA
FISICO-QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	0.60	10	CUMPLE ECA
Conductividad	µS/cm	459.00	5000	CUMPLE ECA
DBO ₅	mg BOD5/L	11.8	15	CUMPLE ECA
DQO	COD as mg O2/L	21	40	CUMPLE ECA
Nitrógeno Total	mg N/L	0.75	**	NA
Oxígeno Disuelto	mg/L	7.4	≥ 5	CUMPLE ECA
pH	Unidad de pH	7.54	6.5 – 8.4	CUMPLE ECA
SST	mg TSS/L	<5	**	NA
Temperatura	°C	25.5	Δ 3	CUMPLE ECA
METALES TOTALES				
Aluminio	mg/L	<0.005	5	CUMPLE ECA
Arsénico	mg/L	<0.002	0.2	CUMPLE ECA
Bario	mg/L	0.0505	**	NA
Boro	mg/L	0.111	5	CUMPLE ECA
Cobre	mg/L	0.0004	0.5	CUMPLE ECA

Hierro	mg/L	<0.001	**	NA
Litio	mg/L	0.0041	2.5	CUMPLE ECA
Magnesio	mg/L	8.762	250	CUMPLE ECA
Manganeso	mg/L	<0.0001	0.2	CUMPLE ECA
Zinc	mg/L	<0.0001	24	CUMPLE ECA

(*) Categoría 3 del D.S. N° 004-2017-MINAM – Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua

El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

Δ 3 significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

NA: No aplica valoración

Como referencia, se expresa que: la calidad de las aguas de la laguna de la mansión después de ser sometida al sexto tratamiento no supera ninguno de los valores de los ECA de la subcategoría D2.

Tabla 64. Evaluación de los resultados del pos-tratamiento frente a los ECA (subcat E1)

PARÁMETROS	UNIDAD	POS-TRATAMIENTO 6	E1: LAGUNAS Y LAGOS (*)	CONDICIÓN DE LOS RESULTADOS
MICROBIOLÓGICOS				
Coliformes Fecales	NMP/100mL	<1.80	1000	CUMPLE ECA
FISICO-QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	0.60	5	CUMPLE ECA
Conductividad	μS/cm	459.00	1000	CUMPLE ECA
DBO	mg BOD5/L	11.8	5	NO CUMPLE ECA
DQO	COD as mg O2/L	21	**	NA
Nitrógeno Total	mg N/L	0.75	0.315	NO CUMPLE ECA
Oxígeno Disuelto	mg/L	7.4	≥ 5	CUMPLE ECA
pH	Unidad de pH	7.54	6.5 – 9.0	CUMPLE ECA
SST	mg TSS/L	<5	≤ 25	CUMPLE ECA
Temperatura	°C	25.5	Δ 3	CUMPLE ECA
METALES TOTALES				
Aluminio	mg/L	<0.005	**	NA
Arsénico	mg/L	<0.002	0.15	CUMPLE ECA
Bario	mg/L	0.0505	0.7	CUMPLE ECA
Boro	mg/L	0.111	**	NA
Cobre	mg/L	0.0004	0.1	CUMPLE ECA

Hierro	mg/L	<0.001	**	NA
Litio	mg/L	0.0041	**	NA
Magnesio	mg/L	8.762	**	NA
Manganeso	mg/L	<0.0001	**	NA
Zinc	mg/L	<0.0001	0.12	CUMPLE ECA

(*) Categoría 4 del D.S. N° 004-2017-MINAM – Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua

El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

Δ 3 significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

NA: No aplica valoración

Como referencia, se expresa que: la calidad de las aguas de la laguna de la mansión después de ser sometida al sexto tratamiento supera los valores de los ECA de la subcategoría E1 en dos (2) parámetros:

- DBO5
- Nitrógeno total

Tabla 65. Evaluación de los resultados del post-tratamiento frente a los LMP (PTAR)

PARÁMETROS	UNIDAD	POS-TRATAMIENTO 6	LMP: EFLUENTES DE PTAR (*)	CONDICIÓN DE LOS RESULTADOS
MICROBIOLÓGICOS				
Coliformes Fecales	NMP/100mL	<1.80	10000	CUMPLE LMP
FISICO-QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	0.60	20	CUMPLE LMP
DBO	mg BOD5/L	11.8	100	CUMPLE LMP
DQO	COD as mg O2/L	21	200	CUMPLE LMP
pH	Unidad de pH	7.54	6.5 – 8.5	CUMPLE LMP
SST	mg TSS/L	<5	150	CUMPLE LMP
Temperatura	°C	25.5	< 35	CUMPLE LMP

(*) D.S. N° 003-2010-MINAM - Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de PTAR Domesticas o Municipales

El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica

NA: No aplica valoración

Como referencia, se expresa que: la calidad de las aguas de la laguna de la mansión después de ser sometida al sexto tratamiento no supera ninguno de los valores de los LMP para los efluentes de PTAR.

4.2. Análisis descriptivo exploratorio de las variables

Para una mejor comprensión de las tablas de comparación expuestas, en las siguientes líneas se graficará el comportamiento seguido por los parámetros a lo largo de la corrida experimental. De igual manera, se graficará la condición final de remoción (según corresponda) lograda por cada uno de los tratamientos de fitodepuración aplicados.

Antes de iniciar el análisis descriptivo comparativo de cada parámetro, creemos necesario hacer remembranza de la composición de los seis (6) tratamientos de fitodepuración aplicados:

- Tratamiento 1: Tratamiento con *Eichhornia crassipes* y *Spirodela polyrhiza*
- Tratamiento 2: Tratamiento con *Eichhornia crassipes* y *Spirodela polyrhiza* (+ aireación)
- Tratamiento 3: Tratamiento con *Pistia stratiotes* y *Spirodela polyrhiza*
- Tratamiento 4: Tratamiento con *Pistia stratiotes* y *Spirodela polyrhiza* (+ aireación)
- Tratamiento 5: Tratamiento con *Limnobium laevigatum* y *Spirodela polyrhiza*
- Tratamiento 6: Tratamiento con *Limnobium laevigatum* y *Spirodela polyrhiza* (+ aireación)

Como ya se precisó con anterioridad, estos seis (6) tratamientos aplicados se pueden dividir (de acuerdo a los cultivos empleados) en tres grupos de pares, asimismo, cada par puede diferenciarse uno del otro por la aplicación o inyección de aire asistida por pequeñas bombas de aireación a pilas

Así pues, además de la capacidad fitodepuradora de las especies macrófitas flotantes empleadas, a través de los gráficos se buscará identificar también la existencia de diferencia significativa de los tratamientos de fitodepuración complementados con aireación.

Aceites y grasas

Los resultados obtenidos en este parámetro muestran una baja presencia en las aguas de la laguna de la mansión, la concentración másica de este parámetro en el pre-monitoreo arrojó un valor de 1.50 mg/L, es decir, en proporción a un litro de muestra de agua se detectó 1.50 miligramos de aceites y grasas; respecto a las subcategorías D1 y E1 de los ECA este

valor antes de los tratamientos es 3.33 veces menor, respecto a la subcategoría D2 es 6.67 veces menor y respecto a los LMP es 13.33 veces menor.

En cuanto a los resultados después de los tratamientos, como es de suponer, siguen una tendencia a la baja, es decir, a la remoción del parámetro; sin embargo, como única excepción, se puede visualizar que en el primer tratamiento hubo un incremento del parámetro del 6.67%, no hubo remoción en lo absoluto lo cual permite deducir que este incremento no significativo se debió probablemente a una leve contaminación del tratamiento en algún punto de la corrida experimental.

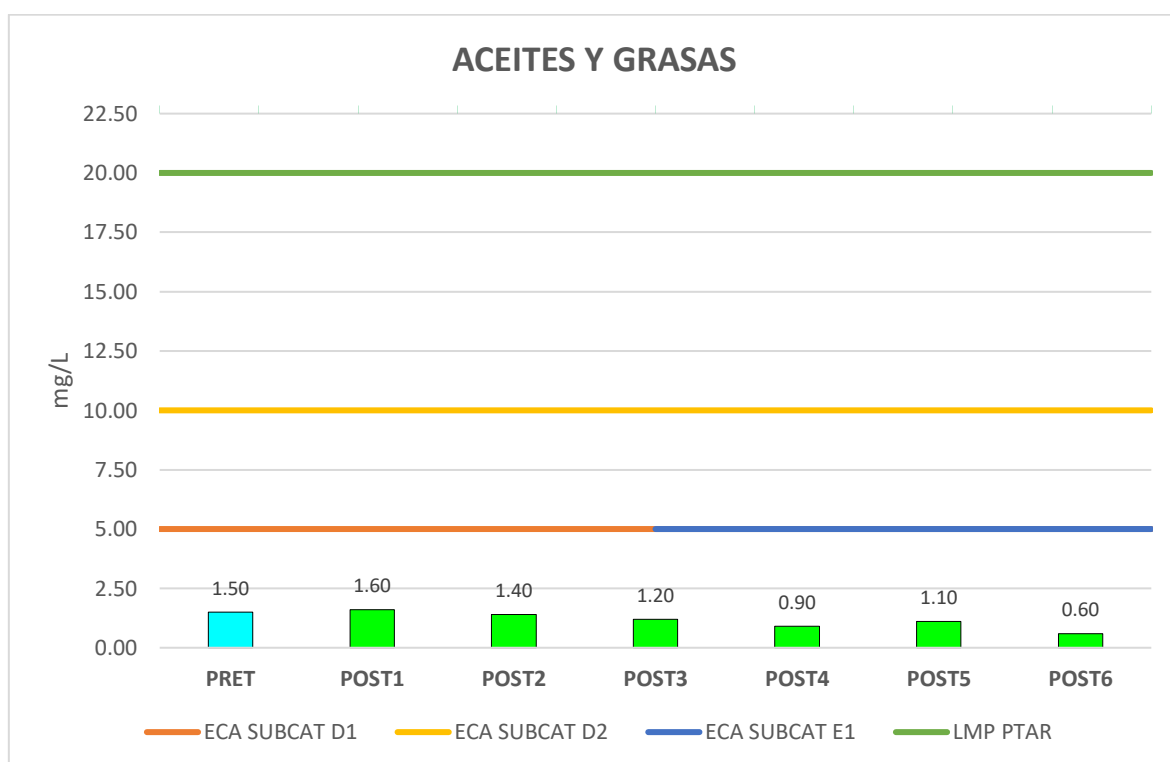


Figura 57. Comparación de los aceites y grasas antes y después de los tratamientos

En cuanto al porcentaje o eficiencia de remoción del parámetro alcanzado por grupos de pares se puede concluir que los tratamientos con *Limnobium laevigatum* y *Spirodela polyrhiza* fueron los más eficientes con una media de remoción del 43.34%, mientras que los tratamientos con *Eichhornia crassipes* y *Spirodela polyrhiza* fueron los menos eficientes con una media de remoción nula.

En lo que respecta a la aireación asistida se puede destacar que en todos los casos los tratamientos de fitodepuración complementados con aireación muestran mejores resultados de depuración que sus pares sin aireación; en la siguiente gráfica se puede visualizar que: la remoción en el segundo tratamiento es 13.33% superior al primero, la remoción en el cuarto

tratamiento es 20.00% superior al tercero, y la remoción en el sexto tratamiento es 33.33% superior al quinto.

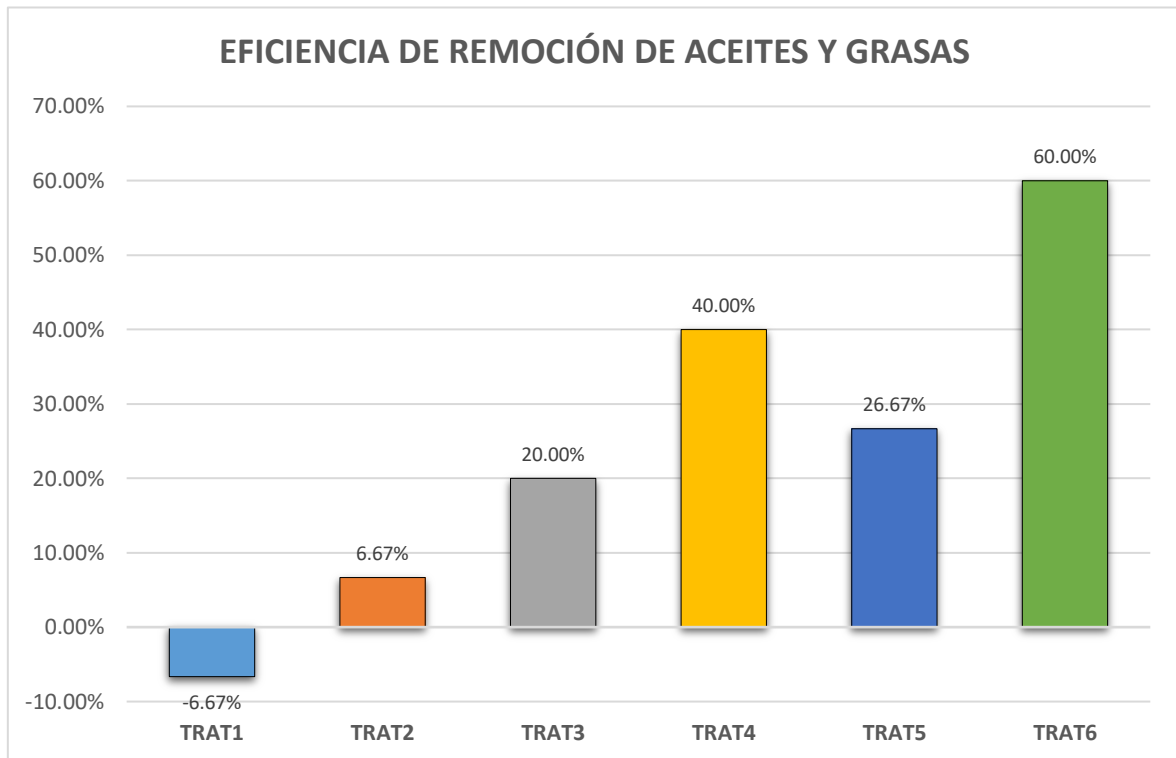


Figura 58. Eficiencia de remoción de los aceites y grasas de todos los tratamientos

Como precisión final del gráfico precedente, se señala que el tratamiento 6 (tratamiento con *L. laevigatum* y *S. polyrhiza*, más aireación asistida) fue el más eficiente de los tratamientos con una remoción del 60% de los aceites y grasas presentes en las aguas de la laguna de la mansión.

Finalmente, en base a las normativas aplicadas podemos concluir que no existe presencia significativa de aceites y grasas que pueda representar un riesgo para la salud, el bienestar humano y el ambiente; por tanto, en función de este parámetro las aguas de la laguna de la mansión son aptas para el riego vegetales, bebida de animales y la conservación del ambiente acuático de lagunas y lagos.

Coliformes fecales (termotolerantes)

Los resultados obtenidos en este parámetro muestran una alta presencia en las aguas de laguna de la mansión, la concentración de este parámetro en el pre-monitoreo arrojó un valor de 13000.0 NMP/100mL (número más probable por 100 mililitros); ante las normativas

en aplicación este valor antes de los tratamientos supera en todos los casos las concentraciones máximas de coliformes fecales permitidas.

En cuanto a los resultados después de los tratamientos se puede apreciar que en todos los casos hubo una extraordinaria remoción; a excepción del segundo tratamiento en todos los demás se alcanzó una eficiencia de remoción de por lo menos el 99.99%, se menciona “de por lo menos” puesto que en los informes de ensayo estos valores se acompañan con el símbolo de “menor que” indicando ser menores que el límite de cuantificación del método analítico empleado por el laboratorio.

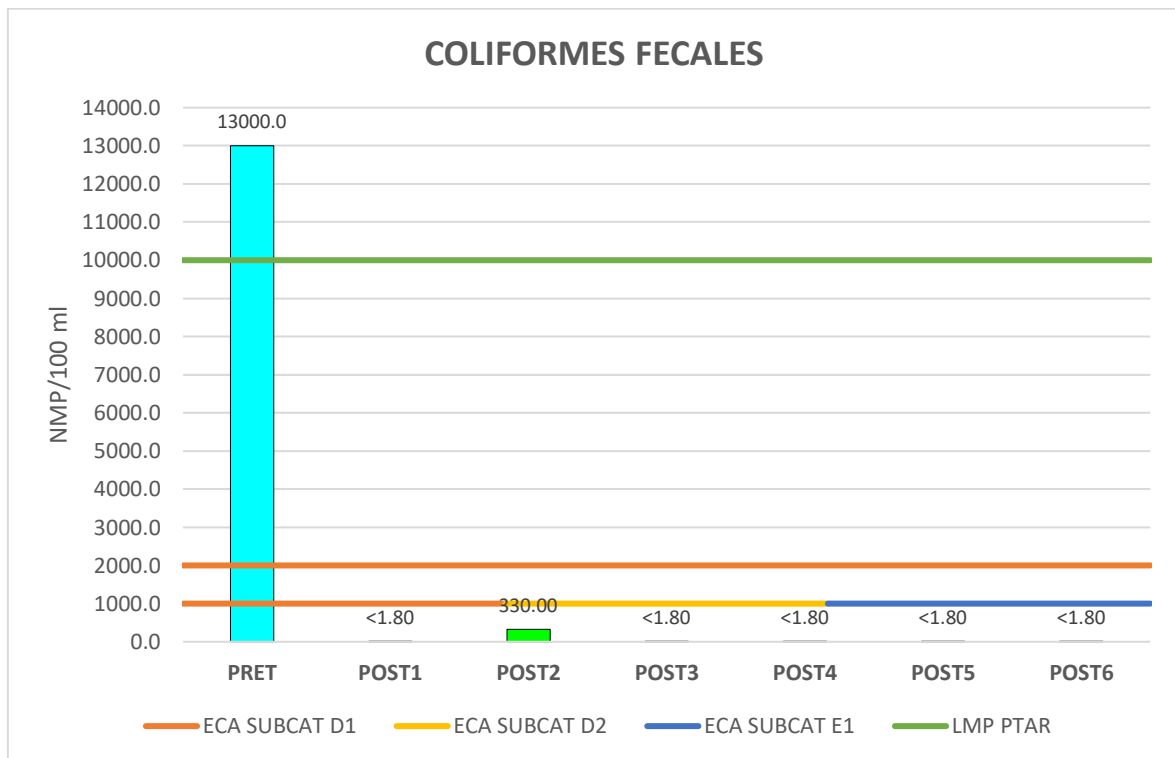


Figura 59. Comparación de los coliformes fecales antes y después de los tratamientos

El segundo tratamiento tuvo una remoción de 39.39 veces el valor inicial del pre-monitoreo lo cual indica una alta remoción del 97.46%, sin embargo, este valor no es homogéneo con los demás resultados, lo cual nos lleva a deducir que esta alteración se debió a algún factor externo como la contaminación en la toma de muestras.

En cuanto a la eficiencia de remoción del parámetro alcanzado por grupos de pares se puede concluir que los tratamientos con *Pistia stratiotes* y *Spirodela polyrhiza*, y *Limnobium laevigatum* y *Spirodela polyrhiza* fueron los más eficientes con una media de remoción del 99.99%, mientras que los tratamientos con *Eichhornia crassipes* y *Spirodela polyrhiza* fueron

los menos eficientes con una media de remoción del 98.72%.

En lo que respecta a la aireación asistida se puede destacar que no se evidencia aporte alguno en los tratamientos de fitodepuración complementados con aireación, incluso mediante una simple percepción de la gráfica 60 se podría decir que la remoción en el segundo tratamiento es 2.52% inferior al primero, pero si tomamos en cuenta una probable contaminación externa en el tratamiento esta interpretación podría ser errónea.

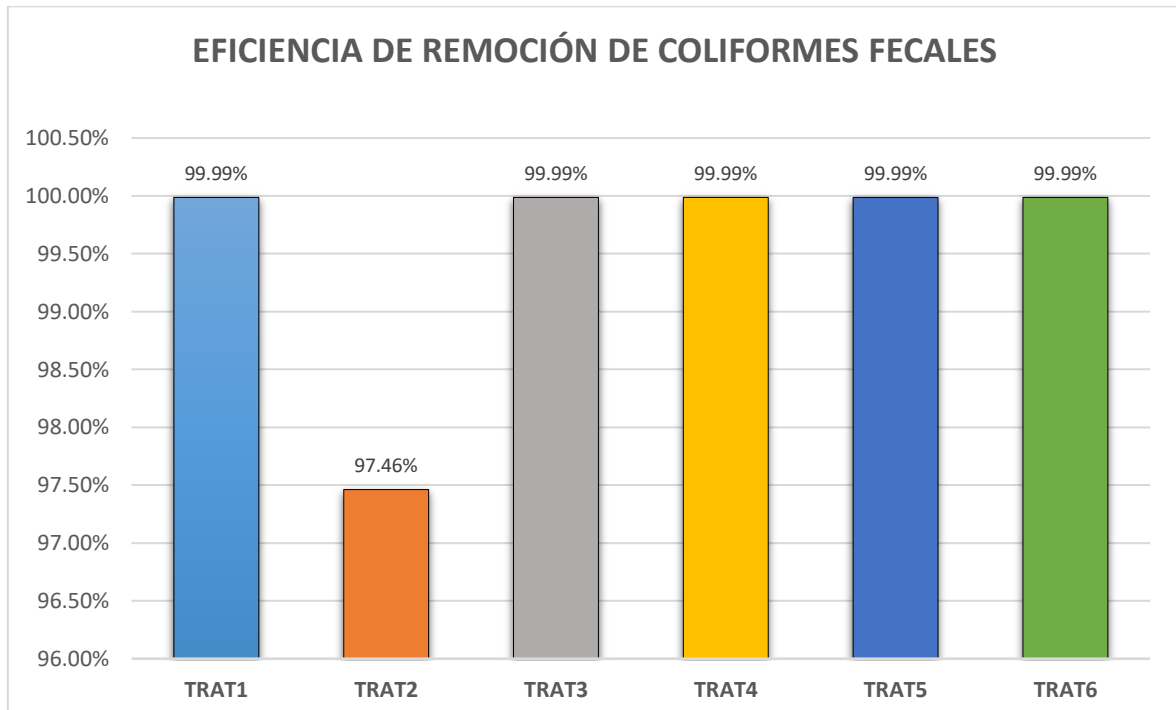


Figura 60. Eficiencia de remoción de los coliformes fecales de todos los tratamientos

Como precisión final del gráfico precedente, se señala que todos los tratamientos fueron eficientes en la remoción de los coliformes fecales presentes en las aguas de la laguna de la mansión.

Finalmente, en base a las normativas aplicadas podemos concluir que después de los tratamientos no existe presencia significativa de coliformes fecales que pueda representar un riesgo para la salud, el bienestar humano y el ambiente; por tanto, en función de este parámetro las aguas de la laguna de la mansión son aptas para el riego de vegetales, bebida de animales y la conservación del ambiente acuático de lagunas y lagos.

Conductividad

Los resultados obtenidos en este parámetro muestran una baja presencia en las aguas

de la laguna de la mansión, la concentración de este parámetro en el pre-monitoreo arrojó un valor de 459.00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (microSiemens por centímetro); respecto a la subcategoría D1 de los ECA este valor antes de los tratamientos es 5.45 veces menor y respecto a las subcategorías D2 y E1 es 10.89 y 2.18 veces menor respectivamente

En cuanto a los resultados después de los tratamientos se puede apreciar varias condiciones, en primer lugar, los tres primeros tratamientos presentan incremento del parámetro siendo 6.97% el porcentaje más alto, los dos siguientes tratamientos presentan remoción siendo 1.53% el porcentaje más alto y por último el sexto tratamiento no presenta variación alguna manteniendo la concentración inicial del parámetro.

Una vez más podemos intuir que los tratamientos con incremento ligero del parámetro fueron alterados por algún factor externo que no posible identificar con exactitud.

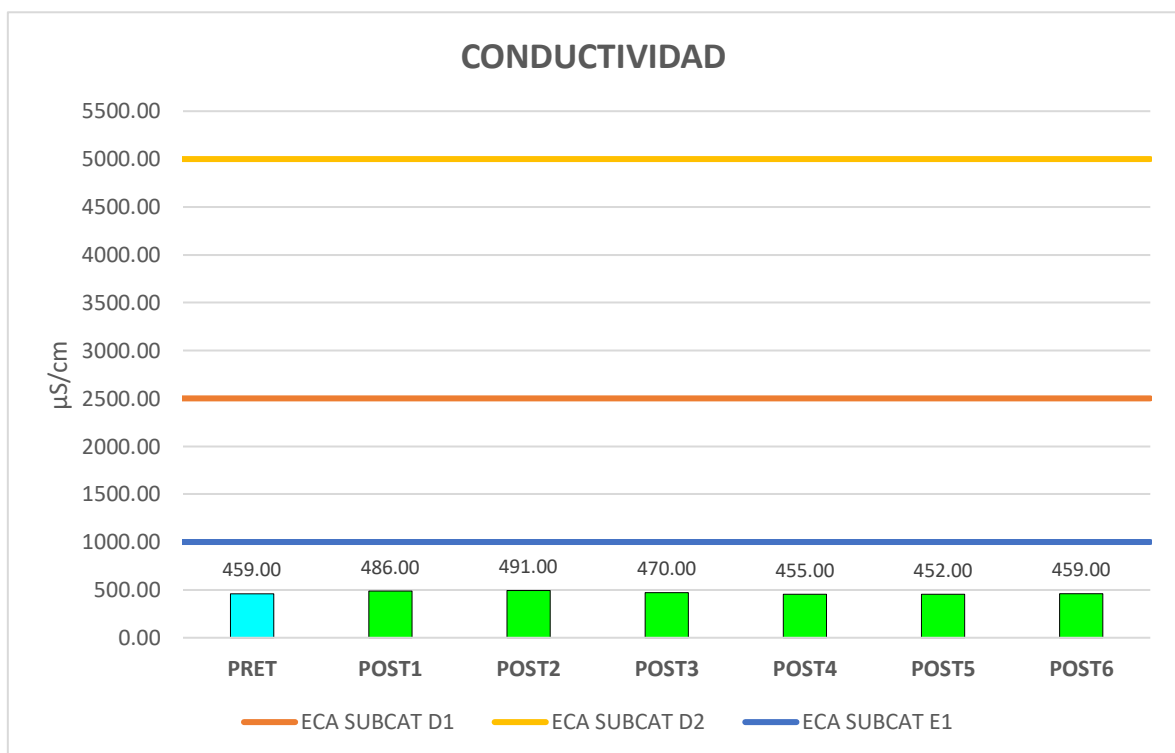


Figura 61. Comparación de la conductividad antes y después de los tratamientos

En cuanto a la eficiencia de remoción del parámetro alcanzado por grupo de pares se puede concluir que ningún grupo fue eficiente pues no se evidencia remoción media significativa; en cambio se puede señalar que los tratamientos con *Eichhornia crassipes* y *Spirodela polyrhiza* fueron los más ineficientes con una media de remoción de -6.43%.

En lo que respecta a la aireación asistida se puede destacar que no se evidencia aporte alguno en los tratamientos de fitodepuración complementados con aireación; en la gráfica

62 se puede apreciar que estos tratamientos mantienen todos los escenarios posibles: incremento, remoción y estabilidad de la conductividad.

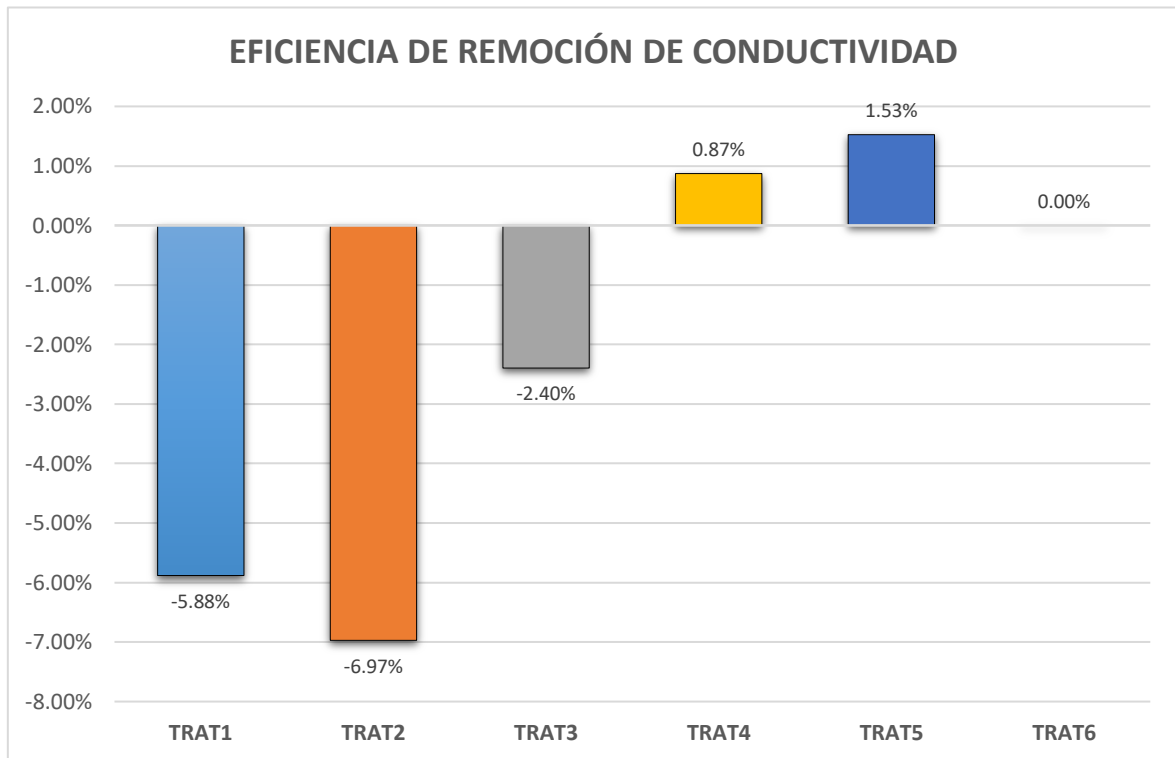


Figura 62. Eficiencia de remoción de la conductividad de todos los tratamientos

Como precisión final del gráfico precedente, se señala que ningún tratamiento de fitodepuración fue eficiente en la remoción de la conductividad presente en las aguas de la laguna de la mansión; no obstante, en las condiciones dadas no es necesaria la aplicación de tratamientos pues incluso el valor más alto es más aproximadamente 2.04 veces menor que el ECA más riguroso aplicado.

Los valores reportados son inclusive más bajos que los valores habitualmente encontrados ($700 \mu\text{S}/\text{cm}$ - $1200 \mu\text{S}/\text{cm}$) de manera natural en cuerpos de agua superficiales (DIGESA, 2009).

Finalmente, en base a las normativas aplicadas podemos concluir que no existe presencia significativa de conductividad que pueda representar un riesgo para la salud, el bienestar humano y el ambiente; por tanto, en función de este parámetro las aguas de la laguna de la mansión son aptas para el riego vegetales, bebida de animales y la conservación del ambiente acuático de lagunas y lagos.

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)

Los resultados obtenidos en este parámetro muestran una presencia significativa en las aguas de la laguna de la mansión, la concentración másica de este parámetro en el pre-monitoreo arrojó un valor de 42.3 mg/L (mg BOD5/L); respecto a las subcategorías D1 y D2 de los ECA este valor antes de los tratamientos es 2.82 veces mayor, respecto a la subcategoría E1 es 8.42 veces mayor y en cuanto a los LMP es 2.36 veces menor por lo tanto cumple con lo establecido.

En cuanto a los resultados después de los tratamientos se puede apreciar que en todos los casos hubo una buena remoción; cinco tratamientos alcanzaron una eficiencia de remoción superior al 70%, por su parte, el tratamiento con menos eficiencia de remoción alcanzó el 65.72% removiendo casi dos tercios de la DBO5 inicial. En todos los tratamientos se alcanzaron valores que permiten cumplir con las subcategorías D1 y D2 de los ECA, sin embargo, en ningún caso se alcanzó valores que permitan cumplir con la subcategoría E1.

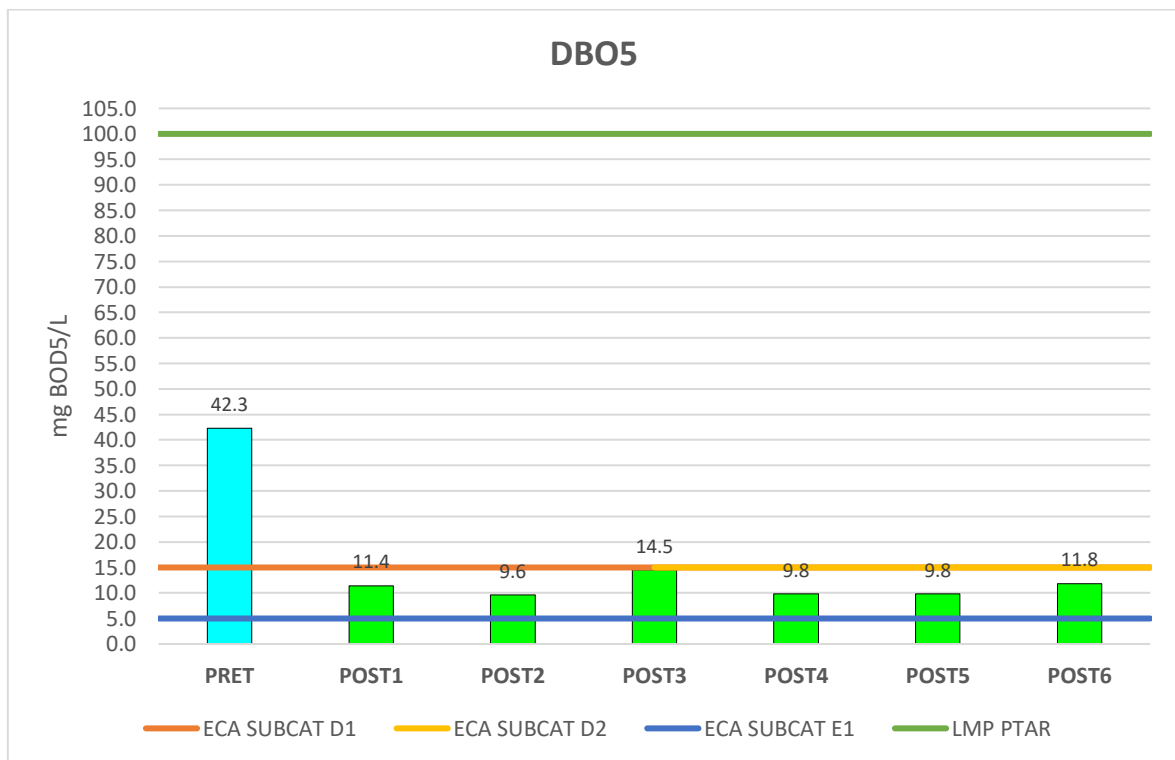


Figura 63. Comparación de la DBO5 antes y después de los tratamientos

En cuanto a la eficiencia de remoción del parámetro alcanzado por grupos de pares se puede concluir que los tratamientos con *Eichhornia crassipes* y *Spirodela polyrhiza* fueron los más eficientes con una media de remoción del 75.18%, mientras que los tratamientos con *Pistia stratiotes* y *Spirodela polyrhiza* fueron los menos eficientes con una media de remoción del 71.28%.

En lo respecta a la aireación asistida se puede destacar que los dos primeros tratamientos complementados con aireación muestran mejores resultados de depuración que sus pares sin aireación, sin embargo, no se puede precisar que este comportamiento se deba al aporte de las bombas de aireación, muchos menos cuando el ultimo tratamiento no sigue el comportamiento esperado.

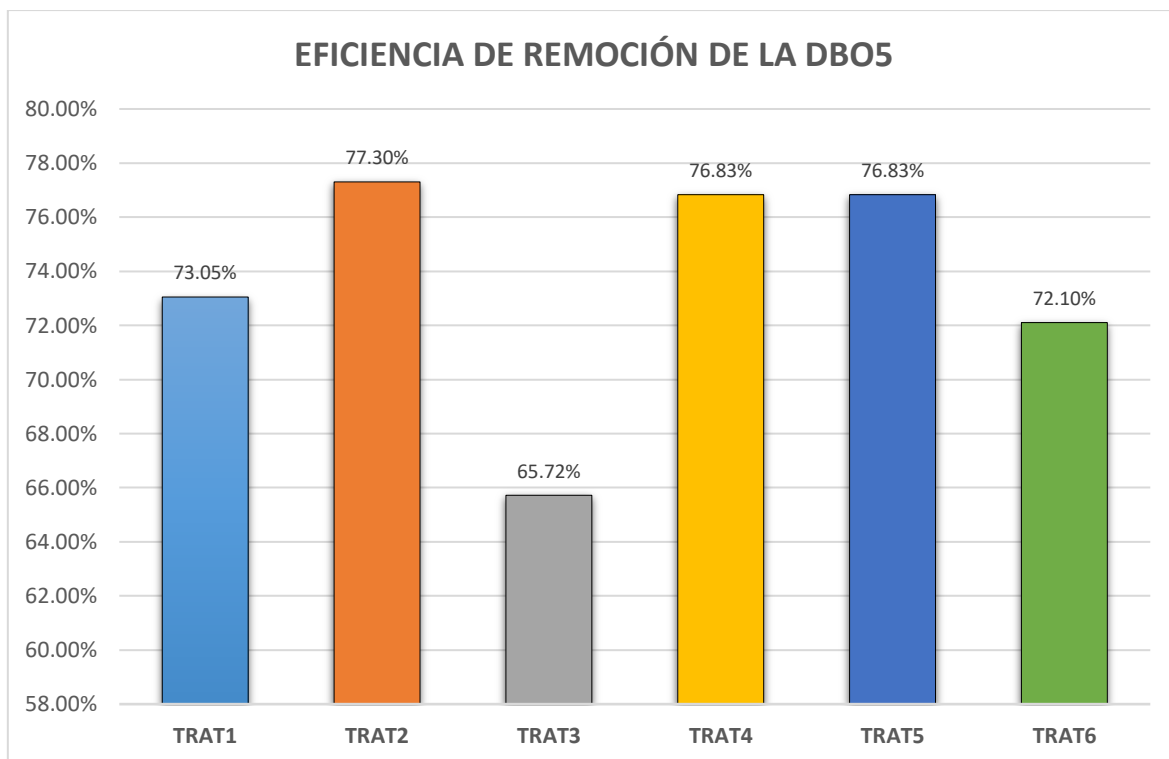


Figura 64. Eficiencia de remoción de la DBO5 de todos los tratamientos

Como precisión final del grafico precedente, se señala que todos los tratamientos fueron eficientes en la remoción de la DBO5 presente en las aguas de la laguna de la mansión.

Finalmente, en base a las subcategorías D1 y D2 de los estándares calidad ambiental para agua podemos concluir que después de los tratamientos no existe presencia significativa de DBO5 que pueda representar un riesgo para la salud, el bienestar humano y el ambiente; por tanto, en función de este parámetro las aguas de la laguna de la mansión son aptas para el riego vegetales y bebida de animales. Por otro lado, en base a la subcategoría E1 podemos concluir que después de los tratamientos aún existe presencia significativa de DBO5 (de hasta casi tres veces lo permitido), por tanto, para este caso las aguas de la laguna de la mansión no son aptas para la conservación del ambiente acuático de lagunas y lagos.

Demanda química de oxígeno

Los resultados obtenidos en este parámetro muestran una presencia significativa en las aguas de la laguna de la mansión, la concentración másica de este parámetro en el pre-monitoreo arrojó un valor de 62 mg/L (COD as mg O₂/L); respecto a las subcategorías D1 y D2 de los ECA este valor antes de los tratamientos es 1.55 veces mayor, y en cuanto a los LMP es aproximadamente 3.23 veces inferior, cumpliendo con lo establecido.

En cuanto a los resultados después de los tratamientos se puede apreciar que en todos los casos hubo una buena remoción, cinco tratamientos alcanzaron una eficiencia de remoción superior al 60%, por su parte, el tratamiento con menos eficiencia de remoción alcanzó el 50% removiendo dos cuartas partes de la DQO inicial. En todos los tratamientos se alcanzaron valores que permiten cumplir con las subcategorías D1 y D2 de los ECA.

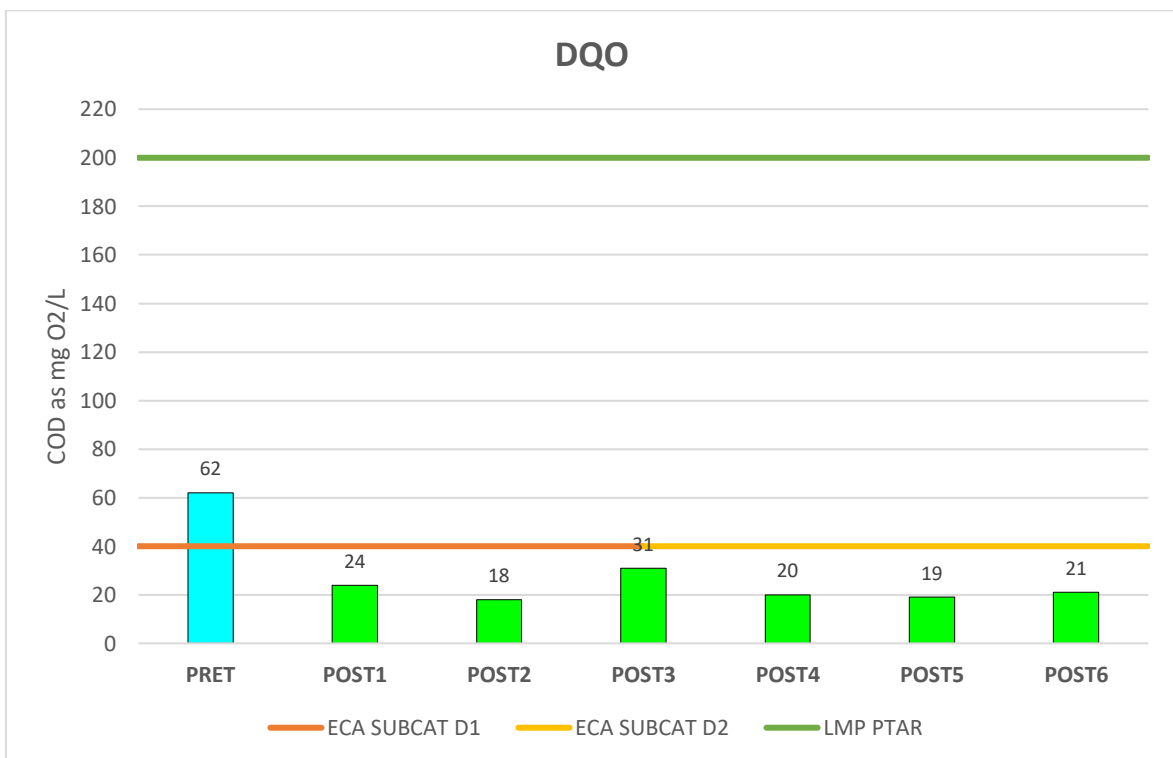


Figura 65. Comparación de la DQO antes y después de los tratamientos

En cuanto a la eficiencia de remoción del parámetro alcanzado por grupos de pares se puede concluir que los tratamientos con *Limnobium laevigatum* y *Spirodela polyrhiza* fueron los más eficientes con una media de remoción del 67.74%, mientras que los tratamientos con *Pistia stratiotes* y *Spirodela polyrhiza* fueron los menos eficientes con una media de remoción del 58.87%.

En lo respecta a la aireación asistida se puede destacar que se cumplen los mismos

comportamientos que los reportados en la DBO5, los dos primeros tratamientos complementados con aireación muestran mejores resultados de depuración que sus pares sin aireación, y el ultimo tratamiento se mantiene por debajo (aunque muy cerca) de su par sin aireación.

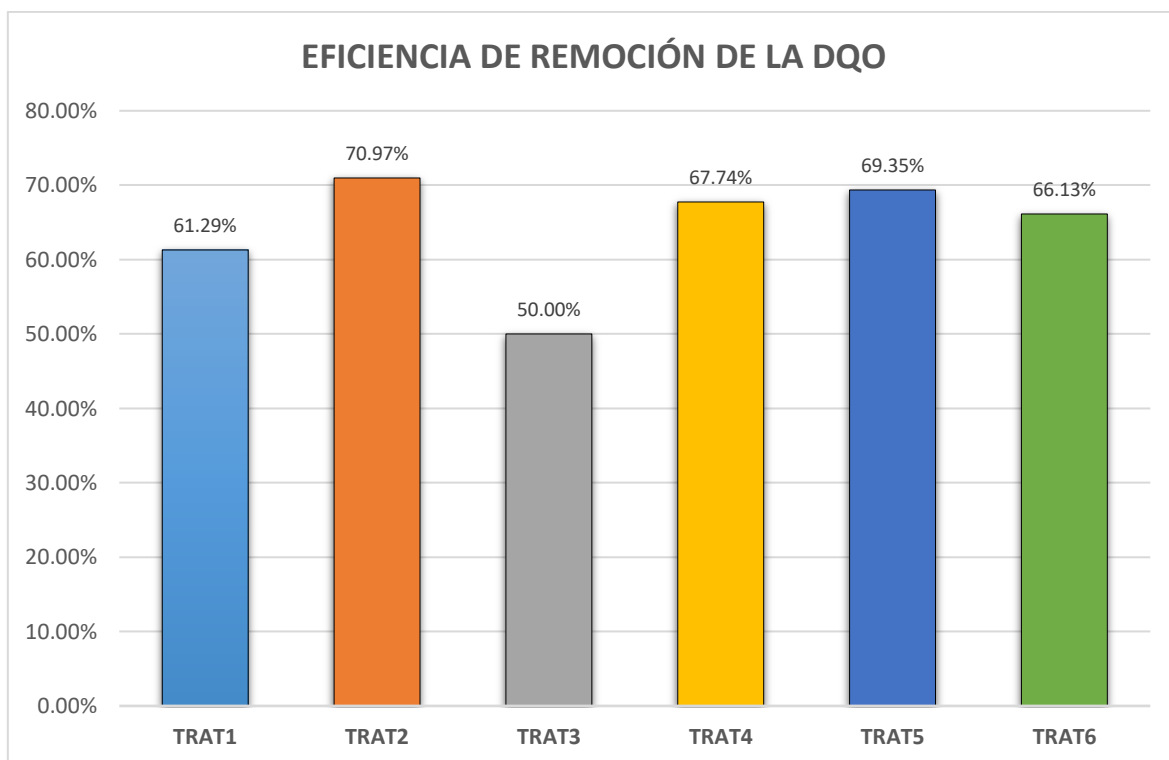


Figura 66. Eficiencia de remoción de la DQO de todos los tratamientos

Como precisión final del grafico precedente, se señala que todos los tratamientos fueron eficientes en la remoción de la DQO presente en las aguas de la laguna de la mansión.

Finalmente, en base a las normativas aplicadas podemos concluir que después de los tratamientos no existe presencia significativa de DQO que pueda representar un riesgo para la salud, el bienestar humano y el ambiente; por tanto, en función de este parámetro las aguas de la laguna de la mansión son aptas para el riego de vegetales y bebida de animales.

Nitrógeno total

Los resultados obtenidos en este parámetro muestran una presencia significativa en las aguas de la laguna de la mansión, la concentración másica en el pre-monitoreo arrojó un valor de 7.77 mg/L (mg N/L); ante la subcategoría E1 de los ECA (única norma en aplicación) este valor antes de los tratamientos supera con creces la concentración máxima de nitrógeno total permitida, siendo aproximadamente 24.67 veces mayor.

En cuanto a los resultados después de los tratamientos se puede apreciar que en todos los casos hubo una alta remoción, los seis tratamientos alcanzaron una eficiencia de remoción superior al 90%, sin embargo, a pesar de los resultados, solo el primer tratamiento alcanzó un valor inferior que permita cumplir la normativa aplicada.

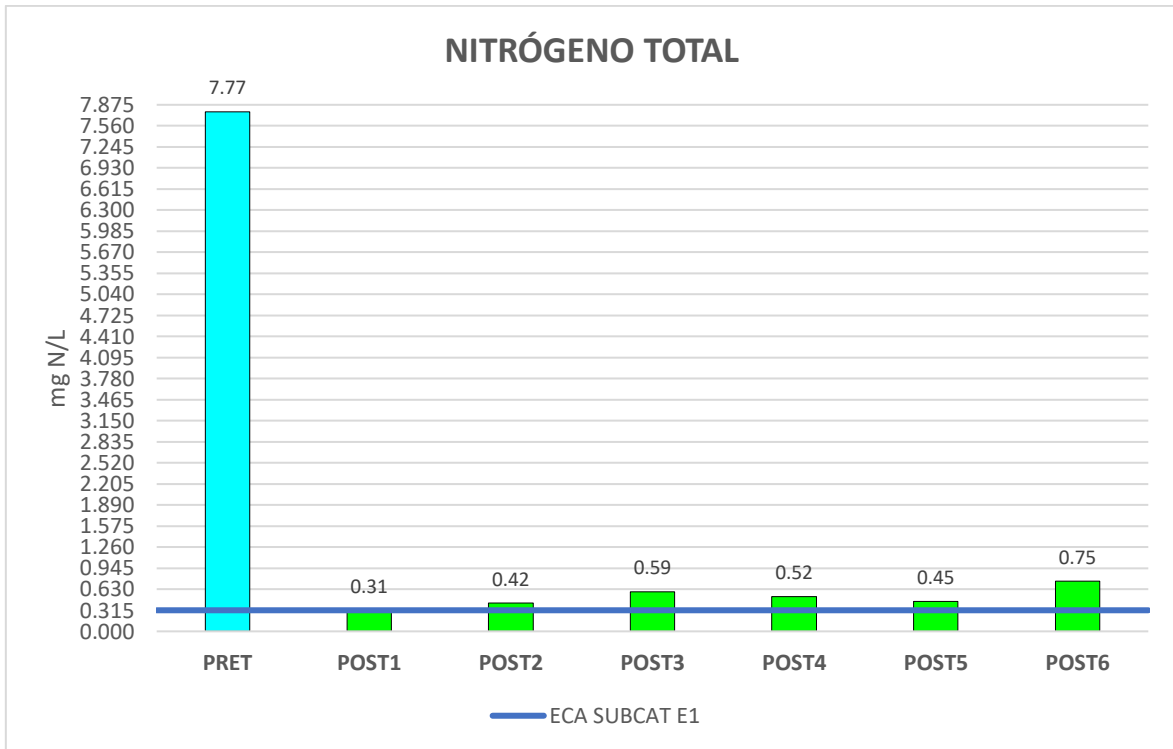


Figura 67. Comparación del nitrógeno total antes y después de los tratamientos

En cuanto a la eficiencia de remoción del parámetro alcanzado por grupos de pares se puede concluir que los tratamientos con *Eichhornia crassipes* y *Spirodela polyrhiza* fueron los más eficientes con una media de remoción del 95.30%, mientras que los tratamientos con *Limnobium laevigatum* y *Spirodela polyrhiza* fueron los menos eficientes con una media de remoción del 92.28%.

En lo que respecta a la aireación asistida se puede destacar que solo uno de los tres tratamientos complementados con aireación presenta mayor remoción que su par sin aireación, sin embargo, esta diferencia es de tan solo el 0.90%; por tanto, podríamos precisar que no se evidencia aporte alguno de las bombas de aireación en la depuración del nitrógeno total.

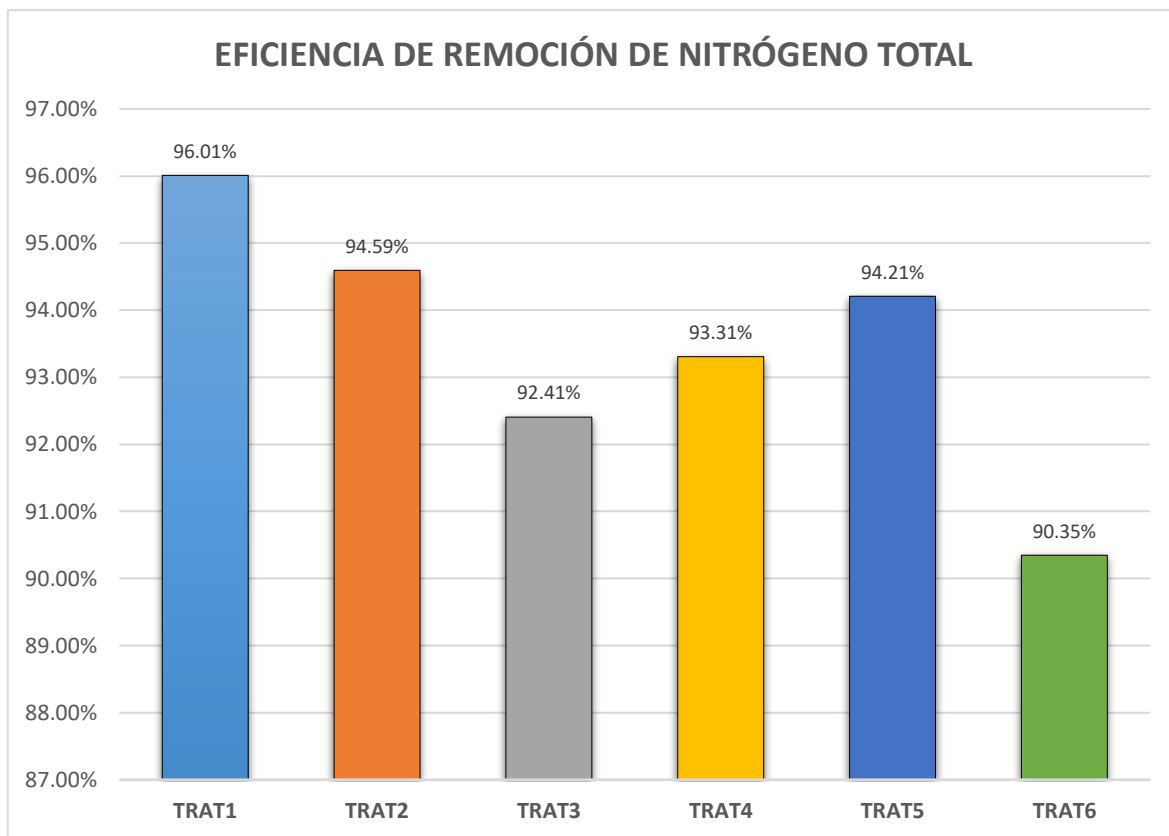


Figura 68. Eficiencia de remoción del nitrógeno total de todos los tratamientos

Como precisión final del gráfico precedente, se señala que todos los tratamientos fueron eficientes en la remoción del nitrógeno total presente en las aguas de la laguna de la mansión.

Finalmente en base a la subcategoría E1 de los estándares calidad ambiental para agua podemos concluir que solo después del primer tratamiento no existe presencia significativa de nitrógeno total que pueda representar un riesgo para la salud, el bienestar humano y el ambiente; por tanto, en función de este parámetro las aguas de la laguna de la mansión (que por sus características de fragilidad requiere ser protegidas) son idóneas para la conservación del ambiente acuático de lagunas y lagos .

Oxígeno disuelto

Los resultados obtenidos en este parámetro muestran una adecuada presencia en las aguas de la laguna de la mansión, la concentración en el pre-monitoreo arrojó un valor de 5.6 mg/L; ante las tres subcategorías de los ECA en aplicación este valor antes de los tratamientos supera en todos los casos las concentraciones mínimas de oxígeno disuelto requeridas; en este caso es importante señalar que a diferencia de los demás parámetros, los

valores del oxígeno disuelto están referidos a la concentración mínima.

En cuanto a los resultados después de los tratamientos se puede apreciar que en cinco casos se incrementó la concentración de oxígeno disuelto inicial, siendo el último tratamiento el más alto con 32.14%, por su parte, el único tratamiento que no presento incremento del parámetro bajo a 5.3 mg/L; en definitiva, todos los tratamientos continuaron manteniendo valores que permitan cumplir con las tres subcategorías de los ECA en aplicación.

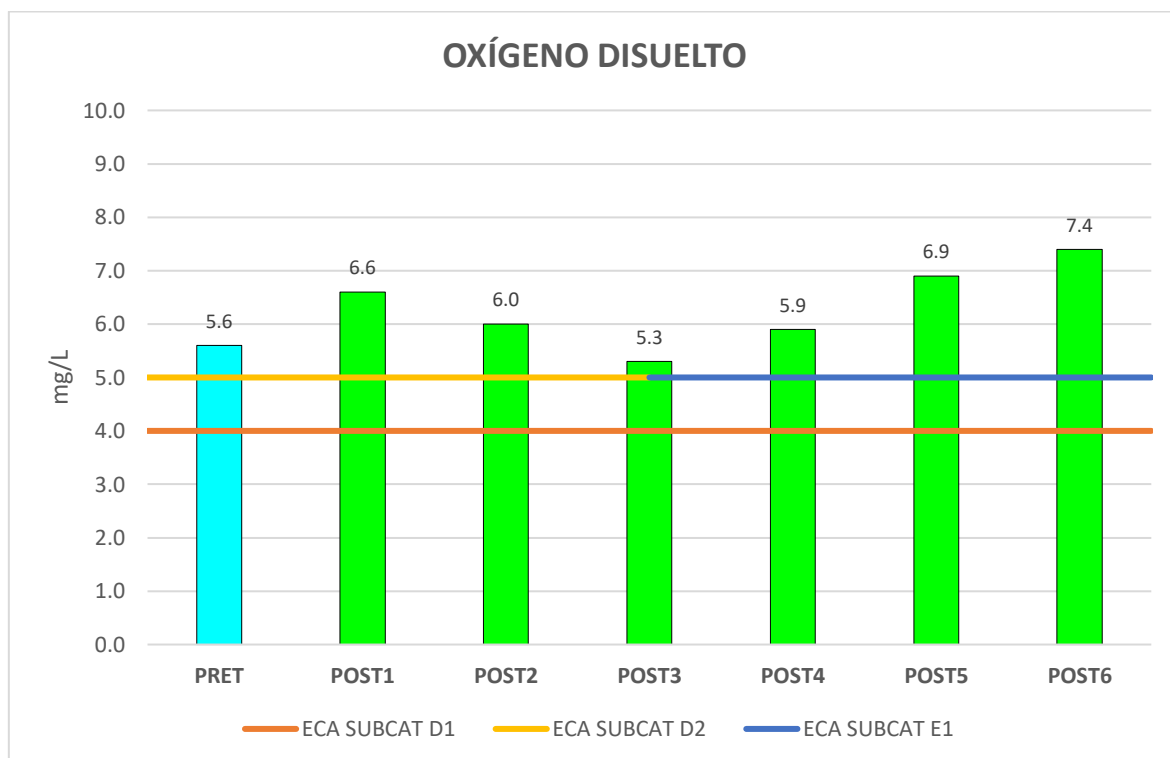


Figura 69. Comparación del oxígeno disuelto antes y después de los tratamientos

En cuanto a la eficiencia de incremento del parámetro alcanzado por grupos de pares se puede concluir que los tratamientos con *Limnobium laevigatum* y *Spirodela polyrhiza* fueron los más eficientes con una media de incremento del 27.68%, mientras que los tratamientos con *Pistia stratiotes* y *Spirodela polyrhiza* fueron los menos eficientes con una media de incremento nula.

En lo que respecta a la aireación asistida se puede destacar que los dos últimos tratamientos complementados con aireación muestran mayores resultados de oxigenación que sus pares sin aireación, la diferencia más alta se encuentra en el cuarto tratamiento que es 10.71% superior al porcentaje de oxigenación del tercer tratamiento, pero solo 5.36% superior a la concentración inicial de oxígeno disuelto.

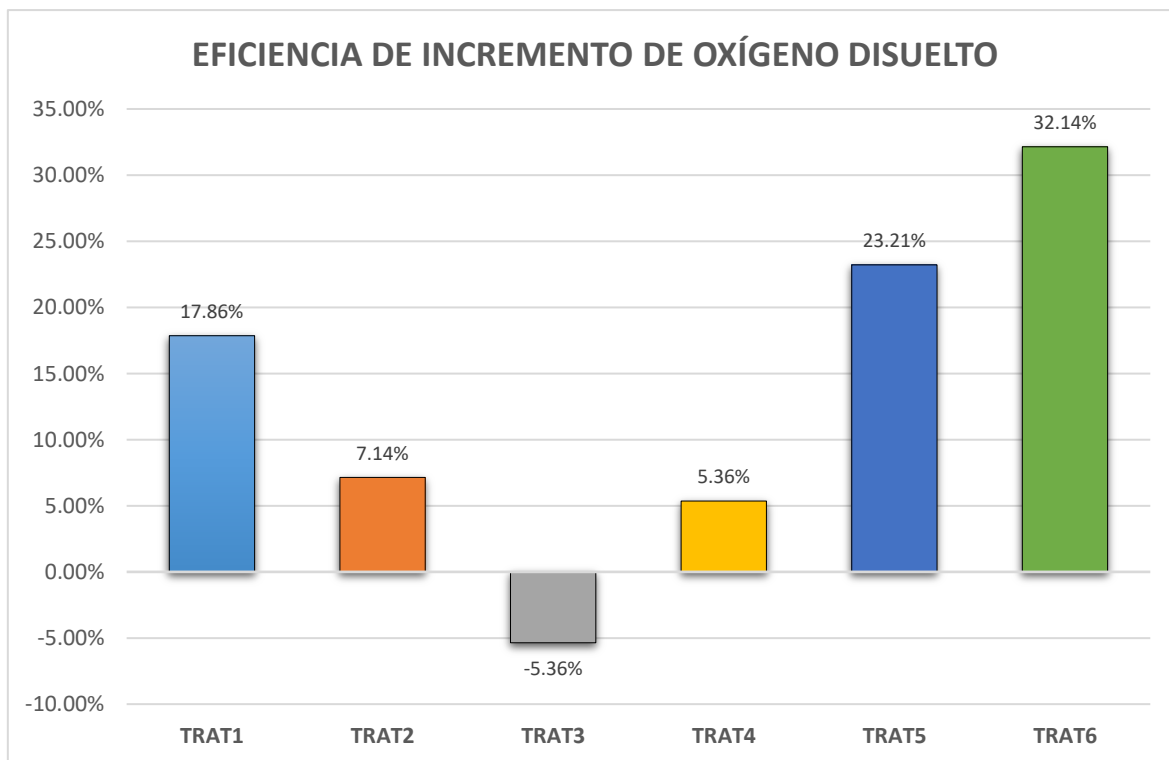


Figura 70. Eficiencia de incremento del oxígeno disuelto de todos los tratamientos

Como precisión final del gráfico precedente, se señala que el tratamiento 6 (tratamiento con *L. laevigatum* y *S. polyrhiza*, más aireación) fue el más eficiente en el incremento del oxígeno disuelto presente en las aguas de la laguna de la mansión; no obstante, en las condiciones dadas la aplicación de tratamientos no es necesaria.

Finalmente en base a las normativas aplicadas podemos concluir que existe una presencia (adecuada) de oxígeno disuelto que no representa un riesgo para la salud, el bienestar humano y el ambiente; por tanto, en función de este parámetro las aguas de la laguna de la mansión son aptas para el riego vegetales, bebida de animales y la conservación del ambiente acuático de lagunas y lagos.

pH (potencial de hidrogeno)

Los resultados obtenidos en este parámetro revelan una elevada concentración en las aguas de la laguna de la mansión, el coeficiente en el pre-monitoreo arrojó un valor de 8.93 unidades de pH; ante las normativas en aplicación este valor antes de los tratamientos cumple en un solo caso (ante la subcategoría E1) con el rango máximo de concentración de pH permitido, aunque, por menos de una décima unidad de pH.

En cuanto a los resultados después de los tratamientos se puede apreciar que en todos

los casos se redujo la concentración de pH inicial, es decir, todos los tratamientos tendieron a equilibrar el pH a valores cercanos al neutro (7); el valor de pH más alto fue de 7.54 en el último tratamiento, mientras que el valor de pH más bajo alcanzado fue de 7.13 en el tercer tratamiento.

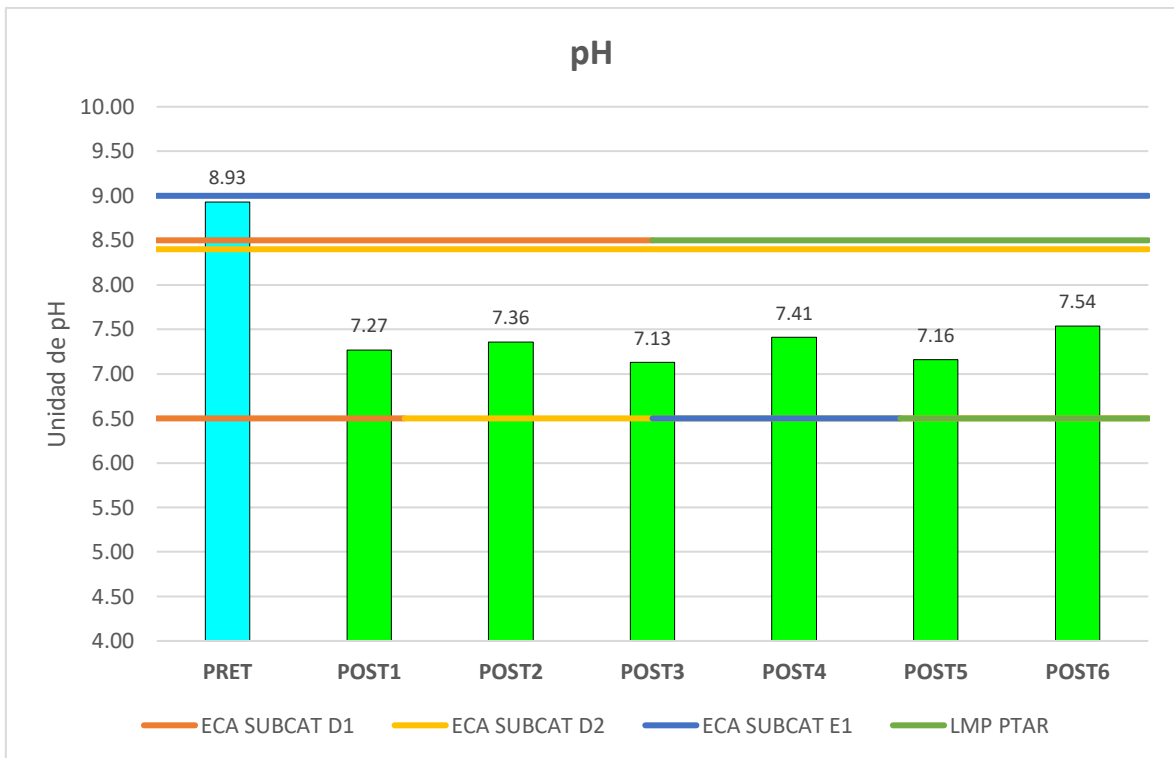


Figura 71. Comparación del pH antes y después de los tratamientos

En cuanto a la eficiencia de equilibrio (o estabilización) del parámetro alcanzado por grupos de pares se puede concluir que los tratamientos con *Pistia stratiotes* y *Spirodela* fueron los más eficientes con una media del 86.01%, mientras que los tratamientos con *Limnobium laevigatum* y *Spirodela polyrhiza* fueron los menos eficientes con una media del 83.68%.

En lo que respecta a la aireación asistida se puede destacar que no se evidencia aporte alguno en los tratamientos de fitodepuración complementados con aireación, en la gráfica siguiente se puede apreciar que estos tres tratamientos presentan menores porcentajes de estabilización de pH que sus pares sin aireación; es pues, el primer parámetro en el que puede apreciarse este comportamiento.

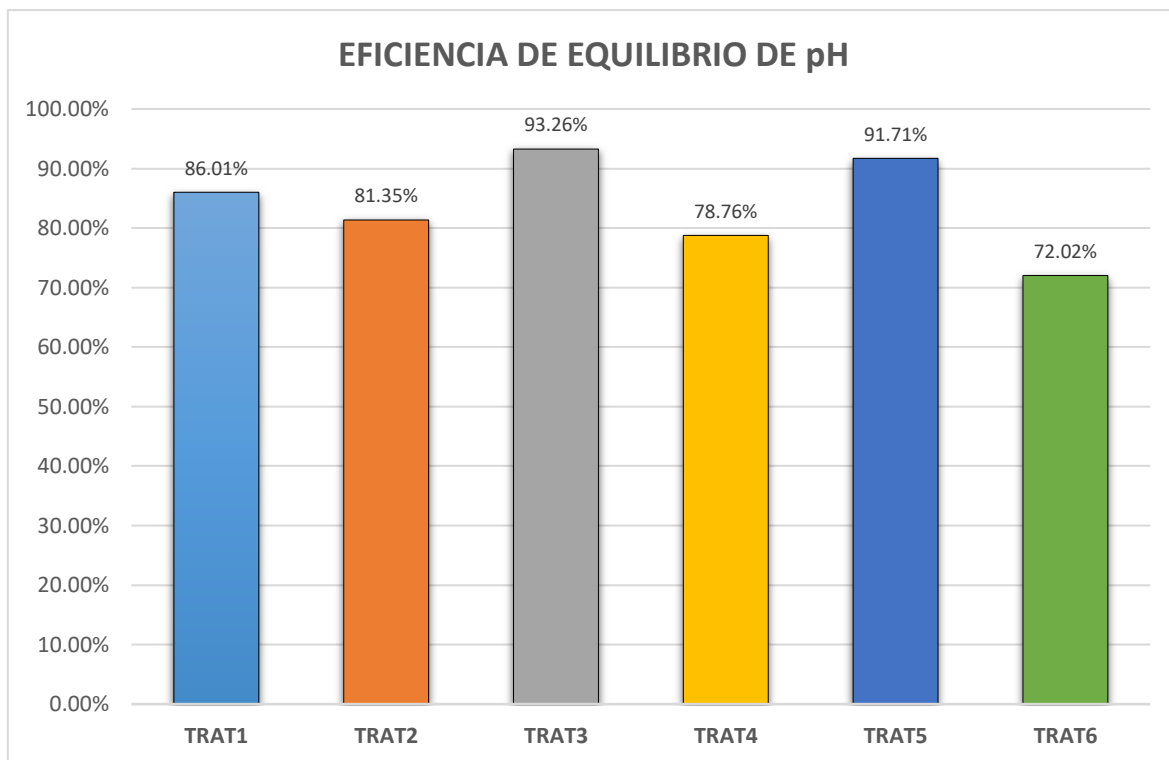


Figura 72. Eficiencia de equilibrio del pH de todos los tratamientos

Como precisión final del gráfico precedente, se señala que todos los tratamientos fueron eficientes en la estabilización del pH presente en las aguas de la laguna de la mansión

Finalmente, en base a las normativas aplicadas podemos concluir que después de los tratamientos no subsiste una alta concentración de pH que pueda representar un riesgo para la salud, el bienestar humano y el ambiente; por tanto, en función de este parámetro las aguas de la laguna de la mansión son aptas para el riego de vegetales, bebida de animales y la conservación del ambiente acuático de lagunas y lagos.

Sólidos suspendidos totales

Los resultados obtenidos en este parámetro muestran una presencia significativa en las aguas de la laguna de la mansión, la concentración másica en el pre-monitoreo arrojó un valor de 52 mg/L (mg TSS/L); ante las normativas en aplicación este valor antes de los tratamientos supera en un solo caso (ante la subcategoría E1) la concentración máxima de sólidos suspendidos totales permitida, siendo poco más de dos veces mayor.

En cuanto a los resultados después de los tratamientos se puede apreciar que en todos los casos hubo una alta remoción, los seis tratamientos alcanzaron una eficiencia de remoción de por lo menos el 90.38%, permitiendo cumplir la normativa en falta por un valor

cinco veces inferior.

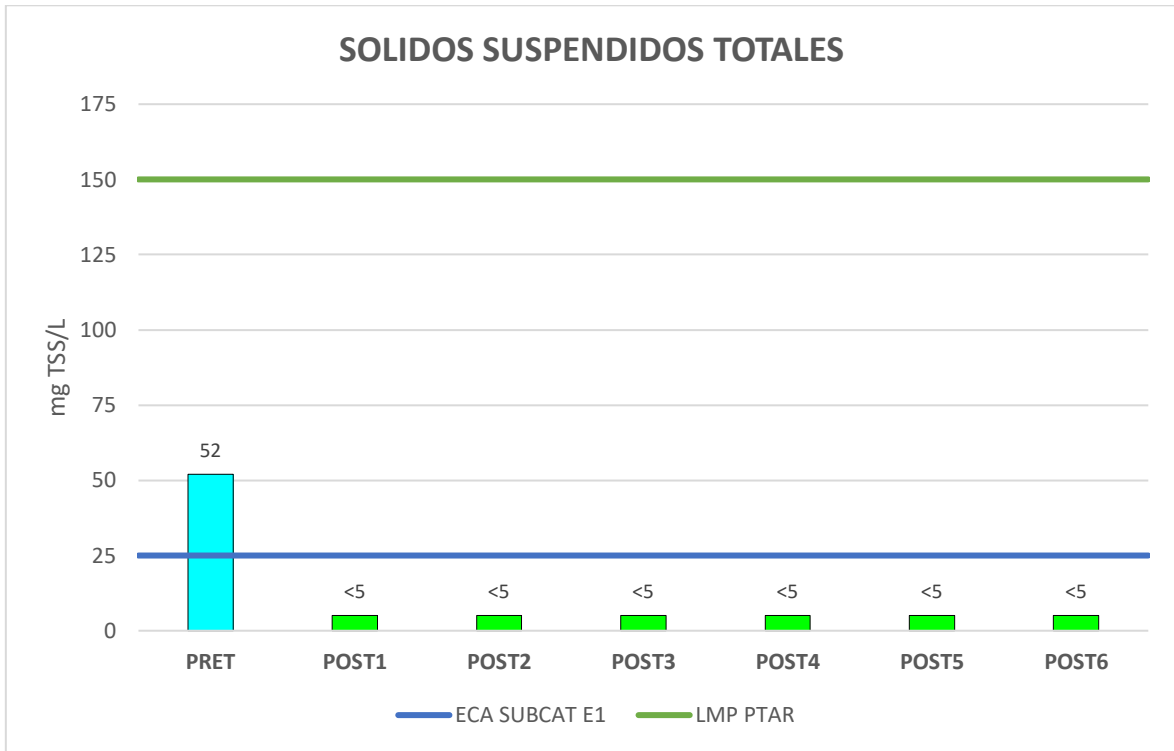


Figura 73. Comparación de los SST antes y después de los tratamientos

En cuanto a la eficiencia de remoción del parámetro alcanzado por grupos de pares no se evidencia diferencia alguna, es decir, todos los tratamientos tuvieron la misma eficiencia media de remoción.

En lo que respecta a la aireación asistida se puede precisar que, al igual que el párrafo precedente, los tratamientos de fitodepuración complementados con aireación no evidencian contribución alguna.

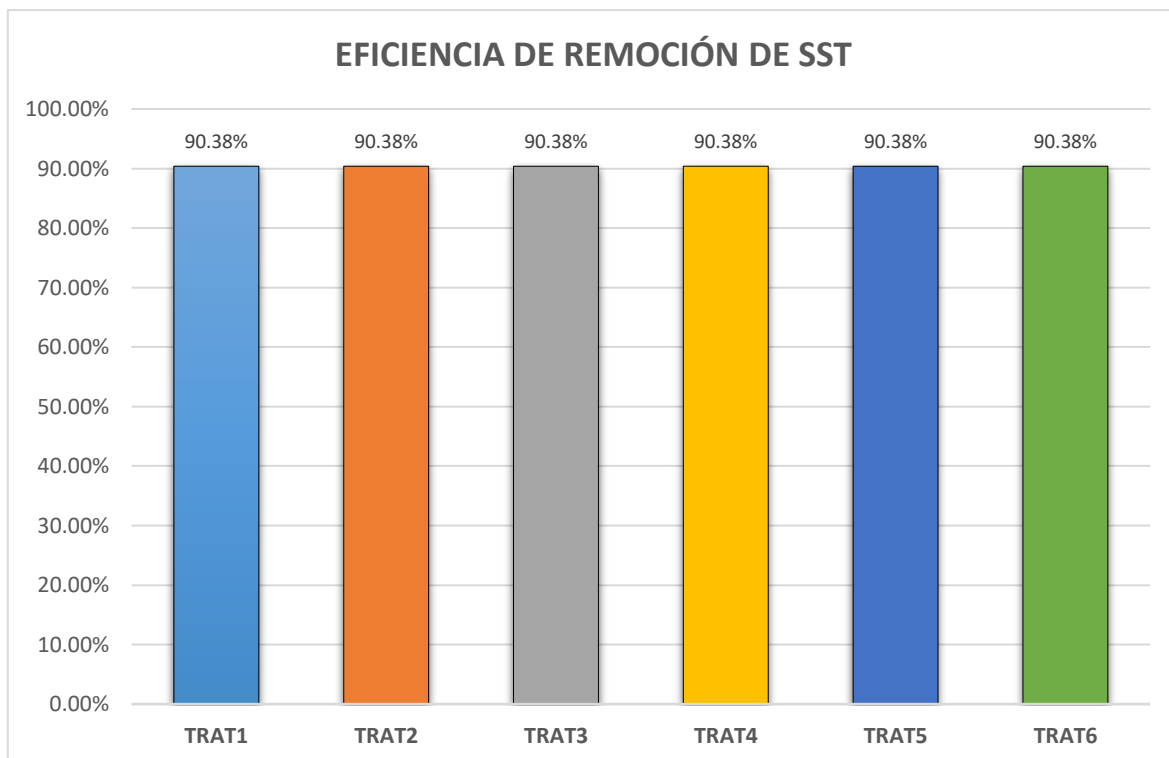


Figura 74. Eficiencia de remoción de los SST de todos los tratamientos

Como precisión final del gráfico precedente, se señala que todos los tratamientos fueron eficientes en la remoción de los sólidos suspendidos totales presentes en las aguas de la laguna de la mansión.

Finalmente en base a las normativas aplicadas podemos concluir que después de los tratamientos no existe presencia significativa de sólidos suspendidos totales que pueda representar un riesgo para la salud, el bienestar humano y el ambiente; por tanto, en función de este parámetro las aguas de la laguna de la mansión son idóneas para la conservación del ambiente acuático de lagunas y lagos.

Temperatura

En cuanto a la temperatura es necesario precisar lo indicado por las normativas en aplicación; en primer lugar, las subcategorías de los estándares de calidad ambiental para agua señalan que: la temperatura de las aguas en estudio no debe sufrir una variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada. Por otro lado, los límites máximos permisibles solo indican que la temperatura deberá mantenerse por debajo de los 35 grados Celsius.

Después de elaborar el promedio mensual multianual de los meses en los que se

desarrolló el proyecto, en base a información de SENAMHI, se obtuvo la siguiente figura.

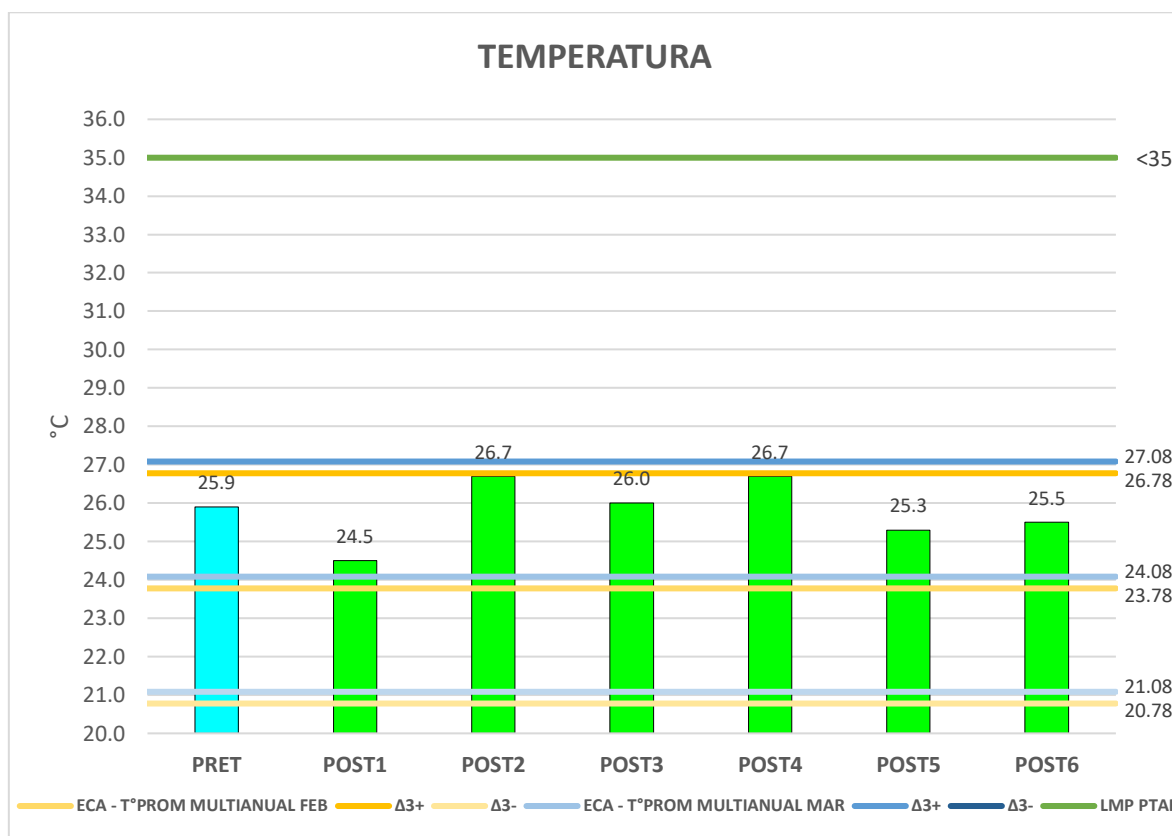


Figura 75. Comparación de la temperatura antes y después de los tratamientos

Como precisión final del gráfico, se señala que todos los tratamientos mantuvieron condiciones adecuadas de temperatura. Núñez (2016) señala en su investigación que en procesos de depuración de aguas residuales se dan rangos de temperatura entre 10 a 33 °C.

Turbiedad

La lectura de la turbiedad (o turbidez) en el pre-monitoreo de las aguas de la laguna de la mansión marcó un valor de 50.00 NTU (nephelometric turbidity unit); como ya se indicó, las normativas en aplicación no establecen un estándar o límite de concentración para aguas destinadas al riego de vegetales, bebida de animales y la conservación del ambiente acuático de lagunas y lagos.

Para valorar los resultados emplearemos la concentración máxima de turbiedad establecida en la subcategoría A1 (aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección) de los ECA; ante esto podemos declarar que las aguas de la laguna de mansión antes de los

tratamientos presentan una turbiedad diez (10) veces mayor que la concentración máxima permitida.

En cuanto a los resultados después de los tratamientos se puede apreciar que en todos los casos hubo una alta remoción, los seis tratamientos alcanzaron una eficiencia de remoción superior al 95%, siendo el valor de turbiedad más bajo 1.50 NTU registrado en tres tratamientos; en todos los casos los valores permiten cumplir la normativa en falta por una concentración (por lo menos) 52% menor que lo permitido (5 NTU).

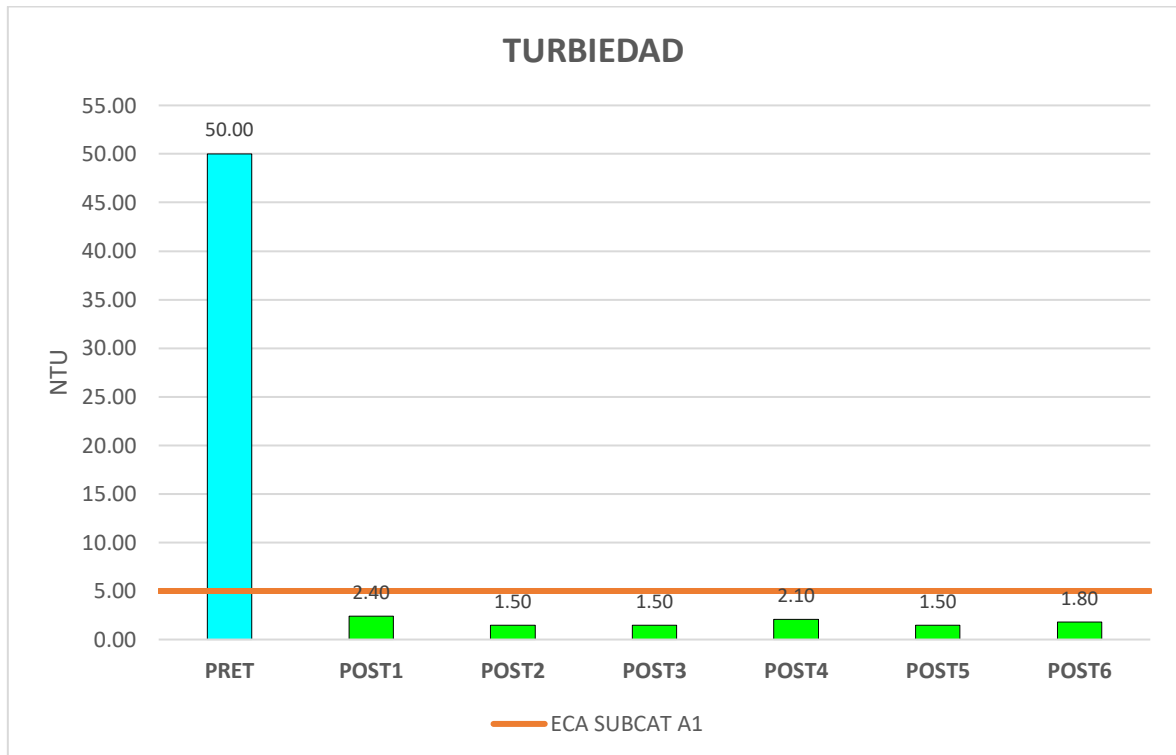


Figura 76. Comparación de la turbiedad antes y después de los tratamientos

En cuanto a la eficiencia de remoción del parámetro alcanzado por grupos de pares se puede concluir que los tratamientos con *Limnobium laevigatum* y *Spirodela polyrhiza* fueron los más eficientes con una media de remoción del 96.70%, mientras que los tratamientos con *Eichhornia crassipes* y *Spirodela polyrhiza* fueron los menos eficientes con una media de remoción del 96.10%.

En lo que respecta a la aireación asistida se puede destacar que solo uno de los tres tratamientos complementados con aireación presenta mayor remoción que su par sin aireación, sin embargo, esta diferencia es de tan solo el 1.80%, por tanto, podríamos precisar que no se evidencia aporte alguno de las bombas de aireación en la depuración o remoción de la turbiedad.

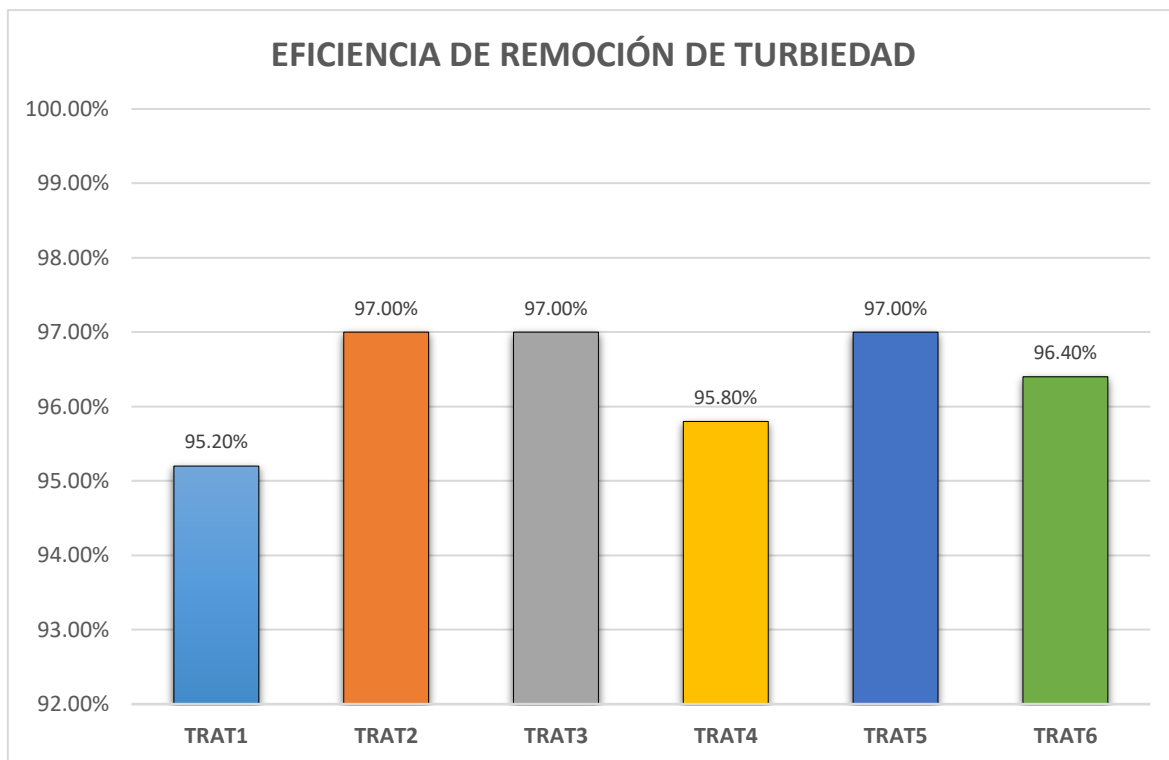


Figura 77. Comparación de la turbiedad antes y después de los tratamientos

Como precisión final del gráfico precedente, se señala que todos los tratamientos fueron eficientes en la remoción de la turbiedad presente en las aguas de la laguna de la mansión.

Finalmente en base a la subcategoría A1 de los estándares calidad ambiental para agua podemos concluir que después de los tratamientos no existe presencia significativa de turbiedad que pueda representar un riesgo para la salud, el bienestar humano y el ambiente; por tanto, solo en función de este parámetro podríamos expresar que las aguas de la laguna de la mansión reúne las condiciones para ser destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano con simple desinfección (es claro que la apreciación expuesta es solo una simple manera de analizar los niveles de turbiedad de las aguas de la laguna de la mansión).

Aluminio

Los resultados obtenidos en este parámetro muestran una baja presencia en las aguas de la laguna de la mansión, la concentración en el pre-monitoreo arrojó un valor de 0.432 mg/L; respecto a las subcategorías D1 y D2 de los ECA este valor antes de los tratamientos es aproximadamente 11.57 veces menor.

En cuanto a los resultados después de los tratamientos se puede apreciar que en todos

los casos hubo una extraordinaria remoción; los seis tratamientos alcanzaron una eficiencia de remoción de por lo menos el 98.84%, logrando reducir la concentración inicial de aluminio hasta mil veces el valor de los ECA.

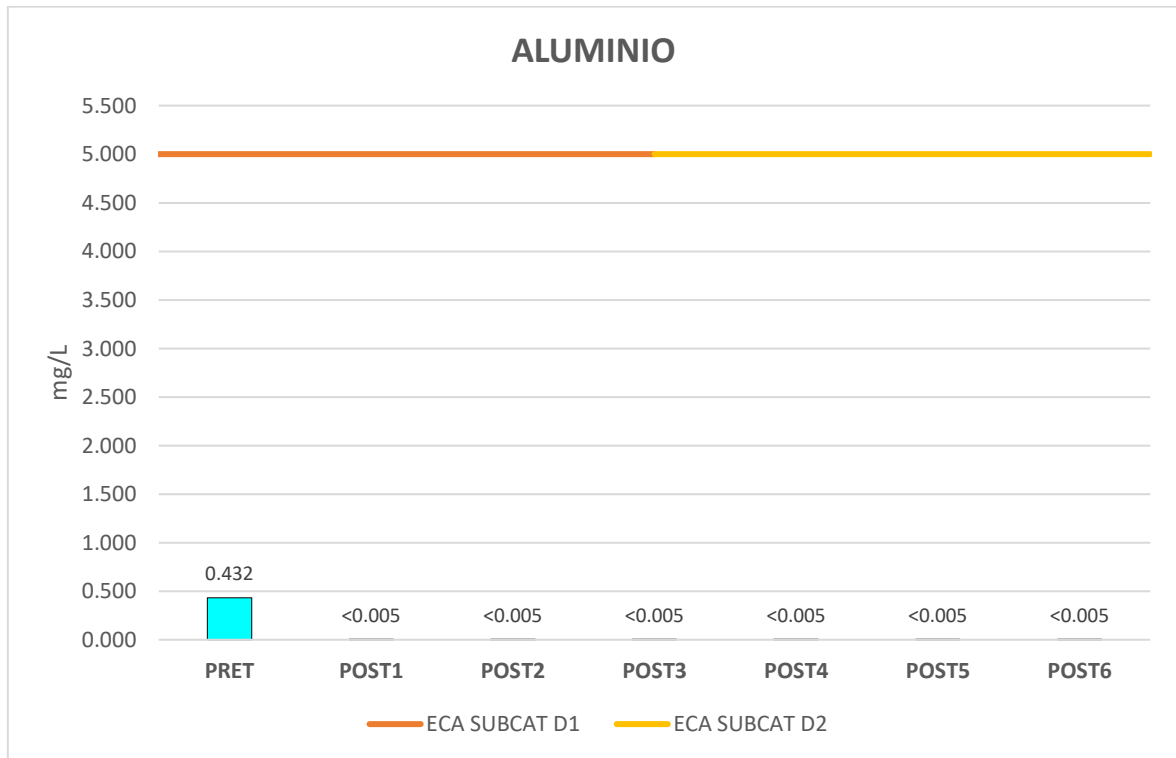


Figura 78. Comparación del aluminio antes y después de los tratamientos

En cuanto a la remoción del parámetro alcanzado por grupos de pares no se evidencia diferencia alguna, pues todos los pares de tratamiento presentan la misma eficiencia media de remoción.

En lo que respecta a la aireación asistida se puede precisar que, en concordancia al párrafo precedente, los tratamientos de fitodepuración complementados con aireación no evidencian contribución alguna.

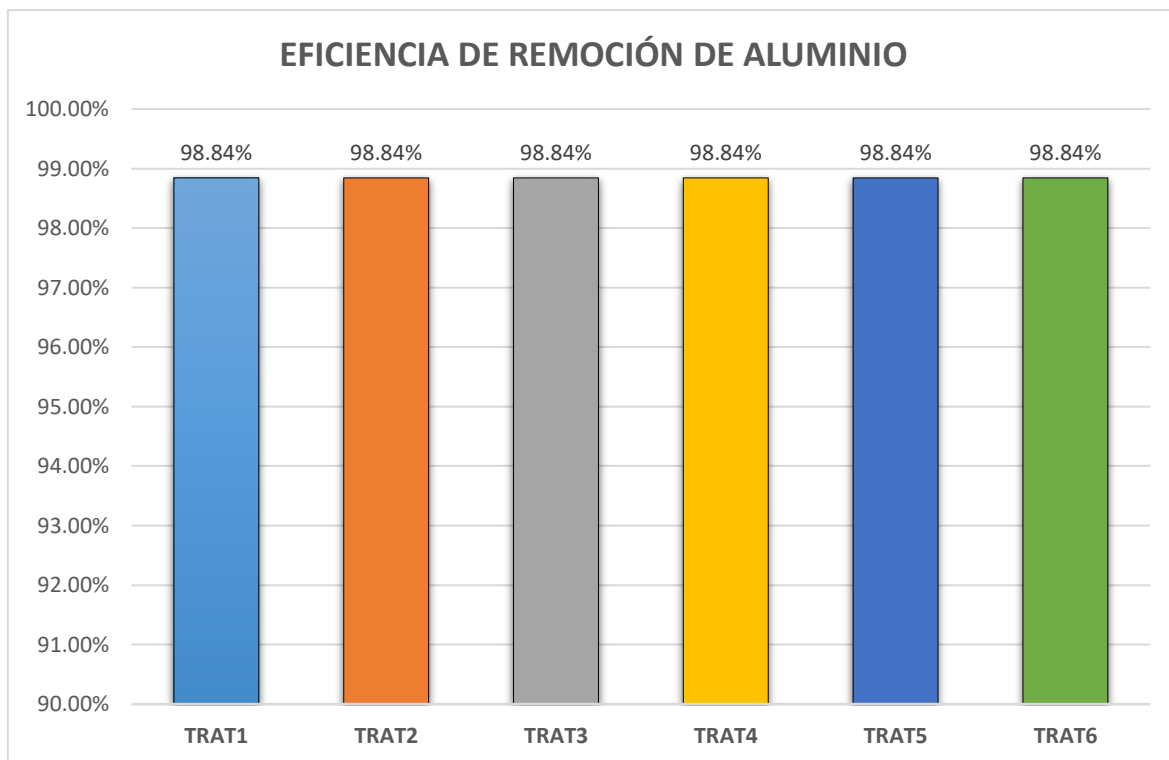


Figura 79. Eficiencia de remoción del aluminio de todos los tratamientos

Como precisión final del gráfico precedente, se señala que todos los tratamientos fueron eficientes en la remoción del aluminio presente en las aguas de la laguna de la mansión.

Finalmente, en base a las normativas aplicadas podemos concluir que (sin menoscabo de los tratamientos) no existe presencia significativa de aluminio que pueda representar un riesgo para la salud, el bienestar humano y el ambiente; por tanto, en función de este parámetro las aguas de la laguna de la mansión son aptas para el riego de vegetales y la bebida de animales.

Boro

Los resultados obtenidos en este parámetro muestran una baja presencia en las aguas de la laguna de la mansión, la concentración en el pre-monitoreo arrojó un valor de 0.204 mg/L; respecto a las subcategorías D1 y D2 de los ECA este valor antes de los tratamientos es aproximadamente 4.90 y 24.51 veces menor respectivamente.

En cuanto a los resultados después de los tratamientos se puede apreciar que en todos los casos hubo remoción; cuatro tratamientos alcanzaron una eficiencia de remoción superior al tercio del valor inicial siendo 45.59% la remoción más alta, por su parte, el tratamiento con menos eficiencia de remoción alcanzó el 8.82%.

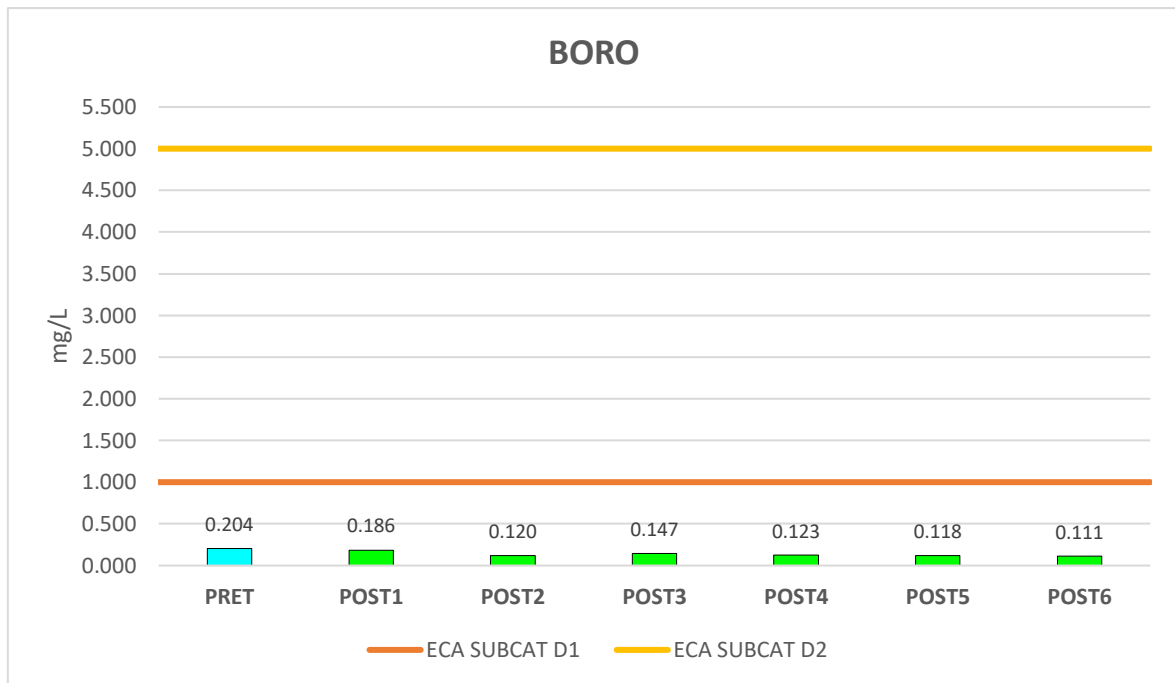


Figura 80. Comparación del boro antes y después de los tratamientos

En cuanto a la eficiencia de remoción del parámetro alcanzado por grupos de pares se puede concluir que los tratamientos con *Limnobium laevigatum* y *Spirodela polyrhiza* fueron los más eficientes con una media de remoción del 43.87%, mientras que los tratamientos con *Eichhornia crassipes* y *Spirodela polyrhiza* fueron los menos eficientes con una media de remoción del 25.00%.

En lo que respecta a la aireación asistida se puede destacar que en todos los casos los tratamientos de fitodepuración complementados con aireación muestran mejores resultados de depuración que sus pares sin aireación, la mayor diferencia (32.35%) se puede encontrar en el primer par de tratamientos.

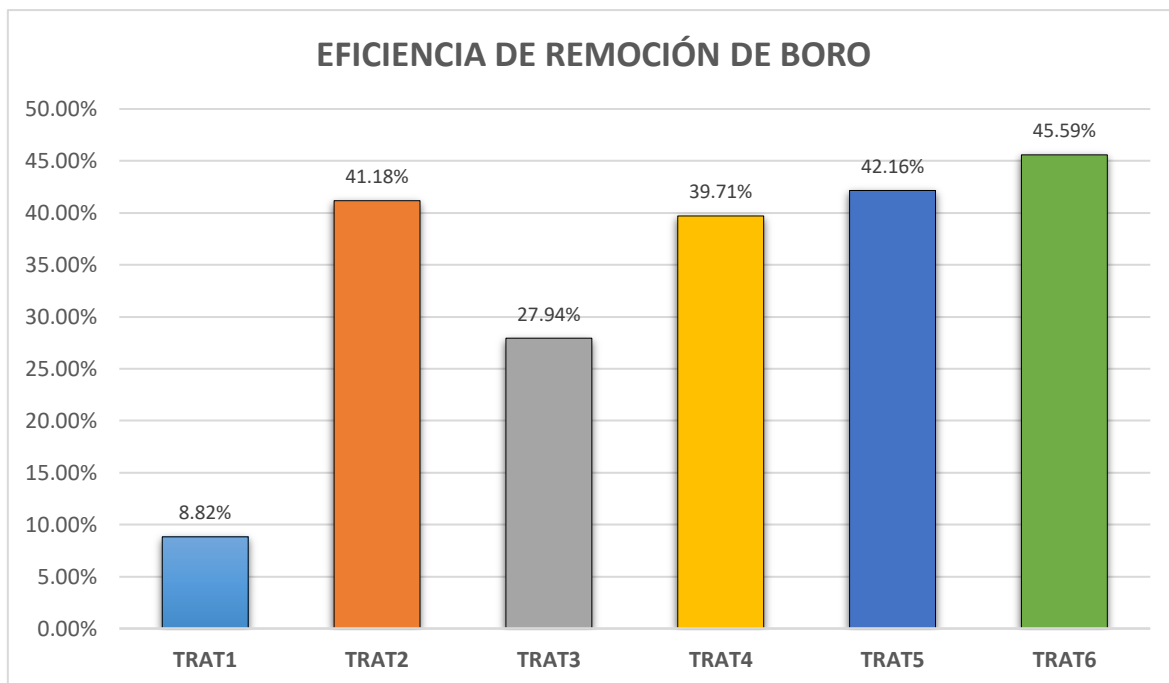


Figura 81. Eficiencia de remoción del boro de todos los tratamientos

Como precisión final del gráfico precedente, se señala que todos los tratamientos fueron medianamente eficientes en la remoción del boro presente en las aguas de la laguna de la mansión.

Finalmente, en base a las normativas aplicadas podemos concluir que (sin menoscabo de los tratamientos) no existe presencia significativa de boro que pueda representar un riesgo para la salud, el bienestar humano y el ambiente; por tanto, en función de este parámetro las aguas de la laguna de la mansión son aptas para el riego de vegetales y la bebida de animales.

Hierro

Los resultados obtenidos en este parámetro muestran una baja presencia en las aguas de la laguna de la mansión, la concentración en el pre-monitoreo arrojó un valor de 0.537 mg/L; ante la subcategoría D1 de los ECA (única norma en aplicación) este valor antes de los tratamientos es aproximadamente 9.31 veces menor.

En cuanto a los resultados después de los tratamientos se puede apreciar que en todos los casos hubo una extraordinaria remoción; los seis tratamientos alcanzaron una eficiencia de remoción de por lo menos el 99.81%, logrando reducir la concentración inicial de hierro hasta cinco mil veces el valor del ECA.

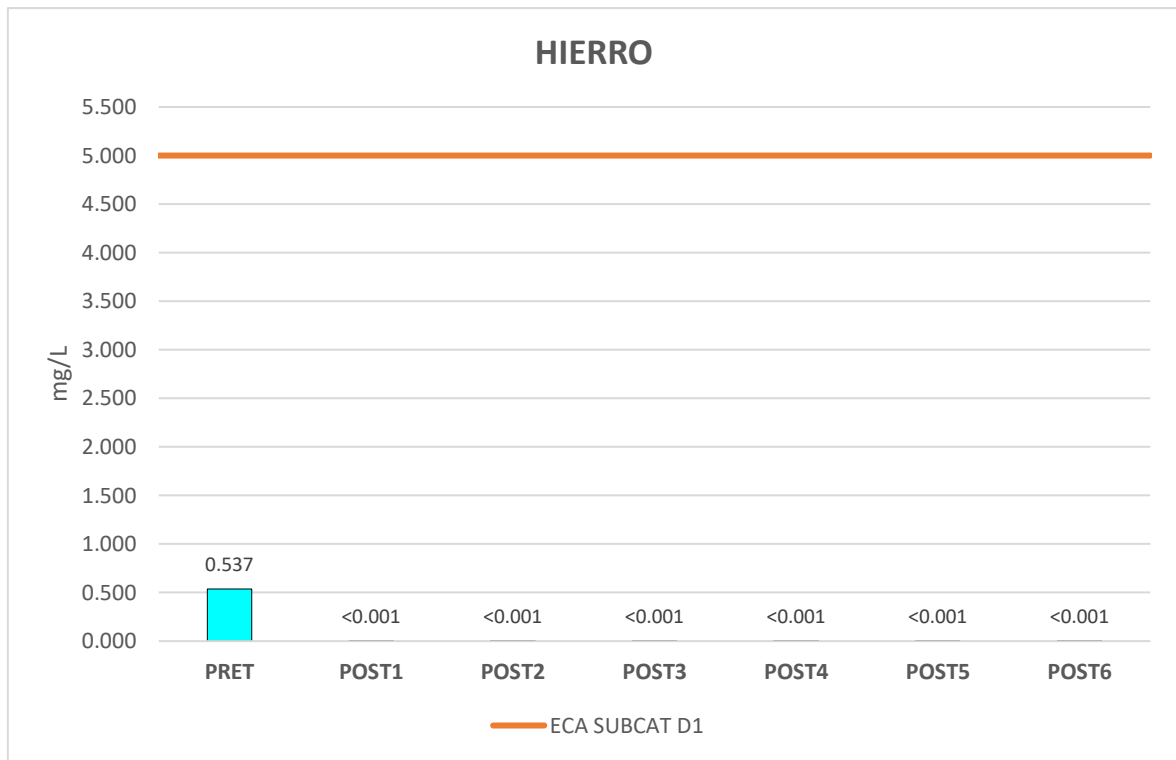


Figura 82. Comparación del hierro antes y después de los tratamientos

En cuanto a la remoción del parámetro alcanzado por grupos de pares no se evidencia diferencia alguna, pues todos los pares de tratamiento presentan la misma eficiencia media de remoción.

En lo que respecta a la aireación asistida se puede precisar que, en concordancia al párrafo precedente, los tratamientos de fitodepuración complementados con aireación no evidencian contribución alguna.

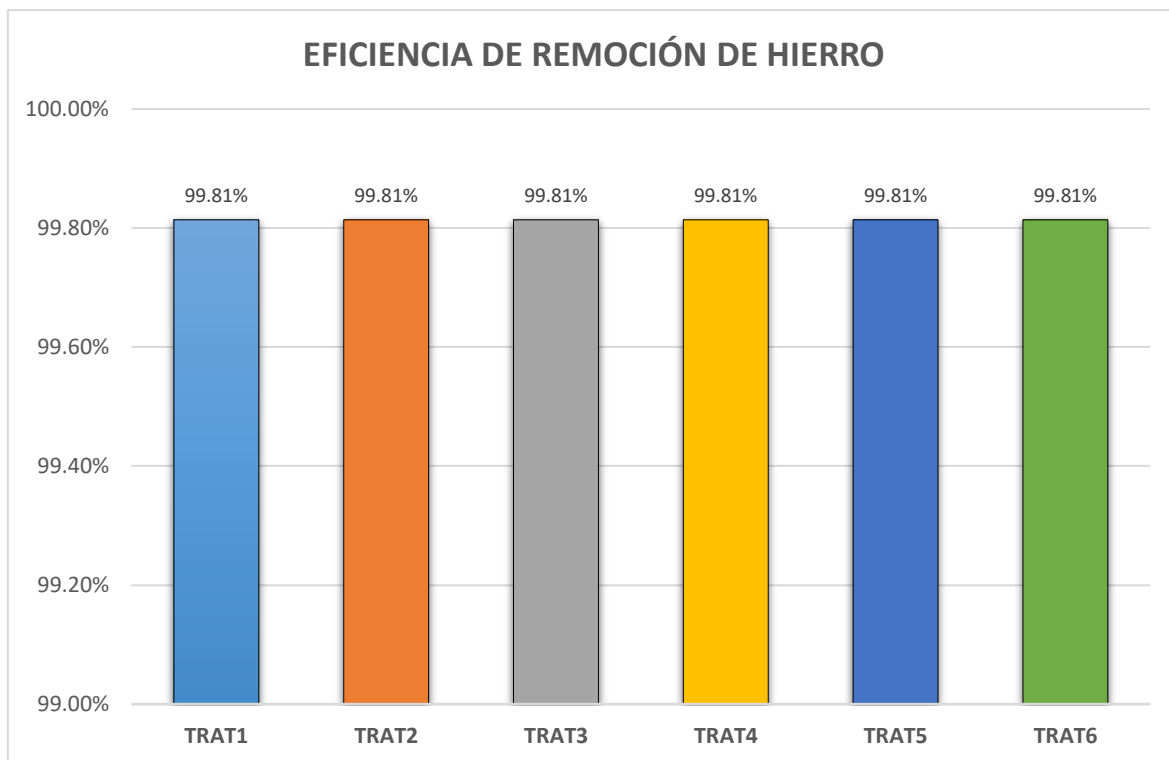


Figura 83. Eficiencia de remoción del hierro de todos los tratamientos

Como precisión final del gráfico precedente, se señala que todos los tratamientos fueron eficientes en la remoción del hierro presente en las aguas de la laguna de la mansión.

Finalmente, en base a la única normativa aplicada podemos concluir que (sin menoscabo de los tratamientos) no existe presencia significativa de hierro que pueda representar un riesgo para la salud, el bienestar humano y el ambiente; por tanto, en función de este parámetro las aguas de la laguna de la mansión son aptas para el riego de vegetales.

Litio

Los resultados obtenidos en este parámetro muestran una baja presencia en las aguas de la laguna de la mansión, la concentración en el pre-monitoreo arrojó un valor de 0,0053 mg/L; respecto a las subcategorías D1 y D2 de los ECA este valor antes de los tratamientos es aproximadamente 471.70 veces menor.

En cuanto a los resultados después de los tratamientos se puede apreciar que en todos los casos hubo remoción; cuatro tratamientos alcanzaron una eficiencia de remoción superior al quinto de la concentración inicial siendo 28.30% la remoción más alta, por su parte, el tratamiento con menos eficiencia de remoción alcanzó el 15.09%.

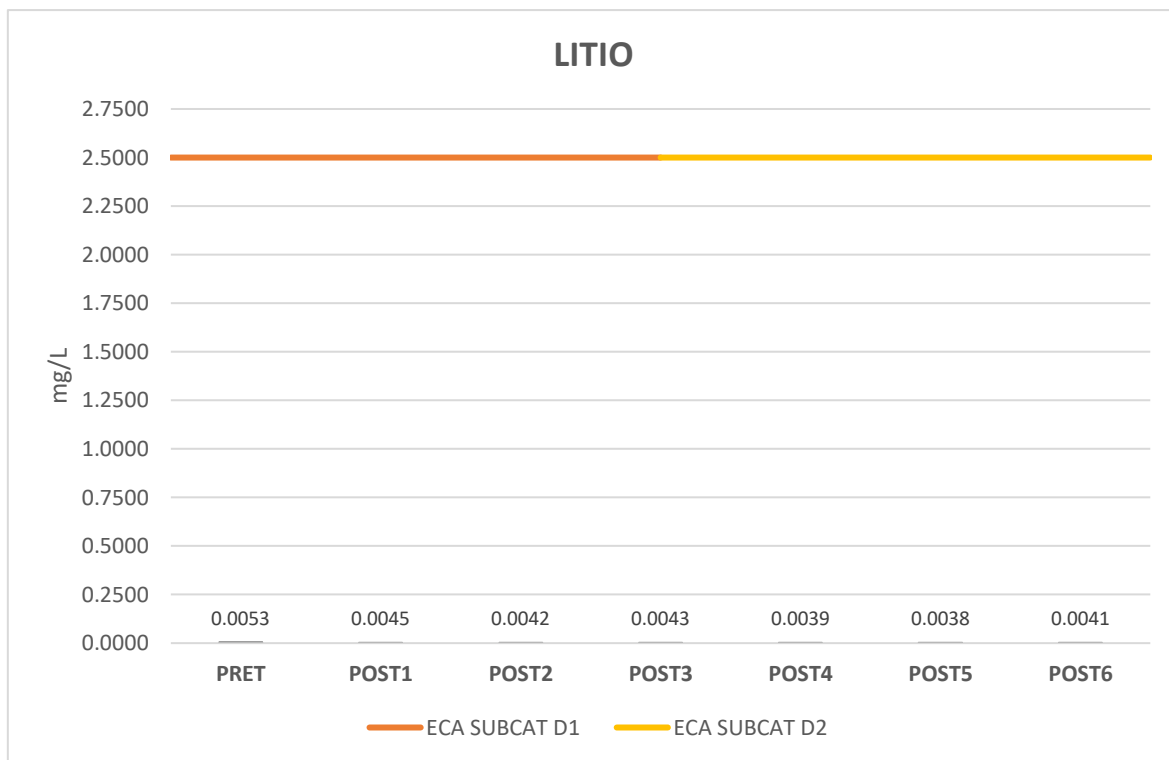


Figura 84. Comparación del litio antes y después de los tratamientos

En cuanto a la eficiencia de remoción del parámetro alcanzado por grupos de pares se puede concluir que los tratamientos con *Limnobium laevigatum* y *Spirodela polyrhiza* fueron los más eficientes con una media de remoción del 25.47%, mientras que los tratamientos con *Eichhornia crassipes* y *Spirodela polyrhiza* fueron los menos eficientes con una media de remoción del 17.92%.

En lo que respecta a la aireación asistida se puede destacar que los dos primeros tratamientos complementados con aireación muestran mejores resultados de depuración que sus pares sin aireación, la menor diferencia (5.66%) se puede encontrar en el primer par de tratamientos, por otro lado, esa misma diferencia es la que separa el sexto tratamiento de su par sin aireación.

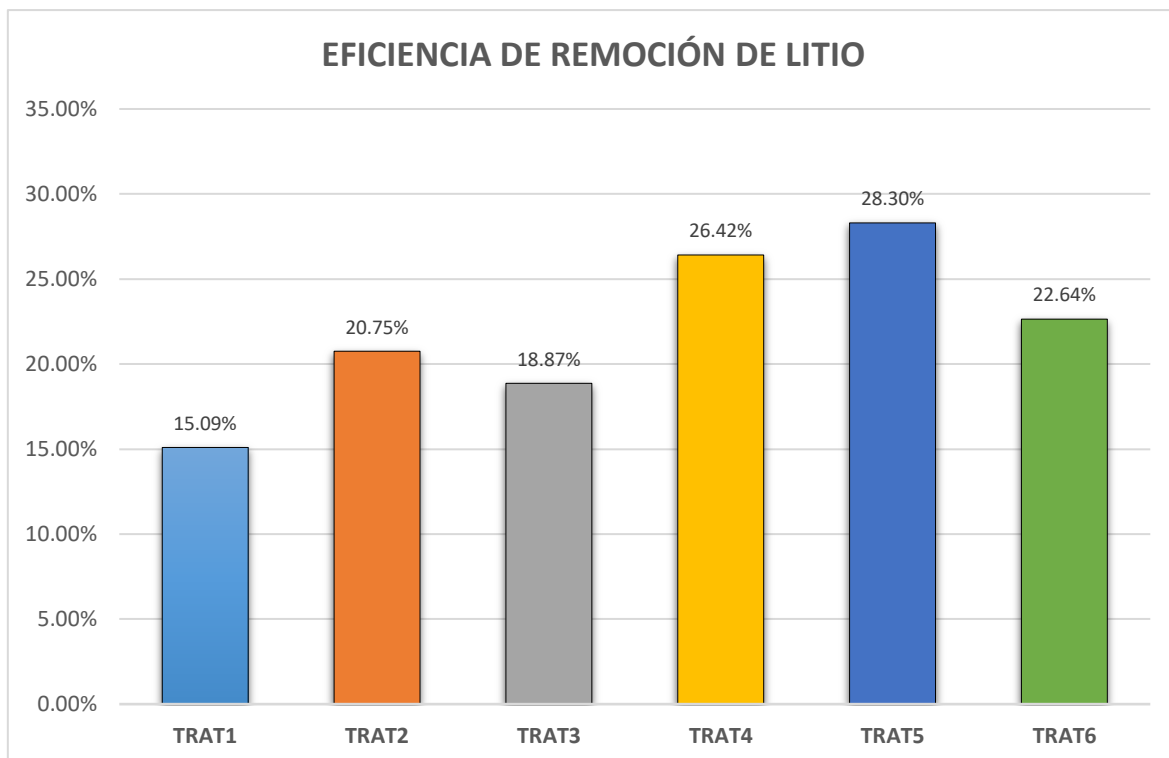


Figura 85. Eficiencia de remoción del litio de todos los tratamientos

Como precisión final del gráfico precedente, se señala que todos los tratamientos fueron medianamente eficientes en la remoción del litio presente en las aguas de la laguna de la mansión.

Finalmente, en base a las normativas aplicadas podemos concluir que (sin menoscabo de los tratamientos) no existe presencia significativa de litio que pueda representar un riesgo para la salud, el bienestar humano y el ambiente; por tanto, en función de este parámetro las aguas de la laguna de la mansión son aptas para el riego de vegetales y la bebida de animales.

Zinc

Los resultados obtenidos en este parámetro muestran una baja presencia en las aguas de la laguna de la mansión, la concentración en el pre-monitoreo arrojó un valor de 0.0187 mg/L; ante las normativas en aplicación este valor antes de los tratamientos es por lo menos aproximadamente 6.42 veces menor.

En cuanto a los resultados después de los tratamientos se puede apreciar que en todos los casos hubo una extraordinaria remoción; los seis tratamientos alcanzaron una eficiencia de remoción de por lo menos el 99.47%, logrando reducir la concentración inicial de zinc hasta mil doscientas veces el valor del ECA más riguroso.

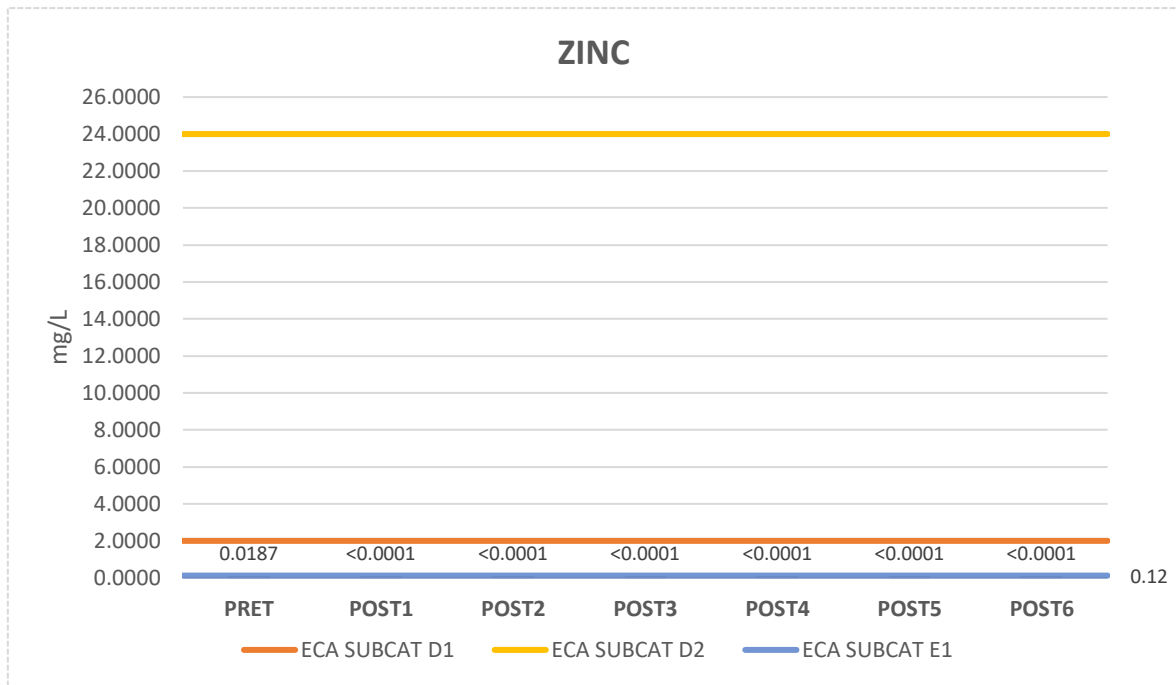


Figura 86. Comparación del zinc antes y después de los tratamientos

En cuanto a la remoción del parámetro alcanzado por grupos de pares no se evidencia diferencia alguna, pues todos los pares de tratamiento presentan la misma eficiencia media de remoción.

En lo que respecta a la aireación asistida se puede precisar que, en concordancia al párrafo precedente, los tratamientos de fitodepuración complementados con aireación no evidencian contribución alguna.

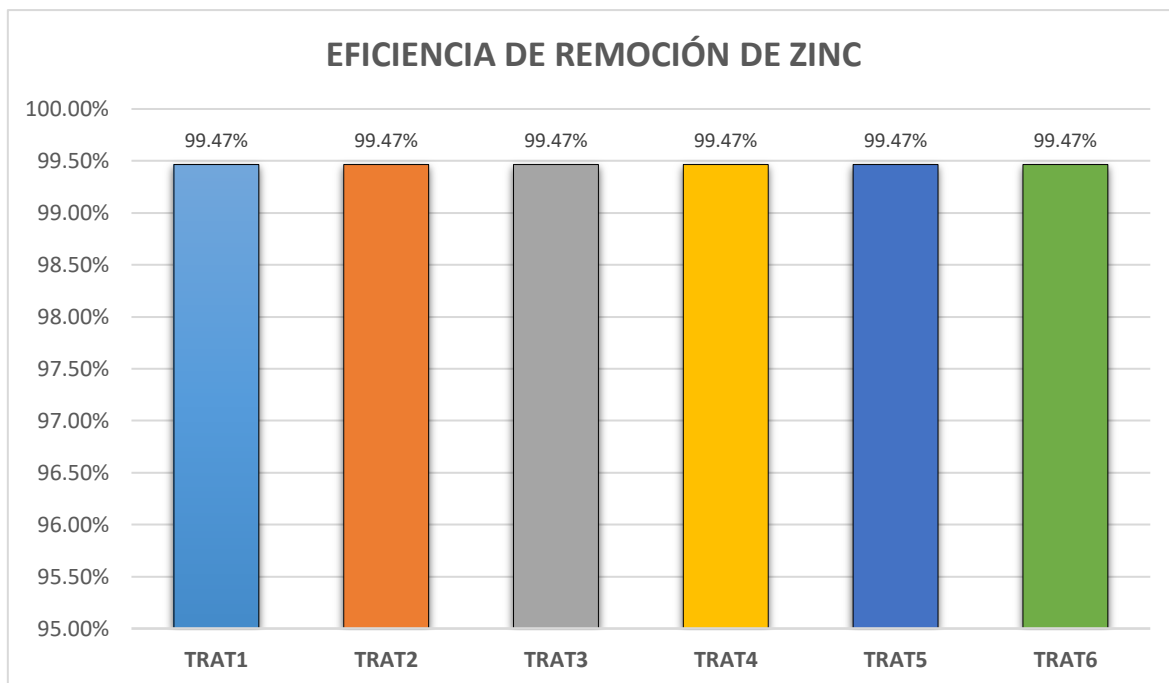


Figura 87. Eficiencia de remoción del zinc de todos los tratamientos

Como precisión final del gráfico precedente, se señala que todos los tratamientos fueron eficientes en la remoción del zinc presente en las aguas de la laguna de la mansión.

Finalmente en base a las normativas aplicadas podemos concluir que (sin menoscabo de los tratamientos) no existe presencia significativa de zinc que pueda representar un riesgo para la salud, el bienestar humano y el ambiente; por tanto, en función de este parámetro las aguas de la laguna de la mansión son aptas para el riego de vegetales, la bebida de animales y la conservación del ambiente acuático de lagunas y lagos.

Potasio

La concentración de potasio en el pre-monitoreo de las aguas de la laguna de mansión arrojó un valor de 4,47 mg/L; en cuanto a los resultados después de los tratamientos se puede apreciar que en todos los casos hubo buena remoción del parámetro, cuatro tratamientos alcanzaron una eficiencia de remoción superior al 95%, los dos restantes tratamientos alcanzaron una eficiencia superior al 70%.

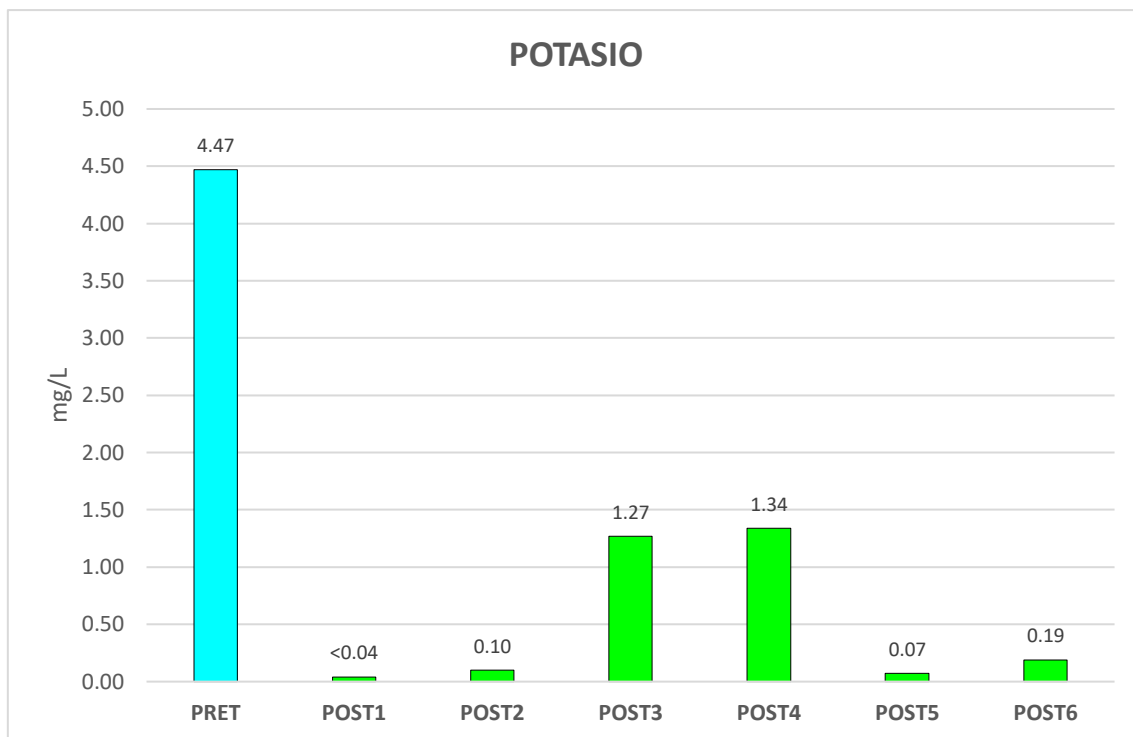


Figura 88. Comparación del potasio antes y después de los tratamientos.

En cuanto a la eficiencia de remoción del parámetro alcanzado por grupo de pares se puede concluir que los tratamientos con *Eichhornia crassipes* y *Spirodela polyrhiza* fueron los más eficientes con una media de remoción del 98.43%, mientras que los tratamientos con *Pistia stratiotes* y *Spirodela polyrhiza* fueron los menos eficientes con una media de remoción del 70.81%.

En lo que respecta a la aireación asistida se puede destacar que no se evidencia aporte alguno en los tratamientos de fitodepuración complementados con aireación, en la gráfica siguiente se puede apreciar que los tres tratamientos presentan menores porcentajes de remoción de potasio que sus pares sin aireación, aunque bastante mínimas pues la diferencia más alta de tan solo el 2.68%.

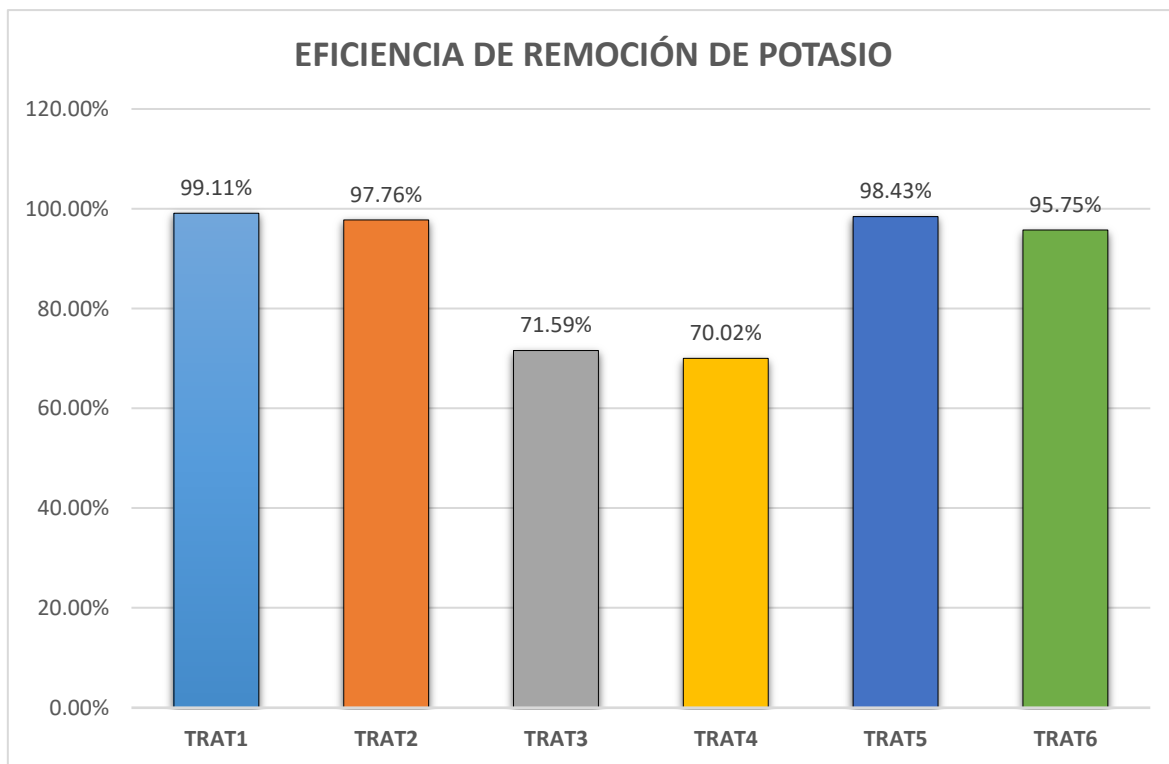


Figura 89. Comparación del potasio antes y después de los tratamientos.

Como precisión final del gráfico precedente, se señala que todos los tratamientos fueron eficientes en la remoción del potasio presente en las aguas de la laguna de la mansión; asimismo, ante la ausencia de normativas que regulen la concentración del parámetro en cuerpos de agua no es posible concluir si su presencia en las aguas de la laguna de la mansión (antes y después de los tratamientos) representa un riesgo para la salud, el bienestar humano y el ambiente, aunque al no estar normado es probable que sea poco tóxica o peligrosa para el ambiente.

Sílice

La concentración de sílice en el pre-monitoreo de las aguas de la laguna de mansión arrojó un valor de 14,223 mg/L; en cuanto a los resultados después de los tratamientos se puede apreciar que en todos los casos hubo remoción del parámetro, todos los tratamientos alcanzaron eficiencias de remoción superior al 30%, siendo los más altos los dos primeros tratamientos con 43.36% y 61.56% respectivamente.

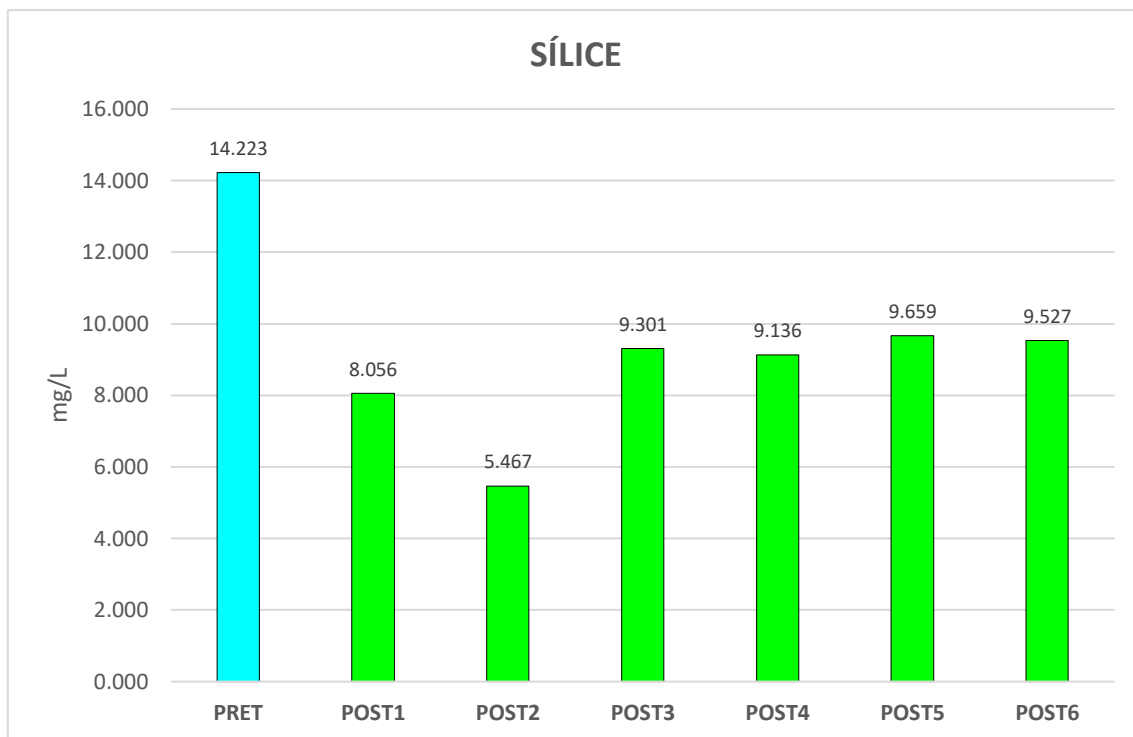


Figura 90. Comparación del potasio antes y después de los tratamientos.

En cuanto a la eficiencia de remoción del parámetro alcanzado por grupo de pares se puede concluir que los tratamientos con *Eichhornia crassipes* y *Spirodela polyrhiza* fueron los más eficientes con una media de remoción del 52.46%, mientras que los tratamientos con *Limnobium laevigatum* y *Spirodela polyrhiza* fueron los menos eficientes con una media de remoción del 32.55%.

En lo que respecta a la aireación forzada se puede precisar que en todos los casos los tratamientos de fitodepuración complementados con aireación muestran mejores resultados de depuración que sus pares sin aireación, la mayor diferencia (18.20%) se puede encontrar en el primer par de tratamientos; en los dos restantes pares la diferencia máxima es de tan solo el 1.16%

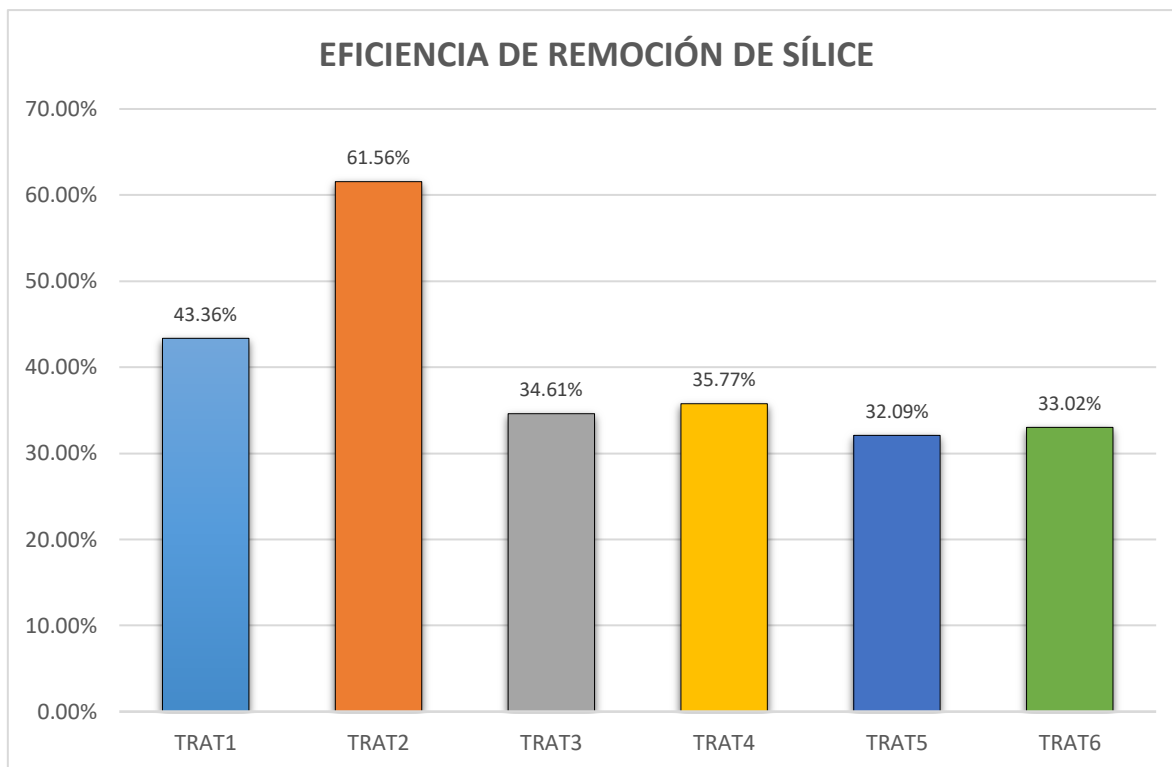


Figura 91. Eficiencia de remoción de la sílice de todos los tratamientos

Como precisión final del grafico precedente, se señala que todos los tratamientos fueron eficientes en la remoción del sílice presente en las aguas de la laguna de la mansión; asimismo, ante la ausencia de normativas que regulen la concentración del parámetro en cuerpos de agua no es posible concluir si su presencia en las aguas de la laguna de la mansión (antes y después de los tratamientos) representa un riesgo para la salud, el bienestar humano y el ambiente, aunque al no estar normado es probable que sea poco toxica o peligrosa para el ambiente.

4.3. Determinación general de la eficiencia de remoción de los parámetros

Para la determinación general de la eficiencia de remoción de los parámetros físico-químicos, microbiológicos e inorgánicos de todos los tratamientos se empleará los siguientes rangos porcentuales específicos, basándonos en lo realizado por Nuñez (2019) en su investigación.

Tabla 66. Tabla de determinación de eficiencia de remoción

RANGO (%)	NIVEL DE EFICIENCIA
-----------	---------------------

-100 – 0	NULA
01 – 25	BAJA
26 – 50	MEDIA
51 – 75	ALTA
76 – 100	MUY ALTA

En primer lugar, respecto al único parámetro microbiológico estudiado, podemos concluir que todos los tratamientos de fitodepuración alcanzaron un nivel de eficiencia de remoción *muy alta* de **coliformes fecales** (99.99%, 97.46%, 99.99%, 99.99%, 99.99%, 99.99%) presentes en las aguas de la laguna de la mansión.

Siguiendo con los parámetros físico-químicos, podemos concluir que todos los tratamientos alcanzaron un nivel de eficiencia de remoción *muy alta* de **nitrógeno total** (96.01%, 94.59%, 92.41%, 93.31%, 94.21%, 90.35%), **solidos suspendidos totales** (90.38%) y **turbiedad** (95.20%, 97.00%, 97.00%, 95.80%, 97.00%, 96.40%).

En cuanto a la **demanda bioquímica de oxígeno** podemos concluir que la mitad de los tratamientos (T2, T4, T5) alcanzaron un nivel de eficiencia de remoción *muy alta* (77.30%, 76.83%, 76.83%); la otra mitad de tratamientos (T1, T3, T6) alcanzaron un nivel de eficiencia de remoción *alta* (73.05%, 65.72%, 72.10%).

En cuanto a la **demanda química de oxígeno** podemos concluir que cinco tratamientos (T1, T2, T4, T5, T6) alcanzaron un nivel de eficiencia de remoción *alta* (61.29%, 70.97%, 67.74%, 69.35%, 66.13%); por su parte, el tercer tratamiento alcanzó un nivel de eficiencia de remoción *media* (50.00%).

Referente a los **aceites y grasas** podemos concluir que un solo tratamiento (T6) alcanzó un nivel de eficiencia de remoción *alta* (60.00%), dos tratamientos (T4, T5) alcanzaron un nivel de eficiencia de remoción *media* (40.00%, 26.67%), otros dos tratamientos (T2, T3) alcanzaron un nivel de eficiencia de remoción *baja* (6.67%, 20.00%); finalmente el primer tratamiento presento un nivel de eficiencia de remoción *nula* (-6.67%)

La **conductividad** fue el único parámetro físico-químico en el que ninguno de sus tratamientos supero el nivel de eficiencia de remoción *baja*, de hecho, solo el cuarto y quinto tratamiento presentaron remoción (0.87%, 1.53%); los tres primeros tratamientos

presentaron ligero incremento (-5.88%, -6.97%, -2.40%) y el sexto conservó la concentración inicial, por tanto, presentaron un nivel de eficiencia de remoción *nula*.

En cuanto al **pH** podemos concluir que los primeros cinco tratamientos alcanzaron un nivel de eficiencia de equilibrio (o estabilización) *muy alta* (86.01%, 81.35%, 93.26%, 78.76%, 91.71%); por su parte, el último tratamiento alcanzó un nivel de eficiencia de equilibrio *alta* (72.02%).

Como último parámetro físico-químico (obviando la temperatura) tenemos al oxígeno disuelto, del cual podemos concluir que un solo tratamiento (T6) alcanzó un nivel de eficiencia de incremento *media* (32.14%), cuatro (T1, T2, T4, T5) alcanzaron un nivel de eficiencia de incremento *baja* (17.86%, 7.14%, 5.36%, 23.21%); finalmente el tercer tratamiento presentó un nivel de eficiencia de incremento *nula* (-5.36%).

Finalmente, iniciando con los parámetros inorgánicos o metales pesados, podemos concluir que todos los tratamientos de fitodepuración alcanzaron (con el mismo porcentaje en cada caso) un nivel de eficiencia de remoción *muy alta* de **aluminio** (98.84%), **hierro** (99.81%) y **zinc** (99.47%).

En cuanto al **boro** podemos concluir que cinco tratamientos (T2, T3, T4, T5, T6) alcanzaron un nivel de eficiencia de remoción *media* (41.18%, 27.94%, 39.71%, 42.16%, 45.59%); por su parte, el primer tratamiento alcanzó un nivel de eficiencia de remoción *baja* (8.82%).

En cuanto al **litio** podemos concluir que cuatro tratamientos (T1, T2, T3, T6) alcanzaron un nivel de eficiencia de remoción *baja* (15.09%, 20.75%, 18.87%, 22.64%); por su parte, el tercer y cuarto tratamiento alcanzaron un nivel de eficiencia de remoción *media* (26.42%, 28.30%).

En cuanto al **potasio** podemos concluir que cuatro tratamientos (T1, T2, T5, T6) alcanzaron un nivel de eficiencia de remoción *muy alta* (99.11%, 97.76%, 98.43%, 95.75%); por su parte, el tercer y cuarto tratamiento alcanzaron un nivel de eficiencia de remoción *alta* (71.59%, 70.02%).

En cuanto al **sílice** podemos concluir que cinco tratamientos (T1, T3, T4, T5, T6) alcanzaron un nivel de eficiencia de remoción *media* (43.36%, 34.61%, 35.77%, 32.09%, 33.02%); por su parte, el segundo tratamiento alcanzó un nivel de eficiencia de remoción *alta* (61.56%).

En la siguiente tabla se puede apreciar todos los parámetros monitoreados (exceptuando la temperatura) con sus respectivas concentraciones iniciales, y los porcentajes

de eficiencia de remoción alcanzada en cada uno de los seis tratamientos de fitodepuración aplicados.

En la tabla se muestran también a los parámetros inorgánicos que presentaron variación negativa respecto a los datos de la concentración inicial, es decir, incremento del parámetro en alguno de los seis tratamientos.

Tabla 67. Resultados de eficiencia de remoción de los tratamientos de fitodepuración

PARÁMETROS	CONCENTRACIÓN INICIAL	RESULTADOS POS-TRATAMIENTO					
		T1	T2	T3	T4	T5	T6
MICROBIOLÓGICOS							
Coliformes fecales	13000.0 (NMP/100mL)	99,99%	97,46%	99,99%	99,99%	99,99%	99,99%
FÍSICO-QUÍMICOS							
Aceites y grasas	1.50 (mg/L)	-6,67%	6,67%	20,00%	40,00%	26,67%	60,00%
Conductividad	459.00 (µS/cm)	-5,88%	-6,97%	-2,40%	0,87%	1,53%	0,00%
DBO5	42.3 (mg BOD5/L)	73,05%	77,30%	65,72%	76,83%	76,83%	72,10%
DQO	62 (COD as mg O2/L)	61,29%	70,97%	50,00%	67,74%	69,35%	66,13%
Nitrógeno total	7.77 (mg N/L)	96,01%	94,59%	92,41%	93,31%	94,21%	90,35%
OD	5.6 (mg/L)	17,86%	7,14%	-5,36%	5,36%	23,21%	32,14%
pH	8.93 (Unidad de pH)	86,01%	81,35%	93,26%	78,76%	91,71%	72,02%
SST	52 (mg TSS/L)	90,38%	90,38%	90,38%	90,38%	90,38%	90,38%
Turbiedad	50.00 (NTU)	95,20%	97,00%	97,00%	95,80%	97,00%	96,40%
METALES TOTALES							
Aluminio	0.432 (mg/L)	98,84%	98,84%	98,84%	98,84%	98,84%	98,84%
Arsénico	<0,002 (mg/L)	0,00%	0,00%	0,00%	-50,00%	0,00%	0,00%
Bario	0,0503 (mg/L)	6,96%	2,58%	-0,40%	10,93%	4,17%	-0,40%
Boro	0,204 (mg/L)	8,82%	41,18%	27,94%	39,71%	42,16%	45,59%
Cobre	<0,0003 (mg/L)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-33,33%	-33,33%
Hierro	0,537 (mg/L)	99,81%	99,81%	99,81%	99,81%	99,81%	99,81%
Litio	0,0053 (mg/L)	15,09%	20,75%	18,87%	26,42%	28,30%	22,64%
Magnesio	9,618 (mg/L)	14,23%	4,35%	-1,84%	3,76%	15,25%	8,90%
Manganeso	0,0010 (mg/L)	90,00%	-90,00%	90,00%	90,00%	90,00%	90,00%

Zinc	0,0187 (mg/L)	99,47%	99,47%	99,47%	99,47%	99,47%	99,47%
Bismuto	<0,009 (mg/L)	-33,33%	-55,56%	-44,44%	-44,44%	-33,33%	-11,11%
Calcio	78,565 (mg/L)	-9,16%	-7,73%	-3,50%	3,13%	0,25%	-6,05%
Estroncio	0,66410 (mg/L)	-14,96%	-11,44%	-4,80%	-1,89%	-3,31%	-4,50%
Potasio	4,47 (mg/L)	99,11%	97,76%	71,59%	70,02%	98,43%	95,75%
Sílice	14,223 (mg/L)	43,36%	61,56%	34,61%	35,77%	32,09%	33,02%
Sodio	17,236 (mg/L)	-12,92%	-17,49%	-15,91%	-10,25%	2,23%	-2,90%

Elaborando un análisis general de la eficiencia de remoción por tratamientos podemos destacar las siguientes condiciones:

En cuanto a los parámetros físico-químicos y microbiológicos concluimos que todos los tratamientos alcanzaron un nivel de eficiencia de remoción *alta* con los siguientes porcentajes generales:

- Tratamiento 1: 60.72%
- Tratamiento 2: 61.59%
- Tratamiento 3: 60.10%
- Tratamiento 4: 64.90%
- Tratamiento 5: 67.09%
- Tratamiento 6: 67.95%

Como se puede apreciar todos los tratamientos presentan porcentajes de remoción superiores al 60%, la distancia porcentual entre la mínima y máxima de remoción es de 7.85%; asimismo, los tres tratamientos complementados con aireación muestran (aunque mínimos) mejores porcentajes de remoción que sus pares sin aireación.

En este primer análisis general de la eficiencia de remoción por tratamientos consideramos todos los parámetros físico-químicos, ahora bien, si excluimos el oxígeno disuelto y el pH, que son parámetros en los que no se busca la remoción del parámetro y que tratamos de incluir dándoles una lógica distinta, tenemos el siguiente escenario:

- Tratamiento 1: 62.92% (+ 2.20%)
- Tratamiento 2: 65.93% (+ 4.34%)
- Tratamiento 3: 64.14% (+ 4.04%)

- Tratamiento 4: 70.62% (+ 5.71%)
- Tratamiento 5: 69.49% (+ 2.41%)
- Tratamiento 6: 71.92% (+ 3.97%)

Como se puede apreciar, en todos los tratamientos incrementó el porcentaje de remoción (entre 2.20% y 5.71%), de este modo, dos tratamientos alcanzaron porcentajes de remoción superiores al 70%, la distancia porcentual entre la mínima y máxima de remoción es de 9.00%; asimismo, los tres tratamientos complementados con aireación continúan manteniendo (con mayor diferencia) mejores porcentajes de remoción que sus pares sin aireación.

En ambos escenarios de análisis están incluidos valores porcentuales negativos o con variación atípica (causados por contaminación u otro factor externo) que presentan algunos parámetros (conductividad, coliformes fecales, etc.).

En el supuesto de que excluyésemos también a los aceites y grasas y la conductividad, ambos con valores porcentuales negativos restantes, que además son los únicos parámetros físico-químicos (además del oxígeno disuelto y la temperatura) que no transgreden ninguno de los estándares y límites normativos aplicados, podríamos concluir que todos los tratamientos alcanzaron un nivel de eficiencia de remoción *muy alta* con los siguientes valores porcentuales:

- Tratamiento 1: 85.99% (+ 25.26%)
- Tratamiento 2: 87.95% (+ 26.36%)
- Tratamiento 3: 82.58% (+ 22.48%)
- Tratamiento 4: 87.34% (+ 22.44%)
- Tratamiento 5: 87.96% (+ 20.87%)
- Tratamiento 6: 85.89% (+ 17.94%)

Como se puede apreciar, en todos los tratamientos incrementó el porcentaje de remoción respecto al primer análisis (entre 17.94% y 26.36%), bajo este escenario todos los tratamientos alcanzaron porcentajes de remoción superiores al 80%, la distancia porcentual entre la mínima y máxima de remoción es de 5.38%; por otro lado, solo los dos primeros tratamientos complementados con aireación continuaron manteniendo (con menor diferencia que el escenario anterior) mejores porcentajes de remoción que sus pares sin aireación.

Para terminar con los parámetros físico-químicos y microbiológicos, realizaremos (al igual que en los análisis descriptivos comparativos individuales) las siguientes conclusiones en cuanto a la eficiencia de remoción de los parámetros alcanzada por grupos de pares (de cultivos acuáticos):

En referencia a los dos primeros escenarios podemos concluir que los tratamientos con *Limnobium laevigatum* y *Spirodela polyrhiza* fueron los más eficientes con medias de remoción del 67.52% y 70.71% respectivamente, mientras que los tratamientos con *Eichhornia crassipes* y *Spirodela polyrhiza* fueron los menos eficientes con medias de remoción del 61.16% y 64.42% correspondientemente.

En referencia al tercer escenario podemos concluir que los tratamientos con *Eichhornia crassipes* y *Spirodela polyrhiza* fueron los más eficientes con una media de remoción del 86.97%, mientras que los tratamientos con *Pistia stratiotes* y *Spirodela polyrhiza* fueron los menos eficientes con una media de remoción del 84.96%.

En cuanto a los parámetros inorgánicos (metales pesados) no fue posible determinar algún nivel de eficiencia de remoción ya que las concentraciones iniciales en todos los casos es mínima, y en algunos casos la concentración inicial es inferior a límite de detección del método analítico (y que bajo esa lógica no es válido esperar que puedan remover algo).

Finalmente, como acotación podemos precisar que: se puede evaluar un sinnúmero de escenarios en los parámetros físico-químicos y microbiológicos (e inclusive en los parámetros inorgánicos), determinar distintos niveles de eficiencia de remoción, y generar diversas conclusiones de los tratamientos de fitodepuración a escala piloto de las aguas contaminadas de la laguna de la mansión.

4.4. Prueba POST HOC de las diferentes variables.

En esta subsección se examinaron los experimentos (tratamientos) para comparar las diferentes condiciones determinadas por los parámetros físico-químicos y microbiológicos; en esta parte estadística no se han considerado el análisis los parámetros inorgánicos (metales totales) pues como ya se precisó con anterioridad las concentraciones iniciales en todos los casos es mínima, y en algunos casos la concentración inicial es inferior a límite de detección del método analítico (y que bajo esa lógica no es válido esperar que puedan remover algo).

Una vez confirmado la existencia de diferencias entre medias (ANOVA), la prueba de rango post hoc permite determinar qué medias difieren. La prueba TUKEY, identifica subconjuntos homogéneos de medias que no se diferencian entre sí. La razón fundamental de su uso, se debe al número elevado de comparaciones y al hecho de que efectúa un control sobre el índice de error global.

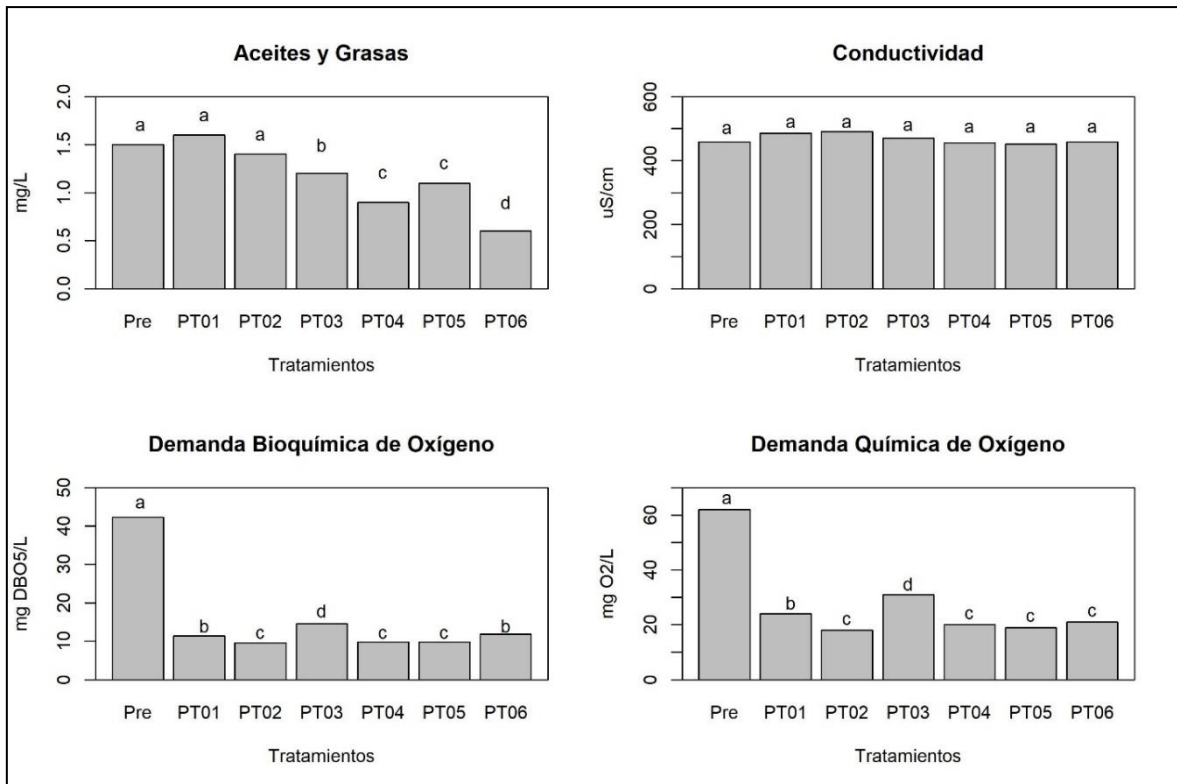


Figura 92. Muestra los resultados de los parámetros físicos-químicos

En la figura 92 muestra **Aceites y Grasas** el pre 1.5 (mg/L) máximo PT01, 1.6 (mg/L) mínimo PT06, 0.6 (mg/L); **Conductividad** el pre 459 (uS/cm) máximo PT02, 491 (uS/cm) mínimo PT05, 452 (uS/cm); **Demanda Bioquímica de Oxígeno** el pre 42.3 (mg/L) máximo PT03, 14.5 (mg/L) mínimo PT02, 9.6 (mg/L) y **Demanda Química de Oxígeno** el pre 62 (mg O₂/L) máximo PT03, 31 (mg O₂/L) mínimo PT02, 18 (mg O₂/L). En el pretratamiento y postratamiento:

PT01 = Eichhornia crassipes + Spirodela polyrhiza,

PT02 = Eichhornia crassipes + Spirodela polyrhiza + AIRE,

PT03 = Pistia stratiotes + Spirodela polyrhiza,

PT04 = Pistia stratiotes + Spirodela polyrhiza + AIRE,

PT05 = Limnobium laevigatum + Spirodela polyrhiza,

PT06 = *Limnobium laevigatum* + *Spirodela polyrhiza* + AIRE).

Diferentes letras representan significancia al 95% ($p < 0.05$).

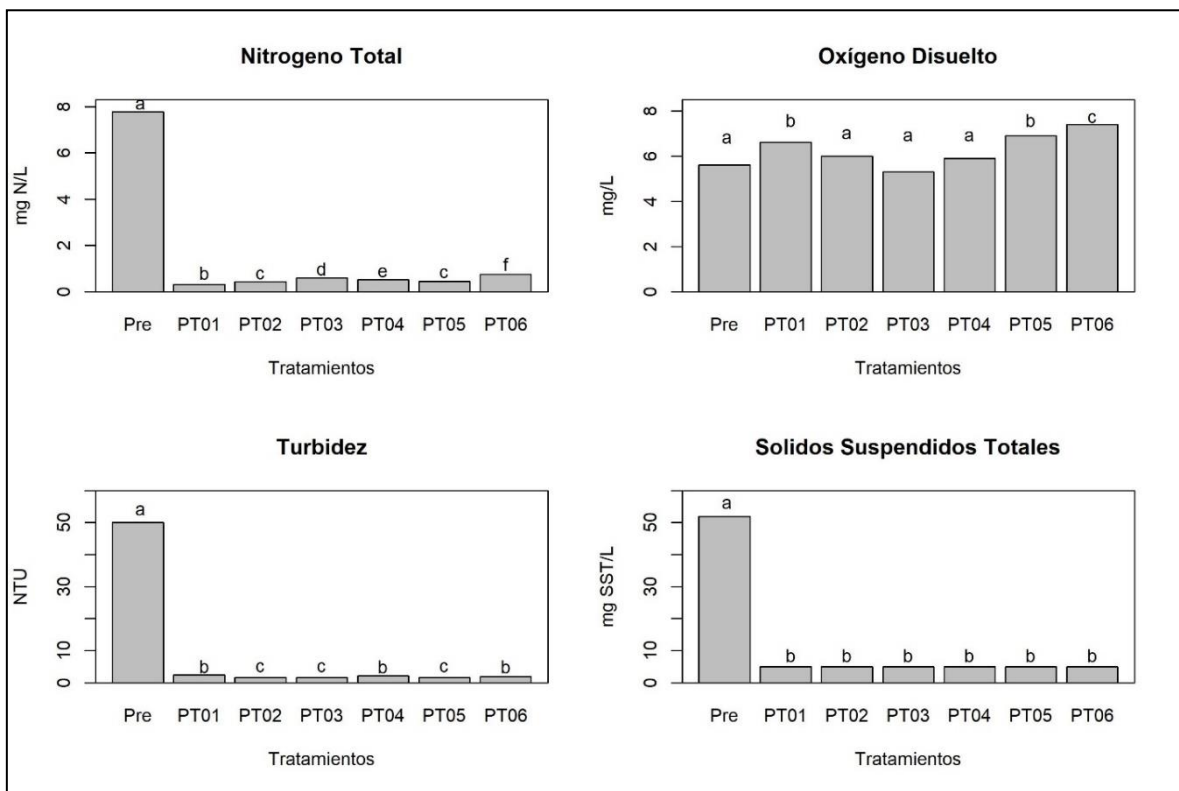


Figura 93. Muestra los resultados de los parámetros físicos-químicos_2

En la figura 93 muestra **Nitrógeno Total** el pre 7.77 (mg N/L) máximo PT06, 0.75 (mg N/L), mínimo PT01, 0.31 (mg N/L); **Oxígeno Disuelto** el pre 5.6 (mg/L) máximo PT06, 7.4 (mg/L) mínimo PT03, 5.3 (mg/L); **Turbidez** el pre 50 (NTU) máximo PT01, 2.4 (NTU) mínimo PT02, PT03 y PT05 1.5 (NTU) y **Sólidos Suspendidos Totales** el pre 52 (mg SST/L) PT01- PT06, < 5 (mg SST/L). En el pretratamiento y postratamiento:

(PT01 = *Eichhornia crassipes* + *Spirodela polyrhiza*,

PT02 = *Eichhornia crassipes* + *Spirodela polyrhiza* + AIRE,

PT03 = *Pistia stratiotes* + *Spirodela polyrhiza*,

PT04 = *Pistia stratiotes* + *Spirodela polyrhiza* + AIRE,

PT05 = *Limnobium laevigatum* + *Spirodela polyrhiza*,

PT06 = *Limnobium laevigatum* + *Spirodela polyrhiza* + AIRE).

Diferentes letras representan significancia al 95% ($p < 0.05$).

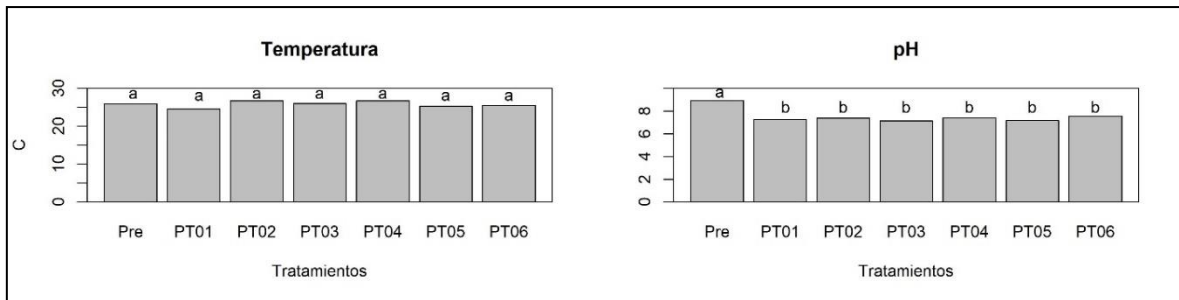


Figura 94. Muestra los resultados de los parámetros físicos-químicos_3

En la figura 94 muestra **Temperatura** el pre 25.9 (°C) máximo PT02 y PT04, 26.7 (°C) mínimo PT01, 24.5 (°C) y **pH** el pre 8.93 máximo PT06, 7.54 mínimo PT03, 7.13. En el pretratamiento y postratamiento:

(PT01 = *Eichhornia crassipes* + *Spirodela polyrhiza*,

PT02 = *Eichhornia crassipes* + *Spirodela polyrhiza* + AIRE,

PT03 = *Pistia stratiotes* + *Spirodela polyrhiza*,

PT04 = *Pistia stratiotes* + *Spirodela polyrhiza* + AIRE,

PT05 = *Limnobium laevigatum* + *Spirodela polyrhiza*,

PT06 = *Limnobium laevigatum* + *Spirodela polyrhiza* + AIRE).

Diferentes letras representan significancia al 95% ($p < 0.05$).

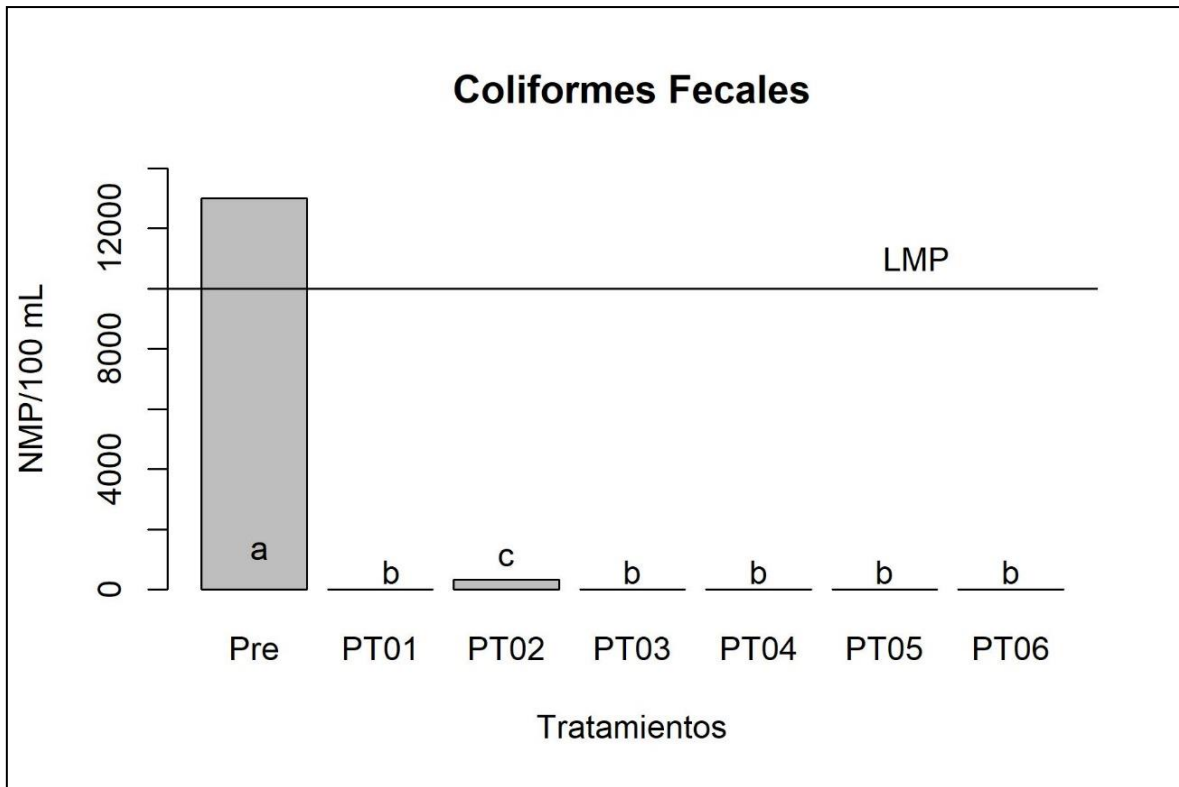


Figura 95. Muestra los resultados del parámetro microbiológico

En la figura 95 muestra **Coliformes Fecales** el pre 13000 (NMP/100 ml) máximo PT02, 330 (NMP/100 ml) mínimo PT01, PT03- PT06 <1.8 (NMP/100 ml). En el pretratamiento y postratamiento:

(PT01 = *Eichhornia crassipes* + *Spirodela polyrhiza*,

PT02 = *Eichhornia crassipes* + *Spirodela polyrhiza* + AIRE,

PT03 = *Pistia stratiotes* + *Spirodela polyrhiza*,

PT04 = *Pistia stratiotes* + *Spirodela polyrhiza* + AIRE,

PT05 = *Limnobium laevigatum* + *Spirodela polyrhiza*,

PT06 = *Limnobium laevigatum* + *Spirodela polyrhiza* + AIRE).

Diferentes letras representan significancia al 95% ($p < 0.05$). LMP = Límite máximo permisible.

En las Figuras 92, 93, 94 y 95 se observa diferencia significativa. Tanto en los parámetros físico-químicos como microbiológicos se ve que hay una reducción importante.

Por lo tanto, las cuatro especies (*Eichhornia crassipes*, *Spirodela polyrhiza*, *Pistia stratiotes* y *Limnobium laevigatum*) han actuado de manera positiva, pues se observa que hay disminución.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusión

Tras evaluar la eficiencia de los resultados, se concluye que la fitodepuración fue eficiente en los seis (06) sistemas de tratamiento implementados; los tratamientos obtuvieron las siguientes eficiencias de remoción: DBO₅ (73%, 77.3%, 65.7%, 76.8%, 76.8% y 72.1%); DQO (61.3%, 71%, 50%, 67.7%, 69.3% y 66.1%); nitrógeno total (96%, 94.6%, 92.4%, 93.3%, 94.2% y 90.3%); pH (86%, 81.3%, 93.3%, 75.8%, 91.7% y 72%); SST (90.4%, 90.4%, 90.4%, 90.4%, 90.4% y 90.4%); turbidez (95.2%, 97%, 97%, 95.8%, 97% y 96.4%) y coliformes fecales (99.9%, 97.5%, 99.9%, 99.9%, 99.9% y 99.9%).

A través de los resultados podemos concluir que todos los tratamientos pueden ser empleados para el cumplimiento de las normativas aplicadas en la investigación, puesto que se demuestra una remoción que permite cumplir los importantes parámetros de la calidad de cuerpos agua.

Se describió todo el proceso de adaptabilidad y aclimatación de las cuatro macrófitas en el plazo indicado, en la cual se pudo observar que las plantas macrófitas (*Eichhornia crassipes*, *Spirodela polyrhiza*, *Pistia stratiotes* y *Limnobium laevigatum*) tuvieron una buena aclimatación (a la zona de implementación de la investigación), eficiente crecimiento y reproducción. Podemos concluir que las cuatro especies de macrófitas contaban con las condiciones necesarias para ser adecuadamente empleadas en los tratamientos pilotos de fitodepuración.

Tras analizar el aporte de las bombas de aireación en el análisis descriptivo de los parámetros físico-químicos, microbiológicos, podemos concluir que algunos parámetros y tratamiento muestran mejores resultados respecto a sus pares sin aireación; sin embargo, debido a la falta de información basada en más corridas experimentales, no se puede asegurar contribución alguna definitiva.

5.2. Recomendaciones

Las cuatro especies macrófitas acuáticas han presentado buenos niveles de eficiencia de remoción de contaminantes, por lo que recomendamos emplear dichas especies en sistemas de tratamiento a escala real, al mismo tiempo profundizar en criterios de diseño para optimizar cada uno de sus rendimientos

Evaluar siempre la adaptación y aclimatación de las especies macrófitas antes de emplearlas en la fitodepuración de aguas contaminadas, asimismo, tal como se describió en la literatura, siempre será favorable instalar esos sistemas acuáticos de tratamiento con especies locales o especies (no locales) que demuestren gran adaptación.

Recomendamos continuar con investigaciones en las que se mezclen diversas especies macrófitas a fin de simular el estado natural de estas especies que crecen en simbiosis junto otras especies.

Sería muy valioso realizar una investigación sobre la reutilización, reciclaje o compostaje de los desechos de las plantas macrófitas flotantes, ya que en condiciones favorables se reproducen rápidamente.

Se recomienda que próximas investigaciones puedan realizar corridas experimentales con diversos tipos de retención a fin de obtener un mayor panorama de resultados que beneficiaran en demasía la investigación

Recomendamos tajantemente continuar con investigaciones de sistemas de tratamiento de aguas contaminadas en las que se emplee algún mecanismo de aireación asistida.

Seguir evaluando las especies macrófitas con diversos tipos de aguas contaminadas, y diversas concentraciones de contaminantes

Realizar mas monitoreos in-situ a fin de hacer un seguimiento mas completo a la evolución de los parámetros de campo.

REFERENCIAS

- Alarcón, A., & Ferrera-Cerrato, R. (2013). *BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS Y AGUAS contaminadas con compuestos orgánicos e inorgánicos*.
- Andina, A. P. de N. (2010). *El 70% de aguas residuales en Perú se vierte sin tratamiento, afirma viceministra*. <https://andina.pe/agencia/noticia-el-70-aguas-residuales-peru-se-vierte-sin-tratamiento-afirma-viceministra-286553.aspx>
- Arroyave, M. (2004). La lenteja de agua (*Lemna minor* L.): Una planta acuática promisoría. *Revista EIA*, 1, 33–38. <https://doi.org/10.24050/reia.v1i1.121>
- Autoridad Nacional del Agua, (2008).
- Boettcher, C. (2007). *VARIACIÓN COMPARATIVA DE BIOMASA ESTACIONAL EN DOS MACRÓFITOS DE LA REGION DE VALDIVIA, CHILE*.
- Campos, C. (2003). Capítulo 20 INDICADORES DE CONTAMINACION FECAL EN AGUAS. *Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración Del Agua*, 224–229. http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/pdfs/Capitulo_20.pdf
- Cárdenas, G. L., & Sánchez, I. A. (2013). Nitrogen in wastewater: origins, effects and removal mechanisms to preserve the environment and public health. *Universidad y Salud*, 15(1), 72–88. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-71072013000100007&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Carhuaricra, P. (2019). *FITORREMEDIACIÓN POR EL PROCESO DE FITODEGRADACIÓN CON DOS ESPECIES MACRÓFITAS ACUÁTICAS, *Limnobium laevigatum* y *Eichhornia crassipes* PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA LAGUNA FACULTATIVA EN LA LOCALIDAD DE PACAYPAMPA, DISTRITO DE SA. UNIVERSIDAD DE HUANUCO*.
- Castañeda, A. A., & Flores, H. E. (2015). Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante plantas macrófitas típicas en Los Altos de Jalisco, México. *Revista de Tecnología y Sociedad, "Innovación y Difusión de La Tecnología,"* 5(5), 1–18.
- Castro, C. M. (2007). Calidad del Agua - Coliformes Totales. *Escuela Superior Politécnica Del Litoral*, 10. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6154/9/c1.pdf>

- Catálogo de la biodiversidad - SiB Colombia*. (n.d.). Retrieved March 23, 2021, from <https://catalogo.biodiversidad.co/file/56e78a7083c45700544e4104>
- CEA Jalisco. (2013). *Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales con el Proceso de Lodos Activados*.
<https://es.slideshare.net/giovannyrodriguezreyes/plantas-tratamiento-tomo1>
- Chirino, M. (n.d.). *Lemna minor*. Retrieved March 4, 2020, from [https://www.floravascular.com/plantas/chirino/Lemna minor.jpg?KeepThis=true&TB_iframe=true&height=550&width=800](https://www.floravascular.com/plantas/chirino/Lemna%20minor.jpg?KeepThis=true&TB_iframe=true&height=550&width=800)
- CIDERH. (2015). *Aguas residuales y tratamiento*. <http://www.ciderh.cl/wp-content/uploads/2015/04/FICHA3.pdf>
- CIDTA. (n.d.). *Aguas residuales (MOPT)*.
http://cidta.usal.es/residuales/libros/logo/pdf/Aguas_residuales_MOPT.pdf
- Cirujano, S., Meco, A., & Garcia, P. (2014). *Flora acuática Española*.
- Congreso de la República. (2015). *Informe de Investigación 111/2014-2015 Tratamiento y vertimiento de aguas residuales de origen doméstico y municipal en el ámbito urbano*. 511, 6–7. <http://www.congreso.gob.pe/dgp/didp/inicio.htm>
- Constitución Política del Perú, 2011 1 (1993).
- Coronel, E. (2016). "Eficiencia del Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y Lenteja de agua (*Lemna minor*) en el tratamiento de las aguas residuales de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas-Chachapoyas 2015. *Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.Chachapoyas.*, 96.
[http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/657/EFICIENCIA DEL JACINTO DE AGUA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/657/EFICIENCIA%20DEL%20JACINTO%20DE%20AGUA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Cortés, P., & Florez, J. (2017). *EVALUACIÓN IN VITRO DE LA TARUYA (Eichhornia Crassipes) COMO AGENTE BIORREMEDIAADOR EN AGUAS CONTAMINADAS CON CROMO* (Issue 1) [UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA SECCIONAL CARTAGENA].
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Cruz, M., Carbo, N., Gonzales, J. L. L., Tito, G. M., Depaz, K., Torres, S., Núñez, R., Torres, J., & Quispe, W. (2016). Tratamiento De Las Aguas De La Laguna “Mansión” Mediante La Especie *Eichhorniacrassipes*, Para El Riego De Áreas Verdes En La Universidad Peruana Unión. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 09(08), 53–65.

<https://doi.org/10.9790/2380-0908025365>

Cupe, E. D., & Portocarrero, C. J. (2009). Evaluación de la eficiencia de plantas acuáticas flotantes Lemna Minor (lenteja de agua), Eichhornia Crassipes (Jacinto de agua) y Pistia Stratoidea (lechuga de agua). Para el tratamiento de aguas residuales domésticas. *Universidad Nacional de Ingeniería*.

<http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/12028>

Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM Estandares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, El Peruano 6 (2017). <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>

Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales, Normas Legales El Peruano 1 (2010). http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds_003-2010-minam.pdf

Delgadillo, A. E., González, C. A., Prieto, F., Villagómez, J. R., & Acevedo, O. (2011). Phytoremediation: An alternative to eliminate pollution. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(2), 597–612.

Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*.

DIGESA. (2009). *PARAMETROS DE LA CALIDAD DEL AGUA*.

http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/informes_tecnicos/GRUPO DE USO 1.pdf

EcuRed. (2015). *Jacinto de agua - EcuRed*. https://www.ecured.cu/Jacinto_de_agua

EcuRed. (2019a). *Lechuga de agua - EcuRed*. https://www.ecured.cu/Lechuga_cimarrona

EcuRed. (2019b). *Lenteja de agua - EcuRed*. https://www.ecured.cu/Wolffia_Arriza

Espigares, M., & Pérez, J. (2005). *Aguas Residuales. Composición*.

http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf

Fernández, Jesús. (2012). *Fitodepuración Por Humedales Artificiales*.

https://fnca.eu/images/documentos/Plan de depuración de Aragón/Fitodepuración en humedales artificiales_JFERNANDEZ.pdf

Fernández, Jesús, de Miguel, E., de Miguel, J., & Curt, M. (2004). *Fitodepuración. Filtros de macrofitas en flotación*.

- Florez-Gómez, S., Siu, J., Ttira, E., Cerna, T., & Castro, Á. (2018). *Parámetros de calidad del agua y estado trófico de humedal artificial costero : caso de laguna “ La Mansión ” – Lima (Perú)*. 31–43.
- Galvis, J., & Rivera, X. (2013). *CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DE LOS LODOS PRESENTES EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES (PTARI) DE LA EMPRESA JUGOS HIT DE LA CIUDAD DE PEREIRA*.
- Gamboa, M. (2017). *“EFECTO DEL TIEMPO Y RADIACIÓN SOLAR SOBRE LAS MACRÓFITAS FLOTANTES PARA LA REDUCCIÓN DE LA DBO DEL AGUA DEL CANAL MOCHICA – MOCHE*.
- 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* (Issue 505).
http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1130/1/lopez_gj.pdf
- Gomez, C. B. (2013). *“Determinación de la tolerancia a Plomo (Pb), Cadmio (Cd) Y Mercurio (Hg) de Pistia stratiotes “HU AMA”, Eichhornia crassipes “PUTU. PUTU” Y Lemna minor “LENTEJITA”*. 1–98.
http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4690/Reynaldo_Tesis_Titulo_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Gomez, Y. (2017). *Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales verticales empleando cyperus alternifolius y chrysopogon zizanioides para el tratamiento de aguas*. 1–151. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2875>
- González, G. (2012). *MICROBIOLOGÍA DEL AGUA*.
<http://www.etp.com.py/fichaLibro?bookId=83903>
- Google Maps. (2020). *UPeU - La Mansión - Google Maps*.
<https://www.google.com/maps/place/UPeU++La+Mansión/@-11.9871461,-76.8383857,144a,35y,319.41h,39.32t/data=!3m1!1e3!4m2!1m6!3m5!1s0x9105c37b91b99aaf:0xccc6ba4082931408!2sUPeU++La+Mansión!8m2!3d-11.9865331!4d-76.8397908!3m4!1s0x9105c37b91b99aaf:0xccc6ba4082931408!8m2!3d-11.9865331!4d-76.8397908>
- Granados, M. M. (2018). *Estudio de factibilidad de la implementación de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en ecosistema de alta montaña*

- en *Toquilla*. 83.
[https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11576/Proyecto%2C artículo y plantilla congreso.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11576/Proyecto%2C%20art%C3%ADculo%20y%20plantilla%20congreso.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Guevara, C. (2011). *Características de las aguas residuales*. 62.
<http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/Caracteristicas.PDF>
- Hernández, N., & Luna, J. S. (2016). "Prueba piloto para la evaluación de la eficiencia de las plantas fitorremediadoras del humedal Las Tinguas, en el tratamiento de aguas residuales domésticas". 105.
- Hernandez, R., Fernandez, C., & Baptista, M. del P. (2010). Metodología de la Investigación. In *Metodología de la investigación*.
<http://www.casadellibro.com/libro-metodologia-de-la-investigacion-5-ed-incluye-cd-rom/9786071502919/1960006>
- IGME. (1995). *Capítulo III. Métodos naturales de tratamiento de aguas residuales*. Instituto de Botánica Darwinion. (n.d.). Retrieved March 24, 2021, from
<http://www.darwin.edu.ar/Proyectos/FloraArgentina/DetalleEspecie.asp?forma=&variedad=&subespecie=&especie=laevigatum&genero=Limnobium&espcod=23624>
- Jaramillo, M., & Flores, E. (2012). *Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales Lemna minor (Lenteja de agua), y Eichornia crassipes (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera*. 128.
- Kahn, F., Leon, B., & Young, K. (1993). *Las plantas vasculares en las aguas continentales del Perú*.
- Lazcano, C. (2014). *Biotecnología ambiental de aguas y aguas residuales*.
<https://www.ecoediciones.com/libros/libros-de-ingenieria-ambiental/biotecnologia-ambiental-de-aguas-y-aguas-residuales-1ra-edicion/>
- Ley de Recursos Hídricos, (2009). www.ana.gob.pe
- Ley General del Ambiente, 53 1689 (2005).
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- López, M. A. (2013). Manejo de pastos y forrajes tropicales. In *Manejo de Pastos y Forrajes Tropicales*.
- Luévano Vargas, J. D. (2016). " Propuesta metodológica para reducir la concentración de nutrientes (PO 4 3 , NH 4 + , NO 3 -) en bioensayos a la intemperie con Spirodela

- polyrhiza* ". <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/18634>
- Lumelli, M. (2010). *La UAM y el agua*. Fitorremediación. <http://comunicacion-aguas-residuales.blogspot.com/2010/04/fitoremediacion.html>
- Martelo, J., & Lara, J. (2012). *Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte*.
- Mellado, G. (2019). *DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE TRES ESPECIES MACRÓFITAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS*. UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLAREAL.
- Mensaje a la Nación: Kuczynski presenta proyecto para tratar aguas residuales vía APP | Noticias | Agencia Peruana de Noticias Andina*. (n.d.). Retrieved September 23, 2021, from <https://andina.pe/Agencia/noticia-mensaje-a-nacion-kuczynski-presenta-proyecto-para-tratar-aguas-residuales-via-app-676570.aspx>
- Metcalf & Eddy Inc. (2003). *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*, fourth ed. (Vol. 65, Issues 2–3). McGrawHill Companies, Inc.
- MINAM. (2009). Manual para municipios ecoeficientes. *Enotria*, 511, 179.
- Minaya, R. (2017). UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONIA PERUANA FACULTAD DE AGRONOMIA Para Optar el Título Profesional de. In *Universidad Nacional de la Amazonía Peruana*. http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/UNAP/4690%0Ahttp://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4690/Reynaldo_Tesis_Titulo_2017.pdf?sequence=1
- Moreno, L. (2003). 2 Los Métodos Naturales De Depuración De Aguas Residuales Urbanas. *La Depuración De Aguas Residuales Urbanas De Pequeñas Poblaciones Mediante Infiltración Directa En El Terreno Fundamentos Y Casos Prácticos*, 13–27.
- MVCS, M. de V. C. y S. (2006). *Reglamento Nacional de Edificaciones*.
- Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales - PTAR, (2013).
- Noyola, A., Morgan, J. M., & Güereca, L. (2013). Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. Guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas. In *Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales* (Primera Ed). Universidad Nacional Autónoma de México.

- <http://es.slideshare.net/EdwinMamaniVilcapaza/seleccion-de-tecnologias-para-el-tratamiento-de-aguas-residuales-municipales>
- Núñez Burga, R. M. F. (2016). *Tratamiento de aguas residuales domésticas a nivel familiar, con Humedales Artificiales de flujo subsuperficial Horizontal, mediante la especie macrófita emergente Cyperus Papyrus (Papiro)*. 1–93.
- Núñez, E. (2019). *Evaluación de la eficiencia del sistema de fitorremediación mediante las especies palustre y flotante, Zantedeschia aethiopica y Eichhornia crassipes en el tratamiento de aguas residuales domésticas en la zona de la región natural Quechua-Cajamarca*. Universidad Peruana Unión.
- Núñez, R., Vong, Y., Ortega, R., & Olguín, E. (2004). Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. *Fitorremediacion*, 4, 15. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Oakley, S. M., & Salguero, L. (2011). *Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en Centroamérica. Un Manual de Experiencias, diseño, Operación y Sostenibilidad*.
- OEFA, O. de E. y F. A. (2014). *Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales*.
- Palta, G., & Morales, S. (2013). Fitodepuración de aguas residuales domesticas con poaceas: brachiaria mutica, pennisetum purpureum y panicum maximun en el municipio de Popayán, Cauca. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial: BSAA*, 11(2), 57–65.
- Pérez, C., León, F., & Delgadillo, G. (2013). *TRATAMIENTO DE AGUAS* (Vol. 53, Issue 9). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Proyecto Biosfera. (n.d.). *BIOTECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE. BIORREMEDIACIÓN*. Retrieved December 5, 2019, from <http://recursostic.educacion.es/ciencias/biosfera/web/alumno/2bachillerato/biotec/contenidos9.htm>
- Rabat, J. (2016). Análisis de los modelos de diseño de los sistemas naturales de depuración. *Universidad de Alicante*, 1–112. <https://iuaca.ua.es/es/master-agua/documentos/-gestadm/trabajos-fin-de-master/tfm10/tfm10-jorge-rabat-blazquez.pdf>
- Ramalho, R. S. (1994). *Tratamiento de Aguas Residuales* (p. 707).
- Ramos, P. (2010). *El hombre y el medio ambiente*. 51–60. <https://books.google.com.pe/books?id=->

- 9Wa3SMBf6EC&pg=PA131&lpg=PA131&dq=Durante+la+edad+media+se+manifestar
on+gran+cantidad+de+problemas+de+higiene+en+el+agua+y+los+sistemas+de+distr
ibución+de+plomo,+porque+los+residuos+y+excrementos+se+vertían+directamen
- Raymundo J. (2017). Modelo de tratamiento de aguas residuales mediante humedal artificial de flujo superficial en el centro poblado La Punta - Sapallanga. *Universidad Nacional Del Centro Del Perú*, 193.
<http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3873/RaymundoMontes.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rodriguez, D. (2018a). *Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)*.
<https://www.youtube.com/watch?v=YBIfsYMVNek&list=PLZOUFciczQg7ednr8NQ7tFGeYx9TUe8GC&index=18>
- Rodriguez, D. (2018b). *Demanda Química de Oxígeno (DQO)*.
<https://www.youtube.com/watch?v=G6IPrD7VDKQ>
- Rodriguez, D. (2018c). *Oxígeno Disuelto (OD)*.
<https://www.youtube.com/watch?v=QhDLqVShTJk&t=1s>
- Rodríguez, H. (2014). *Técnicas de Depuración Natural de Aguas Residuales*.
<http://www.mimbrea.com/tecnicas-de-depuracion-natural-de-aguas-residuales/>
- Rodríguez Serrano, J. A. (2009). Tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades Capítulo iv. lagunas de estabilización. 4.1. *Tratamiento de Aguas Residuales En Pequeñas Comunidades*, 46–65.
- Rojas, R. (2002). Conferencia Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. *Gestion Integrada De Tratamiento De Aguas Residuales*.
dateca.unad.edu.co/.../ARESIDUAL2012.../fundamentoaguasresiduales...
- Romero, J. (1999). *CALIDAD DEL AGUA*.
- Ronzano, E., & Dapena, J. (2001). Eliminación de fósforo en las aguas residuales. *Director*, 15(2), 109–116. <http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/fosforo.pdf>
- Saavedra, B. (2017). Aplicación de macrofitas en flotación como ayuda en el tratamiento de aguas residuales en la laguna UDEP. In *Universidad de Piura*.
- Sánchez, D. (2010). *Depuración de aguas residuales de una población mediante humedales artificiales* [Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona - Enginyeria Industrial]. <http://hdl.handle.net/2099.1/10034>

- SENAMHI - Lima. (2020). <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=lima&p=monitoreo-de-temperatura>
- Silva, J. (2004). *Evaluación y rediseño del sistema de lagunas anaerobias de la universidad de piura*. 1–120.
https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/123456789/1189/ICI_119.pdf?sequence=1
- StudyAdda. (n.d.). *11th Class Biology Morphology of Flowering Plants (Root, Stem And Leaf)*. Retrieved March 3, 2020, from https://www.studyadda.com/ncert-solution/11th-biology-morphology-of-flowering-plants_q29/396/34490
- SUNASS. (2008). *Residuales En Las Eps Del Perú Y*. 1–80.
- SUNASS. (2018). *Benchmarking Regulatorio de las Empresas Prestadoras 2018*. 1–110.
https://www.sunass.gob.pe/benchmark/bench_regulatorio_eps_info2018.pdf
- TSS Internacional. (n.d.). *Desinfección*. Retrieved December 12, 2019, from <http://tssinternacional.com/desinfeccion/#toggle-id-2>
- UNESCO. (2017). *AGUAS RESIDUALES EL RECURSO DESAPROVECHADO* (Vol. 3).
http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf
- Valderrama, Campos, Velandia, & Zapata. (2005). Evaluacion del efecto del tratamiento con plantas acuaticas (e.crassipes, Lemna sp. y L. Laevigatum) en la remocion de indicadores de contaminación fecal en aguas residuales domesticas. *Seminario Internacional Sobre Métodos Naturales Para El Tratamiento de Aguas Residuales*, 193–201.
- Valderrama, L. T. (1996). *USO DE DOS ESPECIES DE MACRÓFITAS ACUÁTICAS, Limnobium laevigatum Y Eichhornia crassipes PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES AGRO INDUSTRIALES*.
- Victoria, B., Luque, I., Optar, P., & Título, E. L. (2020). *Victoria Isabel Luque Romero*.
- Zetina Córdoba, P., Reta Mendiola, J. L., Ortega Cerrilla, M. E., Ortega Jiménez, E., Sánchez-Torres, M. T. E., Herrera Haro, J. G., & Becerril Herrera, M. (2009). Utilización de la lenteja agua (Lemnaceae) en la producción de Tilapia (Oreochromis spp.). *Archivos de Zootecnia*, 59(232), 133–155.
<https://doi.org/10.21071/az.v59i232.4911>

Zimmels, Y., Kirzhner, F., & Malkovskaja, A. (2006). Application of *Eichhornia crassipes* and *Pistia stratiotes* for treatment of urban sewage in Israel. *Journal of Environmental Management*, 81(4), 420–428. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.11.014>

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-1423

I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL	: Tesis de Ingeniería ambiental
2.-DIRECCIÓN	: Universidad Peruana Unión, sede Naña
3.-PROYECTO	: FITODEPURACION DE LAS AGUAS CONTAMINADAS DE LA LAGUNA DE LA MANSION
4.-PROCEDENCIA	: Aguas de la laguna de La Mansión
5.-SOLICITANTE	: JUAN SEBASTIAN LOPEZ DIAZ
6.-ORDEN DE SERVICIO N°	: 21-OS-0605
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: P-OPE-1 MUESTREO
8.-MUESTREO POR	: ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2021-03-01

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO	: Agua
2.-NÚMERO DE MUESTRAS	: 1
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA	: 2021-02-18
4.-PERÍODO DE ENSAYO	: 2021-02-18 al 2021-03-01



Marco Valencia Huerta
Ingeniero Químico
N° CIP 152207

Anexo 3. Informe de ensayo pre-tratamiento

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-1423

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMAL REFERENCIA	TÍTULO
Acetres y Grasas ⁽¹⁾	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5520 B, 23 rd Ed 2017	Oil and Grease. Liquid-Liquid, Partition-Gravimetric Method
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NM P) ²	SMEWW 5221 F.2, 23 rd Ed. 2017	Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique.
Conductividad ^{(1) (3)}	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B 23rd Ed. 2017	Conductivity. Laboratory Method.
Demanda Bioquímica de Oxígeno ⁽¹⁾	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23 rd Ed. 2017	Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno ⁽¹⁾	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23 rd Ed. 2017	Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method
Metales Totales ²	EPA Method 200.7 Rev.4.4 1994	Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry
Nitrógeno Total ²	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-N C, 23 rd Ed. 2017	Nitrogen (Total). Colorimetric Method
Oxígeno Disuelto ^{(1) (3)}	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500 -O G, 23 rd Ed. 2017	Oxygen (Dissolved) Optical-Probe Method
pH ^{(1) (3)}	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23 rd Ed. 2017	pH Value Electrometric Method
Sólidos Suspensidos Totales ⁽¹⁾	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23 rd Ed. 2017	Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C
Temperatura ^{(1) (3)}	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2550 B. 23rd Ed. 2017	Temperature. Laboratory and Field Methods
Turbidez ^{2 (3)}	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B 23rd Ed. 2017	Turbidity. Nephelometric Method.

⁽¹⁾ "SMEWW": Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

⁽²⁾ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

³ Ensayo acreditado por el IAS

⁴ Ensayo realizado en campo (medido in situ)

Anexo 4. Informe de ensayo de los parámetros analizados del pre-tratamiento

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-1423

IV. RESULTADOS

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-21-04848
CÓDIGO DEL CLIENTE:				AGUA DE LAGUNA PRETRATAMIENTO
COORDENADAS:				E:0299039
UTM WGS 84:				N:8674264
PRODUCTO:				Agua Residual
SUB PRODUCTO:				Residual Municipal
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				I-OPE-1.5
FECHA y HORA DE MUESTREO:				18-02-2021 09:55
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Acidez y Grasa (*)	mg/L	0,48	1,20	1,50
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) ²	NMP/100mL	NA	1,8	13 000,0
Conductividad (*)	µS/cm	NA	0,01	459,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg BOD5/L	0,4	2,0	42,3
Demanda Química de Oxígeno (*)	OD as mg O2/L	2	5	62
Nitrogeno Total ²	mg N/L	0,05	0,12	7,77
Oxígeno Disuelto (*)	mg/L	NA	0,1	5,6
pH (*)	Unidad de pH	NA	0,01	8,93
Sólidos Suspendedos Totales (*)	mg Total Suspended Solids/L	2	5	52
Temperatura (*)	°C	NA	0,1	25,9
Turbidez ²	NTU	NA	0,01	50,00
Metales Totales ²				
Aluminio	mg/L	0,005	0,020	0,432
Arsénico	mg/L	0,002	0,006	<0,002
Cadmio	mg/L	0,002	0,006	<0,002
Cromo	mg/L	0,0002	0,0010	0,0003
Cobalto	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0003
Cobre	mg/L	0,0002	0,0008	<0,0002
Estaño	mg/L	0,001	0,003	<0,001
Estroncio	mg/L	0,00004	0,00010	0,00410
Fosforo	mg/L	0,01	0,04	<0,01
Hierro	mg/L	0,001	0,004	0,537
Litio	mg/L	0,0003	0,0009	0,0053
Magnesio	mg/L	0,005	0,020	0,616
Manganeso	mg/L	0,0001	0,0002	0,0019
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0002	<0,0001
Molibdeno	mg/L	0,0006	0,0020	<0,0006
Níquel	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0003
Plata	mg/L	0,002	0,007	<0,002

¹ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA
² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, *c* Menor que el L.C.M.
 L.D.M.: Límite de detección del método, *c* Menor que el L.D.M.
 n: No ensayado
 NA: No Aplica

Anexo 5. Resultados del pre-tratamiento _1

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-1423

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-21-04848
CÓDIGO DEL CLIENTE:				AGUA DE LAGUNA PRETRATAMIENTO
COORDENADAS:				E:0299039
UTM WGS 84:				N:8674264
PRODUCTO:				Agua Residual
SUB PRODUCTO:				Residual Municipal
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				I-OPE-1.5
FECHA y HORA DE MUESTREO:				18-02-2021 09:55
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Boro	mg/L	0,002	0,008	0,204
Cadmio	mg/L	0,0001	0,0004	<0,0001
Calcio	mg/L	0,002	0,006	78,565
Cerio	mg/L	0,02	0,07	<0,02
Cobalto	mg/L	0,002	0,007	<0,002
Cobre	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0003
Cromo	mg/L	0,0002	0,0008	<0,0002
Estaño	mg/L	0,001	0,003	<0,001
Estroncio	mg/L	0,00004	0,00010	0,00410
Fosforo	mg/L	0,01	0,04	<0,01
Hierro	mg/L	0,001	0,004	0,537
Litio	mg/L	0,0003	0,0009	0,0053
Magnesio	mg/L	0,005	0,020	0,616
Manganeso	mg/L	0,0001	0,0002	0,0019
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0002	<0,0001
Molibdeno	mg/L	0,0006	0,0020	<0,0006
Níquel	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0003
Plata	mg/L	0,002	0,007	<0,002

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, *c* Menor que el L.C.M.
 L.D.M.: Límite de detección del método, *c* Menor que el L.D.M.
 n: No ensayado
 NA: No Aplica

Anexo 6. Resultados del pre-tratamiento _2

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-1423

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-21-04846
CÓDIGO DEL CLIENTE:				AGUA DE LAGUNA PRETRATAMIENTO
COORDENADAS:				E:0299939
UTM WGS 84:				N:8674264
PRODUCTO:				Agua Residual
SUB PRODUCTO:				Residual Municipal
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				I-OPE-1.5
FECHA y HORA DE MUESTREO:				18-02-2021 09:55
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Piomio	mg/L	0,002	0,006	<0,002
Potasio	mg/L	0,04	0,10	4,47
Selenio	mg/L	0,001	0,005	<0,001
Silice	mg/L	0,001	0,004	14,223
Sodio	mg/L	0,004	0,010	17,236
Talio	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0003
Titanio	mg/L	0,0007	0,0020	<0,0007
Urano	mg/L	0,01	0,02	<0,01
Vanadio	mg/L	0,0002	0,0007	<0,0002
Zinc	mg/L	0,0001	0,0004	0,0167

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<" Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<" Menor que el L.D.M.

*: No ensayado

NA: No Aplica

"FIN DE DOCUMENTO"

Anexo 7. Resultados del pre-tratamiento _3

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-1899

I. DATOS DEL SERVICIO

- 1.-RAZON SOCIAL : Tesis de Ingeniería ambiental
 2.-DIRECCIÓN : Universidad Peruana Unión, sede Naña
 3.-PROYECTO : FITODEPURACIÓN DE LAS AGUAS CONTAMINADAS DE LA LAGUNA DE LA MANSIÓN
 4.-PROCEDENCIA : Aguas de la laguna de La Mansión
 5.-SOLICITANTE : JUAN SEBASTIAN LOPEZ DIAZ
 6.-ORDEN DE SERVICIO N° : 0000000605-2021-0001
 7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : P-OPE-1 MUESTREO
 8.-MUESTREADO POR : ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.
 9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME : 2021-03-27

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

- 1.-PRODUCTO : Agua
 2.-NÚMERO DE MUESTRAS : 6
 3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA : 2021-03-05
 4.-PERÍODO DE ENSAYO : 2021-03-05 al 2021-03-27


 Marco Valencia Huerta
 Ingeniero Químico
 N° CIP 152207

Anexo 8. Informe de ensayo del post-tratamiento

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-1899
III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMAL REFERENCIA	TÍTULO
Aceites y Grasas ¹⁾	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5520 B, 23 rd Ed. 2017	Oil and Grease, Liquid-Liquid, Partition-Gravimetric Method
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NM P) ²⁾	SMEWW 9221 F.2, 23 rd Ed. 2017	Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group, Standard Total Coliform Fermentation Technique.
Conductividad ^{1) 3)}	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B 23rd Ed. 2017	Conductivity, Laboratory Method.
Demanda Bioquímica de Oxígeno ¹⁾	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23 rd Ed. 2017	Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno ¹⁾	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23 rd Ed. 2017	Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method
Metales Totales ⁴⁾	EPA Method 200.7 Rev.4.4 1994	Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry
Nitrógeno Total ⁴⁾	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-N C, 23 rd Ed. 2017	Nitrogen (Total), Colorimetric Method
Oxígeno Disuelto ^{1) 3)}	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O G, 23 rd Ed. 2017	Oxygen (Dissolved) Optical-Probe Method
pH ^{1) 3)}	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23 rd Ed. 2017	pH Value Electrometric Method
Sólidos Suspendidos Totales ¹⁾	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23 rd Ed. 2017	Solids, Total Suspended Solids Dried at 103-105°C
Temperatura ^{1) 3)}	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2550 B, 23rd Ed. 2017	Temperature, Laboratory and Field Methods
Turbidez ^{3) 3)}	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B 23rd Ed. 2017	Turbidity, Nephelometric Method.

¹⁾ "SMEWW": Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

²⁾ Los resultados obtenidos corresponden a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

³⁾ Ensayo acreditado por el IAS

⁴⁾ Ensayo realizado en campo (medido in situ)

Anexo 9. Informe de ensayo de los parámetros analizados del post-tratamiento
INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-1899
IV. RESULTADOS

ITEM	1	2	3	4			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-21-06896	M-21-06899	M-21-06900	M-21-06901			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	AGUA DE LAGUNA POST TRATAMIENTO-01	AGUA DE LAGUNA POST TRATAMIENTO-02	AGUA DE LAGUNA POST TRATAMIENTO-03	AGUA DE LAGUNA POST TRATAMIENTO-04			
COORDENADAS:	E:0299940	E:0299940	E:0299940	E:0299940			
UTM WGS 84:	N:8674257	N:8674257	N:8674257	N:8674257			
PRODUCTO:	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual			
SUB PRODUCTO:	Residual Municipal	Residual Municipal	Residual Municipal	Residual Municipal			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	I-DOPE-1.S						
FECHA y HORA DE MUESTREO:	05-03-2021 11:20	05-03-2021 12:00	05-03-2021 12:30	05-03-2021 13:00			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS			
Aceites y Grasas ¹⁾	mg/L	0,48	1,20	1,60	1,40	1,20	0,90
Coliformos Fecales (Termotolerantes) (NMP) ²⁾	NMP/100mL	NA	1,8	<1,8	330,0	<1,8	<1,8
Conductividad ¹⁾	µS/cm	NA	0,01	486,00	491,00	470,00	455,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno ¹⁾	mg BOD5/L	0,4	2,0	11,4	9,8	14,5	9,8
Demanda Química de Oxígeno ¹⁾	COO as mg O2/L	2	5	24	18	31	20
Nitrógeno Total ²⁾	mg NIL	0,05	0,12	0,31	0,42	0,59	0,52
Oxígeno Disuelto ¹⁾	mg/L	NA	0,1	6,6	6,0	5,3	5,9
pH ¹⁾	Unidad de pH	NA	0,01	7,27	7,36	7,13	7,41
Sólidos Suspendidos Totales ¹⁾	mg Total Suspended Solids/L	2	5	<5	<5	<5	<5
Temperatura ¹⁾	°C	NA	0,1	24,5	26,7	26,0	26,0
Turbidez ²⁾	NTU	NA	0,01	2,40	1,50	1,50	2,10
Metales Totales⁴⁾							
Aluminio	mg/L	0,005	0,020	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Antimonio	mg/L	0,002	0,006	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Arsenico	mg/L	0,002	0,006	<0,002	<0,002	<0,002	0,003
Bario	mg/L	0,0002	0,0010	0,0468	0,0490	0,0505	0,0448
Berilio	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Bismuto	mg/L	0,009	0,030	0,012	0,014	0,013	0,013
Boro	mg/L	0,002	0,008	0,186	0,120	0,147	0,123

¹⁾ Los resultados obtenidos corresponden a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

²⁾ Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "N/A" Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "N/A" Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

Anexo 10. Resultados del post-tratamiento_1

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-1899

ITEM	1	2	3	4
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-21-06898	M-21-06899	M-21-06900	M-21-06901
CÓDIGO DEL CLIENTE:	AGUA DE LAGUNA POST TRATAMIENTO-01	AGUA DE LAGUNA POST TRATAMIENTO-02	AGUA DE LAGUNA POST TRATAMIENTO-03	AGUA DE LAGUNA POST TRATAMIENTO-04
COORDENADAS:	E:0299940	E:0299940	E:0299940	E:0299940
UTM WGS 84:	N:8674257	N:8674257	N:8674257	N:8674257
PRODUCTO:	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual
SUB PRODUCTO:	Residual Municipal	Residual Municipal	Residual Municipal	Residual Municipal
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	I-OPE-1.5			
FECHA y HORA DE MUESTREO:	05-03-2021 11:20	05-03-2021 12:00	05-03-2021 12:30	05-03-2021 13:00
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Cadmio	mg/L	0,0001	0,0004	<0,0001
Calcio	mg/L	0,002	0,006	85,759
Cerio	mg/L	0,02	0,07	<0,02
Cobalto	mg/L	0,002	0,007	<0,002
Cobre	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0003
Cromo	mg/L	0,0002	0,0006	<0,0002
Estatio	mg/L	0,001	0,003	<0,001
Estroncio	mg/L	0,00004	0,00010	0,76347
Fosforo	mg/L	0,01	0,04	<0,01
Hierro	mg/L	0,001	0,004	<0,001
Litio	mg/L	0,0003	0,0009	0,0045
Magnesio	mg/L	0,005	0,020	8,249
Manganeso	mg/L	0,0001	0,0002	<0,0001
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0002	<0,0001
Molibdeno	mg/L	0,0006	0,0020	<0,0006
Niquel	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0003
Plata	mg/L	0,002	0,007	<0,002
Plomo	mg/L	0,002	0,006	<0,002
Potasio	mg/L	0,04	0,10	<0,04
				0,10
				1,27
				1,34

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<*" Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<*" Menor que el L.D.M.

*: No ensayado

NA: No Aplica

Anexo 11. Resultados del post-tratamiento _2

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-1899

ITEM	1	2	3	4
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-21-06898	M-21-06899	M-21-06900	M-21-06901
CÓDIGO DEL CLIENTE:	AGUA DE LAGUNA POST TRATAMIENTO-01	AGUA DE LAGUNA POST TRATAMIENTO-02	AGUA DE LAGUNA POST TRATAMIENTO-03	AGUA DE LAGUNA POST TRATAMIENTO-04
COORDENADAS:	E:0299940	E:0299940	E:0299940	E:0299940
UTM WGS 84:	N:8674257	N:8674257	N:8674257	N:8674257
PRODUCTO:	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual
SUB PRODUCTO:	Residual Municipal	Residual Municipal	Residual Municipal	Residual Municipal
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	I-OPE-1.5			
FECHA y HORA DE MUESTREO:	05-03-2021 11:20	05-03-2021 12:00	05-03-2021 12:30	05-03-2021 13:00
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Selenio	mg/L	0,001	0,005	<0,001
Silica	mg/L	0,001	0,004	8,056
Sodio	mg/L	0,004	0,010	19,463
Talio	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0003
Titanio	mg/L	0,0007	0,0020	<0,0007
Vanadio	mg/L	0,005	0,020	<0,005
Vanadio	mg/L	0,0002	0,0007	<0,0002
Zinc	mg/L	0,0001	0,0004	<0,0001
				<0,0001
				<0,0001
				<0,0001
				<0,0001

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<*" Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<*" Menor que el L.D.M.

*: No ensayado

NA: No Aplica

Anexo 12. Resultados del post-tratamiento _3

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-1899

ITEM				5	6
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-21-06902	M-21-06903
CÓDIGO DEL CLIENTE:				AGUA DE LAGUNA POST TRATAMIENTO-05	AGUA DE LAGUNA POST TRATAMIENTO-06
COORDENADAS:				E:0299940	E:0299940
UTM WGS 84:				N:8674257	N:8674257
PRODUCTO:				Agua Residual	Agua Residual
SUB PRODUCTO:				Residual Municipal	Residual Municipal
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				I-0PE-1.5	
FECHA y HORA DE MUESTREO:				05-03-2021 13:23	05-03-2021 14:00
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS	
Aceites y Grasas (*)	mg/L	0,48	1,20	1,10	0,80
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) ²	NMP/100mL	NA	1,8	<1,8	<1,8
Conductividad (*)	µS/cm	NA	0,01	452,00	459,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg BOO5/L	0,4	2,0	9,8	11,8
Demanda Química de Oxígeno (*)	COO as mg O2/L	2	5	19	21
Nitrógeno Total ³	mg N/L	0,05	0,12	0,45	0,75
Oxígeno Disuelto (*)	mg/L	NA	0,1	8,9	7,4
pH (*)	Unidad de pH	NA	0,01	7,16	7,54
Sólidos Suspendedos Totales (*)	mg Total Suspended Solid/L	2	5	<5	<5
Temperatura (*)	°C	NA	0,1	25,3	25,5
Turbidez ⁴	NTU	NA	0,01	1,50	1,80
Metales Totales⁵					
Aluminio	mg/L	0,005	0,020	<0,005	<0,005
Antimonio	mg/L	0,002	0,006	<0,002	<0,002
Arsénico	mg/L	0,002	0,006	<0,002	<0,002
Bario	mg/L	0,0002	0,0010	0,0482	0,0505
Berilio	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0003	<0,0003
Bismuto	mg/L	0,009	0,030	0,012	0,010
Boro	mg/L	0,002	0,006	0,118	0,111

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<=" Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<=" Menor que el L.D.M.

*: No ensayado

NA: No Aplica

Anexo 13. Resultados del post-tratamiento _4

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-1899

ITEM				5	6
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-21-06902	M-21-06903
CÓDIGO DEL CLIENTE:				AGUA DE LAGUNA POST	AGUA DE LAGUNA POST
COORDENADAS:				E:0299940	E:0299940
UTM WGS 84:				N:8674257	N:8674257
PRODUCTO:				Agua Residual	Agua Residual
SUB PRODUCTO:				Residual Municipal	Residual Municipal
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				I-0PE-1.5	
FECHA y HORA DE MUESTREO:				05-03-2021 13:23	05-03-2021 14:00
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS	
Calcio	mg/L	0,0001	0,0004	<0,0001	<0,0001
Calcio	mg/L	0,002	0,006	78,368	83,317
Cerio	mg/L	0,02	0,07	<0,02	<0,02
Cobalto	mg/L	0,002	0,007	<0,002	<0,002
Cobre	mg/L	0,0003	0,0010	0,0004	0,0004
Cromo	mg/L	0,0002	0,0006	<0,0002	<0,0002
Estañio	mg/L	0,001	0,003	<0,001	<0,001
Estroncio	mg/L	0,00004	0,00010	0,88609	0,89397
Fosforo	mg/L	0,01	0,04	<0,01	<0,01
Hierro	mg/L	0,001	0,004	<0,001	<0,001
Litio	mg/L	0,0003	0,0009	0,0038	0,0041
Magnesio	mg/L	0,005	0,020	8,151	8,762
Manganeso	mg/L	0,0001	0,0002	<0,0001	<0,0001
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0002	<0,0001	<0,0001
Molibdeno	mg/L	0,0006	0,0020	<0,0006	<0,0006
Níquel	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0003	<0,0003
Plata	mg/L	0,002	0,007	<0,002	<0,002
Plomo	mg/L	0,002	0,006	<0,002	<0,002
Potasio	mg/L	0,04	0,10	0,07	0,19

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<=" Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<=" Menor que el L.D.M.

*: No ensayado

NA: No Aplica

Anexo 14. Resultados del post-tratamiento _5

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-1899

ITEM	S		E		
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-21-06902		M-21-06903		
CÓDIGO DEL CLIENTE:	AGUA DE LAGUNA POST		AGUA DE LAGUNA POST		
COORDENADAS:	E:0299940		E:0299940		
UTM WGS 84:	N:8674257		N:8674257		
PRODUCTO:	Agua Residual		Agua Residual		
SUB PRODUCTO:	Residual Municipal		Residual Municipal		
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	I-OPB-1.5				
FECHA y HORA DE MUESTREO:	05-03-2021 13:23		05-03-2021 14:00		
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS	
Selenio	mg/L	0.001	0.005	<0.001	<0.001
Silica	mg/L	0.001	0.004	9.659	9.527
Sodio	mg/L	0.004	0.010	16.852	17.735
Talio	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0003	<0.0003
Titanio	mg/L	0.0007	0.0020	<0.0007	<0.0007
Uranio	mg/L	0.005	0.020	<0.005	<0.005
Vanadio	mg/L	0.0002	0.0007	<0.0002	<0.0002
Zinc	mg/L	0.0001	0.0004	<0.0001	<0.0001

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.
L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.
"-": No ensayado
NA: No Aplica

"FIN DE DOCUMENTO"

Anexo 15. Resultados del post-tratamiento _6

Certificado

INACAL
Instituto Nacional
de Calidad
Acreditación

La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad - INACAL, en el marco de la Ley N° 30224, **OTORGA** el presente certificado de Renovación de la Acreditación a:

ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

Laboratorio de Ensayo

Prolongación Zaramilla, Mz D2 Lt 3, Asociación Daniel Alcides Carrión, distrito de Bellavista, provincia constitucional del Callao, departamento de Lima

Con base en la norma
NTP-ISO/IEC 17025:2017 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración

Facultándolo a emitir Informes de Ensayo con Símbolo de Acreditación. En el alcance de la acreditación otorgada que se detalla en el DA-acr-06P-21F que forma parte integral del presente certificado llevando el mismo número del registro indicado líneas abajo.

Fecha de Renovación: 26 de julio de 2019
Fecha de Vencimiento: 25 de julio de 2023

ESTELA CONTRERAS JUGO
Directora, Dirección de Acreditación - INACAL

Cédula N° : 0547-2019/INACAL-DA
Contrato N° : Adenda al Contrato de Acreditación N°025-16/INACAL-DA
Registro N° : LE-096

Fecha de emisión: 24 de julio de 2019

El presente certificado tiene validez con su correspondiente Alcance de Acreditación y código de notificación dado que el alcance puede estar sujeto a ampliaciones, reducciones, actualizaciones y suspensiones temporales. El alcance y vigencia debe confirmarse en la página web: www.inacal.gob.pe/acreditacion/categorias/acreditados al momento de hacer uso del presente certificado.

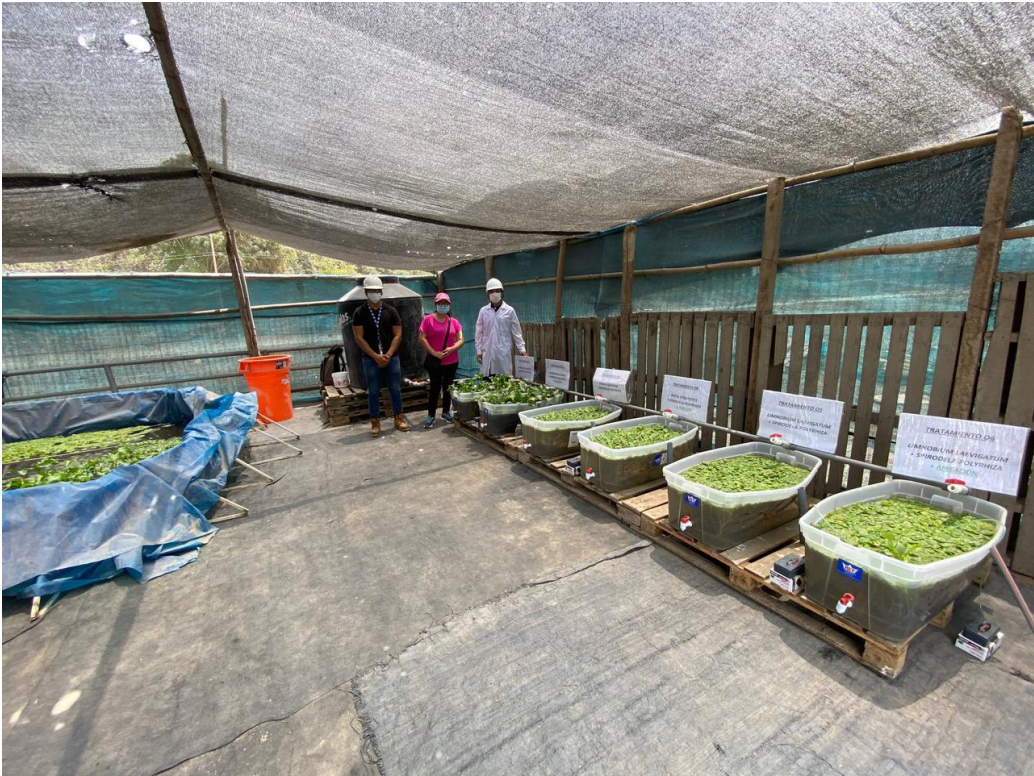
La Dirección de Acreditación del INACAL es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Multilateral (OEA) del Inter American Accreditation Co-operation (IAAC) e International Accreditation Forum (IAF) y del Acuerdo de Reconocimiento Múltiple con la International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC)

DA-acr-01P-02M Rev. 02
DA-048-04

Anexo 16. Certificación por INACAL "ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L"



Anexo 18. Acreditación por IAS “ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.”



Anexo 17. Día final del desarrollo de la investigación



Anexo 19. Muestras del pre-tratamiento y post-tratamiento



Anexo 20. Análisis de los parámetros de campo



Anexo 21. Esquema de la metodología _1



Anexo 22. Esquema de la metodología _2