



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES (FICAYA)**

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES

RENOVABLES

TEMA:

EVALUACIÓN DE LAS MACRÓFITAS *Schoenoplectus californicus* Y *Typha latifolia* EN LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES.

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

AUTOR:

Jorge Andrés Acosta Limaico

DIRECTOR:

Biól. Jorge Renato Oquendo Andino MSc

Ibarra, 2023



CERTIFICACIÓN ENTREGA TRABAJO TITULACIÓN
TRIBUNAL TUTOR

Ibarra, 26 de septiembre del 2023

Para los fines consiguientes, CERTIFICAMOS que el señor Acosta Limaico Jorge Andrés Autor del trabajo de titulación: "EVALUACIÓN DE LAS MACRÓFITAS *Schoenoplectus californicus* y *Typha latifolia* EN LA DEPURACIÓN DE AGUA RESIDUALES", estudiante de la Carrera de INGENIERÍA RECURSOS NATURALES RENOVABLES entrega el documento en digital.

Atentamente,

TRIBUNAL DE GRADO

MSc. Renato Oquendo
DIRECTOR TRABAJO TITULACIÓN

FIRMA

MSc. Jorge Granja
MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

MSc. Santiago Cabrera
MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TRITULACIÓN



CERTIFICACIÓN TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

Ibarra, 26 de septiembre del 2023.

Para los fines consiguientes, una vez revisado el documento en formato digital el trabajo de titulación: "EVALUACIÓN DE LAS MACRÓFITAS *Schoenoplectus californicus* y *Typha latifolia* EN LA DEPURACIÓN DE AGUA RESIDUALES", de autoría del señor Acosta Limaico Jorge Andrés estudiante de la Carrera de **INGENIERÍA RECURSOS NATURALES RENOVABLES**, el tribunal tutor **CERTIFICAMOS** que el autor ha procedido a incorporar en su trabajo de titulación las observaciones y sugerencia realizadas por este tribunal.

Atentamente,

TRIBUNAL TUTOR

MSc. Renato Oquendo
DIRECTOR TRABAJO TITULACIÓN

FIRMA

MSc. Jorge Granja
MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

MSc. Santiago Cabrera
MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICACIÓN

Biól. Renato Oquendo MSc., director de Trabajo de Titulación desarrollado por el señor estudiante **Acosta Limaico Jorge Andrés**.

Certifica

Que, el Proyecto de Tesis de grado titulado “EVALUACIÓN DE LAS MACRÓFITAS *Schoenoplectus californicus* Y *Typha latifolia* EN LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES”, ha sido realizado en su totalidad por el señor estudiante **Acosta Limaico Jorge Andrés** bajo mi dirección, para la obtención del título de Ingeniero en Recursos Naturales Renovables. Luego de ser revisada, considerando que se encuentra concluido y cumple con las exigencias y requisitos académicos de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, autorizada su presentación y defensa para que pueda ser juzgada por el tribunal correspondiente.



Biól. Renato Oquendo MSc.

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

| DATOS DE CONTACTO | | | |
|----------------------|--|-----------------|------------|
| CÉDULA DE IDENTIDAD: | 100397296-3 | | |
| APELLIDOS Y NOMBRES: | Acosta Limaico Jorge Andrés | | |
| DIRECCIÓN: | San José de Chaltura, Barrio El Carmen, Calle 6 de julio | | |
| EMAIL: | jaacostal@unt.edu.ec | | |
| TELÉFONO FIJO: | 0979467323 | TELÉFONO MÓVIL: | 0960231557 |

| DATOS DE LA OBRA | |
|-----------------------------|--|
| TÍTULO: | EVALUACIÓN DE LAS MACRÓFITAS <i>Schoenoplectus californicus</i> Y <i>Typha latifolia</i> EN LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES. |
| AUTOR (ES): | Acosta Limaico Jorge Andrés |
| FECHA: DD/MM/AAAA | 01 de octubre del 2023 |
| SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO | |
| PROGRAMA: | <input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO |
| TÍTULO POR EL QUE OPTA: | INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES |
| ASESOR /DIRECTOR: | Biól. Jorge Renato Oquendo Andino MSc. |

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 01 días del mes de octubre del 2023

EL AUTOR:

Firma: 

Nombre: Acosta Limaico Jorge Andrés

AGRADECIMIENTO

Amado Dios, quiero agradecerte por todo tu apoyo en mis estudios. Gracias por la sabiduría que me has dado para aprender y crecer. Gracias por la fuerza que me has dado para seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles. Gracias por los profesores y mentores que me han guiado y apoyado. Gracias por los amigos y familiares que me han animado y motivado.

Queridos padres y familia, expreso mi más sincero agradecimiento por todo el apoyo que me han brindado durante mi carrera académica, ustedes siempre han creído en mí y me han apoyado en mis sueños. Han sido mi guía, mi apoyo y mi fuente de motivación. Gracias a su esfuerzo y sacrificio, he tenido acceso a una educación de calidad que me ha permitido alcanzar mis metas. Su apoyo ha sido fundamental para mi éxito.

Estimado Biólogo Jorge Renato Oquendo Andino, con esta tesis, cierro un ciclo importante en mi vida académica. Quiero aprovechar esta oportunidad para expresar mi más sincero agradecimiento por su apoyo y orientación durante este proceso. Su paciencia, dedicación y conocimientos fueron fundamentales para el desarrollo de mi trabajo. Siempre estuvo disponible para escuchar mis inquietudes y brindarme su consejo.

Agradezco de manera especial al Químico Jorge Arturo Castro (funcionario del GPI), por su confianza en mi trabajo. Su apoyo me dio la motivación para seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles. Su generosidad y compromiso con la educación son un ejemplo para seguir. Estoy muy agradecido por haber tenido la oportunidad de trabajar con usted.

Agradezco al Ing. Jorge Granja MSc. por su apoyo y confianza en mi trabajo. Sus comentarios y sugerencias fueron invaluable para mejorar la calidad de mi investigación. También agradezco al Ing. Santiago Cabrera MSc. por su ayuda en la metodología y el análisis de información. Su experiencia y conocimientos me permitieron desarrollar un trabajo sólido y riguroso. Estoy muy agradecido por haber tenido la oportunidad de trabajar con ustedes. Su generosidad y compromiso con la educación son un ejemplo por seguir.

DEDICATORIA

Padre Celestial, te dedico este estudio como un acto de fe y agradecimiento. Gracias por la sabiduría que me has dado para aprender y crecer. Gracias por la fuerza que me has dado para seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles. Te pido que sigas guiándome y apoyándome en mi camino. Que me des la sabiduría para usar mis conocimientos para hacer del mundo un lugar mejor.

A mis queridos padres, este trabajo es el resultado de su amor y apoyo incondicionales. Desde que era pequeño, siempre me han inculcado el valor del esfuerzo, el trabajo duro y la educación. Gracias a ustedes, he podido alcanzar mis metas y sueños. Gracias por siempre creer en mí, incluso cuando yo no creía en mí mismo. Gracias por estar siempre ahí para mí, en las buenas y en las malas. Gracias por su amor incondicional, que me ha dado la fuerza para seguir adelante.

A mi querida novia, gracias por tu amor, apoyo y comprensión. Siempre has estado ahí para mí, apoyándome en todo lo que hago. Eres mi mejor amiga, mi confidente y mi alma gemela. Gracias por creer en mí, por motivarme a ser la mejor versión de mí mismo y por tu amor incondicional, que me ha hecho una persona más feliz y completa.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|---|-----------|
| CAPÍTULO I..... | 1 |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1. Antecedentes | 1 |
| 1.1.1. Aguas Residuales | 1 |
| 1.1.2. Tipos de Aguas Residuales | 2 |
| 1.1.3. Manejo y criterios del tratamiento de aguas residuales | 4 |
| 1.1.4. Parámetros de estudio de las aguas residuales | 5 |
| 1.1.5. Técnicas sostenibles de tratamiento de aguas residuales | 5 |
| 1.1.6. Casos de estudio en el tratamiento de aguas residuales | 7 |
| 1.2. Problema de Investigación y Justificación | 9 |
| 1.2.1. Problema de Investigación | 9 |
| 1.2.2. Justificación..... | 10 |
| 1.3. Pregunta Directriz..... | 12 |
| 1.4. Objetivos | 12 |
| 1.4.1. Objetivo General | 12 |
| 1.4.2. Objetivos Específicos..... | 12 |
| 1.5. Hipótesis..... | 12 |
| CAPÍTULO II | 13 |
| REVISIÓN DE LA LITERATURA | 13 |
| 2.1. Marco Teórico Referencial..... | 13 |
| 2.1.1. Aguas Residuales | 13 |
| 2.1.2. Tratamiento de Aguas Residuales Municipales | 14 |
| 2.1.3. Tipos de Tratamientos de Aguas Residuales. | 15 |
| 2.1.4. Fitorremediación y Transporte de Contaminantes | 18 |
| 2.1.5. Descripción de las especies utilizadas en el estudio | 19 |

| | | |
|------------------------------------|---|-----------|
| 2.2. | Marco Legal | 22 |
| 2.2.1. | Constitución de la Republica del Ecuador (2008)..... | 22 |
| 2.2.2. | Código Orgánico del Ambiente (COA) 2017 | 22 |
| 2.2.3. | Acuerdo Ministerial 097-A, Reforma Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA) 2015 | 23 |
| 2.2.4. | Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025..... | 23 |
| CAPÍTULO III..... | | 25 |
| METODOLOGÍA | | 25 |
| 3.1. | Descripción del área de estudio..... | 25 |
| 3.2. | Metodología..... | 26 |
| 3.2.1. | Fase I: Caracterización del proceso adaptativo de los macrófitos <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Typha latifolia</i> , en el tratamiento de aguas residuales. | 26 |
| 3.2.2. | Fase II: Análisis de la calidad de agua del efluente de los humedales con la implementación de estos dos macrófitos..... | 30 |
| 3.2.3. | Fase III: Elaboración de estrategias de manejo para las macrófitas <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Typha latifolia</i> , aplicable luego del proceso de fitorremediación..... | 37 |
| 3.3. | Materiales y Equipos | 38 |
| CAPITULO IV | | 39 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | | 39 |
| 4.1. | Fase I: Caracterización del proceso adaptativo de las macrófitas <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Typha latifolia</i> , en el tratamiento de aguas residuales. | 39 |
| 4.1.1. | Tasa de crecimiento y adaptación de los macrófitos..... | 39 |
| 4.2. | Fase II: Análisis de la calidad de agua del efluente de los humedales con la implementación de estos dos macrófitos..... | 41 |
| 4.2.1. | Índice de biodegradabilidad | 41 |

| | |
|---|-----------|
| 4.2.2. Análisis fisicoquímico..... | 42 |
| 4.3. Fase III: Elaboración de estrategias de manejo para las macrófitas <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Typha latifolia</i> , aplicable luego del proceso de fitorremediación. | 75 |
| CAPITULO V..... | 78 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 78 |
| 5.1. Conclusiones | 78 |
| 5.2. Recomendaciones | 79 |
| Bibliografía | 80 |
| ANEXOS | 92 |

ÍNDICE DE TABLA

| | |
|---|-----------|
| Tabla 1..... | 2 |
| <i>Caracterización de las aguas residuales urbanas y posibles efectos</i> | <i>2</i> |
| Tabla 2..... | 20 |
| <i>Taxonomía de las especies Schoenoplectus californicus y Typha latifolia.....</i> | <i>20</i> |
| Tabla 3..... | 28 |
| <i>Cálculo del caudal (Q) para los tratamientos</i> | <i>28</i> |
| Tabla 4..... | 31 |
| <i>Criterios de la biodegradabilidad mediante la relación DB05/DQ0</i> | <i>31</i> |
| Tabla 5..... | 36 |
| <i>Parámetros de análisis.....</i> | <i>36</i> |
| Tabla 6..... | 38 |
| <i>Materiales y equipos utilizados en el estudio</i> | <i>38</i> |
| Tabla 7..... | 39 |
| <i>Monitoreo de la tasa de crecimiento y adaptabilidad de la especie Typha latifolia</i> | <i>39</i> |
| Tabla 8..... | 40 |
| <i>Monitoreo de la tasa de crecimiento y adaptabilidad de la especie Schoenoplectus californicus.....</i> | <i>40</i> |
| Tabla 9..... | 43 |
| <i>Parámetros fisicoquímicos evaluados en el humedal de la especie Schoenoplectus californicus.....</i> | <i>43</i> |
| Tabla 10..... | 44 |
| <i>Parámetros fisicoquímicos evaluados en el humedal de la especie Typha latifolia</i> | <i>44</i> |
| Tabla 11..... | 45 |

| | |
|--|----|
| <i>Parámetros fisicoquímicos evaluados en el humedal mixto de la especie</i> <i>Schoenoplectus californicus y Typha latifolia</i> | 45 |
| Tabla 12..... | 64 |
| <i>Análisis conjunto de los parámetros fisicoquímicos</i> | 64 |
| Tabla 13..... | 67 |
| <i>Análisis de componentes principales</i> | 67 |
| Tabla 14..... | 68 |
| <i>Pesos de los componentes principales</i> | 68 |
| Tabla 15..... | 69 |
| <i>Resumen estadístico del pH</i> | 69 |
| Tabla 16..... | 69 |
| <i>Verificación de la varianza</i> | 69 |
| Tabla 17..... | 69 |
| <i>Tabla ANOVA en pH</i> | 69 |
| Tabla 18..... | 70 |
| <i>Resumen estadístico de la conductividad eléctrica</i> | 70 |
| Tabla 19..... | 70 |
| <i>Prueba de Kruskal-Wallis en conductividad eléctrica</i> | 70 |
| Tabla 20..... | 71 |
| <i>Resumen estadístico de oxígeno disuelto</i> | 71 |
| Tabla 21..... | 71 |
| <i>Prueba de Kruskal-Wallis en oxígeno disuelto</i> | 71 |
| Tabla 22..... | 72 |
| <i>Resumen estadístico de los nitritos</i> | 72 |
| Tabla 23..... | 72 |
| <i>Prueba de Kruskal-Wallis en nitritos</i> | 72 |

| | |
|--|----|
| Tabla 24..... | 73 |
| <i>Resumen estadístico de la demanda química de oxígeno</i> | 73 |
| Tabla 25..... | 75 |
| Análisis FODA basado en factores de riesgo económicos y técnicos | 75 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 | 17 |
| <i>Transformación del nitrógeno en sistemas tratamiento</i> | 17 |
| Figura 2 | 25 |
| <i>Ubicación de PTAR</i> | 25 |
| Figura 3 | 27 |
| <i>Planos de construcción de estanques</i> | 27 |
| Figura 4 | 30 |
| <i>Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Horizontal HHAA FSSH</i> | 30 |
| Figura 5 | 32 |
| <i>Diseño experimental con los Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Horizontal HHAA FSSH con plantas flotantes</i> | 32 |
| Figura 6 | 34 |
| <i>Análisis de parámetros realizados en campo con el equipo multiparámetros portátil HACH HQ40d</i> | 34 |
| Figura 7 | 35 |
| <i>Análisis de parámetros realizados en laboratorio</i> | 35 |
| Figura 8 | 37 |
| <i>Análisis estadístico aplicado a los datos obtenidos en el estudio</i> | 37 |
| Figura 9 | 46 |
| <i>pH obtenido en el tratamiento con las especies Typha latifolia (TL), Schoenoplectus californicus (SC) y mixto (M) respectivamente</i> | 46 |
| Figura 10 | 48 |
| <i>Conductividad eléctrica obtenida en el tratamiento con las especies Typha latifolia (TL), Schoenoplectus californicus (SC) y mixto (M) respectivamente</i> | 48 |
| Figura 11 | 49 |

| | |
|--|----|
| <i>Sólidos disueltos totales (SDT) obtenido en el tratamiento con las especies Typha latifolia (TL), Schoenoplectus californicus (SC) y mixto (M) respectivamente</i> | 49 |
| Figura 12 | 51 |
| <i>Temperatura (T) obtenido en el tratamiento con las especies Typha latifolia (TL), Schoenoplectus californicus (SC) y mixto (M) respectivamente</i> | 51 |
| Figura 13 | 53 |
| <i>Oxígeno disuelto (OD) obtenido en el tratamiento con las especies Typha latifolia (TL), Schoenoplectus californicus (SC) y mixto (M) respectivamente</i> | 53 |
| Figura 14 | 54 |
| <i>Porcentaje de saturación de oxígeno (% Sat.) obtenido en el tratamiento con las especies Typha latifolia (TL), Schoenoplectus californicus (SC) y mixto (M) respectivamente</i> | 54 |
| Figura 15 | 56 |
| <i>Turbiedad (Turb.) obtenido en el tratamiento con las especies Typha latifolia (TL), Schoenoplectus californicus (SC) y mixto (M) respectivamente</i> | 56 |
| Figura 16 | 57 |
| <i>Demanda química de oxígeno (DQO) obtenido en el tratamiento con las especies Typha latifolia (TL), Schoenoplectus californicus (SC) y mixto (M) respectivamente</i> | 57 |
| Figura 17 | 59 |
| <i>NH₄⁺ obtenido en el tratamiento mixto con las especies Typha latifolia (TL), Schoenoplectus californicus (SC) y mixto (M) respectivamente</i> | 59 |
| Figura 18 | 60 |
| <i>Nitritos (NO₂)⁻ obtenido en el tratamiento mixto con las especies Typha latifolia (TL), Schoenoplectus californicus (SC) y mixto (M) respectivamente</i> | 60 |
| Figura 19 | 62 |
| <i>Nitratos (NO₃)⁻ obtenido en el tratamiento mixto con las especies Typha latifolia (TL), Schoenoplectus californicus (SC) y mixto (M) respectivamente</i> | 62 |

| | |
|---|----|
| Figura 20 | 63 |
| <i>Fosfatos (PO₄)⁻³ obtenido en el tratamiento mixto con las especies Typha latifolia (TL), Schoenoplectus californicus (SC) y mixto (M) respectivamente.....</i> | 63 |
| Figura 21 | 73 |
| <i>Gráfico de caja y bigotes del DQO.....</i> | 73 |

ANEXOS

| | |
|---|----|
| Figura 1 | 92 |
| <i>a) Identificación de colonias de macrófitos en la laguna de Yahuarcocha b) colocación de plántulas en un recipiente para su propagación c) mantenimiento y colecta de plántulas propagadas por rizomas</i> | 92 |
| Figura 2 | 92 |
| <i>Medición y construcción de los humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal con plantas flotantes</i> | 92 |
| Figura 3 | 93 |
| <i>Adecuación e implementación de los macrófitos en los humedales</i> | 93 |
| Figura 4 | 93 |
| <i>Muestreo y análisis de los parámetros fisicoquímicos en campo y laboratorio....</i> | 93 |

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES (FICAYA)

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

EVALUACIÓN DE LAS MACRÓFITAS *Schoenoplectus californicus* Y *Typha latifolia* EN LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES.

Proyecto de trabajo de titulación

Estudiante: Jorge Andrés Acosta Limaico

RESUMEN

El crecimiento poblacional y las actividades humanas han deteriorado la calidad de los cuerpos hídricos, suelo y aire, esto a pesar de contar con plantas de tratamiento de aguas residuales, dichas plantas no son suficientes para solucionar el problema debido a deficientes técnicas de saneamiento y puede deberse a diversos factores como el económico o desconocimiento de alternativas eficientes de menor costo. El objetivo de este estudio fue evaluar la eficiencia de los macrófitos *Schoenoplectus californicus* y *Typha latifolia* en la depuración de aguas residuales del afluente de la planta ubicada en el campus del estadio de la universidad Técnica del Norte, sector de Azaya. La investigación se llevó a cabo en tres fases: En la primera se caracterizó el proceso adaptativo de los macrófitos en el saneamiento: Se observó que la especie *Typha latifolia* alcanzó un crecimiento máximo de 120 cm, mientras que *Schoenoplectus californicus* alcanzó un crecimiento máximo de 90 cm.

Segundo se analizó la calidad del efluente de cada tratamiento: Se encontró que ambos macrófitos contribuyeron a la reducción de los siguientes parámetros en comparación con el caudal entrante: pH: los tratamientos con la especie *Schoenoplectus californicus* (SC), *Typha latifolia* (TL) y mixto (M) presentaron niveles neutros, es decir cercanos a 7, para la conductividad eléctrica: los tratamientos obtuvieron un promedio de 1198.2 NTU, los Sólidos Disueltos Totales (SDT) disminuyen, excepto en el muestreo 1 y 5, baja tasa de remoción < 2.3%, la Temperatura presentó valores que se ajustan al rango aceptable 18-24 °C, el Oxígeno disuelto (OD) y % Saturación Oxígeno disuelto tiende a disminuir,

excepto en el quinto muestreo que aumenta, en la Turbiedad este parámetro tienden a disminuir en comparación con la entrada, excepto cuarto muestreo con el tratamiento SC, la Demanda Química de Oxígeno (DQO) tiene similar comportamiento entre tratamientos, muy buena eficiencia en la remoción, tasa de remoción superior al 40%, para el Nitrógeno Amoniacal tenemos que valores de este parámetro tienden a disminuir en comparación con la entrada, excepto tercer muestreo con el tratamiento SC y M, remoción 23-27%, Nitritos tienen valores que tienden a disminuir en comparación con la entrada, excepto segundo muestreo y baja tasa de disminución, remoción: TL 33.3%, M 23.6% y SC 9.7%, los Nitratos sus valores tienden a disminuir en comparación con la entrada, excepto tercer muestreo tratamiento TL, remoción: M 44.6%, SC 39.6% y TL 36.6% y finalmente los Fosfatos con valores que tienden a disminuir en comparación con la entrada, baja tasa de disminución, remoción: SC 22.4%, M 15.7% y TL 10.9%. En la tercera fase se realizó el Diseño de estrategias de manejo: Se diseñaron estrategias de manejo para las especies *Schoenoplectus californicus*, *Typha latifolia* para el mantenimiento y aprovechamiento de su biomasa una vez culminado el proceso de fitorremediación. En base a los resultados obtenidos en el presente estudio se concluye que los macrófitos *Schoenoplectus californicus*, *Typha latifolia* son una alternativa viable para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Además, su biomasa presenta potencial para ser aprovechada por la comunidad en artesanías o en la elaboración de abono para sus cultivos.

Palabras clave: fitorremediación, depuración, *Schoenoplectus californicus*, *Typha latifolia*, eficiencia.

ABSTRACT

Population growth and human activities have deteriorated the quality of water bodies, soil, and air. This is despite the existence of wastewater treatment plants, which are not enough to solve the problem due to poor sanitation techniques. This may be due to various factors, such as economic constraints or a lack of knowledge about efficient and low-cost alternatives. The objective of this study was to evaluate the efficiency of the macrophytes *Schoenoplectus californicus* and *Typha latifolia* in the treatment of wastewater from the tributary of the plant located on the campus of the Technical University of the North, Azaya sector. The research was carried out in three phases: In the first phase, the adaptive process of the macrophytes in sanitation was characterized. It was observed that the species *Typha latifolia* reached a maximum growth of 120 cm, while *Schoenoplectus californicus* reached a maximum growth of 90 cm.

Second, the quality of the effluent from each treatment was analyzed. It was found that both macrophytes contributed to the reduction of the following parameters compared to the incoming flow: pH: The treatments with the species *Schoenoplectus californicus* (SC), *Typha latifolia* (TL), and mixed (M) showed neutral levels, that is, close to 7. Electrical conductivity: The treatments obtained an average of 1198.2 NTU. Total dissolved solids (TDS): TDS decreased, except in sampling 1 and 5, with a low removal rate of <2.3%. Temperature: Temperature presented values that fit the acceptable range of 18-24 °C. Dissolved oxygen (DO): DO and % dissolved oxygen saturation tended to decrease, except in the fifth sampling, which increased. Turbidity: This parameter tended to decrease compared to the inlet, except for the fourth sampling with the SC treatment. Chemical oxygen demand (COD): COD had a similar behavior between treatments, with very good efficiency in removal, with a removal rate above 40%. Ammoniacal nitrogen: Values for this parameter tended to decrease compared to the inlet, except for the third sampling with the SC and M treatments, with a removal of 23-27%. Nitrites: Values tended to decrease compared to the inlet, except for the second sampling and a low rate of decrease, with removal of: TL 33.3%, M 23.6%, and SC 9.7%.

Nitrates: Their values tended to decrease compared to the inlet, except for the third sampling with the TL treatment, with removal of: M 44.6%, SC 39.6%, and TL 36.6%. Phosphates: Values tended to decrease compared to the inlet, with a low rate of decrease, with removal of: SC 22.4%, M 15.7%, and TL 10.9%. In the third phase, the design of management strategies was carried out. Management strategies were designed for the species *Schoenoplectus californicus*, *Typha latifolia* for the maintenance and utilization of their biomass once the phytoremediation process is completed. Based on the results obtained in this study, it is concluded that the macrophytes *Schoenoplectus californicus*, *Typha latifolia* are a viable alternative for the treatment of domestic wastewater. In addition, their biomass has the potential to be utilized by the community in handicrafts or in the production of fertilizer for their crops.

Keywords: phytoremediation, wastewater treatment, *Schoenoplectus californicus*, *Typha latifolia*, efficiency.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se realizó el planteamiento claro y ordenado del tema de investigación, las implicaciones, aplicabilidad y directrices más convenientes para abordar en el estudio.

1.1. Antecedentes

El uso del recurso hídrico desde los inicios de la humanidad es utilizado diariamente en actividades cotidianas de consumo y producción, convirtiéndose en un recurso muy explotado (Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento, 2017). El planeta está cubierto el 71% de la superficie por agua, donde el 97.5% es salada y 2.5% es dulce, de dicha cantidad de agua dulce el 0.3% se encuentra en estado líquido en la superficie y disponible para el uso humano, en consecuencia, el recurso agua es muy limitado y se la debe cuidar (Comisión Nacional del Agua, 2013). El agua es un recurso esencial para la vida y es necesario depurarla o sanearla después de su uso, si los efluentes contaminados de las actividades humanas se vierten sin tratamiento al sistema hídrico natural, este se contamina, limita su uso y tiene un impacto negativo en el medio ambiente y la salud humana (Aguilar et al., 2002).

1.1.1. Aguas Residuales

Las aguas residuales, también conocidas como aguas servidas o aguas negras, son aguas usadas o contaminadas generadas por actividades humanas, procesos industriales y prácticas agrícolas, dichas aguas ya no son aptas para su uso original y requieren tratamiento o disposición adecuada para evitar la contaminación ambiental y los riesgos para la salud. (Banco Mundial, 2020). Si las aguas residuales se disponen en pozos sépticos o pozos ciegos, contaminan las aguas subterráneas o el suelo y la única alternativa viable es tratarlas adecuadamente para reducir su impacto en el medio ambiente y permitir que las aguas residuales sean devueltas al entorno con un impacto mínimo, o incluso que se reutilicen para el riego agrícola (Juárez et al., 2016).

1.1.2. Tipos de Aguas Residuales

Díaz et al. (2012) menciona las fuentes de aguas residuales son diversas y provienen de actividades humanas, industriales y agrícolas, se originan a partir de aguas domésticas, utilizadas para bañarse y lavar platos, aguas industriales de procesos de fabricación y generación de energía, aguas agrícolas contaminadas por uso de pesticidas y fertilizantes, la escorrentía de aguas pluviales, que recoge contaminantes de superficies urbanas, también se considera una fuente de aguas residuales. Las aguas residuales industriales son producidas en las actividades comerciales e industriales, la agricultura y ganadería, tiene como producto aguas con altos niveles de contaminantes orgánicos y microorganismos, que obedecen a vertidos líquidos provenientes de los centros de producción que dependiendo de la actividad pueden contener metales pesados (Revista Ingeniería Hidráulica y Sanitaria, 2019).

Las aguas residuales municipales o urbanas son resultado de una mezcla entre aguas negras domésticas, industriales y de escorrentía pluvial que colecta la red de alcantarillado como podemos ver en la Tabla 1, la constitución exacta de estas es muy difícil de determinar y difiere en todos los centros urbanos debido a que depende de muchos factores como del desarrollo comercial, institucional e industrial de la zona, así también como su el uso doméstico del recurso (Jacobo, 2018).

Tabla 1

Caracterización de las aguas residuales urbanas y posibles efectos

| Contaminante | Parámetros representativos principales | Fuente | | | | Posibles efectos del contaminante |
|---------------------------------------|--|------------------|-----|-------------|-------|--|
| | | Aguas residuales | | Escorrentía | | |
| | | Dom | Ind | Ur | A y P | |
| Sólidos suspendidos | Sólidos suspendidos totales (SST) | ◇◇◇ | ~ | ◇◇ | ◇ | <ul style="list-style-type: none"> • Problemas estéticos • Depósitos de lodos • Adsorción del contaminante • Protección de patógenos |
| Materia orgánica biodegradable | Demanda bioquímica de oxígeno | ◇◇◇ | ~ | ◇◇ | ◇ | <ul style="list-style-type: none"> • Consumo de oxígeno • Muerte de peces • Condiciones sépticas |

| | | | | | | |
|--|--|-----|---|----|----|--|
| Nutrientes | Nitrógeno, fósforo | ◇◇◇ | ~ | ◇◇ | ◇ | <ul style="list-style-type: none"> • Crecimiento excesivo de algas • Toxicidad para los peces (amoníaco) • Enfermedades en recién nacidos (nitrato) • Contaminación del agua subterránea |
| Patógenos | Coliformes | ◇◇◇ | ~ | ◇◇ | ◇ | <ul style="list-style-type: none"> • Enfermedades transmitidas por el agua |
| Materia orgánica no biodegradable | Pesticidas, algunos detergentes, entre otros | ◇ | ~ | ◇ | ◇◇ | <ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad (varios) • Espuma (detergentes) • Reducción de la transferencia de oxígeno (detergentes) • No biodegradabilidad • Mal olor (fenoles) |
| Metales | Elementos específicos (Hg, As, Cd, Zn, Cr, Cu, Ni, Pb, etc.) | ◇ | ~ | ◇ | | <ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad • Inhibición del tratamiento biológico de lodos residuales • Problemas con el uso agrícola de lodos • Contaminación de las aguas subterráneas |
| Sólidos inorgánicos disueltos | Sólidos disueltos totales, conductividad | ◇◇ | ~ | | ◇ | <ul style="list-style-type: none"> • Salinidad excesiva – daño a las plantaciones (riego) • Toxicidad para las plantas (algunos iones) • Problemas con la permeabilidad del suelo (sodio) |

Nivel de contaminación: ◇◇◇: Alto, ◇◇: Medio, ◇: Bajo, ~: Variable

Dom = Domésticas, Ind = Industriales

Ur = Urbana, A y P = Agrícola y de pastoreo

Vacío: Sin importancia

Nota. Tabla tomada de la UNESCO World Water Assessment Programme, (2017), se aprecia el aporte de contaminantes de los tipos de aguas residuales.

En la Tabla 1 se observa los diferentes parámetros establecidos por la ONU en el año 2015 para la caracterización del agua residual municipal y menciona una baja relación entre el Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): Demanda Química de Oxígeno (DQO), refiere a una gran industrialización con datos de los países desarrollados, esta relación en los países en vías de desarrollo es alta y expresa que los países no tienen altos niveles de industrialización (UNESCO World Water Assessment Programme, 2017). Muestra una variedad de posibles efectos contaminantes para las actividades productivas como para la salud de las personas y animales, se observa que parámetros como la conductividad y sólidos totales

disueltos pueden dañar las plantaciones, ser tóxicos y afectar la permeabilidad del suelo, así también tenemos que un exceso de nutrientes como los nitratos pueden afectar a los recién nacidos, toxicidad y aportar con la eutrofización de cuerpos de agua (Espigares & Pérez, 2018).

1.1.3. Manejo y criterios del tratamiento de aguas residuales

El manejo de las aguas residuales es esencial para la protección del medio ambiente y la salud pública, el proceso incluye el tratamiento de las aguas residuales para eliminar los contaminantes y hacer que el agua sea segura para reutilizarla o liberarla nuevamente en el medio ambiente, varios autores mencionan una serie de aspectos específicos al momento de determinar un adecuado tratamiento de las aguas residuales, aluden la complejidad y eficiencia del sistema, la confiabilidad, los costos, sostenibilidad e impacto ambiental (Cabrales, 2021).

Según Caracheo, (2008), a partir de estos aspectos se avalúan una serie de indicadores que incluyen criterios ambientales como el impacto de olor, auditivo y visual, generación de lodos y potencial de eutrofización, como criterio de sostenibilidad menciona la reutilización del agua tratada. Como indicadores más específicos para un adecuado tratamiento podemos tener eficiencia en la remoción de nutrientes, DQO, sólidos suspendidos totales (SST) y metales pesados, la necesidad de personal especializado y equipos importados (Morgan, 2017).

En vista de la problemática a nivel mundial con el agua, desde hace algunos años se plantea una gestión ecosistémica de este recurso basándose en los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS), todo esto basado en la no contaminación, reúso y ahorro de este recurso, mediante una planificación sostenible del territorio y una gestión integral de cuencas hidrográficas (Morató et al., 2006). Díaz et al. (2012), menciona que el tratamiento de aguas residuales en los asentamientos humanos como comunidades y ciudades pequeñas es un problema que compete al desarrollo sostenible, para esto han surgido una serie de alternativas llamadas “técnicas sostenibles”, dichas tecnologías son propicias y adecuadas para la aplicación del saneamiento de sus aguas negras.

1.1.4. Parámetros de estudio de las aguas residuales

En la evaluación de aguas residuales, se analizan diversos parámetros para determinar su calidad y nivel de contaminación, estos incluyen la DBO y DQO para medir la materia orgánica biodegradable y no biodegradable, respectivamente, también se evalúan los SST y Sólidos Disueltos Totales (SDT), el pH, los nutrientes como nitrógeno, fósforo y la presencia de metales pesados y compuestos orgánicos (Vares, 2019). Además, se controla la presencia de coliformes fecales como indicadores de contaminación microbiológica, esta información es crucial para diseñar y operar sistemas de tratamiento adecuados que eliminen los contaminantes antes de su descarga o reutilización (UNESCO, 2022).

El análisis de estos parámetros permite tomar decisiones informadas sobre el manejo de las aguas residuales, garantizando la protección del medio ambiente y la salud pública, al medir la carga de contaminantes y su impacto potencial en cuerpos de agua receptores, se pueden implementar estrategias de tratamiento más efectivas y sostenibles, de igual manera, se fomenta el cumplimiento de regulaciones ambientales y se promueve el uso responsable de los recursos hídricos, asegurando un manejo adecuado de las aguas residuales para preservar la calidad del agua y el equilibrio ecológico (Espigares & Pérez, 2018).

1.1.5. Técnicas sostenibles de tratamiento de aguas residuales

Este tipo de técnicas están directamente fundamentadas en el uso de procedimientos naturales para la depuración de contaminantes en diferentes niveles y conlleva el uso de vegetación acuática, suelo o microorganismos, que dependiendo de la técnica utiliza uno o una combinación de estos para la eliminación, absorción, adsorción o inmovilización de contaminantes, sin la utilización de aditivos químicos (Banco Mundial, 2020a). Vares (2019), menciona que a pesar de las evidentes ventajas que podemos ver en la Figura 1 en los sistemas naturales de tratamiento en la implementación de técnicas sostenibles en la captación, tratamiento y reutilización de aguas residuales, dichos sistemas requieren una mayor superficie que los tratamientos convencionales, este factor hace que este tipo de sistemas sean apropiadas para implementar en las zonas rurales.

Aporte de las tecnologías sostenibles para la gestión integral y sostenible en el tratamiento de aguas residuales

Captación

Humedales artificiales subsuperficial de flujo horizontal

Estos sistemas de macrófitas acuáticas son sistemas de tratamiento de aguas residuales que consisten en una cama de tierra, arena y grava, en la que se plantan macrófitas acuáticas, donde los lechos están cubiertos de una membrana impermeable para evitar que las aguas residuales se filtren al suelo (Delgadillo, et al, 2010). El agua se distribuye de una manera uniforme en sentido horizontal desde el extremo del lecho a través de un medio granular de relleno entre las raíces de las macrófitas, al final del lecho se recogen las aguas tratadas y se evacuan por medio de tuberías, la profundidad de estos humedales artificiales no debe sobrepasar los 0,60 cm, para facilitar el traslado del agua residual deben ser construidos con una leve inclinación en el fondo (AriasI y Brix, 2003).

1.1.6. Casos de estudio en el tratamiento de aguas residuales

En el análisis de los sistemas biológicos implementados en el tratamiento de aguas residuales realizado por Vargas et al. (2020) en Colombia, menciona que los países en vías de desarrollo cuentan con deficientes sistemas de tratamiento de agua residual, esto es debe a factores económicos o a el desconocimiento de alternativas viables de menor costo. Y presentan una revisión bibliográfica donde integran, examinan y analizan diferentes procesos de tratamiento de aguas residuales de origen doméstico, muestran que los tratamientos biológicos más utilizados son los lodos activados, humedales artificiales y lagunas de estabilización que brindan la remoción del 80% de DQO, DBO5 y SST (Vargas et al., 2020). Sin embargo, al momento que estos tratamientos se emplean en conjunto, alcanzan a una eficiencia de remoción del 90%, resalta la vialidad de dichos procesos que, a más de presentar una rentabilidad económica muestra una rentabilidad funcional y operacional (Duque et al., 2018). Consecuentemente con la implementación de los tratamientos adecuados se propiciará un menor impacto al ambiente y se minimizará la contaminación a fuentes de agua tanto superficiales como subterráneas (Arnaiz et al., 2000)

Se evaluó el correcto saneamiento a las aguas residuales en la ciudad de Cuenca y se aplicó un tratamiento de aguas residuales provenientes de una curtiembre, en el experimento se implementaron microorganismos eficientes autóctonos (EMAs) y un tratamiento físico químico para su comparación, teniendo como resultado que el mejor tratamiento fue el fisicoquímico, donde obtuvieron una disminución considerable tanto en DQO, DBO5 y Cr (Morocho, 2017). Según la Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento (AEAAS, 2017), la mayoría de estos tratamientos utilizan una serie de químicos, que se dosifican en el proceso de las aguas negras, con el fin de realizar procesos de floculación y coagulación para facilitar su depuración, sin embargo, se busca procurar tratamientos más ambientales, con el fin de alcanzar no únicamente un menor impacto al entorno, sino un menor gasto de recursos es por estas razones la importancia de buscar alternativas al momento de tratar un efluente contaminado.

En el estudio de Romero et al., (2014). se evaluó la remoción de carga orgánica de aguas residuales mediante un sistema de humedales artificiales de flujo horizontal, el sistema constaba de tres módulos secuenciales, en los que se plantaron las especies vegetales *Phragmites australis*, *Typha dominguensis* y una combinación de ambas. Los resultados del estudio mostraron que el sistema de humedales artificiales fue eficaz en la remoción de la carga orgánica y de nutrientes de las aguas residuales, obtuvieron porcentajes de remoción de DQO del 80%, de nitrógeno del 70% y de fósforo del 60%. Además, se observó un aumento en la población de bacterias asociadas al sistema y los resultados demuestran que los humedales artificiales son una opción viable para el tratamiento de aguas residuales, por su eficiencia y bajo costo de construcción y mantenimiento.

El estudio donde se evaluó humedales artificiales de flujo subsuperficial en el tratamiento de las aguas residuales generadas en la institución universitaria colegio mayor de Antioquia (IUCMA), Colombia, se evaluó la capacidad de remoción de contaminantes de las aguas residuales provenientes del (IUCMA) mediante el montaje de dos humedales subsuperficiales independientes. Se realizó una valoración comparativa donde se tomó en cuenta parámetros fisicoquímicos como: DQO, DBO, SST, nitrógeno amoniacal (NH_4^+), nitrógeno total (NT), fósforo, coliformes, algunos metales y microbiológicos. Para cada humedad artificial se estableció una especie diferente *Typha latifolia* y *Cyperus papyrus* respectivamente. Como resultado se obtuvo un efluente con valores inferiores a los parámetros analizados inicialmente proveniente de las aguas residuales del IUCMA. Sin embargo, hay que resaltar que la especie *Typha latifolia* indicó un mejor rendimiento a diferencia de la especie *Cyperus papyrus* en el mejoramiento de la calidad de aguas residuales. Señalando así que es posible implementar tecnología de humedales artificiales subsuperficiales en el tratamiento de aguas residuales domésticas de forma económica y ambientalmente responsable (Bedoya et al., 2014).

1.2. Problema de Investigación y Justificación

1.2.1. Problema de Investigación

En las últimas décadas el problema con las aguas residuales en los países en desarrollo ha venido incrementándose debido a que mucha del agua residual es dispuesta directamente en cauces de agua natural y con el incremento de la población y el uso del recurso, hace que dichos cuerpos de agua sean incapaces de depurarse de manera natural por la excesiva carga de contaminantes (CEPAL, 2019). Según MAATE, (2022), en el Ecuador únicamente se trata alrededor del 12% del agua residual doméstica mientras que el 88% restante es dispuesta directamente en ríos y quebradas, consecuentemente los ríos que están bajo la cota de 2800 msnm están severamente contaminados y el agua no es apta para su consumo.

Si la carga contaminante del agua residual es demasiado grande para ser dispuesta directamente en sistemas de depuración natural como los ríos o para su reutilización, es necesario someter a este tipo de aguas, dependiendo su composición, a un saneamiento previo (J. Sánchez & Román, 2020). En este sentido las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) brinda el tratamiento adecuado a través de una serie de procesos físicos, químicos o biológicos, dichos procesos permiten evacuar sólidos, disminuir la materia orgánica, contaminantes y restaurar niveles de oxígeno óptimos para la vida, dando como resultado un agua apta para la reincorporación a sistemas de agua naturales o mejor aún para darle un nuevo uso (Troconis, 2010).

La planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) del estadio de la Universidad Técnica del Norte depura las aguas de su afluente mediante la fitorremediación con la especie de macrófito *Eichhornia crassipes*, pero dicha especie provoca una generación de vectores (mosquitos y roedores) debido a su capacidad acelerada de crear biomasa que actúa como nicho para su proliferación. El agua municipal del afluente de la PTAR contiene un alto nivel de DQO, nitritos, nitratos, fosfatos y el macrófito que se utiliza al momento en el tratamiento no tiene un buen rendimiento en la depuración de este tipo de contaminantes,

adicionalmente si este macrófito no es cosechado y tratado de manera adecuada, estos contaminantes vuelven a estar disponibles en el agua, volviéndola a contaminar.

La generación de vectores acarrea problemas a la salud pública debido a su facilidad para transportarse de un lugar a otro y transmitir enfermedades, adicional a esto los malos olores generan malestar en zonas aledañas como el campus universitario y las zonas residenciales. Debido a esto y basado en la normativa vigente donde se trata de garantizar un bienestar tanto para las personas como para el medio ambiente, se plantea alternativas que aporten de manera positiva el saneamiento de este tipo de aguas residuales donde se procura un adecuado tratamiento y uso de tecnologías alternativas amigables con el medio ambiente.

1.2.2. Justificación

La aplicación de tecnologías alternativas en el tratamiento de aguas residuales marca un antes y un después en su tratamiento, debido a su bajo impacto en el ecosistema, en los humedales artificiales de flujo subsuperficial destaca la disminución de malos olores, así también no generan lodos residuales, de la misma forma cuentan con una funcionalidad autónoma y bajan los costos de operación y mantenimiento, de igual manera cuentan con un impacto paisajístico positivo, a más de contar con una flexibilidad al momento de ser diseñados y requieren de menos recursos para mantenerlos en su punto óptimo.

Además de las ventajas que ofrecen los humedales artificiales en el saneamiento de aguas residuales, la combinación de esta metodología con macrófitos ofrece una serie de beneficios adicionales. Las plantas macrófitas son eficientes en el tratamiento de este tipo de aguas, ya que remueven una gran cantidad de nutrientes, materia orgánica en descomposición y sustancias tóxicas potencialmente dañinas para la biota y los seres humanos, como los metales pesados que pueden bioacumularse.

La necesidad de tratar las aguas residuales que capta la PTAR de la UTN de forma adecuada, ambientalmente amigable y económica, se debe a que el agua del efluente de salida se utiliza para el riego de las áreas verdes del Campus

universitario de estadio en el sector de Azaya. Si el afluente no es tratado de manera adecuada, tiene consecuencias negativas para las personas que están en contacto directo con esta agua y el ambiente por la alta carga de contaminantes (US EPA, 2016). El efluente de la planta de tratamiento, si no es utilizado para el riego, desemboca en el sistema de alcantarillado y luego en quebradas que desembocan en ríos. Esto contamina el recurso hídrico, que es utilizado por poblaciones aledañas. Este riesgo potencial puede generar molestias sociales, ambientales o económicas a corto y largo plazo.

Los humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal con las especies *Typha latifolia* y *Schoenoplectus californicus* son una tecnología eficaz para la depuración de aguas residuales. Estos humedales funcionan a través de la rizofiltración, un proceso en el que las raíces de las plantas macrófitas extraen los nutrientes excedentes del agua residual y disminuyen el DQO. La depuración de las aguas residuales a través de humedales artificiales permite ajustar los parámetros de calidad del agua a los estándares permisibles por la normativa vigente. Esto hace que el agua depurada sea apta para su reutilización en actividades como el riego y la reincorporación a cuerpos de agua dulce.

Para que los humedales artificiales funcionen de forma óptima, es necesario un diseño adecuado de las estrategias de manejo de las plantas biorremediadoras. Estas estrategias deben garantizar que las plantas no generen ningún tipo de conflicto en su tratamiento y disposición final.

1.3. Pregunta Directriz

¿Qué eficiencia se obtendrá con las macrófitas *Schoenoplectus californicus* y *Typha latifolia*, en el tratamiento de aguas residuales?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Evaluar las macrófitas *Schoenoplectus californicus* y *Typha latifolia* en la depuración de aguas residuales.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar el proceso adaptativo de las macrófitas *Schoenoplectus californicus* y *Typha latifolia*, en el tratamiento de aguas residuales.
- Analizar la calidad de agua del efluente de los humedales con la implementación de estos dos macrófitos.
- Elaborar estrategias de manejo para las macrófitas *Schoenoplectus californicus* y *Typha latifolia* una vez culminado el proceso depurativo.

1.5. Hipótesis

H₀: La implementación de las macrófitas en el tratamiento de las aguas residuales, no muestra eficiencia significativa en la depuración de aguas residuales mediante el análisis fisicoquímico del efluente depurado.

H_a: La implementación de las macrófitas en el tratamiento de aguas residuales muestra eficiencia significativa en la depuración de aguas residuales mediante el análisis fisicoquímico del efluente depurado.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

Según Sánchez Gómez (2015), la revisión de la literatura es la parte más importante y es el génesis de la investigación, debido a que aborda la problemática de estudio, provee de un marco referencial que ayuda a justificar el estudio y permite aprender de otras investigaciones.

2.1. Marco Teórico Referencial

El tratamiento o depuración de las aguas residuales es un sistema combinado de procesos tanto físicos, químicos y biológicos que tienen la finalidad de remover los contaminantes del agua, sean estos efluentes de agua doméstica, industrial o cualquier otro (Guía de análisis de aguas residuales USEPA, 2020). Una de las alternativas para tratar las aguas residuales es la implementación de plantas de tratamiento de estas aguas (PTAR), donde se remueve la mayor cantidad de contaminantes y en un sistema complementario estas aguas son desechadas a efluentes naturales receptores para que esta sea depurada de manera natural o en el mejor de los casos el efluente resultante es reaprovechado (Manual de tratamiento de aguas residuales industriales USEPA, 2021). La finalidad del tratamiento de las aguas residuales es ajustar y estandarizar el efluente contaminado a niveles aceptables en el ambiente, con el fin de ser reutilizado, además este tratamiento también genera un fango (biosólido) que tiene una disposición final o con un adecuado tratamiento se procura su reutilización (Manual de tratamiento de aguas residuales domésticas USEPA, 2022).

2.1.1. Aguas Residuales

Las aguas residuales son efluentes generados en las diferentes actividades antrópicas que realizamos de manera cotidiana, estas provienen de poblados, ciudades, instituciones, también pueden ser agrícolas e industriales (Vásquez & Suarez, 2020). Dichas aguas pueden ser almacenadas en fosas sépticas o en otros medios que ayuden a la depuración, aunque comúnmente estas son trasladadas mediante una red de alcantarillado hacia las PTAR o son vertidas directamente en

cuerpos de agua naturales, dichos procesos de transporte, tratamiento y disposición final del agua residual son evaluados mediante la normativa local y nacional con el fin de que el tratamiento que se aplique a esta agua no afecte la salud y el medio donde se la desecha (Pérez & Galarza, 2019). Cabe mencionar que las aguas de efluentes industriales pueden tener en sus componentes metales pesados, que requieren de un tratamiento especializado para su remoción (Syner Tech S.A.S, 2022).

2.1.2. Tratamiento de Aguas Residuales Municipales

De manera general los tratamientos suelen tener tres etapas base, pero estas dependen del tipo de agua residual, elementos contaminantes y es posible incorporar más etapas (Reyes, 2016). En una primera etapa, el tratamiento primario que se orienta a la separación de desechos de mayor tamaño y el asentamiento de algunos de ellos, es usado principalmente para la remoción de grasas, aceites, arena, sólidos grandes y requiere de maquinaria, se le conoce como tratamiento mecánico (Arias et al., 2010). En un primer paso se eliminan sólidos de gran tamaño, generalmente a través del cribado, con esto se evitan el entorpecimiento de las actividades posteriores referentes al tratamiento, se previene el taponamiento de las tuberías, posterior a esto pasa a través del área de filtración que comúnmente se realiza con arena y grava (desarenador), finalmente pasa la una fase de sedimentación que en general suele darse en grandes tanques rectangulares cuyo fin es producir un líquido homogéneo óptimo para un tratamiento biológico y también producen fango que debe ser tratado de manera independiente (Cardona, 2018).

La segunda fase o tratamiento secundario es una etapa de descomposición sustancial de la materia orgánica contenida en el agua residual, que proviene de desechos de alimentos, jabones, detergentes y materia fecal (Perez, 2009). Para la degradación sustancial del contenido biológico la mayoría de PTAR utilizan procesos biológicos aeróbicos, como los lodos activados, camas de oxidación, reactores biológicos de membrana o cama móvil, entre otros, finalmente se realiza la sedimentación que podría ser el paso final de esta etapa donde se produce un agua con bajos niveles de materia orgánica y materiales suspendidos, además es común

que en alguna PTAR se realicen tanques de sedimentación secundaria (US EPA, 1999)

La tercera etapa o tratamiento terciario brinda una mayor calidad del efluente de salida, ajusta a niveles estándar requeridos antes que sea descargado al cuerpo de agua receptor o para uso del efluente en la agricultura (Delgadillo et al., 2010). Esta etapa del tratamiento viene acompañada de varios procesos como la filtración con carbón activado, el lagunaje que se asemeja a los procesos de depuración natural en lagunas o ríos, humedales artificiales que es una alternativa en el tratamiento secundario de aguas negras en poblaciones pequeñas (fitorremediación) y proporcionan una mejora biológica aerobia (Ferrer & Seco, 2007). Adicional a esto, lleva un proceso de remoción de nutrientes si contiene altos niveles de fósforo y nitrógeno, estos contaminantes en sus diferentes formas pueden ser tóxicos tanto para invertebrados como para el cuerpo de agua receptor en general y si el tratamiento terciario finaliza en una desinfección del efluente de salida se le denomina pulir el efluente en el que se reduce en gran medida la cantidad de organismos vivos que regresan al ambiente (SENAGUA, 2014).

2.1.3. Tipos de Tratamientos de Aguas Residuales.

Los tratamientos de aguas residuales comprenden diversas técnicas para eliminar contaminantes y garantizar la seguridad del agua, el tratamiento físico, que usa sedimentación y filtración para eliminar sólidos, el tratamiento biológico emplea microorganismos para descomponer materia orgánica, mientras que el químico utiliza productos químicos para precipitar partículas finas, el tratamiento avanzado se enfoca en eliminar contaminantes específicos, como nitrógeno y fósforo, la desinfección elimina microorganismos dañinos con cloro, ozono o rayos UV y los tratamientos por membranas, que emplean filtros semipermeables para purificar el agua, en algunos casos, el agua tratada se reutiliza para aplicaciones no potables, como riego agrícola o usos industriales (Altunar, 2014).

Los métodos de tratamiento de aguas residuales se adaptan según el nivel de contaminación, el caudal y la calidad requerida, combinando técnicas como la biológica, química y física, se logra una efectiva eliminación de contaminantes y

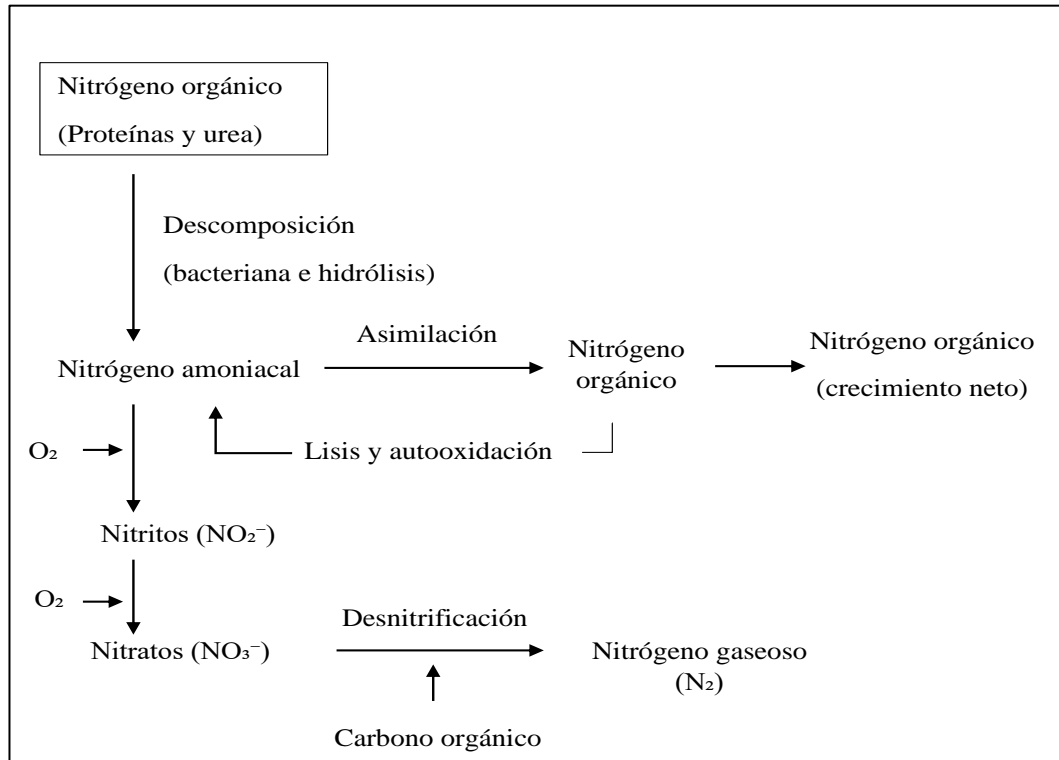
microorganismos perjudiciales, dichos tratamientos son fundamentales para proteger el medio ambiente y mantener el suministro de agua seguro y sostenible para diversos usos en la sociedad y la selección adecuada de los tratamientos de aguas residuales garantiza un manejo responsable y eficiente de los recursos hídricos, preservando la salud pública y conservando el equilibrio del ecosistema acuático (Flores, 2021).

Tratamientos Biológicos.

Espino (2003), menciona la remoción de contaminantes en el tratamiento de aguas residuales domésticas mediante la nitrificación y desnitrificación, Figura 2. El nitrógeno es un nutriente asimilado durante el proceso de depuración en forma de NH_4^+ por organismos y microorganismos, incorporan a su material celular los contaminantes (nutrientes) y resulta una adecuada eficiencia en saneamiento de las aguas residuales tratadas. Además, presenta el proceso de nitrificación-desnitrificación en un sistema de tratamiento, la primera etapa oxida a los nitritos y nitratos, la segunda etapa reduce mediante un proceso anóxico a nitrógeno gaseoso y es liberado a la atmósfera.

Figura 1

Transformación del nitrógeno en sistemas tratamiento



Nota. Tomado de Espino (2003), muestra el ciclo del nitrógeno y las conversiones de nitrificación y desnitrificación en el proceso de depuración de aguas residuales.

El tratamiento biológico de las aguas residuales incorpora una serie de organismos para eliminar contaminantes solubles en agua (Mata, 2016). Dicho proceso aprovecha la capacidad de los organismos de asimilar tanto la materia orgánica y los nutrientes como el nitrógeno y fósforo, estos al tener un medio óptimo se reproducen y forman un tipo de flóculos macroscópicos que decantan en tiempos razonables para su separación cuando se utilizan bacterias (Torres, 2012). También en un tratamiento combinado se menciona al tratamiento fisicoquímico donde se implementa coagulantes, floculantes u otras sustancias sintéticas en el tratamiento físico antes mencionado, con la finalidad de obtener una mayor eficiencia en la depuración de las aguas residuales, suelen tener un costo elevado (Llano et al., 2014)

2.1.4. Fitorremediación y Transporte de Contaminantes

La fitorremediación es una técnica de remediación ambiental que utiliza plantas para limpiar y restaurar áreas contaminadas por sustancias tóxicas y se basa en la capacidad de ciertas plantas, conocidas como hiperacumuladoras o fitorremediadoras, para absorber y acumular contaminantes en sus tejidos sin sufrir daños significativos (Oquendo, 2016). Oquendo (2016), menciona que estas plantas pueden eliminar o degradar contaminantes como metales pesados, hidrocarburos y pesticidas, contribuyendo a la descontaminación del suelo, agua y aire.

Haro et al. (2020), menciona que existen diferentes mecanismos a través de los cuales las plantas facilitan la fitorremediación, la fitoextracción implica que las plantas absorben los contaminantes a través de sus raíces y los acumulan en sus partes aéreas, que luego pueden ser cosechadas y eliminadas para retirar los contaminantes del área, la rizodegradación consiste en que las plantas liberan enzimas y compuestos químicos a través de sus raíces para degradar los contaminantes en el suelo, la fitovolatilización implica la absorción de contaminantes y su posterior liberación en forma de vapor a través de las hojas.

La fitorremediación es una opción sostenible y eficaz para remediar áreas contaminadas, ofreciendo una alternativa respetuosa con el medio ambiente para restaurar y proteger el ecosistema afectado, debido a que las plantas ayudan de manera satisfactoria a reducir la contaminación de las aguas residuales debido a su capacidad de absorber o retener los contaminantes o sedimentos como: metales pesados y radiactivos o compuestos orgánicos (Mendoza et al, 2016). Para dicho proceso comúnmente se realizan humedales donde estas plantas están en contacto directo con el agua contaminada de tal manera que almacena o retiene los contaminantes presentes en el efluente (Delgadillo et al., 2010).

Según González et al., (2011), para que se produzca un adecuado proceso de fitorremediación, los macroorganismos que habitan la rizosfera de las plantas juegan un papel crucial en este tipo de técnica debido a que estos degradan la materia orgánica disponible contaminante a metabolitos que son absorbidos por las plantas junto con nutrientes y minerales. Los compuestos orgánicos que contaminan

el agua pueden ser utilizados como fuentes de carbono para los microorganismos y el orden decreciente en el que se realiza la biodegradabilidad esta dado generalmente desde que los n-alcanos pasan a isoprenoides luego estos a compuestos aromáticos de bajo peso molecular luego pasan a cicloalcanos, posterior a esto pasan a poliaromáticos y finalmente resultan en moléculas polares (Leahy & Colwell, 1990).

Esta técnica de fitorremediación esta básicamente fundamentada en una serie de mecanismos fisiológicos básicos que se dan lugar en las plantas, en conjunto con los microorganismos asociados a estas, dicha fitotecnología está relacionada con la fotosíntesis, transpiración, nutrición y metabolismo, tanto de plantas y microorganismos respectivamente (Leahy & Colwell, 1990).

2.1.5. Descripción de las especies utilizadas en el estudio

Las especies utilizadas en el estudio son: la planta herbácea *Typha latifolia* también conocida como cola de gato descrita por Kronfeld (1889), pertenece al orden de las Poales, familia de las Typhaceae y género *Thypa*, estos macrófitos perennes pueden alcanzar entre 1.5 y 3 metros (m) de altura, con hojas planas de un color verde claro pueden tener un ancho entre 2 y 4 centímetros (cm) y dispuestas en una vaina en la base de donde sale una inflorescencia en espiga que mide entre 20 y 40 cm, esta especie se distribuye en áreas con climas tropicales y subtropicales ocupando zonas pantanosas, marismas, orillas de lagos, estuarios costeros y zanjas de carreteras de todos los continentes. Véase Tabla 2

Tabla 2

Taxonomía de las especies Schoenoplectus californicus y Typha latifolia

| Taxonomía | | |
|------------------|------------------------|---------------------|
| Reino: | Plantae | Plantae |
| División: | Magnoliophyta | Magnoliophyta |
| Clase: | Liliopsida | Liliopsida |
| Orden: | Cyperales | Poales |
| Familia: | Cyperaceae | Typhaceae |
| Género: | <i>Schoenoplectus</i> | <i>Typha</i> |
| Especie: | <i>S. californicus</i> | <i>T. latifolia</i> |

Nota. Tabla tomada de INaturalist (2020), representa la taxonomía de las dos especies de macrófitos utilizados en el estudio.

La especie *Schoenoplectus californicus* también conocida como totora, fue descrita por Persoon (1805), es una planta herbácea acuática perenne que pertenece al género *Schoenoplectus* de la familia Cyperaceae, alcanza una altura entre 1 y 3 m y es muy común en esteros y pantanales de América del sur, en su parte inferior presenta hojas con vainas foliares que carecen de láminas junto a un tallo erecto, liso, cespitoso y no presenta tuberosidad en su base, su inflorescencia es un agregado simple en espiguillas.

Usos

Estos macrófitos brindan una enmienda orgánica muy importante mediante la absorción de contaminantes del agua y varios usos ancestrales.

El uso de la totora es muy versátil y data desde la antigüedad tanto en la construcción de techos para las viviendas y embarcaciones en las playas de Perú debido a que los tallos de esta planta al tener una dimensión de hasta tres metros, sin embargo los tallos de menor tamaño y las hojas de la *Typha* se emplean en la actualidad para la construcción de esteras y artesanías en las comunidades, no únicamente de nuestro vecino país, también en el Ecuador, como se encuentra cerca de centros turísticos de lagos y lagunas de nuestro país como Quilotoa, Cuicocha, San Pablo, etc.

El aprovechamiento agropecuario se realiza mediante diferentes tipos de composta con la finalidad de regresar los nutrientes al suelo luego de una agricultura excesiva, en un estudio realizado por (Barrionuevo et al., 2020) se investigó y realizaron compost con macrófitos en una mezcla de 60/40 con estiércol de gallina (gallinaza), respectivamente. Dicho estudio tuvo resultados muy satisfactorios debido a que concluyeron, que es una alternativa de tratamiento viable para los macrófitos y ser un excelente estructurante para la elaboración del compost. De igual manera estos son muy buenos alimentos para el ganado y se presenta como una alternativa a la que se debe manejar con precaución debido a los contaminantes que pueden tener las especies que se vayan a compostar y directamente dependen del medio que descontaminen o que se encuentren y de los contaminantes que se estén tratando (Nieto, 2013).

2.2. Marco Legal

El Ecuador se rige a diversas normativas basadas en una jerarquía establecida en el Art. 425 de la Constitución de la Republica del Ecuador (2008), dicha normativa procura el bienestar de las personas y entorno en el que vivimos. La presente investigación tiene como referencia parte de la normativa ambiental vigente en nuestro territorio, se consideró a continuación:

2.2.1. Constitución de la República del Ecuador (2008)

La Constitución de la República del Ecuador de 2008 destaca la importancia del acceso al agua potable y al saneamiento como un derecho fundamental, establece la responsabilidad del Estado y la sociedad en garantizar su disponibilidad y manejo adecuado, protegiendo así los recursos hídricos y promoviendo prácticas sostenibles para el beneficio de todas las personas. De igual manera establece que el Estado tiene la obligación de garantizar la investigación, el tratamiento y el saneamiento del agua residual. Este derecho es fundamental para la protección del ambiente y la salud humana.

En el artículo 14, numeral 6, la Constitución establece que *“el Estado garantizará la investigación científica y tecnológica, así como la innovación, para la conservación, recuperación y uso sustentable de los recursos naturales”*. El artículo 77, numeral 7, establece que *“el Estado garantizará el derecho a la salud, el cual incluye el derecho a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado”*.

Para cumplir con estos derechos, el Estado debe promover la investigación científica y tecnológica en materia de tratamiento y saneamiento de aguas residuales. Esta investigación debe enfocarse en el desarrollo de nuevas tecnologías que sean eficientes, de bajo costo y amigables con el ambiente. (Asamblea Nacional, 2008).

2.2.2. Código Orgánico del Ambiente (COA) 2017

El Código Orgánico del Ambiente de Ecuador del 2017 prioriza el acceso al agua potable y saneamiento como un derecho humano, fomenta la conservación y uso sostenible de los recursos hídricos, establece lineamientos para el adecuado

tratamiento y gestión de aguas residuales, con el propósito de proteger el ambiente y garantizar un manejo responsable del agua en el país.

En concordancia con nuestra investigación en el artículo 115 del COA, se establece que el Estado debe promover la investigación científica y tecnológica en materia de tratamiento y saneamiento de aguas residuales. Esta investigación debe enfocarse en el desarrollo de nuevas tecnologías que sean eficientes, de bajo costo y amigables con el ambiente que contrasta con la metodología aplicada en el presente estudio, donde se procura el aprovechamiento de la capacidad fitorremediadora natural de los macrófitos en estudio.

En el artículo 116 del COA, se establece que el Estado debe garantizar el tratamiento y saneamiento de las aguas residuales. Para cumplir con esta obligación, el Estado debe establecer políticas y programas de tratamiento y saneamiento de aguas residuales (Código Orgánico del Ambiente (COA), 2017).

2.2.3. Acuerdo Ministerial 097-A, Reforma Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA) 2015

El Acuerdo Ministerial 097-A ANEXO 1 del libro VI del TULSMA: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluente al recurso agua. Tabla 8. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público, menciona la norma de calidad ambiental de descarga de efluentes, hace mención sobre los límites permisibles de descarga de aguas, prohibiciones y principios básicos, teniendo en cuenta criterios sobre la presencia de sustancias contaminantes y calidad de agua. Mismos que permiten evaluar la calidad de agua teniendo en cuenta el uso de este recurso posterior al saneamiento aplicado en la investigación con los tres tipos de tratamientos (Acuerdo Ministerial 097-A. Anexos del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, 2015)

2.2.4. Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025

El Plan establece metas como el aumentar la cobertura de tratamiento de aguas residuales del 30% al 60% en el sector urbano, desarrollo de nuevas tecnologías de tratamiento de aguas residuales que sean eficientes, de bajo costo y

amigables con el ambiente y promover la educación ambiental sobre el tratamiento y saneamiento del agua residual, que está directamente relacionado con el objetivo 2 y 3 de la presente investigación.

En el Objetivo 11, referente a la conservación, restauración, protección y hacer uso sostenible de los recursos naturales. En su política 11.2 menciona “*Fomentar la capacidad de recuperación y restauración de los recursos naturales renovables*”, que refiere a la creación de políticas y prácticas que prevengan la contaminación, saneamiento ambiental y sostenibilidad en las diversas actividades que se desarrollan.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

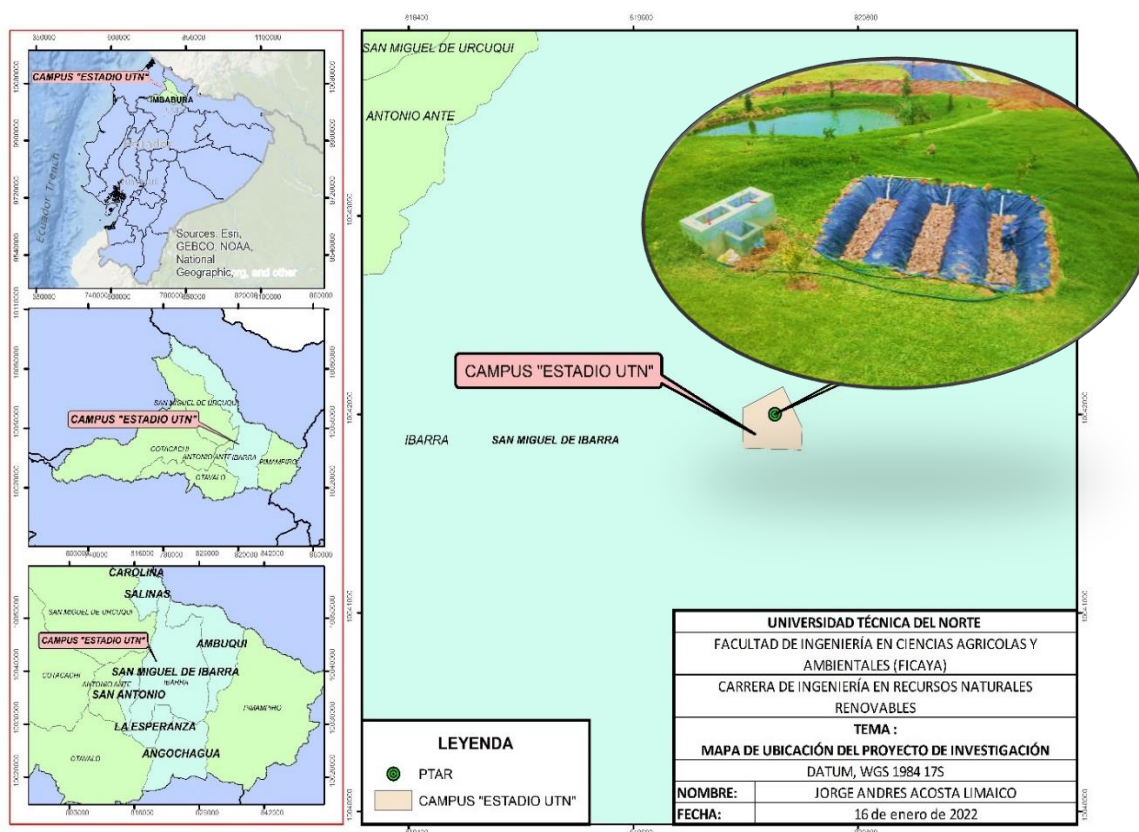
A continuación, se detallan todas las fases con sus respectivas metodologías aplicadas en la presente investigación.

3.1. Descripción del área de estudio

Es el ámbito espacial donde se declaran los posibles impactos ambientales ocasionados por diferentes actividades, dentro de esta área se evalúa la magnitud e intensidad de los distintos impactos para poder definir medidas de prevención o mitigación a través de un Plan de Manejo (Cardano, 2016).

Figura 2

Ubicación de PTAR



El sitio donde se desarrolló la parte experimental del proyecto fue en el campus del estadio de Universidad Técnica del Norte en el sector de Azaya como se observa en la Figura 3, dicho campus cuenta con una Planta de Tratamiento de

Aguas Residuales que trata el afluyente de sectores residenciales aledaños al sitio, desde donde se direcciono el agua residual para la depuración en los diferentes tratamientos biológicos propuestos en la investigación. El campus del estadio de la UTN está ubicado entre las calles 13 de abril y Morona Santiago en el sector de Azaya.

3.2. Metodología

Para el cumplimiento del objetivo “Evaluar las macrófitas *Schoenoplectus californicus* y *Typha latifolia* en la depuración de aguas residuales, se designó las siguientes fases:

3.2.1. Fase I: Caracterización del proceso adaptativo de los macrófitos *Schoenoplectus californicus* y *Typha latifolia*, en el tratamiento de aguas residuales.

Para el cumplimiento de la primera etapa de la fase I, se procedió a la revisión bibliográfica mediante la biblioteca virtual de la Universidad Técnica del Norte y a la realización de visitas de campo, así también de la Información disponible en el portal de la Prefectura de Imbabura y el Gobierno provincial de Imbabura, con el fin de obtener información de los métodos y técnicas que vayan acorde con el proyecto a desarrollar, con el área de estudio respecto a límites, relieve, cobertura vegetal y las actividades antrópicas que pueden generar conflictos, así también como estas influyen en los diversos factores del crecimiento de las especies utilizadas en la fitorremediación y en el monitoreo en general del área de estudio.

Fase de campo

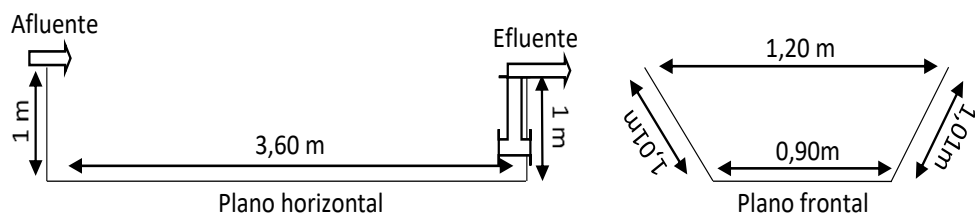
En esta etapa de la fase 1 contó con:

- 1) Medición y construcción de los estanques para la implementación de los Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Horizontal con plantas flotantes**

Según Arteaga (2018), la implementación de Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Horizontal o HHAA FSSH viene siendo utilizada como tratamiento secundario durante los últimos 30 años, dichos humedales requieren del control de factores como su dimensión, topografía, características e inundabilidad del suelo.

Figura 3

Planos de construcción de estanques



Nota. El esquema se desarrolló siguiendo las especificaciones de la USEPA (2000) y la disponibilidad del terreno en campo para un adecuado manejo de las aguas residuales.

Para la construcción de los estanques se trazaron las medidas en el lugar apropiado donde el terreno es poco irregular, que no tengan pendientes $>1\%$ debido a la factibilidad y costos de construcción. La US EPA (2000), menciona que la profundidad máxima para este tipo de humedales debe estar rodeando los 0.65m, que va de la mano con una porosidad de 0.35m cuando se implementa vegetación, todo esto acompañado de 0.25m de sustrato que no intervenga con los resultados y fines investigativos (Anexo 1, Figura 2). Con respecto a la proporción ancho-largo se propone en general una proporción mínima de 1:3 como se observa en la Figura 4.

Procedimiento:

1. Trazar los polígonos con las medidas establecidas en la Figura 1 sobre el suelo.
2. Verificar que el suelo sea firme.
3. Proceder a excavar con herramientas de mano procurando dar la forma deseada a los estanques.

2) Medición de caudal del afluente a tratar en el experimento

Se aplicó la metodología utilizada por Moscoso (2006), donde se utilizó la ecuación 1 y debido a que el caudal a tratar era muy pequeño y procurando un tiempo de retención adecuado se procedió de la siguiente manera:

$$Q = \frac{V}{T} \quad \text{Ec 1.}$$

Donde:

V= volumen de entrada

T= tiempo

Procedimiento:

1. Tomar una muestra del afluente en un recipiente con medida de un litro.
2. Con la ayuda de otra persona tomar el tiempo que toma en llenarse dicho recipiente.
3. Repetir cinco veces este procedimiento en todos los humedales con la finalidad de regular la misma cantidad de caudal en cada tratamiento como se observa en la Tabla 3.

Tabla 3

Cálculo del caudal (Q) para los tratamientos

| Repetición | Caudal de tratamientos (Q) (l/s) | | |
|-------------------------------------|----------------------------------|-------|-------|
| | TE | EC | TL |
| R1 | 0.11 | 0.11 | 0.12 |
| R2 | 0.11 | 0.10 | 0.11 |
| R3 | 0.12 | 0.10 | 0.10 |
| R4 | 0.10 | 0.11 | 0.10 |
| R5 | 0.10 | 0.11 | 0.10 |
| Caudal por tratamiento (l/s) | 0.108 | 0.106 | 0.106 |
| Volumen (m³) | 1,96 | | |
| Tiempo de retención (h) | 9.07 | | |
| Área/humedal (m²) | 4,32 | | |

3) Protocolo de recolección de especies utilizadas

El protocolo de recolección y procesamiento de individuos utilizado por Oquendo (2016), consiste en una recolección de plántulas con esquejes adecuados para su proliferación y una posterior fase de adaptación en un sustrato (ANEXO1, Figura 1).

Typha latifolia* y *Schoenoplectus Californicus

El medio para la recolección de plántulas de estas dos especies consistió en dirigirse a la laguna de Yahuarcocha e identificar colonias saludables a la vista, posterior a esto se procedió a la extracción de los esquejes para su propagación. La extracción de dichos esquejes se realizó con herramienta de mano como tijeras, palas y machete.

Procedimiento:

1. Dirigirse al sistema lacustre.
2. Seleccionar comunidades saludables de las especies a recolectar.
3. Extraer las plántulas con raíces, rizomas y que en sus tallos contengan yemas.
4. Colocar los ejemplares en un recipiente con abundante agua extraída del sitio.
5. Colocar el recipiente con las plántulas en un lugar donde la luz del sol no llegue directamente.
6. Cambiar de agua cada 15 días, con agua del lugar donde fueron extraídas o con el agua de acequia. El uso de algún tipo de sustrato es opcional y en el presente estudio no fue necesario.

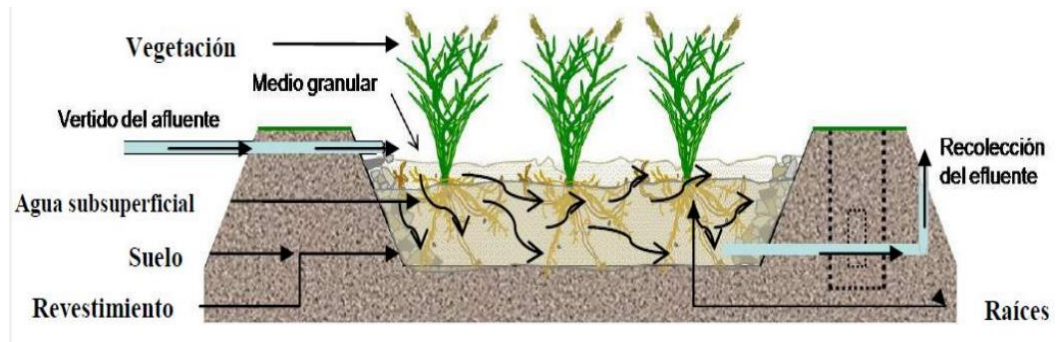
4) Adecuación y aplicación de las plantas fitorremediadoras en los humedales

De acuerdo con la metodología propuesta por Rabat (2016), donde se procurará la infraestructura adecuada para un adecuado tratamiento con los Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Horizontal (HHAA FSSH), como

se muestra en la Figura 5. Dicha Figura amuestra los componentes que deben tener los humedales para un adecuado funcionamiento, cuenta con una entrada de caudal a tratar, un efluente resultante, así también como el lugar donde deben ir los macrófitos y el medio granular donde deben sostenerse.

Figura 4

Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Horizontal HHAA FSSH



Nota. Figura tomada de Rabat (2016), adaptado de Garcia & Corzo 2008. Representa de manera grafica el diseño adecuado para los Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Horizontal HHAA FSSH.

Con el fin de que reduzca al mínimo la filtración del agua residual a tratarse se colocó una geomembrana que cubra todo el humedal, posterior a esto para que las plantulas se fijen en la capa superior del agua a tratarse y que acurra el flujo subsuperficial, adicional a esto se realizó una adecuación con cuadrículas de bambú que sostengan los esquejes hasta que se produzca una adecuada adaptación y posterior proliferación (ANEXO1, Figura 3).

3.2.2. Fase II: Análisis de la calidad de agua del efluente de los humedales con la implementación de estos dos macrófitos.

Para el cumplimiento de esta fase se llevó a cabo lo siguiente:

1) Índice de Biodegradabilidad.

El grado de conocer el valor del índice de biodegradabilidad como se observa en la Tabla 4, de las aguas residuales a tratarse es de suma importancia y de este valor depende la factibilidad de aplicar determinado tratamiento de depuración de estas aguas (Angulo, Segovia, & Ossio, 2019).

Tabla 4

Criterios de la biodegradabilidad mediante la relación DBO_5/DQO

| DBO_5/DQO | Criterio |
|-------------|--------------------|
| > 0.8 | Muy biodegradable |
| $0.7 - 0.8$ | Biodegradable |
| $0.3 - 0.7$ | Poco biodegradable |
| < 0.3 | No biodegradable |

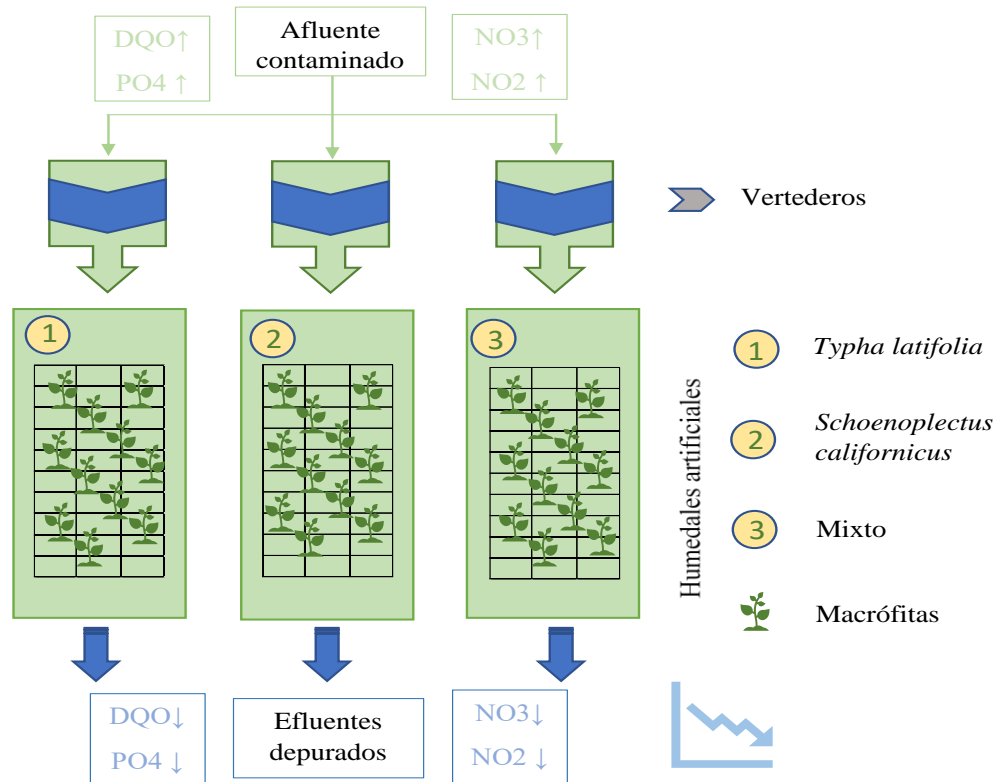
Nota. Tabla extraída de Ardila et al. (2012), donde valores menores a 0.3 indican que la depuración de estas aguas residuales con tratamiento biológico no es la decisión más adecuada, lo óptimo sería la aplicación de un tratamiento fisicoquímico debido a la naturaleza no biodegradable del afluente.

2) Diseño experimental.

Para el desarrollo adecuado de la investigación se dispuso de tres tipos de tratamientos como se observa en la Figura 6, en un primer tratamiento se realizó humedales con la especie *Typha latifolia*, en un segundo tratamiento se realizarán humedales con la especie *Schoenoplectus californicus* y finalmente un tratamiento mixto con las dos especies en estudio. Todo esto con el fin de comparar los resultados mediante un análisis estadístico posterior.

Figura 5

Diseño experimental con los Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Horizontal HHAA FSSH con plantas flotantes



3) Muestreo en la entrada y salida de humedales.

En esta actividad se realizó el muestreo compuesto, esta metodología fue propuesta por el Instituto de toxicología de la defensa de España (2016), con el fin de minimizar sesgos al momento de analizar las muestras.

Procedimiento:

1. Tomar un vaso de precipitación y coleccionar 200 ml tanto del afluente como del efluente de cada tratamiento
2. Colocar la muestra en un recipiente de un litro previamente enjuagada con el agua de donde se colectó la muestra anterior
3. Repetir los dos pasos cada 30 min hasta llenar la botella de 1000 ml

Nota: El recipiente que contiene las muestras simples debe reposar en un recipiente o kit de transporte de muestras donde se propicie un ambiente adecuado que no altere las propiedades fisicoquímicas y biológicas del agua residual a analizar.

4) Etiquetado de las muestras

Esto se realizó etiquetas verdes procurando su visibilidad donde constaba con puntos GPS, fecha, características de recolección y cadena de custodia de la muestra hasta la realización del análisis de los parámetros de estudio en laboratorio que consiste en llevar la muestra lo más inocua posible desde su colecta con el fin de no alterar las propiedades fisicoquímicas del agua residual a analizar.

5) Análisis de parámetros fisicoquímicos

Como se aprecia en la Tabla 5 se realizó el análisis de parámetros tanto físicos y químicos, se contó con dos fases:

Parámetros realizados en campo

Con el fin de obtener resultados óptimos Barreto & Espinoza (2010), recomiendan que para el análisis de las variables como sólidos totales disueltos (STD), temperatura (T), oxígeno disuelto (OD), conductividad y potencial de hidrogeno (pH) se toma en campo con equipos portátiles como se aprecia en la Figura 7. De esta manera se contó con el equipo multiparámetros portátil HACH HQ40d donde se pudo tomar todos estos datos y facilitar su análisis.

Figura 6

Análisis de parámetros realizados en campo con el equipo multiparámetros portátil HACH HQ40d



Nota. La Figura muestra uso del multiparámetro en campo para la toma de datos de factores como STD, temperatura (T), oxígeno disuelto (OD), conductividad y potencial de hidrogeno (pH).

Parámetros realizados en laboratorio

La USEPA cuenta con una serie de métodos estandarizados para la medición de distintos parámetros en laboratorio como se aprecia en la Tabla 4 (Standar Methods, 1992). Parámetros como el NH_4^+ , nitratos NO_3^- , nitritos NO_2^- y fosfatos PO_4^{3-} se realizaron siguiendo el siguiente procedimiento en laboratorio como se observa en la Figura 8:

1. Realización de muestras en tubos de ensayo, cada uno con 10 ml de muestra (blancos)
2. Realización de muestras en tubos de ensayo, cada uno con 10 ml de muestra (con reactivo)
3. Diluir el reactivo y temporizar en el espectrofotómetro
4. Cumplido el tiempo colocar el blanco en el espectrofotómetro y poner en cero, luego colocar la muestra con reactivo, analizar y ver el resultado.

Figura 7

Análisis de parámetros realizados en laboratorio



Nota. Para el cálculo del NH_4^+ se procede a realizar desde el paso numero 3 debido a que se colocó 2 ml de muestra en la solución AmVer High Range Ammonia Test N Tube Rgt y se procedió a colocar el reactivo Silicylate y posterior a este el Cianurate y se procedió a homogenizar.

El cálculo de la turbidez se realizó en el tubo de ensayo 10 ml de la muestra y se procedió a colocar en el turbidímetro y se observó el resultado. Para el cálculo de la demanda química de oxígeno DQO se realizó el siguiente proceso:

1. Se precalentó la estufa a 250 °C.
2. En los tubos de solución de digestión para COD 3-150 se procedió a colocar 2 ml de la muestra y se homogenizo.
3. Se procedió a colocar los tubos de la solución antes preparada en la estufa por dos horas.
4. Una vez temperado, se procedió a colocar en el espectrofotómetro y ver los resultados.

Tabla 5*Parámetros de análisis*

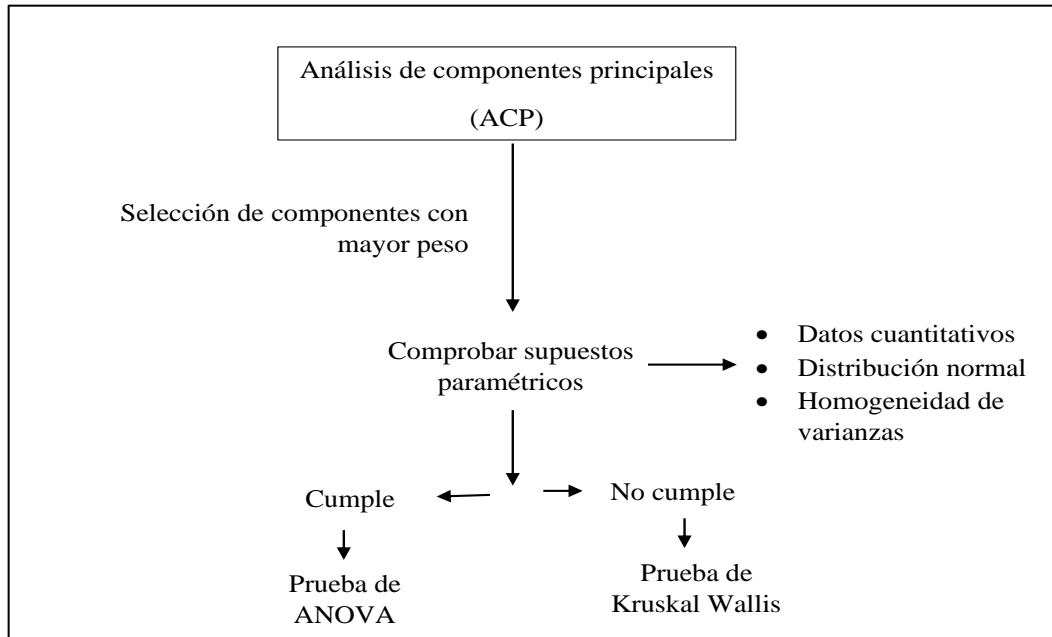
| N° | Parámetro | Método de ensayo | Simbología | Unidad |
|-----------|----------------------------|-------------------------|--------------------|---------------|
| 1 | Sólidos totales disueltos | SM 2510A | STD | mg/l |
| 2 | Temperatura | | T | °C |
| 3 | Turbidez | SM 2130B | | |
| 4 | Oxígeno disuelto | | OD | % Sat o m/l. |
| 5 | Conductividad | SM 2510B | | mS/cm |
| 6 | Potencial de hidrogeno | SM 4500-H B | pH | |
| 7 | Nitratos | Método HACH 8039 | NO_3^- | mg/l |
| 8 | Nitritos | Método HACH 8507 | NO_2^- | mg/l |
| 9 | Fosfatos | Método HACH 8048 | PO_4^{3-} | mg/l |
| 10 | Demanda química de oxígeno | Método HACH 8000 | DQO | mg/l |
| 11 | Nitrógeno amoniacal | Método HACH 8015 | NH_4^+ | mg/l |

6) Análisis estadístico

Los datos obtenidos en los análisis de los diferentes parámetros establecidos se sometieron a un análisis de componentes principales como se observa en la Figura 9, posterior a esto se procedió a seleccionar los componentes con mayor relevancia y se realizó las pruebas de supuestos estadísticos de normalidad y homogeneidad, donde se resolverá si se procede con un análisis paramétrico o no paramétrico de cada componente.

Figura 8

Análisis estadístico aplicado a los datos obtenidos en el estudio



3.2.3. Fase III: Elaboración de estrategias de manejo para las macrófitas *Schoenoplectus californicus* y *Typha latifolia*, aplicable luego del proceso de fitorremediación.

Para el cumplimiento de este objetivo se llevó a cabo la elaboración de una propuesta de manejo para las especies *Schoenoplectus californicus* y *Typha latifolia*, utilizadas en la fitorremediación de las aguas residuales domésticas y la eficiencia que tienen estas en el tratamiento.

1) Aplicación del análisis FODA

En la realización de este análisis se tomó en cuenta aspectos como: importancia de las especies utilizadas en el estudio, adecuada implementación, beneficios, manejo de humedales artificiales y aprovechamiento de las especies en referencia a su biomasa.

2) Diseño de estrategias de manejo para los macrófitos

Las estrategias de manejo están directamente relacionadas con la metodología y experiencia encontradas en el desarrollo de la presente investigación.

Una vez evaluados los tratamientos del estudio mediante pruebas estadísticas se procedió a elaborar la propuesta de estrategias de manejo de los macrófitos utilizados en el estudio con el modelo de Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Horizontal con plantas flotantes, basados en la información obtenida durante el desarrollo de la investigación en campo.

3.3. Materiales y Equipos

Los materiales y equipos utilizados en las diferentes fases del estudio se expresan en la Tabla 6:

Tabla 6

Materiales y equipos utilizados en el estudio

| Materiales y equipos de oficina y de campo | Materiales y equipos de laboratorio | Software |
|---|--|-----------------|
| Lápiz y esfero | Multiparámetros HACH HQ40d | ArcGis 10.8 |
| Libreta de campo | Reactivos | SPSS |
| Cinta adhesiva | Agua destilada | InfoStat |
| Guantes | Kit de transporte de muestras | Excel |
| Botas | Vasos de precipitación | GPS Essentials |
| Desinfectante | Cubetas | Word |
| Computador | Espectrofotómetro | Mendeley |
| Palas | Turbidímetro | |
| Barrenos | Sondas | |
| Herramientas | Bomba de agua | |
| Manguera | | |

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se presenta los resultados obtenidos en la presente investigación de acuerdo con las fases establecidas en el capítulo anterior.

4.1. Fase I: Caracterización del proceso adaptativo de las macrófitas *Schoenoplectus californicus* y *Typha latifolia*, en el tratamiento de aguas residuales.

4.1.1. Tasa de crecimiento y adaptación de los macrófitos

Con respecto a la tasa de crecimiento de la especie *Typha latifolia* se obtuvo una adaptabilidad progresiva desde la implementación de los humedales en el mes de marzo hasta la realización del último muestreo del efluente en el mes de octubre como se aprecia en las medidas medias de la Tabla 7. Se observa que las plántulas tuvieron un tiempo de adaptación de alrededor de tres meses antes de su adecuada proliferación, debido a que las plántulas en un inicio presentaron colores verde-amarillo que muestran el impacto provocado por el cambio de ambiente, sin embargo a partir del cuarto mes se observó a plántulas totalmente adaptadas al afluente tratado procurando una proliferación muy rápida en los siguientes meses, que a comparación del principio las plantas crecieron cuatro veces más en tamaño en comparación con el mes de marzo, así también el área adecuada de 2.6 m² para cada humedal con la vegetación fue más densificándose según la planta iba proliferando sus rizomas y aumentando sus vainas foliares según absorbía los nutrientes del agua residual.

Tabla 7

Monitoreo de la tasa de crecimiento y adaptabilidad de la especie Typha latifolia

| Meses | Altura (cm) | Área cubierta de vegetación (2.6m ²) | Número de vainas foliares / planta | Número aproximado de rizomas / planta | Color foliar presente |
|-------|-------------|--|------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| Marzo | 25 | Muy disperso | 6 | 1 | |
| Abril | 23 | Disperso | 7 | 3 | |
| Mayo | 26 | Disperso | 7 | 5 | |
| Junio | 36 | Medio denso | 9 | 9 | |

| | | | | | |
|------------|-----|-----------|-----|-----|--|
| Julio | 64 | Denso | 10 | 11 | |
| Agosto | 97 | Denso | 13 | 15 | |
| Septiembre | 101 | Muy denso | >15 | >20 | |
| Octubre | 105 | Muy denso | >15 | >20 | |

La tasa de crecimiento y adaptabilidad de la especie *Schoenoplectus californicus*, en la Tabla 8 se aprecia que los tres primeros meses a partir del mes de marzo transcurrió el periodo de adaptación para las plántulas y podemos ver una baja proliferación por rizomas así también se pudo observar colores verde-amarillentos en sus tallos y una muy baja densidad en el área destinada para su proliferación. Sin embargo, a partir del cuarto mes se observa una acelerada proliferación y sus tallos multiplicaron casi por cuatro su longitud y su número, a pesar de su buena adaptabilidad sus tallos no se densificaron, significa que su generación de biomasa mediante la absorción de nutrientes no fue demasiada en los primeros meses.

Tabla 8

Monitoreo de la tasa de crecimiento y adaptabilidad de la especie Schoenoplectus californicus

| Meses | Altura (cm) | Área cubierta de vegetación (2.6m ²) | Número de tallos / planta | Número aproximado de rizomas / planta | Color foliar presente |
|------------|-------------|--|---------------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| Marzo | 25 | Muy disperso | 2 | 1 | |
| Abril | 19 | Muy disperso | 2 | 2 | |
| Mayo | 26 | Disperso | 2 | 2 | |
| Junio | 30 | Disperso | 4 | 5 | |
| Julio | 37 | Denso | 6 | 6 | |
| Agosto | 49 | Denso | 9 | 8 | |
| Septiembre | 69 | Denso | 10 | 11 | |
| Octubre | 86 | Denso | 13 | 14 | |

Mendoza et al. (2016), menciona que las plantas macrófitas o hidrófitas juegan un papel muy importante en los sistemas lacustres debido a que aportan de manera significativa en sus características, físicas, químicas, biológicas y ecosistémicas, sin embargo, no todos los macrófitos se adaptan o no presentan características propicias para su uso en la fitorremediación. Según los resultados

obtenidos por Franco et al. (2018), la versatilidad y adaptabilidad del género *Typha* a los sistemas de fitorremediación, menciona que este tipo de plantas se adaptan con facilidad debido a su alta capacidad de biodegradar componentes orgánicos producto de actividades antrópicas, además de acumular, absorber y metabolizar los nutrientes procurando una buena relación simbiótica con los macroorganismos que habitan en su rizosfera. De igual manera Ayala et al. (2019), resalta la capacidad de la especie *Schoenoplectus californicus* en la fitorremediación de aguas y suelos contaminados debido a su elevada capacidad de retención de contaminantes en sus raíces y tallos, debido a su buena adaptabilidad a sustratos contaminados con metales pesados y compuestos orgánicos, es una especie recomendada para la fitorremediación de afluentes contaminados, procurando así resultados óptimos en su saneamiento y recuperación de calidad ambiental.

4.2. Fase II: Análisis de la calidad de agua del efluente de los humedales con la implementación de estos dos macrófitos.

4.2.1. Índice de biodegradabilidad

Una vez obtenidos los datos de DQO y DBO_5 , se procedió a realizar la relación DBO_5/DQO y se obtuvo un resultado de 0.73 y se ubica en el rango de 0.7 – 0.8, corresponde a la categoría de biodegradable y se asume que el agua residual puede tratarse con un tratamiento biológico y tiene una importante carga orgánica que con un correcto tratamiento se convierten en hidratos de carbono que nutren a las plantas y en consecuencia hay un saneamiento adecuado del agua residual a tratar. Dicha aseveración está directamente fundamentada en lo presentado por Ardila et al., (2012).

Dicho autor propone hacer dicha relación con la finalidad de seleccionar el mejor tratamiento para determinado tipo de agua residual, valores de esta relación < 0.3 quiere decir que el afluente a tratar tiene una naturaleza no biodegradable y que tratamientos por medios biológicos no depurarían el afluente contaminado y lo recomendable sería la aplicación de un tratamiento fisicoquímico, dicho tratamiento está directamente relacionado al tratamiento de aguas industriales. Si los valores de esta relación son $= 0$ o > 0.8 encontramos un afluente de naturaleza biodegradable

o muy biodegradable respectivamente y el tratamiento biológico es recomendable para su depuración por su alto contenido de material biodegradable.

4.2.2. Análisis fisicoquímico

A continuación, tenemos los resultados obtenidos en el análisis fisicoquímico de los tratamientos con los muestreos realizados durante los meses de septiembre y octubre en la entrada y salida de los humedales, en la Tabla 9 se aprecia los resultados obtenidos en el tratamiento con el macrófito *Schoenoplectus californicus*, en la Tabla 10 se visualiza los resultados obtenidos en el tratamiento con la especie *Typha latifolia* y finalmente en la Tabla 11 se observa los resultados obtenidos en el tratamiento mixto, con las dos especies de macrófitos.

Tabla 9*Parámetros fisicoquímicos evaluados en el humedal de la especie Schoenoplectus californicus*

| PARÁMETRO ANALIZADO | UNIDAD | EXPRESADO EN | 1 de septiembre | | 15 de septiembre | | 29 de septiembre | | 13 de octubre | | 27 de octubre | |
|---------------------------|--------|-------------------------------|-----------------|--------|------------------|--------|------------------|--------|---------------|--------|---------------|--------|
| | | | Entrada | Salida | Entrada | Salida | Entrada | Salida | Entrada | Salida | Entrada | Salida |
| pH | n/a | pH | 7,14 | 7,1 | 7,31 | 7,56 | 6,95 | 7,17 | 7,41 | 7,42 | 7,28 | 7,5 |
| Conductividad | μS/cm | Cond. | 1217 | 1256 | 1398 | 1201 | 1251 | 1268 | 1222 | 1105 | 1010 | 1119 |
| Sólidos Disueltos | mg/l | STD | 622 | 659 | 751 | 661 | 701 | 672 | 650 | 614 | 553 | 630 |
| Totales | | | | | | | | | | | | |
| Temperatura | °C | Temp. | 23,7 | 23,4 | 21 | 20,2 | 22,4 | 21,6 | 21,4 | 19,3 | 20,4 | 18,6 |
| Oxígeno disuelto | mg/l | OD | 1,32 | 0,62 | 0,29 | 0,13 | 0,43 | 0,4 | 0,26 | 0,25 | 0,21 | 1,56 |
| % Saturación | % | %Sat. | 20,4 | 9,6 | 4,4 | 1,9 | 2,45 | 2,17 | 3,9 | 3,6 | 3 | 21,8 |
| Oxígeno disuelto | | | | | | | | | | | | |
| Turbiedad | NTU | Turb. | 155 | 109 | 84 | 16,65 | 140 | 30,5 | 100 | 108 | 123 | 14,1 |
| Demanda | mg/l | DQO | 463 | 360 | 310 | 72 | 838 | 527 | 391 | 255 | 731 | 278 |
| Química de Oxígeno | | | | | | | | | | | | |
| Nitritos | mg/l | NO ₂ ⁻ | 0,037 | 0,028 | 0,006 | 0,041 | 0,034 | 0,025 | 0,028 | 0,011 | 0,039 | 0,025 |
| Nitratos | mg/l | NO ₃ ⁻¹ | 23,9 | 13,8 | 22,3 | 12,6 | 26,27 | 21,1 | 15 | 9,6 | 18,6 | 7 |
| Nitrógeno | mg/l | NH ₄ ⁺ | 50 | 47 | 17 | 8 | 90 | 90 | 80 | 24 | 100 | 90 |
| Amoniacal | | | | | | | | | | | | |
| Fosfatos | mg/l | PO ₄ ⁻³ | 24,1 | 11,4 | 25,2 | 22,5 | 28,8 | 22 | 26 | 23,3 | 25 | 21 |

Tabla 10*Parámetros fisicoquímicos evaluados en el humedal de la especie Typha latifolia*

| PARÁMETRO ANALIZADO | UNIDAD | EXPRESADO EN | 1 de septiembre | | 15 de septiembre | | 29 de septiembre | | 13 de octubre | | 27 de octubre | |
|----------------------------|--------|-------------------------------|-----------------|--------|------------------|--------|------------------|--------|---------------|--------|---------------|--------|
| | | | Entrada | Salida | Entrada | Salida | Entrada | Salida | Entrada | Salida | Entrada | Salida |
| pH | n/a | pH | 7,14 | 7,13 | 7,31 | 7,45 | 6,95 | 7,14 | 7,41 | 7,27 | 7,28 | 7,4 |
| Conductividad | μS/cm | Cond. | 1217 | 1295 | 1398 | 1209 | 1251 | 1237 | 1222 | 1116 | 1010 | 1165 |
| Sólidos Disueltos | mg/l | STD | 622 | 668 | 751 | 672 | 701 | 671 | 650 | 619 | 553 | 663 |
| Totales | | | | | | | | | | | | |
| Temperatura | °C | Temp. | 23,7 | 23,2 | 21 | 18,9 | 22,4 | 20,7 | 21,4 | 19,8 | 20,4 | 18,5 |
| Oxígeno disuelto | mg/l | OD | 1,32 | 0,56 | 0,29 | 0,12 | 0,43 | 0,40 | 0,26 | 0,21 | 0,21 | 1,09 |
| % Saturación | % | %Sat. | 20,4 | 8,7 | 4,4 | 1,7 | 2,45 | 2,3 | 3,9 | 3 | 3 | 15,2 |
| Oxígeno disuelto | | | | | | | | | | | | |
| Turbiedad | NTU | Turb. | 155 | 101 | 84 | 18 | 140 | 22,9 | 100 | 77,7 | 123 | 20 |
| Demanda | mg/l | DQO | 463 | 290 | 310 | 88 | 838 | 512 | 391 | 290 | 731 | 240 |
| Química de Oxígeno | | | | | | | | | | | | |
| Nitritos | mg/l | NO ₂ ⁻ | 0,037 | 0,008 | 0,006 | 0,026 | 0,034 | 0,026 | 0,028 | 0,02 | 0,039 | 0,016 |
| Nitratos | mg/l | NO ₃ ⁻¹ | 23,9 | 16 | 22,3 | 5,5 | 26,27 | 26,4 | 15 | 13,5 | 18,6 | 5,9 |
| Nitrógeno Amoniacal | mg/l | NH ₄ ⁺ | 50 | 39 | 17 | 9 | 90 | 84 | 80 | 12 | 100 | 99 |
| Fosfatos | mg/l | PO ₄ ⁻³ | 24,1 | 17,1 | 25,2 | 21 | 28,8 | 26,7 | 26 | 25,4 | 25 | 24,8 |

Tabla 11

Parámetros fisicoquímicos evaluados en el humedal mixto de la especie Schoenoplectus californicus y Typha latifolia

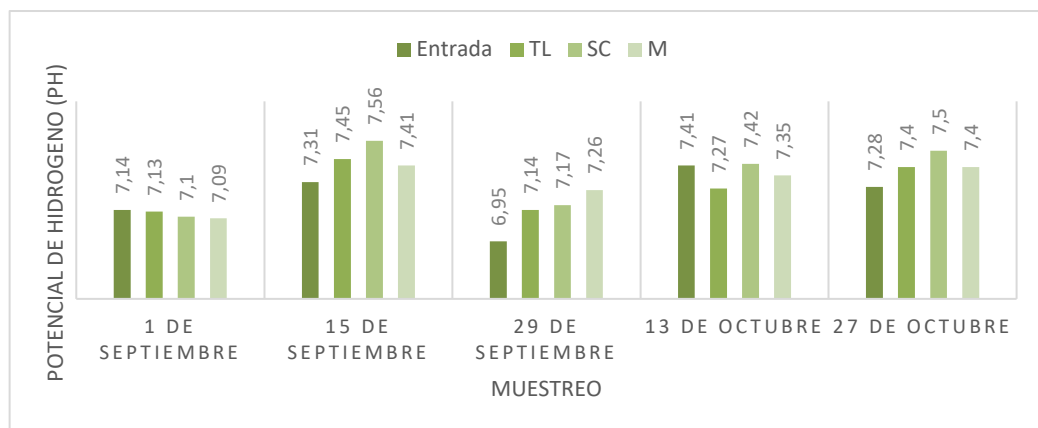
| PARÁMETRO ANALIZADO | UNIDAD | EXPRESADO EN | 1 de septiembre | | 15 de septiembre | | 29 de septiembre | | 13 de octubre | | 27 de octubre | |
|--------------------------|--------|-------------------------------|-----------------|--------|------------------|--------|------------------|--------|---------------|--------|---------------|--------|
| | | | Entrada | Salida | Entrada | Salida | Entrada | Salida | Entrada | Salida | Entrada | Salida |
| pH | n/a | pH | 7,14 | 7,09 | 7,31 | 7,41 | 6,95 | 7,26 | 7,41 | 7,35 | 7,28 | 7,4 |
| Conductividad | μS/cm | Cond. | 1217 | 1230 | 1398 | 1220 | 1251 | 1218 | 1222 | 1090 | 1010 | 1137 |
| Sólidos Disueltos | mg/l | STD | 622 | 645 | 751 | 668 | 701 | 662 | 650 | 611 | 553 | 616 |
| Totales | | | | | | | | | | | | |
| Temperatura | °C | Temp. | 23,7 | 22,9 | 21 | 19,1 | 22,4 | 20,2 | 21,4 | 18,8 | 20,4 | 19,8 |
| Oxígeno disuelto | mg/l | OD | 1,32 | 0,76 | 0,29 | 0,12 | 0,43 | 0,22 | 0,26 | 0,19 | 0,21 | 0,72 |
| % Saturación | % | %Sat. | 20,4 | 11,6 | 4,4 | 1,7 | 2,45 | 1,68 | 3,9 | 2,7 | 3 | 10,2 |
| Oxígeno disuelto | | | | | | | | | | | | |
| Turbiedad | NTU | Turb. | 155 | 99 | 84 | 20,2 | 140 | 91 | 100 | 75,3 | 123 | 26 |
| Demanda | mg/l | DQO | 463 | 286 | 310 | 184 | 838 | 575 | 391 | 273 | 731 | 258 |
| Química de | | | | | | | | | | | | |
| Oxígeno | | | | | | | | | | | | |
| Nitritos | mg/l | NO ₂ ⁻ | 0,037 | 0,029 | 0,006 | 0,038 | 0,034 | 0,012 | 0,028 | 0,013 | 0,039 | 0,018 |
| Nitratos | mg/l | NO ₃ ⁻¹ | 23,9 | 13,4 | 22,3 | 14 | 26,27 | 12,9 | 15 | 10,5 | 18,6 | 8 |
| Nitrógeno | mg/l | NH ₄ ⁺ | 50 | 43 | 17 | 6 | 90 | 110 | 80 | 23 | 100 | 70 |
| Amoniacal | | | | | | | | | | | | |
| Fosfatos | mg/l | PO ₄ ⁻³ | 24,1 | 11,9 | 25,2 | 23,7 | 28,8 | 25 | 26 | 24,4 | 25 | 23,8 |

- **pH.**

Los valores del potencial de hidrogeno obtenidos desde el primer muestreo en los diferentes tratamientos aplicados con las especies *Typha latifolia*, *Schoenoplectus californicus* y mixto con estos dos macrófitos respectivamente, como podemos ver en la Figura 10, oscilan entre valores de 6.95 como mínimo y un valor de 7.56 como valor más alto, con una medida media del pH de 7.28, dicho valor se interpreta como neutro, recordemos que entre más bajo es este valor, más ácido es el medio donde se desarrollan las macrófitas y al contrario cuando más alto tenemos este valor se cataloga como un medio básico. De tal manera se define este medio como idóneo para la proliferación y adecuado tratamiento de este tipo de aguas residuales mediante la fitorremediación con los macrófitos aplicados, debido a que si el afluente a tratar es demasiado ácido o básico, influencia de manera negativa al adecuado tratamiento del agua residual, de igual manera si el efluente resultante de los tratamientos tienen características muy básicas o muy acidas generan un impacto negativo al medio donde dicho caudal se reintroduzca o dificulta su reutilización.

Figura 9

*pH obtenido en el tratamiento con las especies *Typha latifolia* (TL), *Schoenoplectus californicus* (SC) y mixto (M) respectivamente*



Nota. En la Figura se observa los valores de pH obtenidos en los cinco muestreos realizados a los diferentes tratamientos aplicados, donde *Typha latifolia* (TL), *Schoenoplectus californicus* (SC) y mixto (M) respectivamente.

Los resultados obtenidos en el estudio con la especie *Typha latifolia* (TL), se asemejan a los obtenidos en el estudio realizado por Vásquez & Suarez (2020), debido a que sus valores oscilan entre 6 -7 niveles de pH, donde se evaluó este parámetro en diferentes muestreos durante seis meses, los resultados obtenidos para este parámetro pueden concluir que el pH una vez tratado con este macrófito está en un rango neutro. De igual manera ocurre con el efluente proveniente del tratamiento con la especie *Schoenoplectus californicus* donde ocurre un comportamiento similar, teniendo como resultado un rango neutro para todos los tratamientos aplicados en el estudio. Debemos tener en cuenta que el rango aceptable para la utilización de los efluentes en el riego debe estar en el rango de 6.5 y 8.4 de p H, con el fin de evitar problemas en el desarrollo y adaptabilidad de las plantas en el medio.

Dado esto se concluye que los valores obtenidos del pH en los diferentes tratamientos aplicados en la investigación cumplen con el Acuerdo Ministerial 097-A ANEXO 1 del libro VI del TULSMA: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluente al recurso agua. Tabla 8. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público.

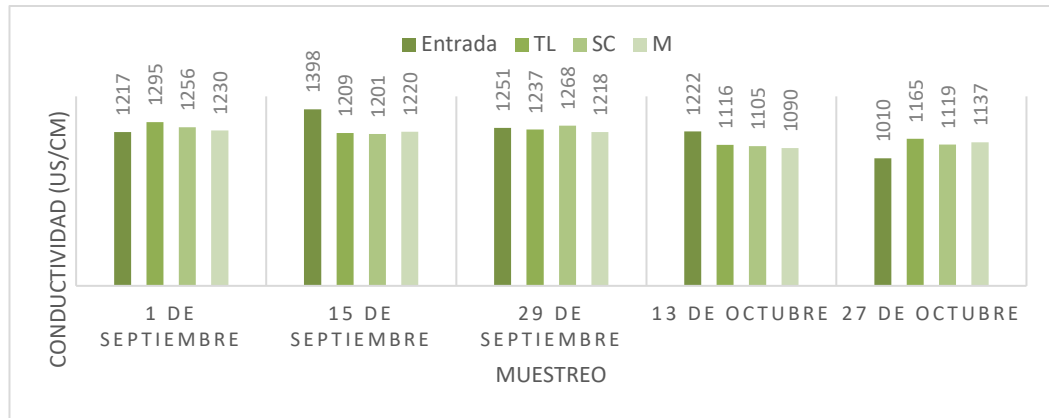
- **Conductividad eléctrica**

Los valores obtenidos acerca de la conductividad eléctrica como podemos apreciar en la Figura 11, en el primer y el ultimo muestreo revelan que no se disminuyó la carga salina del agua residual en ninguno de los tratamientos, a diferencia del segundo, tercero y cuarto muestreo donde se distingue una disminución, aunque no tan marcada de la carga salina del agua tratada. Como valor mínimo de salinidad obtenido tenemos un valor de 1010 uS/cm, como valor máximo tenemos 1398 uS/cm y como media tenemos 1198,2 uS/cm, se asume que estos valores son normales y no hay una contaminación excesiva con sales en el agua residual, excluyendo de esta conclusión a los nitritos y fosfatos que a pesar de que aportan a la salinidad, dicho aporte es insignificante. Al no existir una norma ecuatoriana de descarga de alcantarillado para este parámetro podemos decir que estos valores son normales y son adecuados para que el efluente se reutilice o se

reintroduzca a un cuerpo de agua natural, teniendo en cuenta que una salinidad excesiva daña los cultivos o ser toxica para la biota del medio recaudador.

Figura 10

*Conductividad eléctrica obtenida en el tratamiento con las especies *Typha latifolia* (TL), *Schoenoplectus californicus* (SC) y mixto (M) respectivamente*



Nota. En la Figura se observa los valores de conductividad eléctrica obtenidos en los cinco muestreos realizados a los diferentes tratamientos aplicados, donde *Typha latifolia* (TL), *Schoenoplectus californicus* (SC) y mixto (M) respectivamente.

Debemos tener en cuenta lo mencionado por Tejedor (2019), que menciona que el caudal utilizado en el riego para la agricultura debe tener menos de 1000 uS/cm, se menciona que para el uso de riego en áreas verdes este valor no debe sobrepasar los 1300 uS/cm y al contrastar los resultados obtenidos en la investigación, estos se ajustan a los límites establecidos por este autor según el uso del efluente. El estudio realizado por Quispe & Winston, (2021), donde se utilizó la metodología de humedales artificiales con la especie *Schoenoplectus lacustris* y se obtuvo una conductividad menor a la obtenida en nuestro estudio debido a que combinaron esta técnica con una serie de sustratos y añadieron abono orgánico con el fin de tener en el sistema muchos más microorganismos y bacterias que aporten de manera positiva del saneamiento del afluente y se obtuvo un valor promedio de 850 uS/cm para este parámetro.

- **Sólidos disueltos totales**

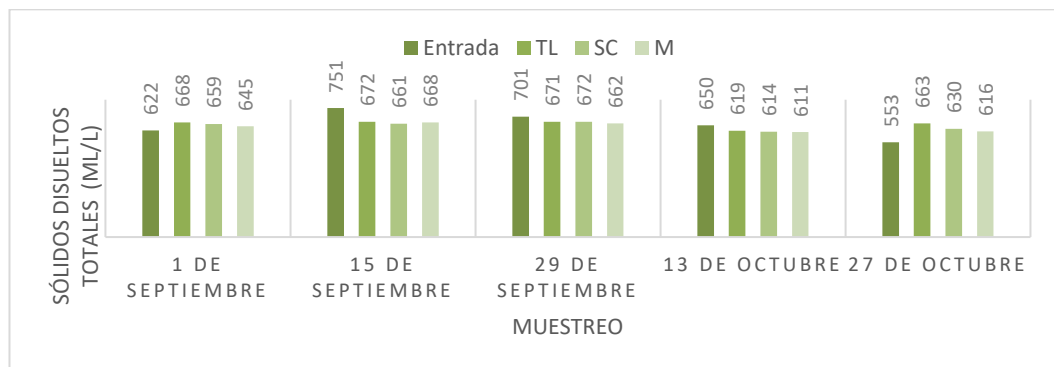
Los valores de los sólidos disueltos totales obtenidos en el estudio como podemos ver en la Figura 12, en el primer muestreo y el ultimo, no se obtuvo

resultados en los que hayan disminuido este factor, sin embargo, en los muestreos dos, tres y cuatro vemos que la cantidad de sólidos disueltos disminuye luego de los diferentes tratamientos acentuándose la disminución de este factor en el segundo muestreo. Además, se observa que no existe diferencia significativa entre los diferentes tratamientos en la remoción de este parámetro y el orden en que los tratamientos removieron más sólidos disueltos totales es en primer lugar el tratamiento mixto, seguido del tratamiento con *Schoenoplectus californicus* (SC) y finalmente el tratamiento con *Typha latifolia* (TL).

Los resultados obtenidos en la investigación obedecen a que los humedales que se implementaron en el estudio no cuentan con una gran superficie de contacto con los macrófitos, la disminución de este parámetro es directamente proporcional a la superficie de contacto que tiene el agua residual con el tratamiento aplicado y se necesitaría de una gran infraestructura. En nuestro país no existe normativa de descarga de alcantarillado que ponga límites a este parámetro y se concluye que los resultados obtenidos en este parámetro son adecuados para la reutilización del efluente o para la reintroducción a un cuerpo de agua natural, sin embargo, debemos tener en cuenta que si este valor es muy alto diera lugar a problemas con la adsorción de contaminantes y facilitar su transporte y tener un impacto negativo en la biota donde se disponga este efluente.

Figura 11

Sólidos disueltos totales (SDT) obtenido en el tratamiento con las especies *Typha latifolia* (TL), *Schoenoplectus californicus* (SC) y mixto (M) respectivamente



Nota. En la Figura se observa los valores de Sólidos disueltos totales obtenidos en los cinco muestreos realizados a los diferentes tratamientos aplicados, donde *Typha latifolia* (TL), *Schoenoplectus californicus* (SC) y mixto (M) respectivamente.

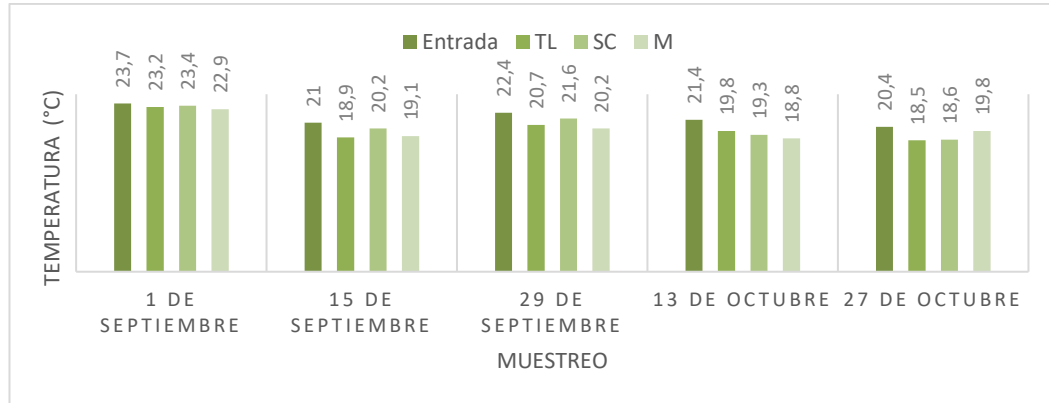
En el estudio realizado por Caisachana & Muñoz (2020), donde se evaluó la fitorremediación con la especie *Lemna minor*, mencionan que valores superiores a 1000 ml/L pueden afectar a la calidad del agua, sin embargo los resultados obtenidos en nuestro estudio están muy por debajo de este límite con valor máximo de 688 ml/L una vez tratado el efluente, dichos valores sobrepasan los estándares establecidos por la USEPA que tiene como valor máximo 500 ml/L para agua de consumo, los valores obtenidos en nuestro estudio se ajustan a la normativa mexicana que limita este parámetro a tener menos de 1000 ml/L. Se concluye que los resultados obtenidos para este parámetro en nuestro estudio tienen un valor aceptable para la reutilización del efluente en el riego de áreas verdes.

- **Temperatura**

La temperatura tomada en los diferentes muestreos realizados a los tratamientos muestran que para el tratamiento con la especie *Typha latifolia*, en los cinco muestreos se obtuvo una disminución en comparación con su afluente y sus valores oscilan entre 23.2 – 18.5 °C, de igual manera los valores obtenidos en los tratamientos con la especie *Schoenoplectus californicus* (SC) y mixto (M), tuvieron una disminución en comparación con la temperatura del caudal de entrada con valores entre 23.4 – 18.6 °C y 22.9 – 18.8 °C respectivamente como podemos apreciar en la Figura 13. Este factor está directamente relacionado con la actividad biológica y la cantidad de gases emanados por el agua residual, se asume que los valores obtenidos en el estudio en comparación con los límites establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A ANEXO 1 del libro VI del TULSMA: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluente al recurso agua. Tabla 8. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público, cumple con la normativa que establece como valor máximo para este parámetro de 40 °C, el efluente resultante de los tratamientos es adecuado para su reutilización o para la descarga en cuerpos de agua natural.

Figura 12

Temperatura (T) obtenido en el tratamiento con las especies Typha latifolia (TL), Schoenoplectus californicus (SC) y mixto (M) respectivamente



Nota. En la Figura se observa los valores de Temperatura obtenidos en los cinco muestreos realizados a los diferentes tratamientos aplicados, donde *Typha latifolia* (TL), *Schoenoplectus californicus* (SC) y mixto (M) respectivamente.

Según el estudio realizado por Mendoza et al. (2018), donde se evaluó el aporte en la depuración de aguas residuales municipales con las especies *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes*, menciona que este parámetro es muy importante en el tratamiento de aguas residuales y de este factor dependen muchos procesos biológicos, el intervalo estándar permisible para que dichos procesos biológicos se den de manera adecuada en el tratamiento de aguas residuales esta entre 20-35 °C. Dicho rango en contraste con nuestros resultados se encuentra entre los estándares aceptables, debido a que valores cercanos de este parámetro a los 50 °C limitan la digestión aerobia y la nitrificación bacteriana tiende a detenerse o el otro extremo cuando la temperatura baja de los 5 °C comienza a inhibirse la actividad bacteriana.

- **Oxígeno disuelto**

El comportamiento del oxígeno disuelto tubo tendencia a la baja en comparación con los valores obtenidos del caudal de entrada una vez que se aplicó los tres tipos de tratamiento con los macrófitos respectivamente como se aprecia en la Figura 14, sin embargo, estos valores se obtuvieron en los muestreos del uno al cuatro, exceptuando el quinto muestro donde se observa una variación en los valores obtenidos debido a que el valor de entrada es mucho menor a los valores de

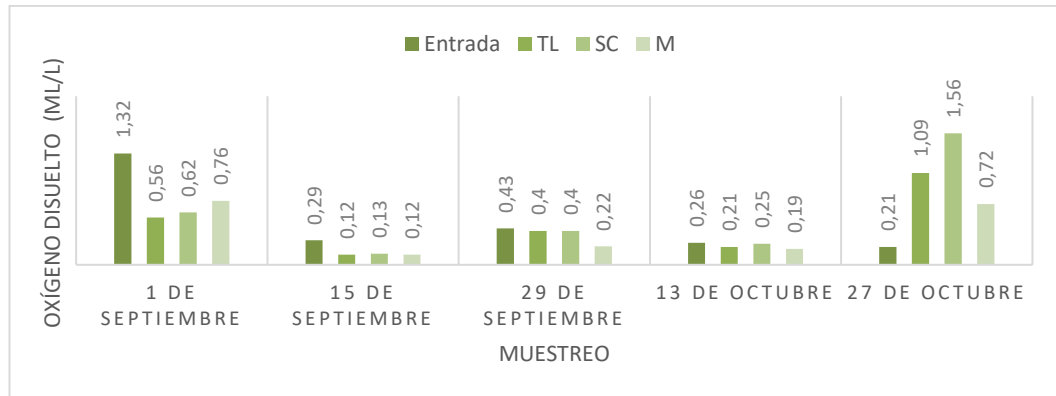
salida del caudal, tenemos un valor de entrada de 0,21 ml/L y salidas de 1.09, 1.56 y 0.72 ml/L en los tratamientos respectivamente.

Los valores obtenidos obedecen a que las aguas residuales tratadas contienen una gran cantidad de materia orgánica proveniente de desechos de humanos y animales, el requerimiento de oxígeno para la oxidación es alto y se ve afectada la eficiencia de los macrófitos al momento de reponer el oxígeno disuelto mediante la fotosíntesis al efluente resultante del tratamiento, a diferencia del quinto muestreo donde se pudo observar un importante aporte de este factor una vez realizado los tratamientos. En este último tratamiento se aprecia que el tratamiento con *Schoenoplectus californicus* obtuvo el nivel más alto de oxigenación con un valor de 1,56 ml/L, seguido del tratamiento con *Typha latifolia* con un valor de 1,09 ml/L y finalmente el tratamiento mixto tuvo un valor de 0,72 ml/L.

Los valores obtenidos en este parámetro resaltan por ser muy bajos, a pesar de esto, esta variable no representa un peligro potencial si el efluente es reutilizado en el riego de áreas verdes, si el efluente es reintroducido a un curso de agua natural este afecta la biota debido a que los valores normales para un adecuado desarrollo de la vida deben darse en un rango de 5-6 ppm. Sin embargo, al no existir un límite establecido para este parámetro en la normativa para descarga de alcantarillado en nuestro país y se toma los valores obtenidos en nuestra investigación como aceptables.

Figura 13

*Oxígeno disuelto (OD) obtenido en el tratamiento con las especies *Typha latifolia* (TL), *Schoenoplectus californicus* (SC) y mixto (M) respectivamente*



Nota. En la Figura se observa los valores de Oxígeno disuelto obtenidos en los cinco muestreos realizados a los diferentes tratamientos aplicados, donde *Typha latifolia* (TL), *Schoenoplectus californicus* (SC) y mixto (M) respectivamente.

En el estudio realizado por Puma et al. (2022), donde se evaluó la especie *Schoenoplectus californicus* (SC) como purificador del efluente de una granja porcina experimental en la zona de Huancavelica del Perú, muestran a un afluente con valor 1.11 ml/L de OD y el efluente de 8.25 ml/L, en contraste con los valores obtenidos en nuestro estudio el aumento del OD lo tenemos en el quinto muestreo donde se asume una adaptabilidad completa de esta especie en el tratamiento del agua residual con una entrada y salida de 0.21ml/L y 1.09 ml/L respectivamente. En el estudio de García (2017), donde se evaluó la fitorremediación en efluentes provenientes de recintos municipales de Toluca, tenemos a la especie *Typha spp.* que se implementó en humedales artificiales para evaluar la capacidad de fitorremediación de afluentes con alta carga orgánica y al igual que en nuestro estudio se obtuvieron valores bajos en el efluente para este parámetro debido a la alta carga orgánica y a la oxidación de la misma que se da en el proceso de depuración.

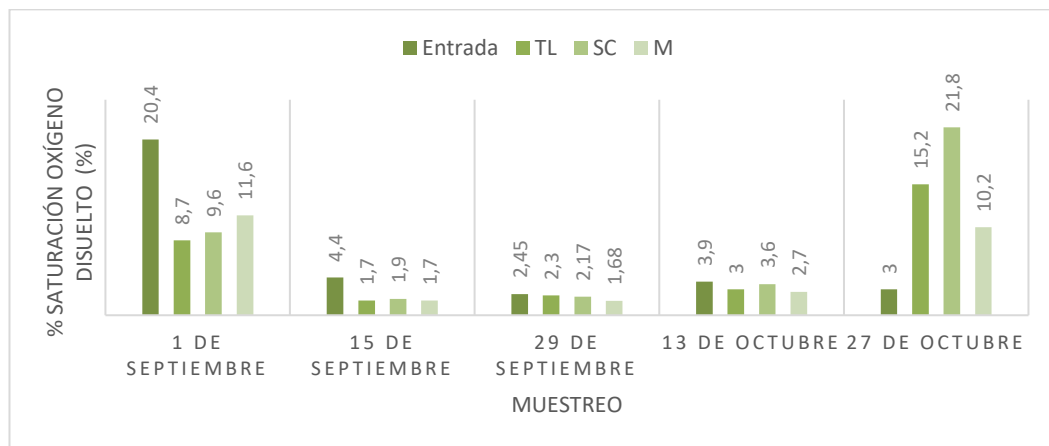
- **Porcentaje de saturación de oxígeno**

Los niveles de saturación de oxígeno obtenidos está directamente relacionados con la cantidad de oxígeno disuelto, en la Figura 15 apreciamos que desde el primero hasta el cuarto muestreo se aprecia una tendencia a la baja en la

saturación de oxígeno, sin embargo, en el quinto muestreo se aprecia que dicha tendencia cambia y podemos ver que la saturación de oxígeno es mayor a comparación con la entrada y se asume que la oxigenación mediante la fotosíntesis de la planta supera el consumo de oxígeno requerida en la oxidación de la materia orgánica, esto se debe a la producción de hidratos de carbono que seguidamente traen un adecuado aporte de nutrientes a las plantas utilizadas en los tratamientos y una adecuada depuración. A pesar de toda esta variación al observar los valores de saturación de oxígeno, podemos decir que es pobre debido a que tenemos valores mucho menores al 60%, sin embargo, al no contar con límites permisibles en normativa de descarga de alcantarillado a nivel nacional, se concluye que los niveles de saturación de oxígeno son aceptables, aunque se debe tomar en cuenta el fin que se dé al efluente para realizar una oxigenación posterior al tratamiento.

Figura 14

*Porcentaje de saturación de oxígeno (% Sat.) obtenido en el tratamiento con las especies *Typha latifolia* (TL), *Schoenoplectus californicus* (SC) y mixto (M) respectivamente*



Nota. En la Figura se observa los valores de Porcentaje de saturación de oxígeno obtenidos en los cinco muestreos realizados a los diferentes tratamientos aplicados, donde *Typha latifolia* (TL), *Schoenoplectus californicus* (SC) y mixto (M) respectivamente.

Según Araque et al. (2020), donde evaluó la fitorremediación en aguas residuales sin un previo tratamiento, menciona que cantidades bajas de este parámetro se debe a la gran cantidad de materia en descomposición del afluente tratado, esto debido principalmente a la actividad microbiana en la descomposición

de la materia orgánica. La cantidad de saturación de este factor varía durante el día debido a que este depende de factores como la temperatura, microorganismos en el medio y plantas, oxidación química y factores como salinidad, altitud y contenido mineral del agua, estos tres factores últimos tienen una relación inversamente proporcional con este parámetro.

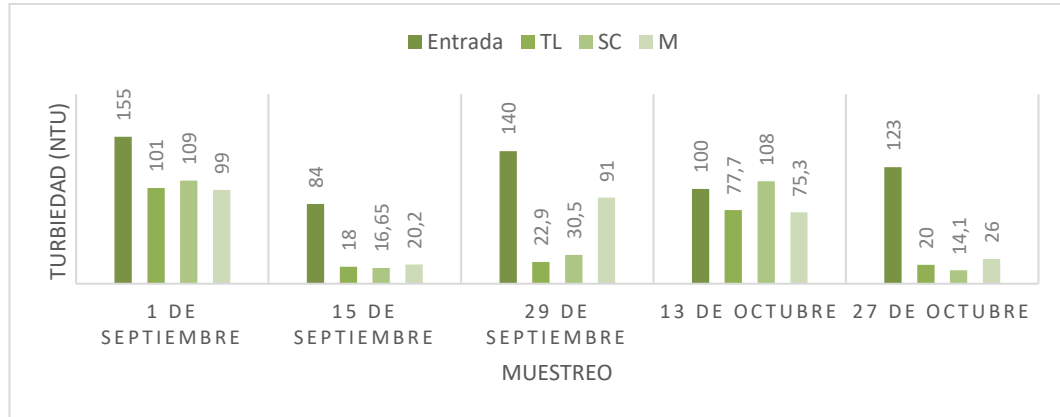
- **Turbiedad**

El comportamiento de la turbidez en los tratamientos tubo una tendencia satisfactoria debido a que en comparación con las entradas en los diferentes tratamientos este factor disminuyó en los cinco muestreos según podemos apreciar en la Figura 16. A pesar de esto, se observa una mayor remoción de la turbidez en el quinto muestreo donde el tratamiento con la especie *Schoenoplectus californicus* (SC), que tuvo la mayor remoción con un valor de 14,1 NTU, seguido del tratamiento con la especie *Typha latifolia* (TL) con valor de 20 NTU y finalmente tenemos el tratamiento Mixto (M) con valor de 26 NTU. Al contrario de este análisis en el primer muestro mostro la menor remoción de este factor en los tratamientos, esto seguramente al proceso de adaptación de los macrófitos utilizados en el tratamiento.

El límite permisible en la normativa nacional para descarga de alcantarillado es inexistente y se concluye que los valores obtenidos en el estudio son aceptables para su reutilización o disposición final en cuerpos de agua natural, sin embargo, los valores son altos y afecta directamente a otros factores como la temperatura y el oxígeno disuelto del agua. Si las partículas en suspensión absorben la luz del sol e incrementan la temperatura, su relación inversamente proporcional con la cantidad de oxígeno disuelto tiende a disminuir, adicional a esto, las partículas adsorben diferentes metales y contaminantes potencialmente peligrosos. De forma paralela inciden de manera negativa en la absorción de los contaminantes por las plantas utilizadas en el tratamiento porque las partículas disueltas en el agua tratada se adhieren a las raíces de los macrófitos y no permiten una correcta en la toma de contaminantes del medio.

Figura 15

*Turbiedad (Turb.) obtenido en el tratamiento con las especies *Typha latifolia* (TL), *Schoenoplectus californicus* (SC) y mixto (M) respectivamente*



Nota. En la Figura se observa los valores de Turbiedad obtenidos en los cinco muestreos realizados a los diferentes tratamientos aplicados, donde *Typha latifolia* (TL), *Schoenoplectus californicus* (SC) y mixto (M) respectivamente.

En el estudio realizado por Bedoya et al. (2014), se realizó una evaluación de humedales con la especie *Typha latifolia* en el tratamiento de aguas residuales provenientes en una universidad de Antioquia en Colombia, se comparó la entrada a los humedales con un nivel de 33 NTU y una vez realizado el tratamiento con esta especie este parámetro bajo a 5.1 NTU, en contraste con los resultados obtenidos en nuestra investigación se asume que esta tendencia se mantuvo debido a que una vez tratada el agua residual este parámetro disminuyo en todos los tratamientos, sin embargo, nuestros resultados están muy por encima de los obtenidos en ese estudio debido que se obtuvo valores altos.

- **Demanda química de oxígeno**

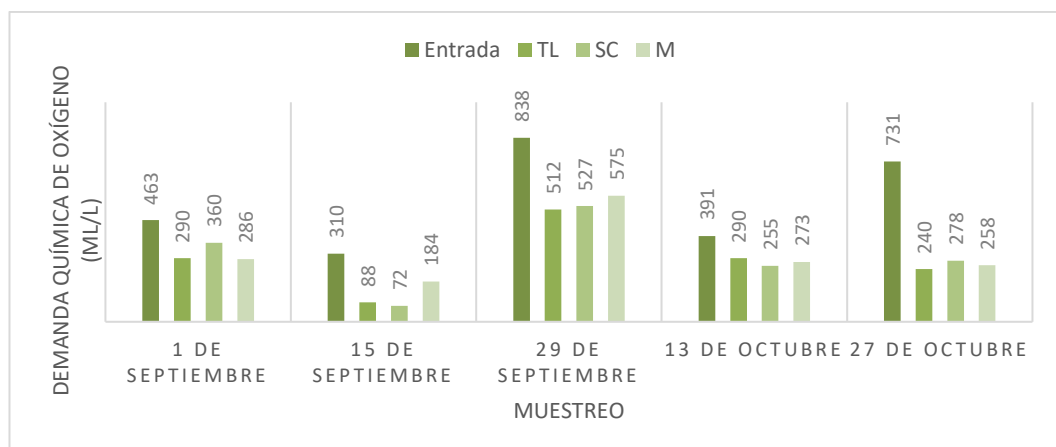
El comportamiento de este parámetro tuvo resultados satisfactorios debido a que disminuyo en los cinco muestreos en comparación con la entrada una vez realizados los diferentes tratamientos como vemos en la Figura 17, dichos resultados son muy importantes debido a que se asevera un adecuado tratamiento del afluente, debido que este factor está directamente relacionado con la cantidad de oxígeno necesario para la oxidación de los contaminantes como la materia orgánica y el hecho que tengamos una disminución confirma que tenemos un buen

saneamiento de agua residual y una buena producción de hidratos de carbono que nutren a las plantas utilizadas.

En el quinto muestreo se aprecia que se disminuyó una gran cantidad del DQO y fue en el que obtuvimos mejores resultados, el tratamiento que más disminuyó este parámetro fue en el que se aplicó la especie *Typha latifolia* (TL) donde se obtuvo un valor de 240 ml/L, seguido del tratamiento mixto (M) donde tenemos un valor de 258 ml/L y finalmente tenemos el tratamiento con *Schoenoplectus californicus* (SC) con un valor de 278 ml/L. A pesar de esta tendencia a la baja tenemos que en el tercer muestreo no se alcanzó a cumplir con los límites permisibles establecidos para este factor en la normativa nacional debido a que excede los 500 ml/L, sin embargo, a pesar de este resultado en los demás muestreos se aprecia que los valores para este parámetro se ajustan a los límites permisibles establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A ANEXO 1 del libro VI del TULSMA: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluente al recurso agua. Tabla 8. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público, se concluye que se realizó un adecuado tratamiento de las aguas residuales.

Figura 16

Demanda química de oxígeno (DQO) obtenido en el tratamiento con las especies Typha latifolia (TL), Schoenoplectus californicus (SC) y mixto (M) respectivamente



Nota. En la Figura se observa los valores de Demanda química de oxígeno obtenidos en los cinco muestreos realizados a los diferentes tratamientos aplicados, donde *Typha latifolia* (TL), *Schoenoplectus californicus* (SC) y mixto (M) respectivamente.

En el estudio realizado por Sánchez et al. (2021), sobre la eficiencia de los humedales artificiales con *Schoenoplectus californicus* sobre el efluente de una granja porcícola en Perú, realizaron una comparación en el DQO de la entrada y salida del humedal con esta especie teniendo como resultado una entrada de 559.45 ml/L y en salida una vez tratado el efluente un valor de 118.15 ml/L, en contraste con estos valores nuestros resultados siguen esta tendencia en todos los tratamientos aplicados incluyendo donde se aplicó el tratamiento con la totora, que a comparación con la entrada estos valores disminuyen. Finalmente concluye que, en relación con la eficiencia en la remoción de este parámetro, estadísticamente existe eficiencia en la depuración del efluente una vez aplicado el tratamiento con la especie en estudio y se tiene resultados positivos en la degradación de la materia orgánica de la porcícola.

- **Nitrógeno amoniacal**

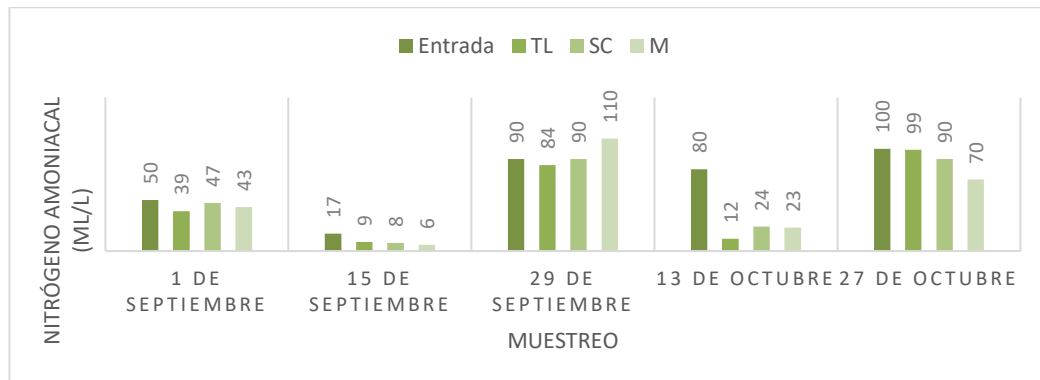
Este parámetro tuvo un comportamiento con valores que tienden a disminuir en los muestreos realizados como podemos ver en la Figura 18, excepto en el muestreo número tres donde el tratamiento mixto (M) presentó un valor mucho mayor en comparación con la entrada, 110 ml/L y 90 ml/L respectivamente, mientras que el tratamiento con la especie *Schoenoplectus californicus* (SC) presentó el mismo valor de entrada y finalmente en el tratamiento donde se aplicó la especie *Typha latifolia* (TL) presentó un ligero descenso en comparación con la entrada con un valor de 84 ml/L. En el muestreo número cuatro se aprecia que hay una disminución significativa en este factor en comparación con la entrada y se obtuvo una mayor eficacia de remoción en el tratamiento aplicado con el macrófito *Typha latifolia* (TL) con un valor de 12 ml/L, seguido de tratamiento mixto (M) donde se obtuvo un valor de 23 ml/L y finalmente tenemos el tratamiento con la especie *Schoenoplectus californicus* (SC) con valor de 24 ml/L.

A pesar de que en la normativa nacional para descarga de alcantarillado no se establece un límite permisible para este parámetro podemos concluir que los niveles obtenidos en los efluentes de los tratamientos son aceptables, debido a que en su mayoría los valores disminuyeron en comparación con las entradas de los tratamientos. El agua de los caudales resultantes es propicia para su reutilización en

el riego de áreas verdes, no obstante, para la descarga en cuerpos de agua natural se debe tener precaución con estos valores y deben ser mínimos debido a su toxicidad para la biota.

Figura 17

*NH₄⁺ obtenido en el tratamiento mixto con las especies *Typha latifolia* (TL), *Schoenoplectus californicus* (SC) y mixto (M) respectivamente*



Nota. En la Figura se observa los valores de NH_4^+ obtenidos en los cinco muestreos realizados a los diferentes tratamientos aplicados, donde *Typha latifolia* (TL), *Schoenoplectus californicus* (SC) y mixto (M) respectivamente.

En la implementación de humedales artificiales para el control de la eutrofización en el lago del Bosque de San Juan Aragón, realizado por Luna & Aburto (2014), obtuvieron valores promedio para este parámetro de 11 ml/L, esto refleja directamente el sitio donde se realizó este muestreo que era un cuerpo de agua con principios de eutrofización mas no directamente a un afluente de alcantarillado. Sin embargo, una vez realizado el tratamiento con los humedales este parámetro disminuyo y de igual manera el peligro de eutrofización por excedente de nitrógeno. Esto refleja una buena alternativa para el tratamiento de este nutriente en aguas residuales mediante la técnica de los humedales artificiales aplicada, debido a que esta tendencia se mantuvo en la evaluación de este parámetro en nuestro estudio.

- **Nitritos**

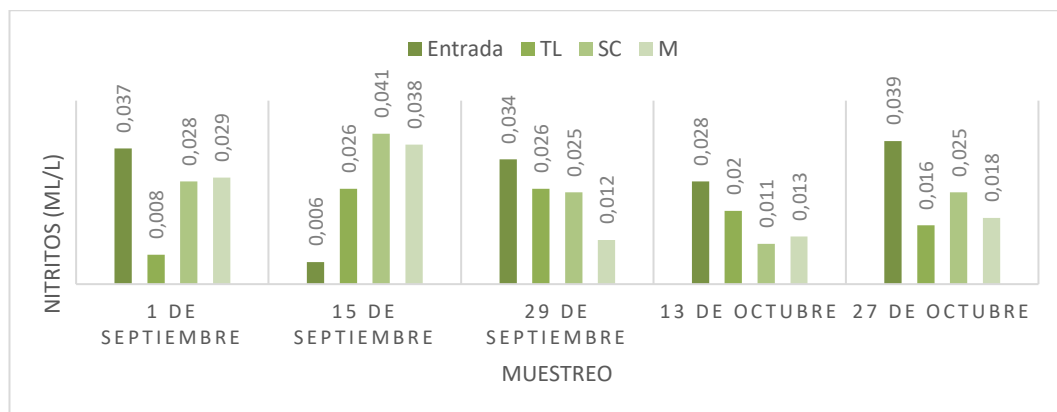
El comportamiento de este nutriente en el tratamiento de aguas residuales presento una tendencia a la baja a excepción del muestreo número dos, donde se aprecia un aumento en el efluente de los tratamientos en comparación con la

entrada. La mayor remoción de este nutriente la tenemos en muestreo número cinco como podemos ver en la Figura 19, donde tenemos una mayor remoción con el tratamiento donde se aplicó el macrófito *Typha latifolia* (TL) donde se obtuvo un valor de 0,016 ml/L, a este resultado le siguió el tratamiento mixto (M) con un valor de 0,018 ml/L y finalmente tenemos un valor de 0,025 que corresponde al tratamiento donde se aplicó la especie *Schoenoplectus californicus* (SC).

En nuestro país no existe una normativa ambiental que contenga límites permisibles de descarga de alcantarillado para este parámetro, sin embargo debido a que los resultados obtenidos en la mayoría de muestreos exceptuando en uno, tuvieron una tendencia a la baja y el agua de los efluentes resultantes de los diferentes tratamientos es apta para su reutilización para riego de áreas verdes, pero si este efluente es dispuesto finalmente a un curso de agua natural se debe realizar un seguimiento debido a su toxicidad para la biota y a su potencial contribución a la eutrofización de cuerpos de agua natural.

Figura 18

Nitritos (NO₂)⁻ obtenido en el tratamiento mixto con las especies Typha latifolia (TL), Schoenoplectus californicus (SC) y mixto (M) respectivamente



Nota. En la Figura se observa los valores de Nitritos obtenidos en los cinco muestreos realizados a los diferentes tratamientos aplicados, donde *Typha latifolia* (TL), *Schoenoplectus californicus* (SC) y mixto (M) respectivamente.

En el estudio realizado por Alfaro & Arellano (2018), en la remoción de nitritos y fosfatos en humedales artificiales empleando tres tipos de plantas acuáticas a nivel de laboratorio, la especie del género *Typha* se obtuvo un porcentaje

de remoción del 55.49% para este parámetro a los 35 días de la implementación de este macrófito en el tratamiento. En contraste con nuestro estudio realizado en campo, el adecuado tratamiento se logró a partir de los seis meses que se implementó los macrófitos, el doble de tiempo estimado en laboratorio, esto debido a factores externos que no se pueden controlar y a esto obedece el bajo porcentaje de remoción obtenido en los diferentes tratamientos realizados con los macrófitos.

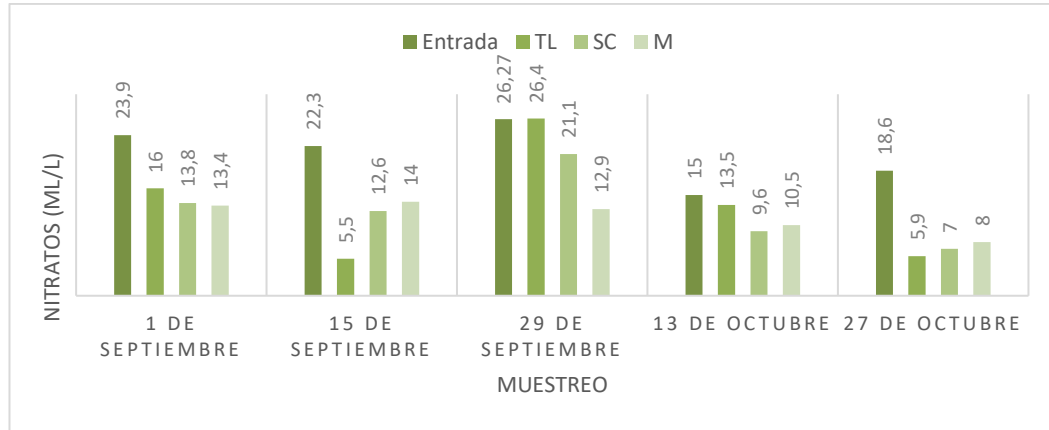
- **Nitratos**

El comportamiento de este parámetro fue satisfactorio para nuestro estudio como podemos apreciar en la Figura 20, debido a que este nutriente disminuyó una vez aplicado los diferentes tratamientos en comparación con las entradas, solo exceptuando del tercer muestreo donde se observa que el tratamiento donde se aplicó la especie *Typha latifolia* (TL) tuvo un ligero aumento en comparación con la entrada con valor de 26,4ml/L y 26,27 ml/L respectivamente. A pesar de esto, vemos que los valores obtenidos de este factor tienden a disminuir en todos los muestreos realizados y se aprecia que en el quinto muestreo se obtuvo la mayor remoción de este nutriente y presentó una mayor eficiencia en el tratamiento donde se aplicó la especie *Typha latifolia* (TL) con un valor de 5,9 ml/L, seguido del tratamiento con el macrófito *Schoenoplectus californicus* (SC) donde se obtuvo un valor de 7 ml/L y finalmente obtuvimos un valor de 8 ml/L que corresponde al tratamiento mixto (M).

En la normativa nacional para descarga de alcantarillado no existe un límite permisible para este parámetro, sin embargo, debido a que este factor tiende a bajar su valor en el agua una vez aplicado el tratamiento y el efluente resultante de los tratamientos es apta para su reutilización en el riego de áreas verdes, pero se debe tener precaución al momento de disponer el agua tratada directamente a un cuerpo de agua dulce debido a que este tipo de nutriente en concentraciones altas es tóxico con la biota del cuerpo de agua receptor, así también aporta a la eutrofización del mismo.

Figura 19

*Nitratos (NO₃)⁻ obtenido en el tratamiento mixto con las especies *Typha latifolia* (TL), *Schoenoplectus californicus* (SC) y mixto (M) respectivamente*



Nota. En la Figura se observa los valores de Nitratos obtenidos en los cinco muestreos realizados a los diferentes tratamientos aplicados, donde *Typha latifolia* (TL), *Schoenoplectus californicus* (SC) y mixto (M) respectivamente.

En el estudio realizado por Richarte (2018), sobre la fitorremediación de aguas mediante la implementación de hidrofitos, muestra resultados impresionantes en la remoción de este parámetro, a los cinco días de la implementación del tratamiento obtuvieron una remoción de casi el 50% y al llegar a los 10 días se llegó a una remoción mayor al 90% y la fitorremediación se concluye como una técnica recomendada para la remoción de este factor, en relación con nuestro estudio se aprecia que se obtuvo resultados similares debido a que la remoción de este parámetro fue considerable y en todos los muestreos tiende a disminuir en comparación con la entrada.

- **Fosfatos**

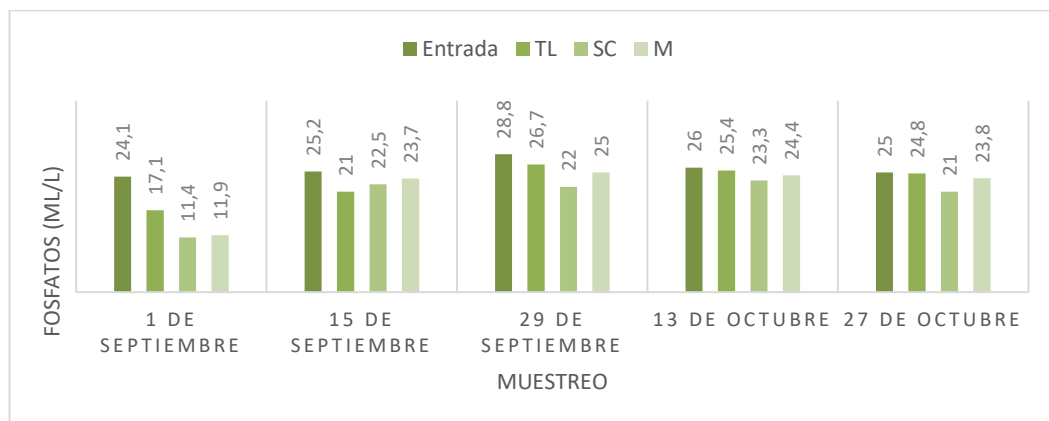
El comportamiento de este nutriente tuvo similaridad con los resultados obtenidos en nutrientes como los nitritos y nitratos, en todos los muestreos vemos valores que tienden a disminuir en comparación con la entrada a los tratamientos como se aprecia en la Figura 21. Sin embargo, se observa que la eficiencia al momento de tratar el agua residual con los macrófitos utilizados en el estudio, es baja y la mayor remoción de este nutriente se aprecia en el primer muestreo donde el tratamiento donde se aplicó la especie *Schoenoplectus californicus* (SC) tuvo la

mayor remoción con un valor de 11,4 ml/L, seguido de cerca por el tratamiento mixto (M) con valor de 11,9 ml/L y finalmente tenemos el tratamiento donde se aplicó el macrófito *Typha latifolia* (TL) que tuvo un valor de 17,1 ml/L.

En la normativa nacional no se establece límites permisibles para la descarga de alcantarillado de este factor, sin embargo, al haber obtenido resultados en los diferentes tratamientos que tienden a disminuir, se concluye que el agua es óptima para la reutilización en el riego de áreas verde debido a que el efluente es rico en este nutriente, a pesar de esto, la descarga de los efluentes tratados en un cuerpo de agua dulce debe darse con precaución debido a los altos niveles presentados al final de los tratamiento con los macrófitos. Esta alta concentración de este nutriente se debe a actividades humanas de los centros urbanos aledaños a la PTAR, en concreto a la utilización de detergentes que tienen como principal componente al fosfato inorgánico que es difícil de tratar por los tratamientos aplicados en la presente investigación.

Figura 20

*Fosfatos (PO_4)⁻³ obtenido en el tratamiento mixto con las especies *Typha latifolia* (TL), *Schoenoplectus californicus* (SC) y mixto (M) respectivamente*



Nota. En la Figura se observa los valores de Fosfatos obtenidos en los cinco muestreos realizados a los diferentes tratamientos aplicados, donde *Typha latifolia* (TL), *Schoenoplectus californicus* (SC) y mixto (M) respectivamente.

En el estudio realizado por Guerra (2018), en el tratamiento de aguas residuales provenientes de industria de producción de lácteos en San Salvador, se realizó fitorremediación mediante la implementación de humedales artificiales con

la especie *Schoenoplectus californicus* donde se obtuvo un porcentaje de remoción del 91.1% para este parámetro. Esto debido a la construcción de una unidad piloto donde se establecen parámetros físicos e hidráulicos que facilitan el tratamiento de este tipo de agua residual. En contraste con nuestro estudio mediante la metodología utilizada y la especie de macrófito *Schoenoplectus californicus*, se obtuvo una disminución en el efluente de los tratamientos aplicados, aunque no fue muy significativa, debido a la falta de parámetros hidráulicos y de extensión en los humedales implementados en nuestro estudio dando como resultado un porcentaje de remoción muy bajo.

- **Análisis conjunto de parámetros fisicoquímicos**

En el análisis conjunto de los parámetros fisicoquímicos realizados en el estudio se contó con tres tipos de tratamientos, uno con la especie *Typha latifolia*, otro con el macrófito *Schoenoplectus californicus* y finalmente el tratamiento mixto con las dos especies antes mencionadas. Dichos tratamientos presentaron diferentes eficiencias, sin embargo, la adaptabilidad de las especies de macrófitos utilizados fue muy parecida, estableciéndose un tratamiento adecuado a partir de los seis meses de aplicación de los macrófitos. Dicha aseveración se realizó debido a que en la caracterización en la adaptabilidad se aprecia que a partir del cuarto meses en adelante las plántulas se proliferaron de manera adecuada, así también presentaron colores vivos en sus hojas y tallos. A continuación, en la Tabla 12 se aprecia el contraste de los parámetros realizados en nuestro estudio:

Tabla 12

Análisis conjunto de los parámetros fisicoquímicos

| PARÁMETRO ANALIZADO | Tratamiento | | | Normativa |
|----------------------------------|---|---|-----------|-----------|
| | <i>Typha latifolia</i> (TL) | <i>Schoenoplectus californicus</i> (SC) | Mixto (M) | |
| pH | Similar comportamiento con valores cercanos a 7 | | | Cumple |
| Conductividad | Disminuyo en comparación con la entrada, promedio 1198,2 NTU | | | - |
| Sólidos Disueltos Totales | Disminuyo, excepto muestreo 1 y 5, baja tasa de remoción < 2.3% | | | - |
| Temperatura | Valores se ajustan al rango aceptable 18-24 °C | | | Cumple |

| | | |
|--------------------------------------|--|---------------------------------|
| Oxígeno disuelto | Disponibilidad de este parámetro tiende a disminuir, excepto en el quinto muestreo que aumenta | - |
| % Saturación Oxígeno disuelto | Disponibilidad de este parámetro tiende a disminuir, excepto en el quinto muestreo que aumenta min: 1.7; max: 15.2 min: 1.9; max: 21.8 min: 1.68; max: 11.6 | - |
| Turbiedad | Valores de este parámetro tienden a disminuir en comparación con la entrada, excepto cuarto muestreo trat. SC | - |
| Demanda Química de Oxígeno | Similar comportamiento entre tratamiento, muy buena eficiencia en la remoción, tasa de remoción superior al 40% | Cumple, excepto tercer muestreo |
| Nitrógeno Amoniacal | Valores de este parámetro tienden a disminuir en comparación con la entrada, excepto tercer muestreo trat. SC y M, remoción 23-27% | - |
| Nitritos | Valores de este parámetro tienden a disminuir en comparación con la entrada, excepto segundo muestreo, baja tasa de disminución, remoción: TL 33.3%, M 23.6% y SC 9.7% | - |
| Nitratos | Valores de este parámetro tienden a disminuir en comparación con la entrada, excepto tercer muestreo trat. TL, remoción: M 44.6%, SC 39.6% y TL 36.6% | - |
| Fosfatos | Valores de este parámetro tienden a disminuir en comparación con la entrada, baja tasa de disminución, remoción: SC 22.4%, M 15.7% y TL 10.9% | - |

Nota. Donde los tratamientos: *Typha latifolia* (TL), *Schoenoplectus californicus* (SC) y Mixto (M). Los valores obtenidos en los diferentes parámetros del análisis fisicoquímico del estudio fueron comparados con la Normativa: Acuerdo Ministerial 097-A ANEXO 1 del libro VI del TULSMA: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluente al recurso agua. Tabla 8. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público.

Como se aprecia en la Tabla 12, los niveles de pH no perturbaron el correcto funcionamiento de los humedales artificiales construidos para el tratamiento de las aguas residuales colectadas de la PTAR de estadio de la Universidad Técnica del Norte debido a que se encuentran en un rango neutro, de la misma manera se observa que los valores de la temperatura estuvieron dentro del rango de los 18-24°C y no interrumpe ninguno de los ciclos microbiológicos en la descomposición de componentes orgánicos e inorgánicos en el saneamiento con los macrófitos. En parámetros como la conductividad y SDT se obtuvo una mayor remoción en el tratamiento mixto donde se aplicó los dos macrófitos en estudio, la carga salina del afluente disminuyó debido al intercambio iónico que se realizó en conjunto, por las raíces de estas dos especies.

El aporte en la concentración de OD del tratamiento donde se aplicó la especie *Schoenoplectus californicus* fue el más alto, dicho tratamiento aumento la concentración de oxígeno un 17.9% y 14.4% en la saturación de oxígeno en comparación con la entrada. La turbiedad donde el tratamiento con la especie *Typha latifolia* obtuvo el mayor rendimiento, este parámetro obtuvo un porcentaje de remoción del 60.2%, seguido del tratamiento con la especie *Schoenoplectus californicus* que tuvo un porcentaje de remoción del 53.8% y finalmente el tratamiento mixto con un porcentaje de remoción del 48.3%. En la remoción del DQO tenemos mayor eficiencia para el tratamiento con la especie *Typha latifolia* con una tasa de remoción de 48%, seguido del tratamiento con la especie *Schoenoplectus californicus* con un porcentaje de remoción del 45.4%, finalmente tenemos al tratamiento mixto con un porcentaje del 42.3% y se asume una buena depuración del afluente tratado debido a que este parámetro engloba la demanda biológica de oxígeno y se interpreta que, una gran cantidad de materia orgánica es oxidada y absorbida por los macrófitos utilizados en el tratamiento.

Los Nitritos como resultado tenemos que el porcentaje mayor de remoción presento la especie *Typha latifolia* con un valor de 33.3%, seguido de la especie *Schoenoplectus californicus* con una tasa de remoción del 23,6%. Para los nitratos tenemos que el tratamiento mixto presento una mayor eficiencia de remoción con una tasa del 44.6% seguido del tratamiento con el macrófito *Schoenoplectus californicus* con un valor de remoción del 39.6%. El porcentaje de remoción para el NH_4^+ tiende a ser muy parecido para los tres tratamientos, su valor oscila entre 23-28%, donde el mayor porcentaje de remoción tiene el macrófito *Typha latifolia*. En los fosfatos se obtuvo el menor porcentaje de remoción en los tratamientos aplicados, el mayor porcentaje de remoción tiene el tratamiento donde se aplicó la especie *Schoenoplectus californicus* con un valor en la remoción del 22.4%, a este valor le sigue el obtenido en la aplicación del tratamiento mixto con una tasa de remoción del 15.7%.

Análisis estadístico

Análisis de componentes principales

Este análisis se realizó con la finalidad de identificar las variables que tienen mayor significancia e incidencia en la variable principal de la presente investigación, que en este caso es la demanda química de oxígeno (DQO), dicho parámetro es un indicador importante de calidad ambiental del recurso agua e indica la cantidad necesaria de oxígeno para descontaminar el recurso mediante la oxidación de la materia orgánica y abarca a factores determinantes como la demanda biológica de oxígeno (DBO).

Tabla 13

Análisis de componentes principales

| <i>Componente</i> | <i>Eigenvalor</i> | <i>Porcentaje de Varianza</i> | <i>Porcentaje Acumulado</i> |
|-------------------|-------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| 1 | 3.81638 | 34.694 | 34.694 |
| 2 | 2.29709 | 20.883 | 55.577 |
| 3 | 1.62139 | 14.740 | 70.317 |
| 4 | 1.26066 | 11.461 | 81.777 |
| 5 | 0.981158 | 8.920 | 90.697 |
| 6 | 0.501855 | 4.562 | 95.259 |
| 7 | 0.262864 | 2.390 | 97.649 |
| 8 | 0.16366 | 1.488 | 99.137 |
| 9 | 0.0712075 | 0.647 | 99.784 |
| 10 | 0.0133501 | 0.121 | 99.906 |
| 11 | 0.0103846 | 0.094 | 100.000 |

Nota. Esta Tabla fue extraída del programa MatLab, donde se observa los componentes idóneos para una significancia en el estudio de campo de 0.1

En la Tabla 13 se aprecia el análisis de componentes principales realizado y apreciamos los componentes elegidos que tienen mayor influencia en el DQO son cinco y presentan una significancia idónea para trabajo en campo del 90.69% o 0.1 en su defecto.

Tabla 14*Pesos de los componentes principales*

| | <i>Componente</i> | <i>Componente</i> | <i>Componente</i> | <i>Componente</i> | <i>Componente</i> |
|---------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| pH | 0.463256 | -0.0145645 | -0.113928 | -0.00563581 | 0.122042 |
| Conductividad | -0.247441 | 0.540948 | -0.121078 | 0.164534 | 0.114666 |
| Solidos Disueltos Totales | -0.141792 | 0.525103 | -0.311305 | 0.23068 | 0.134034 |
| Temperatura | -0.436478 | 0.138715 | 0.314423 | -0.0961745 | 0.0407977 |
| Oxígeno disuelto | -0.0441252 | -0.116775 | 0.403847 | 0.614137 | 0.20375 |
| Turbiedad | -0.35333 | -0.142559 | 0.182618 | -0.281388 | -0.424339 |
| % Saturación de oxígeno | -0.394437 | -0.348381 | -0.213426 | 0.0643396 | -0.0630658 |
| Nitritos | -0.0825275 | -0.214077 | 0.112564 | -0.342055 | 0.83112 |
| Nitratos | -0.43692 | 0.00434987 | -0.258471 | -0.139686 | 0.184637 |
| Nitrógeno Amoniacal | -0.182435 | -0.385411 | -0.107091 | 0.559853 | 0.0436433 |
| Fosfatos | 0.0136643 | -0.249938 | -0.66607 | -0.00117897 | 0.00408954 |

Nota. Esta Tabla fue extraída del programa MatLab, donde se observa los mayores pesos de los componentes idóneos para una significancia en el estudio de campo de 0.1

La selección de los componentes que influyen de manera principal tenemos que seleccionar las variables con mayores pesos en la Tabla 14, las variables con mayores pesos son el pH, la conductividad, oxígeno disuelto y finalmente nitritos.

pH

Una vez realizado el resumen estadístico en la Tabla 15 a los datos obtenidos del pH en el estudio, se obtuvo un coeficiente de variación muy bajo y se asume que los datos se ajustan a la normalidad y son paramétricos.

Tabla 15*Resumen estadístico del pH*

| | <i>Recuento</i> | <i>Promedio</i> | <i>Desviación Estándar</i> | <i>Coficiente de Variación</i> | <i>Mínimo</i> | <i>Máximo</i> | <i>Rango</i> |
|---------|-----------------|-----------------|----------------------------|--------------------------------|---------------|---------------|--------------|
| Entrada | 5 | 7.218 | 0.178241 | 2.4694% | 6.95 | 7.41 | 0.46 |
| TL | 5 | 7.278 | 0.146185 | 2.00858% | 7.13 | 7.45 | 0.32 |
| SC | 5 | 7.35 | 0.203961 | 2.77498% | 7.1 | 7.56 | 0.46 |
| M | 5 | 7.302 | 0.132552 | 1.81528% | 7.09 | 7.41 | 0.32 |
| Total | 20 | 7.287 | 0.161314 | 2.21372% | 6.95 | 7.56 | 0.61 |

La prueba de Levene's en la Tabla 16, dio como resultado $p > 0.05$ y se acepta la homogeneidad de varianzas y la hipótesis nula (H_0).

Tabla 16*Verificación de la varianza*

| | <i>Prueba</i> | <i>Valor-P</i> |
|----------|---------------|----------------|
| Levene's | 0.313298 | 0.81552 |

Al tiempo que se corrobora que los datos son paramétricos se procedió a realizar la comparación de medias a través del análisis de varianza (ANOVA) en la Tabla 17 y se obtuvo como resultado $p > 0.05$ y se acepta la hipótesis nula (H_0), que menciona que las medias obtenidas en el pH son iguales o no tienen diferencia significativa.

Tabla 17*Tabla ANOVA en pH*

| <i>Fuente</i> | <i>Suma de Cuadrados</i> | <i>Gl</i> | <i>Cuadrado Medio</i> | <i>Razón-F</i> | <i>Valor-P</i> |
|---------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| Entre grupos | 0.04518 | 3 | 0.01506 | 0.54 | 0.6640 |
| Intra grupos | 0.44924 | 16 | 0.0280775 | | |
| Total (Corr.) | 0.49442 | 19 | | | |

Conductividad eléctrica

Luego de realizar el resumen estadístico a los datos obtenidos de este parámetro en el estudio en la Tabla 18, se obtuvo un coeficiente de variación mayor 10% o 0.1 de significancia, se asume que no hay normalidad en los datos y se procede a hacer una prueba no paramétrica.

Tabla 18

Resumen estadístico de la conductividad eléctrica

| | <i>Recuento</i> | <i>Promedio</i> | <i>Desviación Estándar</i> | <i>Coeficiente de Variación</i> | <i>Mínimo</i> | <i>Máximo</i> | <i>Rango</i> |
|---------|-----------------|-----------------|----------------------------|---------------------------------|---------------|---------------|--------------|
| Entrada | 5 | 1219.6 | 138.525 | 11.3583% | 1010.0 | 1398.0 | 88.0 |
| TL | 5 | 1204.4 | 68.2993 | 5.67082% | 1116.0 | 1295.0 | 79.0 |
| SC | 5 | 1189.8 | 75.5427 | 6.34919% | 1105.0 | 1268.0 | 63.0 |
| M | 5 | 1179.0 | 62.2254 | 5.27781% | 1090.0 | 1230.0 | 40.0 |
| Total | 20 | 1198.2 | 85.3504 | 7.12322% | 1010.0 | 1398.0 | 88.0 |

Luego de aplicar el análogo no paramétrico del ANOVA en la Tabla 19, que es una extensión de la prueba U de Mann-Whitney, se obtuvo en la prueba de Kruskal-Wallis un valor de $p > 0.05$ y se acepta la hipótesis nula que menciona que no hay diferencias significativas entre los tratamientos.

Tabla 19

Prueba de Kruskal-Wallis en conductividad eléctrica

| | <i>Tamaño de Muestra</i> | <i>Rango Promedio</i> |
|---------|--------------------------|-----------------------|
| Entrada | 5 | 12.0 |
| TL | 5 | 10.8 |
| SC | 5 | 10.2 |
| M | 5 | 9.0 |

Estadístico = 0.668571 Valor-P = 0.880569

Oxígeno disuelto

Una vez realizado el resumen estadístico en la Tabla 20 con los datos de este parámetro, se observa altos porcentajes en el coeficiente de variación > 10%, consecuentemente se asume que los datos no son normales y se procedió a aplicar una prueba no paramétrica para la comparación de los tratamientos.

Tabla 20

Resumen estadístico de oxígeno disuelto

| | <i>Recuento</i> | <i>Promedio</i> | <i>Desviación Estándar</i> | <i>Coficiente de Variación</i> | <i>de</i> | <i>Mínimo</i> | <i>Máximo</i> | <i>Rango</i> |
|---------|-----------------|-----------------|----------------------------|--------------------------------|-----------|---------------|---------------|--------------|
| Entrada | 5 | 6.83 | 7.62378 | 111.622% | | 2.45 | 20.4 | 17.95 |
| TL | 5 | 6.18 | 5.76515 | 93.2873% | | 1.7 | 15.2 | 13.5 |
| SC | 5 | 7.814 | 8.41704 | 107.717% | | 1.9 | 21.8 | 19.9 |
| M | 5 | 5.576 | 4.90264 | 87.924% | | 1.68 | 11.6 | 9.92 |
| Total | 20 | 6.6 | 6.31924 | 95.7461% | | 1.68 | 21.8 | 20.12 |

Luego de aplicar el análogo no paramétrico del ANOVA en la Tabla 21, que es una extensión de la prueba U de Mann-Whitney, se obtuvo en la prueba de Kruskal-Wallis un valor de $p > 0.05$ y se acepta la hipótesis nula que menciona que no hay diferencias significativas entre los tratamientos para el oxígeno disuelto.

Tabla 21

Prueba de Kruskal-Wallis en oxígeno disuelto

| | <i>Tamaño de Muestra</i> | <i>Rango Promedio</i> |
|---------|--------------------------|-----------------------|
| Entrada | 5 | 12.1 |
| TL | 5 | 10.0 |
| SC | 5 | 11.0 |
| M | 5 | 8.9 |

Estadístico = 0.804066 Valor-P = 0.848493

Nitritos

Una vez procedido a realizar el resumen estadístico en la Tabla 22 con los datos de este parámetro, se obtuvo un coeficiente de variación bastante alto $>10\%$, asume que los datos no tienen normalidad y se procede a la comparación de los tratamientos mediante pruebas no paramétricas.

Tabla 22

Resumen estadístico de los nitritos

| | <i>Recuento</i> | <i>Promedio</i> | <i>Desviación Estándar</i> | <i>Coficiente de Variación</i> | <i>Mínimo</i> | <i>Máximo</i> | <i>Rango</i> |
|---------|-----------------|-----------------|----------------------------|--------------------------------|---------------|---------------|--------------|
| Entrada | 5 | 0.0288 | 0.0134052 | 46.5459% | 0.006 | 0.039 | 0.033 |
| TL | 5 | 0.0192 | 0.00756307 | 39.391% | 0.008 | 0.026 | 0.018 |
| SC | 5 | 0.026 | 0.0106771 | 41.0657% | 0.011 | 0.041 | 0.03 |
| M | 5 | 0.022 | 0.0112027 | 50.9213% | 0.012 | 0.038 | 0.026 |
| Total | 20 | 0.024 | 0.0107017 | 44.5904% | 0.006 | 0.041 | 0.035 |

Luego de aplicar el análogo no paramétrico del ANOVA en la Tabla 23, que es una extensión de la prueba U de Mann-Whitney, se obtuvo en la prueba de Kruskal-Wallis un valor de $p > 0.05$ y se acepta la hipótesis nula que menciona que no hay diferencias significativas entre los tratamientos para este parámetro.

Tabla 23

Prueba de Kruskal-Wallis en nitritos

| | <i>Tamaño de Muestra</i> | <i>Rango Promedio</i> |
|---------|--------------------------|-----------------------|
| Entrada | 5 | 13.3 |
| TL | 5 | 7.8 |
| SC | 5 | 11.1 |
| M | 5 | 9.8 |

Estadístico = 2.28802 Valor-P = 0.514817

Demanda química de oxígeno

A pesar que este parámetro no es uno de los componentes principales se procedió a realizar las pruebas estadísticas debido a su importancia en el estudio

debido a que este factor engloba la demanda de oxígeno para la oxidación de componentes orgánicos e inorgánicos en el tratamiento de aguas residuales, dicho esto se procedió a realizar el resumen estadístico en la Tabla 24, se observa un coeficiente de variación bastante alto y se debe proceder a realizar la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

Tabla 24

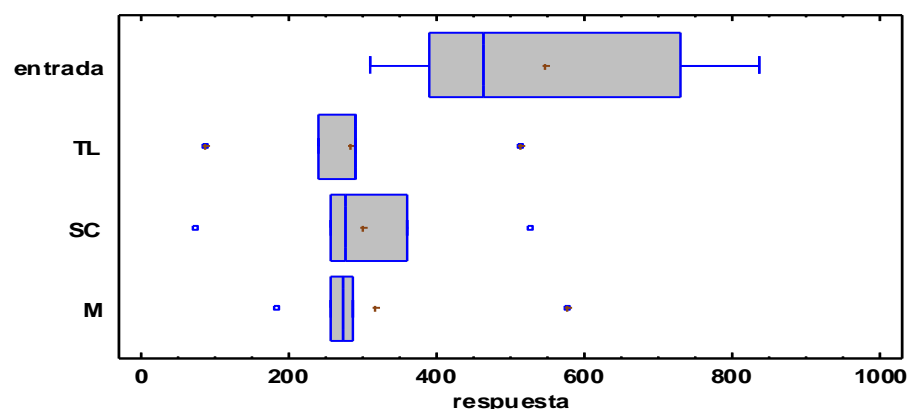
Resumen estadístico de la demanda química de oxígeno

| | Recuento | Medias | Desviación Estándar | Coficiente de Variación | Mínimo | Máximo | Rango |
|---------|----------|--------|---------------------|-------------------------|--------|--------|-------|
| Entrada | 5 | 546.6 | 226.99 | 41.5276% | 310.0 | 838.0 | 528.0 |
| TL | 5 | 284.0 | 151.993 | 53.5188% | 88.0 | 512.0 | 424.0 |
| SC | 5 | 298.4 | 165.536 | 55.4747% | 72.0 | 527.0 | 455.0 |
| M | 5 | 315.2 | 150.511 | 47.7511% | 184.0 | 575.0 | 391.0 |
| Total | 20 | 361.05 | 196.106 | 54.3154% | 72.0 | 838.0 | 766.0 |

De manera grafica en la Figura 22 se aprecia que no existe diferencia significativa en los tratamientos en este parámetro, debido a que los datos empalman o están en el rango de los bigotes y las cajas entre tratamientos.

Figura 21

Gráfico de caja y bigotes del DQO



Bajo criterio del investigador luego de analizar la eficiencia mediante las medias obtenidas en este parámetro en la Tabla 24, se concluye que el mejor tratamiento en la depuración de las aguas residuales fue donde se aplicó el macrófito

Typha latifolia debido a que obtuvo una media de remoción de 284 ml/L, seguido del tratamiento donde se aplicó la especie *Schoenoplectus californicus* con una media de 298.4 ml/L y finalmente el tratamiento mixto donde se aplicó las dos especies antes mencionadas con un valor en la media de 315.2 ml/L.

El estudio realizado por Acuña et al. (2019), evalúa la eficiencia de un humedal artificial de flujo subsuperficial con macrófitos en el tratamiento de aguas residuales agrícolas, los resultados mostraron que el humedal artificial fue efectivo para la remoción de sólidos suspendidos con remoción del 90%, coliformes fecales 99%, materia orgánica 85% y nutrientes remoción de 50%. En contraste con la presente investigación los resultados se corroboran debido a que se demostró que existe una buena eficacia en la remoción de contaminantes como nitrógeno y fosforo donde se obtuvo una remoción de 25% y 20% respectivamente, por otra parte, la disminución de los niveles del DQO también disminuyeron con tasas de remoción superiores al 40% por lo que se asume una disminución de materia orgánica cercana a este porcentaje.

En dicho estudio se aplicó un análisis estadístico a cada parámetro en estudio y mostraron diferencia significativa en comparación con su tratamiento control, a diferencia de nuestro estudio donde se realizó un análisis de componentes principales, se seleccionó los componentes con mayores pesos y se procedió con el análisis estadístico que mostro que no había una diferencia significativa. Esto se debe a que el humedal aplicado en el estudio de Acuña et al. (2019) tuvo una superficie de alrededor de 100 m², esto corrobora con las aseveraciones realizadas en las recomendaciones del presente estudio que menciona una relación directamente proporcional entre el tamaño del humedal y la remoción de contaminantes.

El estudio realizado por Acuña et al. (2019), evalúa la eficiencia de un humedal artificial de flujo subsuperficial con las especies de macrófitos *Phragmites australis* (Carrizo), *Schoenoplectus colifornicus* (Junco), y *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua), en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Los resultados para la remoción del DQO fueron alrededor del 70-80%, los niveles de pH se acercaron a niveles neutros y la remoción de nutrientes como los nitritos fue de

alrededor del 80%. Esto muestra que las metodología y estrategias sostenibles aplicadas en el presente estudio son eficientes en la depuración de aguas residuales, se contrastan los resultados para la presenta investigación donde los nitritos presentaron una remoción aproximada del 28%, la demanda química superior al 40% y el pH también se acercó a niveles neutros. Se asume que los estudios de caso discutidos presentan una buena eficiencia en el tratamiento de aguas residuales al igual que la presente investigación debido a que los niveles de los contaminantes tendieron a bajar en comparación con el afluente de los tratamientos.

4.3. Fase III: Elaboración de estrategias de manejo para las macrófitas *Schoenoplectus californicus* y *Typha latifolia*, aplicable luego del proceso de fitorremediación.

En cumplimiento del objetivo número tres de la presente investigación, se diseñó estrategias de manejo de las especies *Typha latifolia* y *Schoenoplectus californicus* utilizadas en la depuración de aguas residuales (ANEXO 3), teniendo en cuenta su potencial reutilización en el campo de las artesanías y uso agrícola, una vez que estas especies cumplen con la fitorremediación en los humedales artificiales. Dichas estrategias también estarán basadas en el análisis FODA que podemos ver en la **Tabla 25**, dicho análisis está direccionado principalmente a factores de riesgo técnico y económicos que se presentaron en el desarrollo de la investigación.

Tabla 25

Análisis FODA basado en factores de riesgo económicos y técnicos

| Fortalezas | Debilidades |
|--|--|
| Bajos costos de inversión en comparación con las tecnologías convencionales de mayor complejidad. | En comparación con otros tratamientos convencionales este tipo de tratamientos requieren de grandes extensiones de terreno y elevan su costo, pues tiene una relación directamente proporcional entre la |
| En lo referente al criterio de operación se obtiene una buena eficiencia en la remoción de contaminantes sin | |

| | |
|---|--|
| <p>necesidad de energía eléctrica o combustibles y una baja generación de lodos residuales por ende disminuye el gasto en la disposición o posible tratamiento de estos.</p> <p>Se restablecen las relaciones simbióticas y el potencial natural de depuración de plantas nativas de la zona y facilita su adaptabilidad en el tratamiento, consecuente a esto el impacto paisajístico con el entorno es reducido y se integra de mejor manera a sistemas naturales de tratamiento.</p> <p>Este tipo de tratamiento va mucho más allá de restablecer a parámetros establecidos en la norma ambiental vigente y a la disposición final del efluente tratado en causas naturales, sino que está enfocado en la reutilización del recurso en actividades cotidianas.</p> | <p>remoción de contaminantes y superficie de contacto con los macrófitos.</p> <p>Se requirió de alrededor de tres meses para la estabilización del sistema de depuración, previo a este tiempo se recomienda estabilizar el efluente o en infiltrarlo.</p> <p>El afluente para tratar requiere de un tratamiento primario debido a que las plantas no tienen una eficiencia óptica en presencia de una gran cantidad de contaminantes como aceites y grasas.</p> <p>La homogeneidad del tratamiento puede variar debido a varios factores como la temperatura, concentración de contaminantes, caudal, entre otros.</p> <p>Además, este tipo de tratamiento tiene un bajo rendimiento en la remoción de fosforo y tiende a acumularse en el fondo del humedal y en la parte de las raíces de los macrófitos, se debe realizar actividades de mantención y remover este contaminante.</p> |
|---|--|

| Oportunidades | Amenazas |
|---|---|
| <p>Tiene una mayor valorización debido a que es una tecnología y alternativa sustentable, debido a que se aprovecha el potencial que existe en la naturaleza para depurar el agua residual.</p> <p>Establece una relación teórica y práctica con la implementación de</p> | <p>Presiones inmobiliarias en el sector urbano debido a descontento con el tipo de tratamiento y a la superficie requerida para este.</p> <p>Falta de educación ambiental que limita la visión del valor ecológico que presentan este tipo de tratamiento y</p> |

| | |
|--|--|
| tecnología amigables con el medio ambiente que lleven a la incorporación del modelo circular en la utilización del recurso agua. | obstaculiza la entrada al mercado de este tipo de tecnología sustentable. Tratamientos convencionales más eficientes basados en economía lineal. |
|--|--|

Nota. Esta herramienta permite evidenciar de forma integral los servicios ambientales que presentaron los tratamientos aplicados en la investigación con las especies *Schoenoplectus californicus* y *Typha latifolia* y la eficiencia en la depuración de aguas residuales mediante la implementación de humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal con plantas flotantes.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Las especies *Typha latifolia* y *Schoenoplectus californicus* demostraron una adaptabilidad similar en el estudio. A partir de los tres meses, ambas especies presentaron colores vivos en sus hojas y tallos, una proliferación acelerada mediante sus rizomas y una ganancia acelerada de biomasa. A partir del cuarto mes, se puede asumir que las dos especies se adaptaron correctamente al afluente tratado y que el saneamiento fue efectivo.

El análisis fisicoquímico de las aguas residuales tratadas con humedales artificiales mostró una buena eficiencia en la remoción de contaminantes. Los sólidos disueltos totales y el NH_4^+ se redujeron significativamente e indica que el sistema propició procesos de nitrificación y desnitrificación. Las tasas de remoción de nitritos, nitratos y fosfatos fueron diferentes en los tres tratamientos, pero en general fueron positivas. Los humedales artificiales lograron un saneamiento efectivo del afluente, aunque los resultados no presentan diferencia significativa desde un punto de vista estadístico.

Los tratamientos implementados en los humedales artificiales son una buena opción para la remoción de DQO, pero no de fosfatos. La remoción de nitritos y nitratos es alentadora.

El tratamiento con *Typha latifolia* fue el más eficiente en la remoción de DQO, seguido del tratamiento con *Schoenoplectus californicus*. El tratamiento mixto fue el menos eficiente, pero aun así logró una remoción significativa.

Para lograr un saneamiento efectivo de aguas residuales con humedales artificiales, el afluente debe pasar por un tratamiento primario exhaustivo que elimine sólidos, aceites, grasas y que garantice una buena oxigenación.

Las estrategias de manejo presentadas en el ANEXO 3 están basadas en las experiencias técnicas y económicas obtenidas durante el estudio. Estas estrategias

están orientadas a aprovechar la biomasa de los macrófitos resultante del saneamiento de aguas residuales, con el fin de lograr un tratamiento sostenible y amigable con el medio ambiente.

5.2. Recomendaciones

La implementación de los macrófitos en el tratamiento de agua contaminadas debe ser progresiva y debe realizarse de manera que no provoque un estrés crítico a las especies. Se debe procurar una adaptabilidad progresiva, aumentando la concentración del agua a tratar de forma paulatina de manera que se diluya las altas concentraciones contaminantes y acelere la adaptación de los macrófitos en el tratamiento.

La superficie de contacto entre los humedales artificiales y los macrófitos es directamente proporcional a la eficiencia en la remoción de contaminantes. Se recomienda aumentar la superficie de los humedales para lograr una remoción más efectiva.

El mantenimiento del sedimento que tiende a localizarse en el fondo de los humedales debe tenerse en cuenta al momento de construir los Humedales de flujo subsuperficial horizontal con plantas flotantes, debido a que si este no se remueve puede ser un foco de contaminación rico en fosforo debido a que este contaminante tiende a sedimentarse con facilidad y las concentraciones de este contaminante tenderán a aumentar en el efluente.

Bibliografía

- Acuerdo Ministerial 097-A. Anexos del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. (2015). *Acuerdo Ministerial 097-A, Anexos de Normativa, REFORMA LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE | Ecuador - Guía Oficial de Trámites y Servicios*. <https://www.gob.ec/regulaciones/acuerdo-ministerial-097-anexos-normativa-reforma-libro-vi-texto-unificado-legislacion-secundaria-ministerio-ambiente>
- AEAAS. (2017). *Informe sobre aguas residuales en España*.
- Aguilar, M., Sáez, J., Llórens, M., Soler, A., & Ortuño, J. (2002). *Tratamiento físico-químico de aguas residuales: coagulación-floculación - M. I. Aguilar - Google Libros*. https://books.google.com.pe/books?id=8vlQBXPvhAUC&printsec=frontcover&hl=es&source=gb_s_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Alfaro, K., & Arellano, C. (2018). *Remoción de nitritos y fosfatos en humedales artificiales empleando tres tipos de plantas acuáticas a nivel de laboratorio*. ESCUELA ACÁDEMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL.
- Altunar, S. (2014). *El tratamiento físico-química como metodología para control de contaminantes en aguas residuales en la Industria textil*. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO UNIDAD LAGUNA.
- Araque, I., Britto, M., Cuellar, L., & Perico, N. (2020). Fitorremediación en aguas residuales sin tratamiento previo. Caso: Tierra Negra, Boyacá. *Revista de Tecnología*, 17(1), 37–48. <https://doi.org/10.18270/RT.V17I1.2950>
- Ardila, A., Reyes, J., Arriola, E., & Hernández, J. (2012). Remoción fotocatalítica de dco, dco5 y cot de efluentes de la industria farmacéutica. *Revista Politécnica*, 8(15), 9–17. <https://doi.org/10.33571/RPOLITEC>

- Arias, S., Betancur, F., Gómez, G., Salazar, J., & Hernández, M. (2010). Phytoremediation with artificial wetlands for the treatment of swine wastewater. *Informador Técnico (Colombia)*, 74, 12–22. <http://www.ciap.org.ar/Sitio/Archivos/Fitorremediacion%20con%20humedales%20artificiales%20para%20el%20tratamiento%20de%20aguas%20residuales%20porcinas.pdf>
- Arnaiz, C., Isac, L., & Martínez, L. (2000). *Tratamiento biológico de aguas residuales I. Eliminación de carbono orgánico*. https://www.researchgate.net/publication/323879960_Tratamiento_biologico_de_aguas_residuales_I_Eliminacion_de_carbono_organico
- Arteaga, M. (2018). *PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE HUMEDALES ARTIFICIALES DOCTORA EN CIENCIAS CAMPUS MONTECILLO PROGRAMA DE POSTGRADO EN HIDROCIENCIAS*. 17–25. <https://www.biopasos.com/biblioteca/Propuesta-metodologica-construccions-humedales-artificiales.pdf>
- Asamblea Nacional. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. <https://vlex.ec/vid/constitucion-republica-ecuador-631446215>
- Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento, A. (2017). *Informe sobre aguas residuales en España*. Asoaeas.Com.
- Ayala, S. R., Flores, R., Rodríguez, M., & Roldan, D. (2019). CUANTIFICACIÓN DE LOS FACTORES DE BIOCONCENTRACIÓN EN *SCHOENOPLECTUS CALIFORNICUS* UBICADA EN EL LAGO SAN PABLO, IMBABURA-ECUADOR (AÑO, 2017). *Ciencia*, 20(2), 160–176. <https://doi.org/10.24133/ciencia.v20i2.1213>
- Banco Mundial. (2020a). *Agua Residual: De Residuo a Recurso*. <https://www.bancomundial.org/es/topic/water/publication/wastewater-initiative>
- Banco Mundial. (2020b). *El agua residual puede generar beneficios para la gente, el medioambiente y las economías, según el Banco Mundial*.

<https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2020/03/19/wastewater-a-resource-that-can-pay-dividends-for-people-the-environment-and-economies-says-world-bank>

Barreto, P., & Espinoza, G. (2010). *PROTOCOLO DE MONITOREO DE AGUA LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL “SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO.”*

https://biorem.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/p_biorem/education/research/protocols/Protocolo_Agua.pdf

Barrionuevo, M., Flores, L., & Dussi, M. (2020). CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS DE MACRÓFITAS ACUÁTICAS PARA LA PRODUCCIÓN DE COMPOST. *REVISTA AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, Desarrollo y Práctica*, 13, 1022–1031.

Bedoya, J., Ardila, A., & Reyes, J. (2014). EVALUACIÓN DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS EN LA INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA COLEGIO MAYOR DE ANTIOQUIA, COLOMBIA. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 30(3), 275–283. <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/45549>

Cabral, V. (2021). *METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN UN SISTEMA REGIONALIZADO.*

<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/53768/24779.pdf?sequence=1>

Caisachana, I., & Muñoz, D. (2020). *EVALUACIÓN DE UN PROCESO DE FITORREMEDIACIÓN MEDIANTE LENTEJA DE AGUA (Lemna minor) PARA AGUA RESIDUAL PROVENIENTE DE UNA EMPRESA AZUCARERA [UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR].* <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/CAISACHANA%20RAMOS%20ISAA%20EZEQUIEL.pdf>

- Caracheo, A. (2008). *METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES*. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/2395/1/caracheomora.pdf>
- Cardano, J. (2016). *DEFINICION DEL AREA REFERENCIAL (AREA DE ESTUDIO)*. <http://acotecnic.com/wp-content/uploads/2016/01/4.-AREA-REFERENCIAL-V3.pdf>
- Cardona, P. (2018). *HUMEDALES ARTIFICIALES: UNA ALTERNATIVA PARA TRATAMIENTO DE AGUAS DE PRODUCCIÓN*. <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7132/1/091369-2018-I-GA.pdf>
- CEPAL. (2019). *El agua en América Latina y el Caribe en el contexto de la Agenda 2030*. https://foroalc2030.cepal.org/2019/sites/foro2019/files/presentations/el_agua_en_alc_2019_cepal_drn.pdf
- Claros, J. (2012). *ESTUDIO DEL PROCESO DE NITRIFICACIÓN Y DESNITRIFICACIÓN VÍA NITRITO PARA EL TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE CORRIENTES DE AGUA RESIDUAL CON ALTA CARGA DE NITRÓGENO AMONIACAL*. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/17653/tesisUPV3951.pdf?sequence=1>
- Código Orgánico del Ambiente (COA). (2017). *El Código Orgánico del Ambiente (COA) – Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica*. <https://www.ambiente.gob.ec/codigo-organico-del-ambiente-coa/>
- Comisión Nacional del Agua. (2013). *Manual de sistemas de tratamiento de aguas residuales utilizados en Japón*. CNA.

- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. 16–23. <https://core.ac.uk/download/pdf/48017573.pdf>
- Díaz, E., Alvarado, A., & Camacho, K. (2012a). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México. *Año*, 14, 78–97. <https://www.redalyc.org/pdf/401/40123894005.pdf>
- Díaz, E., Alvarado, R., & Camacho, E. (2012b). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México. *Año*, 14, 78–97. <https://www.redalyc.org/pdf/401/40123894005.pdf>
- Duque, P., Heras, C., Lojano, D., & Vilorio, T. (2018). Modeling of biological wastewater treatment; study in pilot plant of rotating biological contactors. *CIENCIA UNEMI*, 11(28), 88–96. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol11iss28.2018pp88-96p>
- Espigares, M., & Pérez, J. (2018). *AGUAS RESIDUALES. COMPOSICIÓN*. https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Ag_uas_Residuales_composicion.pdf
- Espino, M. (2003). *ESTUDIO DE NITRIFICACIÓN-DESNITRIFICACIÓN DE UN EFLUENTE SECUNDARIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE SISTEMAS DE REACTORES BIOLÓGICOS*. 18–20. <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/429/1/005%20ESPINO%20VALDEZ%20MARIA%20DEL%20SOCORRO.pdf>
- Ferrer, J., & Seco, A. (2007). *Tratamientos biológicos de aguas residuales*. <https://www.aguasresiduales.info/revista/libros/tratamientos-biologicos-de-aguas-residuales>

- Flores, F. (2021). *Tratamientos físicos en las tecnologías de depuración de aguas residuales*. <https://ingeoexpert.com/articulo/tratamientos-fisicos-las-tecnologias-depuracion-aguas-residuales/>
- Franco, M., Okada, E., & Pérez, D. (2018). *Uso de la planta acuática Typha spp. (tatora) como organismo fitorremediador*. https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12123/11172/1/NTA_CRBsAsSur_EEABalcarce_Franco_MR_Biorremediacion_C3%B3n_aguas_contaminadas_actividades.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- García, F. (2017). *EFICIENCIA DE UN SISTEMA ACOPLADO ELECTROCOAGULACIÓN-FITORREMEDIACIÓN PARA LA REMOCIÓN DE Pb, Cu, Cd Y Zn, PRESENTES EN EFLUENTES MINEROS*. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/65059/TESIS+2017-split-merge.pdf?jsessionid=425A4004977DAF5306F0ED9AA38AE2EC?sequence=3>
- González, C., Delgadillo, A., García, F., Ibarra, J., & Acevedo, O. (2011). PHYTOREMEDIATION: AN ALTERNATIVE TO ELIMINATE POLLUTION. In *Tropical and Subtropical Agroecosystems* (pp. 597–612). <https://www.scielo.org.mx/pdf/tsa/v14n2/v14n2a2.pdf>
- Guerra, B. (2018). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE LA INDUSTRIA DE PRODUCTOS LÁCTEOS SAN SALVADOR – CANTÓN RIOBAMBA, MEDIANTE FITORREMEDIACIÓN CON HUMEDALES ARTIFICIALES EMPLEANDO TOTORA*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO.
- HIDROTEC. (2021). *Tipos de aguas residuales: por qué es importante conocerlas*.
- Jacobo, F. del R. (2018). Aguas residuales urbanas y sus efectos en la comunidad de Paso Blanco, municipio de Jesús María, Aguascalientes. *Revista de El Colegio de San Luis*, 8(16), 267–293. <https://doi.org/10.21696/RCSL9162018760>

- Juárez, J., Juárez, J., Romero, S., Reyes, J., Herrera, A., Solís, F., Zlatev, R., Stoytcheva, M., & Gallegos, R. (2016). *Tratamiento biológico del agua residual doméstica: Evaluación del proceso en una planta en la ciudad de Mexicali*.
https://www.researchgate.net/publication/307924201_Tratamiento_biologico_del_agua_residual_domestica_Evaluacion_del_proceso_en_una_planta_en_la_ciudad_de_Mexicali
- Leahy, J. G., & Colwell, R. R. (1990). Microbial degradation of hydrocarbons in the environment. *Microbiological Reviews*, 54(3), 305–315.
<https://doi.org/10.1128/MR.54.3.305-315.1990>
- Llano, B. A., Cardona, J. F., Ocampo, D., & Ríos, L. A. (2014). Tratamiento Físicoquímico de las Aguas Residuales Generadas en el Proceso de Beneficio de Arcillas y Alternativas de Uso de los Lodos Generados en el Proceso. *Información Tecnológica*, 25(3), 73–82. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000300010>
- Luna, V., & Aburto, S. (2014). Sistema de humedales artificiales para el control de la eutroficación del lago del Bosque de San Juan de Aragón. *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 17, 32–55.
- MAATE. (2022). *TÉCNICOS-CONSULTORES DE MAATE SOCIALIZARON ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO Y PLANTA DE TRATAMIENTO DE PUERTO JELÍ – GAD Municipal del Cantón Santa Rosa*.
<http://www.santarosa.gob.ec/web/2022/03/23/tecnicos-consultores-de-maate-socializaron-estudio-de-impacto-ambiental-para-construccion-del-sistema-de-alcantarillado-sanitario-y-planta-de-tratamiento-de-puerto-jeli/>
- Mata, M. (2016). Aplicación de la tecnología SBR para el tratamiento de aguas residuales domésticas. *Universidad de Barcelona*.
- Mendoza, Y., Castro, F., Marín, J., & Behling, E. (2016). Phytoremediation as an alternative for domestic wastewater treatment from Riohacha City

(Colombia). *REVISTA TECNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DEL ZULIA*, 39. <http://ve.scielo.org/pdf/rtfiuz/v39n2/art04.pdf>

Mendoza, Y., Castro, F., Marín, J., & Hedwig, E. (2016). Fitorremediación como alternativa de tratamiento para aguas residuales domésticas de la ciudad de Riohacha (Colombia). *Revista Técnica de La Facultad de Ingeniería Universidad Del Zulía*, 39(2), 071–079. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702016000200004&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Mendoza, Y., Pérez, J., & Galindo, A. (2018). Evaluación del Aporte de las Plantas Acuáticas Pistia stratiotes y Eichhornia crassipes en el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. *Información Tecnológica*, 29(2), 205–214. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000200205>

Morató, J., Subirana, A., Gris, A., Carneiro, A., & Pastor, R. (2006). Tecnologías sostenibles para la potabilización y el tratamiento de aguas residuales. *Lasallista de Investigación*, 3, 19–29. <https://www.redalyc.org/pdf/695/69530105.pdf>

Morgan, J. (2017). *CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES*. <https://idea.manizales.unal.edu.co/publicaciones/eventos/CongresoInternacionalAmbiental/dia2/9.pdf>

Morocho, M. (2017). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA CURTIEMBRE EN EL CANTON CUENCA MEDIANTE LA APLICACIÓN DOSIFICADA DE EMAs (Microorganismos Eficientes Autóctonos)*. dspace.ucuenca.edu.ec.

Nieto, P. (2013). Microorganismos benéficos para el compostaje de macrófitas invasoras de la laguna colombiana de Fúquene. *MICROORGANISMOS BENEFICOS PARA EL COMPOSTAJE DE MACRÓFITAS INVASORAS DE LA LAGUNA COLOMBIANA DE FÚQUE* Nordeste, 6,

73–88.

https://www.researchgate.net/publication/273765468_Microorganismos_beneficos_para_el_compostaje_de_macrofitas_invasoras_de_la_laguna_colombiana_de_Fuquene

Oquendo, J. (2016). *EVALUACIÓN DE THYPA LATIFOLIA EN LA ABSORCIÓN DE PLOMO Y PROPUESTA DE FITORREMEDIACIÓN DE AGUAS RESIDUALES CON METALES PESADOS EN LA LAGUNA DE YAHUARCOCHA* [UISEK].
<https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/1606/1/Tesis%20Final%20%20Renato%20Oquendo.pdf>

Perez, E. (2009). *Selección de plantas acuáticas para establecer humedales en el estado de Durango*. 54–57.
<https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/598/1/Tesis%20Ma.%20Elena%20P%C3%A9rez%20L%C3%B3pez.pdf>

Pérez, G., & Galarza, A. (2019). *Diseño de humedales artificiales para fitorremediación de plomo y cromo con typha latifolia en el lago Yahuarcocha-Imbabura*.
<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/9819>

Puma, A., Gonzales, T., Yaulilahua, R., & Salas, W. (2022). Efficiency of *Schoenoplectus californicus* and *Nasturtium officinale* AS Water Purifiers in Residual Effluent From Pigs Experimental Farm. *Polo de Conocimiento*, 7(68), 190–202.

Quispe, Q., & Winston, A. (2021). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE HUMEDAL ARTIFICIAL PARA LA RECUPERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES EN LA POBLACIÓN DE ALCALÁ. *Revista Ciencia, Tecnología e Innovación*, 19(24), 133–148.
http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2225-87872021000200009&lng=es&nrm=iso&tlng=es

- Reyes, J. (2016). Formulación y diseño de un sistema de fitorremediación para tratamiento de aguas hidrocarburadas en estaciones de servicio Biomax. In *Universidad de La Salle, Bogotá*.
https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1418&context=ing_ambiental_sanitaria
- Richarte, A. (2018). *FITORREMEDIACIÓN DE AGUAS MEDIANTE EL EMPLEO DE HIDRÓFITOS* [UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE].
<http://dspace.umh.es/bitstream/11000/6552/1/TFG%20Cant%C3%B3Ri%20charte%2C%20Alejandro%20.pdf>
- Romero, M., Colín, A., Sánchez, E., & Ortiz, L. (2014). TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR UN SISTEMA PILOTO DE HUMEDALES ARTIFICIALES: EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE LA CARGA ORGÁNICA. *Scielo*, 25, 157–167.
- Sánchez Gómez, M. C. (2015). Pedagogía Social. *Revista Interuniversitaria. Pedagogía Social. Revista Interuniversitaria, Núm. 26, 21–34.*
https://doi.org/10.7179/PSRI_2015.26.01
- Sánchez, J., & Román, S. (2020). *Design of an Industrial wastewater treatment plant for a Shrimp Packing and Exporting company in the city of Guayaquil.* 29–31. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19149/4/UPS-GT002985.pdf>
- Sánchez, V., Palomino, P., & Malpartida, R. (2021). *Eficiencia de humedales artificiales de totora y berros sobre efluentes de granja porcícola, Perú.* 5, 192–203. <https://revistaalfa.org/index.php/revistaalfa/article/view/118/290>
- SENAGUA. (2014). *Gestión de aguas residuales en Ecuador.*
<https://es.slideshare.net/CCIFEC/20-gestin-de-aguas-residuales-en-ecuador-senagua>

- Syner Tech S.A.S. (2022). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES*. <https://www.nyfdecolombia.com/aguas-residuales/tratamiento-de-aguas-residuales-industriales>
- Tejedor, J. (2019). *Estudio del comportamiento de Eisenia foetida y Schoenoplectus californicus en biofiltros de cáscara de maní para el tratamiento de aguas residuales domésticas*. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20430>
- Torres, P. (2012). PERSPECTIVAS DEL TRATAMIENTO ANAEROBIO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN PAÍSES EN DESARROLLO. *Scielo*, 18.
- Troconis, A. (2010). Tratamiento de Aguas Residuales. *Belzona Inc.*, 5–9. https://www.belzona.com/es/solution_maps/wastewater/money_map.pdf
- UNESCO. (2022). *Aguas subterráneas, acuíferos y cambio climático - UNESCO Biblioteca Digital*. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380743_spa
- UNESCO World Water Assessment Programme. (2017). Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos, 2017: Aguas residuales: el recurso no explotado. *Ecos de Economía: A Latin American Journal of Applied Economics*, 8(18), 13–15. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247647>
- US EPA. (1999). *Folleto informativo de tecnología de aguas residuales Filtros intermitentes de arena*. https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-06/documents/septic_fs_intermittent_sp.pdf
- US EPA. (2000). *Folleto informativo de tecnología de aguas residuales: Humedales de flujo subsuperficial, EPA 832-F-00-023*. https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-06/documents/cs_00_023.pdf
- US EPA. (2015). *Introducción a la Ley de Agua Limpia*. 64–67. www.epa.gov/watertrain/
- US EPA. (2021). *Implementación de la leyes sobre el agua*. <https://espanol.epa.gov/espanol/implementacion-de-la-leyes-sobre-el-agua>

- US EPA. (2022). *Centros de Asistencia para el Cumplimiento*.
<https://www.epa.gov/compliance/compliance-assistance-centers>
- Vares, R. (2019). *TECNOLOGÍAS SOSTENIBLES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES: EXPERIENCIAS EN PEQUEÑOS MUNICIPIOS DE ESPAÑA* - *El Agua*.
<https://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2010/12/22/131541>
- Vargas, A. K. N., Calderón, J., Velásquez, D., Castro, M., Núñez, D. A., Vargas, A. K. N., Calderón, J., Velásquez, D., Castro, M., & Núñez, D. A. (2020). Análisis de los principales sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales domésticas en Colombia. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 28(2), 315–322. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052020000200315>
- Vásquez, K., & Suarez, V. (2020). *Evaluación de dos macrófitos en el tratamiento de aguas residuales domésticas de la parroquia González Suárez, cantón Otavalo*. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10582>

ANEXOS

Anexo 1. Registro fotográfico

Figura 1

a) *Identificación de colonias de macrófitos en la laguna de Yahuarcocha* b) *colocación de plántulas en un recipiente para su propagación* c) *mantenimiento y colecta de plántulas propagadas por rizomas*



Figura 2

Medición y construcción de los humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal con plantas flotantes

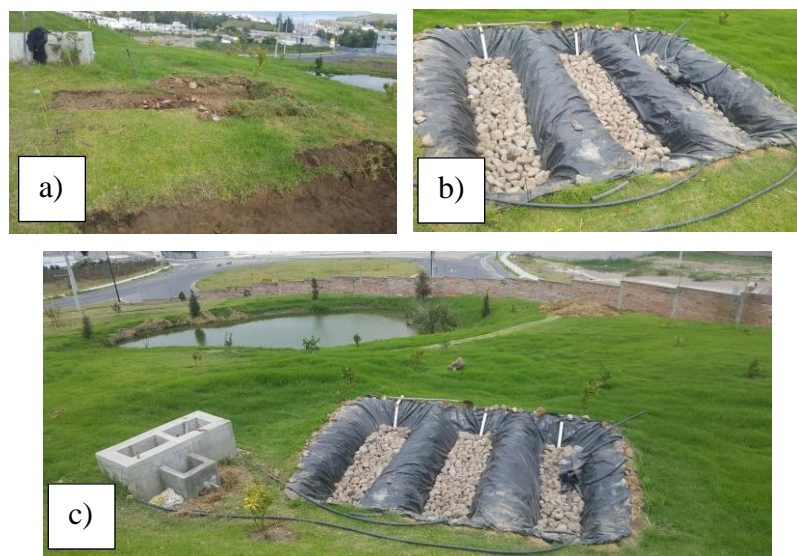


Figura 3

Adecuación e implementación de los macrófitos en los humedales

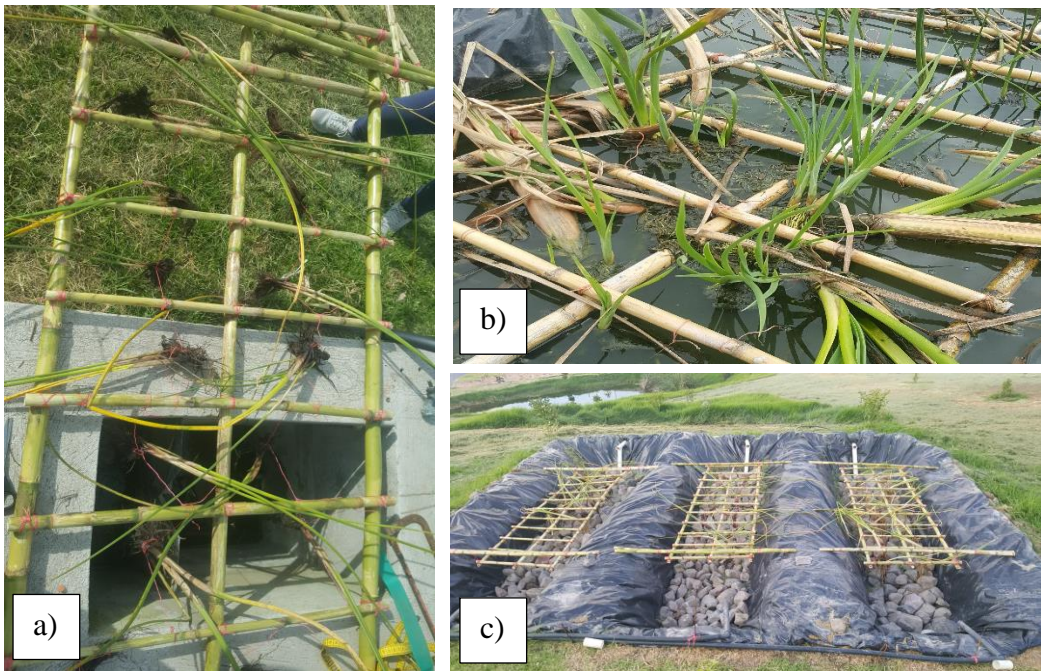



Figura 4

Muestreo y análisis de los parámetros fisicoquímicos en campo y laboratorio



Anexo 2. Resultados de análisis de parámetros fisicoquímicos realizados en la investigación de campo y laboratorio.




Gobierno Provincial de Imbabura
 Dirección General de Ambiente
 Jefatura de Calidad Ambiental

INFORME DE CALIDAD DE AGUA


| | |
|--------------------------|---|
| Número Informe: | ICA-DGAM-JCA-2022-006 |
| Proyecto: | Sistema de tratamiento experimental Tesis Ingreso |
| Solicitante: | Sr. Jorge Acosta |
| Dirección del Proyecto | Estadio UTN |
| Coordenadas: | X= 820396 Y= 42066,5 |
| Fecha de Muestreo | 1 de septiembre 2022 |
| Responsable del Muestreo | Sr. Jorge Acosta |
| Fecha de análisis | 1 de septiembre 2022 |
| Fecha Informe | 2 de septiembre 2022 |


| PARÁMETRO ANALIZADO | UNIDAD | EXPRESADO EN | VALOR | LIMITE MAXIMO PERMISIBLE* | CRITERIO |
|-------------------------------|--------|----------------------------------|-------|---------------------------|----------|
| pH | n/a | pH | 7,14 | 6 - 9 | cumple |
| Conductividad | µS/cm | Cond. | 1217 | n/a | - |
| Sólidos Disueltos Totales | mg/l | STD | 622 | n/a | - |
| Temperatura | °C | Temp. | 23,7 | 40 | cumple |
| Oxígeno disuelto | mg/l | OD | 1,32 | n/a | - |
| % Saturación Oxígeno disuelto | % | %Sat. | 20,4 | n/a | - |
| Turbiedad | NTU | Turb. | 155 | n/a | - |
| Demanda Química de Oxígeno | mg/l | DQO | 463 | 500 | cumple |
| Nitritos | mg/l | (NO ₂) ⁻ | 0,037 | n/a | - |
| Nitratos | mg/l | (NO ₃) ⁻ | 23,9 | n/a | - |
| Nitrógeno Amoniacal | mg/l | (NH ₄) ⁺ | >50 | n/a | - |
| Nitrógeno Total | mg/l | N | | n/a | - |
| Fósforos | mg/l | (PO ₄) ³⁻ | 24,1 | n/a | - |
| Cloro Libre | mg/l | Cl ₂ | | 0,5 | - |
| Sulfatos | mg/l | (SO ₄) ²⁻ | | 400 | - |
| Hierro | mg/l | Fe | | 25 | - |
| Manganeso | mg/l | Mn | | 25 | - |
| Cromo Hexavalente | mg/l | (Cr) ⁺⁶ | | 0,5 | - |
| Aluminio | mg/l | (Al) ⁺³ | | 5 | - |

* Acuerdo Ministerial 097-A ANEXO 1 DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE; NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES AL RECURSO AGUA TABLA 8. LÍMITES DE DESCARGA AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PÚBLICO



Responsable del Análisis





Jefe de Calidad Ambiental

Gobierno Provincial de Imbabura
Dirección General de Ambiente
Jefatura de Calidad Ambiental
INFORME DE CALIDAD DE AGUA

| | | | |
|---------------------------|---|------------|--|
| Número Informe: | ICA-DGAM-JCA-2022-023 | | |
| Proyecto: | Sistema de tratamiento experimental Tesis Ingreso | | |
| Solicitante: | Sr. Jorge Acosta | | |
| Dirección del Proyecto: | Estado UTH | | |
| Coordenadas: | X= 820396 | Y= 42066,5 | |
| Fecha de Muestreo: | 06 de octubre 2022 | | |
| Responsable del Muestreo: | Sr. Jorge Acosta | | |
| Fecha de análisis: | 06 de octubre 2022 | | |
| Fecha Informe: | 07 de octubre 2022 | | |

| PARÁMETRO ANALIZADO | UNIDAD | EXPRESADO EN | VALOR | LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE* | CRITERIO |
|-------------------------------|--------|----------------------------------|-------|---------------------------|----------|
| pH | n/a | pH | 7,4 | 6-9 | cumple |
| Conductividad | µS/cm | Cond. | 1137 | n/a | - |
| Sólidos Disueltos Totales | mg/l | STD | 636 | n/a | - |
| Temperatura | °C | Temp. | 23,8 | 40 | cumple |
| Oxígeno disuelto | mg/l | OD | 0,72 | n/a | - |
| % Saturación Oxígeno disuelto | % | NSat. | 10,2 | n/a | - |
| Turbiedad | NTU | Turb. | 26 | n/a | - |
| Demanda Química de Oxígeno | mg/l | DQO | 228 | 500 | cumple |
| Nitrosos | mg/l | (NO ₂) | 0,038 | n/a | - |
| Nitrosos | mg/l | (NO ₂) | 8 | n/a | - |
| Nitrogeno Amomiacal | mg/l | (NH ₄) ⁺ | 70 | n/a | - |
| Nitrogeno Total | mg/l | N | n/a | n/a | - |
| Fosfato | mg/l | (PO ₄) ³⁻ | 23,8 | n/a | - |
| Cloro Libre | mg/l | Cl ₂ | 0,5 | - | - |
| Sulfatos | mg/l | (SO ₄) ²⁻ | 400 | - | - |
| Hierro | mg/l | Fe | 25 | - | - |
| Manganeso | mg/l | Mn | 25 | - | - |
| Cromo Hexavalente | mg/l | (Cr) ^{VI} | 0,5 | - | - |
| Aluminio | mg/l | (Al) ³⁺ | 5 | - | - |

* Acuerdo Ministerial 097-A ANEXO I DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE.

DIRECCIÓN GENERAL DE AMBIENTE
CALIDAD AMBIENTAL

Gobierno Provincial de Imbabura
Dirección General de Ambiente
Jefatura de Calidad Ambiental
INFORME DE CALIDAD DE AGUA

| | | | |
|---------------------------|---|------------|--|
| Número Informe: | ICA-DGAM-JCA-2022-021 | | |
| Proyecto: | Sistema de tratamiento experimental Tesis Ingreso | | |
| Solicitante: | Sr. Jorge Acosta | | |
| Dirección del Proyecto: | Estado UTH | | |
| Coordenadas: | X= 820396 | Y= 42066,5 | |
| Fecha de Muestreo: | 29 de septiembre 2022 | | |
| Responsable del Muestreo: | Sr. Jorge Acosta | | |
| Fecha de análisis: | 29 de septiembre 2022 | | |
| Fecha Informe: | 30 de septiembre 2022 | | |

| PARÁMETRO ANALIZADO | UNIDAD | EXPRESADO EN | VALOR | LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE* | CRITERIO |
|-------------------------------|--------|----------------------------------|-------|---------------------------|----------|
| pH | n/a | pH | 7,37 | 6-9 | cumple |
| Conductividad | µS/cm | Cond. | 1118 | n/a | - |
| Sólidos Disueltos Totales | mg/l | STD | 619 | n/a | - |
| Temperatura | °C | Temp. | 19,8 | 40 | cumple |
| Oxígeno disuelto | mg/l | OD | 0,21 | n/a | - |
| % Saturación Oxígeno disuelto | % | NSat. | 1 | n/a | - |
| Turbiedad | NTU | Turb. | 37,7 | n/a | - |
| Demanda Química de Oxígeno | mg/l | DQO | 290 | 500 | cumple |
| Nitrosos | mg/l | (NO ₂) | 0,02 | n/a | - |
| Nitrosos | mg/l | (NO ₂) | 13,3 | n/a | - |
| Nitrogeno Amomiacal | mg/l | (NH ₄) ⁺ | 12 | n/a | - |
| Nitrogeno Total | mg/l | N | n/a | n/a | - |
| Fosfato | mg/l | (PO ₄) ³⁻ | 26,4 | n/a | - |
| Cloro Libre | mg/l | Cl ₂ | 0,5 | - | - |
| Sulfatos | mg/l | (SO ₄) ²⁻ | 400 | - | - |
| Hierro | mg/l | Fe | 25 | - | - |
| Manganeso | mg/l | Mn | 25 | - | - |
| Cromo Hexavalente | mg/l | (Cr) ^{VI} | 0,5 | - | - |
| Aluminio | mg/l | (Al) ³⁺ | 5 | - | - |

* Acuerdo Ministerial 097-A ANEXO I DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE.

DIRECCIÓN GENERAL DE AMBIENTE
CALIDAD AMBIENTAL

Gobierno Provincial de Imbabura
Dirección General de Ambiente
Jefatura de Calidad Ambiental
INFORME DE CALIDAD DE AGUA

| | | | |
|---------------------------|---|------------|--|
| Número Informe: | ICA-DGAM-JCA-2022-019 | | |
| Proyecto: | Sistema de tratamiento experimental Tesis Ingreso | | |
| Solicitante: | Sr. Jorge Acosta | | |
| Dirección del Proyecto: | Estado UTH | | |
| Coordenadas: | X= 820396 | Y= 42066,5 | |
| Fecha de Muestreo: | 29 de septiembre 2022 | | |
| Responsable del Muestreo: | Sr. Jorge Acosta | | |
| Fecha de análisis: | 29 de septiembre 2022 | | |
| Fecha Informe: | 30 de septiembre 2022 | | |

| PARÁMETRO ANALIZADO | UNIDAD | EXPRESADO EN | VALOR | LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE* | CRITERIO |
|-------------------------------|--------|----------------------------------|-------|---------------------------|----------|
| pH | n/a | pH | 7,35 | 6-9 | cumple |
| Conductividad | µS/cm | Cond. | 1090 | n/a | - |
| Sólidos Disueltos Totales | mg/l | STD | 631 | n/a | - |
| Temperatura | °C | Temp. | 18,8 | 40 | cumple |
| Oxígeno disuelto | mg/l | OD | 0,13 | n/a | - |
| % Saturación Oxígeno disuelto | % | NSat. | 3,7 | n/a | - |
| Turbiedad | NTU | Turb. | 75,3 | n/a | - |
| Demanda Química de Oxígeno | mg/l | DQO | 279 | 500 | cumple |
| Nitrosos | mg/l | (NO ₂) | 0,013 | n/a | - |
| Nitrosos | mg/l | (NO ₂) | 10,5 | n/a | - |
| Nitrogeno Amomiacal | mg/l | (NH ₄) ⁺ | 23 | n/a | - |
| Nitrogeno Total | mg/l | N | n/a | n/a | - |
| Fosfato | mg/l | (PO ₄) ³⁻ | 24,4 | n/a | - |
| Cloro Libre | mg/l | Cl ₂ | 0,5 | - | - |
| Sulfatos | mg/l | (SO ₄) ²⁻ | 400 | - | - |
| Hierro | mg/l | Fe | 25 | - | - |
| Manganeso | mg/l | Mn | 25 | - | - |
| Cromo Hexavalente | mg/l | (Cr) ^{VI} | 0,5 | - | - |
| Aluminio | mg/l | (Al) ³⁺ | 5 | - | - |

* Acuerdo Ministerial 097-A ANEXO I DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE. NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES AL RECURSO AGUA. TABLA B. LÍMITES DE DESCARGA AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PÚBLICO.

DIRECCIÓN GENERAL DE AMBIENTE
CALIDAD AMBIENTAL

Gobierno Provincial de Imbabura
Dirección General de Ambiente
Jefatura de Calidad Ambiental
INFORME DE CALIDAD DE AGUA

| | | | |
|---------------------------|---|------------|--|
| Número Informe: | ICA-DGAM-JCA-2022-011 | | |
| Proyecto: | Sistema de tratamiento experimental Tesis Ingreso | | |
| Solicitante: | Sr. Jorge Acosta | | |
| Dirección del Proyecto: | Estado UTH | | |
| Coordenadas: | X= 820396 | Y= 42066,5 | |
| Fecha de Muestreo: | 8 de septiembre 2022 | | |
| Responsable del Muestreo: | Sr. Jorge Acosta | | |
| Fecha de análisis: | 8 de septiembre 2022 | | |
| Fecha Informe: | 9 de septiembre 2022 | | |

| PARÁMETRO ANALIZADO | UNIDAD | EXPRESADO EN | VALOR | LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE* | CRITERIO |
|-------------------------------|--------|----------------------------------|-------|---------------------------|----------|
| pH | n/a | pH | 7,41 | 6-9 | cumple |
| Conductividad | µS/cm | Cond. | 1220 | n/a | - |
| Sólidos Disueltos Totales | mg/l | STD | 668 | n/a | - |
| Temperatura | °C | Temp. | 19,1 | 40 | cumple |
| Oxígeno disuelto | mg/l | OD | 0,12 | n/a | - |
| % Saturación Oxígeno disuelto | % | NSat. | 3,7 | n/a | - |
| Turbiedad | NTU | Turb. | 20,2 | n/a | - |
| Demanda Química de Oxígeno | mg/l | DQO | 184 | 500 | cumple |
| Nitrosos | mg/l | (NO ₂) | 0,038 | n/a | - |
| Nitrosos | mg/l | (NO ₂) | 14 | n/a | - |
| Nitrogeno Amomiacal | mg/l | (NH ₄) ⁺ | 6 | n/a | - |
| Nitrogeno Total | mg/l | N | n/a | n/a | - |
| Fosfato | mg/l | (PO ₄) ³⁻ | 23,7 | n/a | - |
| Cloro Libre | mg/l | Cl ₂ | 0,5 | - | - |
| Sulfatos | mg/l | (SO ₄) ²⁻ | 400 | - | - |
| Hierro | mg/l | Fe | 25 | - | - |
| Manganeso | mg/l | Mn | 25 | - | - |
| Cromo Hexavalente | mg/l | (Cr) ^{VI} | 0,5 | - | - |
| Aluminio | mg/l | (Al) ³⁺ | 5 | - | - |

* Acuerdo Ministerial 097-A ANEXO I DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE. NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES AL RECURSO AGUA. TABLA B. LÍMITES DE DESCARGA AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PÚBLICO.

DIRECCIÓN GENERAL DE AMBIENTE
CALIDAD AMBIENTAL

Gobierno Provincial de Imbabura
 Dirección General de Ambiente
 Jefatura de Calidad Ambiental
INFORME DE CALIDAD DE AGUA

| | | | |
|---------------------------|---|------------|--|
| Número Informe: | ICA-DGAM-JCA-2022-013 | | |
| Proyecto: | Sistema de tratamiento experimental Tejis Ingreso | | |
| Solicitante: | Sr. Jorge Acosta | | |
| Dirección del Proyecto: | Estadio UTN | | |
| Coordenadas: | X= 820396 | Y= 42066,5 | |
| Fecha de Muestreo: | 8 de septiembre 2022 | | |
| Responsable del Muestreo: | Sr. Jorge Acosta | | |
| Fecha de análisis: | 8 de septiembre 2022 | | |
| Fecha Informe: | 9 de septiembre 2022 | | |

| PARÁMETRO ANALIZADO | UNIDAD | EXPRESADO EN | VALOR | LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE* | CRITERIO |
|-------------------------------|--------|----------------------------------|-------|---------------------------|----------|
| pH | n/a | pH | 7,45 | 6 - 9 | cumple |
| Conductividad | µS/cm | Cond. | 1209 | n/a | - |
| Sólidos Disueltos Totales | mg/l | TDT | 672 | n/a | - |
| Temperatura | °C | Temp. | 18,9 | 40 | cumple |
| Oxígeno disuelto | mg/l | OD | 0,12 | n/a | - |
| % Saturación Oxígeno disuelto | % | %Sat. | 1,7 | n/a | - |
| Turbiedad | NTU | Turb. | 14 | n/a | - |
| Demanda Química de Oxígeno | mg/l | DQO | 88 | 500 | cumple |
| Nitratos | mg/l | (NO ₃) ⁻ | 0,026 | n/a | - |
| Nitritos | mg/l | (NO ₂) ⁻ | 5,5 | n/a | - |
| Nitrogeno Ammoniacal | mg/l | (NH ₄) ⁺ | 9 | n/a | - |
| Nitrogeno Total | mg/l | N | n/a | n/a | - |
| Fósforo | mg/l | (PO ₄) ³⁻ | 21 | n/a | - |
| Cloro Libre | mg/l | Cl ₂ | 0,5 | 0,5 | - |
| Sulfatos | mg/l | (SO ₄) ²⁻ | 400 | 400 | - |
| Sulfuro | mg/l | (S ₂) ²⁻ | 25 | 25 | - |
| Hierro | mg/l | Fe | 25 | 25 | - |
| Manganeso | mg/l | Mn | 25 | 25 | - |
| Cromo Hexavalente | mg/l | (Cr) ⁶⁺ | 0,5 | 0,5 | - |
| Aluminio | mg/l | (Al) ³⁺ | 5 | 5 | - |

* Acuerdo Ministerial 097-A-ANEXO 3 DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE, NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES AL RECURSO AGUA TABLA B. LÍMITES DE DESCARGA AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PÚBLICO

DIRECCIÓN GENERAL DE AMBIENTE
CALIDAD AMBIENTAL

Gobierno Provincial de Imbabura
 Dirección General de Ambiente
 Jefatura de Calidad Ambiental
INFORME DE CALIDAD DE AGUA

| | | | |
|---------------------------|---|------------|--|
| Número Informe: | ICA-DGAM-JCA-2022-015 | | |
| Proyecto: | Sistema de tratamiento experimental Tejis Ingreso | | |
| Solicitante: | Sr. Jorge Acosta | | |
| Dirección del Proyecto: | Estadio UTN | | |
| Coordenadas: | X= 820396 | Y= 42066,5 | |
| Fecha de Muestreo: | 22 de septiembre 2022 | | |
| Responsable del Muestreo: | Sr. Jorge Acosta | | |
| Fecha de análisis: | 22 de septiembre 2022 | | |
| Fecha Informe: | 23 de septiembre 2022 | | |

| PARÁMETRO ANALIZADO | UNIDAD | EXPRESADO EN | VALOR | LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE* | CRITERIO |
|-------------------------------|--------|----------------------------------|-------|---------------------------|-----------|
| pH | n/a | pH | 7,36 | 6 - 9 | cumple |
| Conductividad | µS/cm | Cond. | 1218 | n/a | - |
| Sólidos Disueltos Totales | mg/l | TDT | 682 | n/a | - |
| Temperatura | °C | Temp. | 20,2 | 40 | cumple |
| Oxígeno disuelto | mg/l | OD | 0 | n/a | - |
| % Saturación Oxígeno disuelto | % | %Sat. | 0 | n/a | - |
| Turbiedad | NTU | Turb. | 31 | n/a | - |
| Demanda Química de Oxígeno | mg/l | DQO | 375 | 500 | No cumple |
| Nitratos | mg/l | (NO ₃) ⁻ | 0,012 | n/a | - |
| Nitritos | mg/l | (NO ₂) ⁻ | 12,8 | n/a | - |
| Nitrogeno Ammoniacal | mg/l | (NH ₄) ⁺ | 110 | n/a | - |
| Nitrogeno Total | mg/l | N | n/a | n/a | - |
| Fósforo | mg/l | (PO ₄) ³⁻ | 25 | n/a | - |
| Cloro Libre | mg/l | Cl ₂ | 0,5 | 0,5 | - |
| Sulfatos | mg/l | (SO ₄) ²⁻ | 400 | 400 | - |
| Hierro | mg/l | Fe | 25 | 25 | - |
| Manganeso | mg/l | Mn | 25 | 25 | - |
| Cromo Hexavalente | mg/l | (Cr) ⁶⁺ | 0,5 | 0,5 | - |
| Aluminio | mg/l | (Al) ³⁺ | 5 | 5 | - |

* Acuerdo Ministerial 097-A-ANEXO 3 DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE, NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES AL RECURSO AGUA TABLA B. LÍMITES DE DESCARGA AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PÚBLICO

DIRECCIÓN GENERAL DE AMBIENTE
CALIDAD AMBIENTAL

Gobierno Provincial de Imbabura
 Dirección General de Ambiente
 Jefatura de Calidad Ambiental
INFORME DE CALIDAD DE AGUA

| | | | |
|---------------------------|---|------------|--|
| Número Informe: | ICA-DGAM-JCA-2022-017 | | |
| Proyecto: | Sistema de tratamiento experimental Tejis Ingreso | | |
| Solicitante: | Sr. Jorge Acosta | | |
| Dirección del Proyecto: | Estadio UTN | | |
| Coordenadas: | X= 820396 | Y= 42066,5 | |
| Fecha de Muestreo: | 22 de septiembre 2022 | | |
| Responsable del Muestreo: | Sr. Jorge Acosta | | |
| Fecha de análisis: | 22 de septiembre 2022 | | |
| Fecha Informe: | 23 de septiembre 2022 | | |

| PARÁMETRO ANALIZADO | UNIDAD | EXPRESADO EN | VALOR | LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE* | CRITERIO |
|-------------------------------|--------|----------------------------------|-------|---------------------------|-----------|
| pH | n/a | pH | 7,14 | 6 - 9 | cumple |
| Conductividad | µS/cm | Cond. | 1317 | n/a | - |
| Sólidos Disueltos Totales | mg/l | TDT | 671 | n/a | - |
| Temperatura | °C | Temp. | 20,7 | 40 | cumple |
| Oxígeno disuelto | mg/l | OD | 0 | n/a | - |
| % Saturación Oxígeno disuelto | % | %Sat. | 0 | n/a | - |
| Turbiedad | NTU | Turb. | 22,5 | n/a | - |
| Demanda Química de Oxígeno | mg/l | DQO | 512 | 500 | No cumple |
| Nitratos | mg/l | (NO ₃) ⁻ | 0,026 | n/a | - |
| Nitritos | mg/l | (NO ₂) ⁻ | 25,4 | n/a | - |
| Nitrogeno Ammoniacal | mg/l | (NH ₄) ⁺ | 140 | n/a | - |
| Nitrogeno Total | mg/l | N | n/a | n/a | - |
| Fósforo | mg/l | (PO ₄) ³⁻ | 26,7 | n/a | - |
| Cloro Libre | mg/l | Cl ₂ | 0,5 | 0,5 | - |
| Sulfatos | mg/l | (SO ₄) ²⁻ | 400 | 400 | - |
| Hierro | mg/l | Fe | 25 | 25 | - |
| Manganeso | mg/l | Mn | 25 | 25 | - |
| Cromo Hexavalente | mg/l | (Cr) ⁶⁺ | 0,5 | 0,5 | - |
| Aluminio | mg/l | (Al) ³⁺ | 5 | 5 | - |

* Acuerdo Ministerial 097-A-ANEXO 3 DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE, NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES AL RECURSO AGUA TABLA B. LÍMITES DE DESCARGA AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PÚBLICO

DIRECCIÓN GENERAL DE AMBIENTE
CALIDAD AMBIENTAL

Gobierno Provincial de Imbabura
 Dirección General de Ambiente
 Jefatura de Calidad Ambiental
INFORME DE CALIDAD DE AGUA

| | | | |
|---------------------------|---|------------|--|
| Número Informe: | ICA-DGAM-JCA-2022-009 | | |
| Proyecto: | Sistema de tratamiento experimental Tejis Ingreso | | |
| Solicitante: | Sr. Jorge Acosta | | |
| Dirección del Proyecto: | Estadio UTN | | |
| Coordenadas: | X= 820396 | Y= 42066,5 | |
| Fecha de Muestreo: | 1 de septiembre 2022 | | |
| Responsable del Muestreo: | Sr. Jorge Acosta | | |
| Fecha de análisis: | 1 de septiembre 2022 | | |
| Fecha Informe: | 2 de septiembre 2022 | | |

| PARÁMETRO ANALIZADO | UNIDAD | EXPRESADO EN | VALOR | LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE* | CRITERIO |
|-------------------------------|--------|----------------------------------|-------|---------------------------|----------|
| pH | n/a | pH | 7,13 | 6 - 9 | cumple |
| Conductividad | µS/cm | Cond. | 1299 | n/a | - |
| Sólidos Disueltos Totales | mg/l | TDT | 668 | n/a | - |
| Temperatura | °C | Temp. | 23,2 | 40 | cumple |
| Oxígeno disuelto | mg/l | OD | 0,56 | n/a | - |
| % Saturación Oxígeno disuelto | % | %Sat. | 6,7 | n/a | - |
| Turbiedad | NTU | Turb. | 39 | n/a | - |
| Demanda Química de Oxígeno | mg/l | DQO | 390 | 500 | cumple |
| Nitratos | mg/l | (NO ₃) ⁻ | 0,008 | n/a | - |
| Nitritos | mg/l | (NO ₂) ⁻ | 16 | n/a | - |
| Nitrogeno Ammoniacal | mg/l | (NH ₄) ⁺ | 250 | n/a | - |
| Nitrogeno Total | mg/l | N | n/a | n/a | - |
| Fósforo | mg/l | (PO ₄) ³⁻ | 17,1 | n/a | - |
| Cloro Libre | mg/l | Cl ₂ | 0,5 | 0,5 | - |
| Sulfatos | mg/l | (SO ₄) ²⁻ | 400 | 400 | - |
| Hierro | mg/l | Fe | 25 | 25 | - |
| Manganeso | mg/l | Mn | 25 | 25 | - |
| Cromo Hexavalente | mg/l | (Cr) ⁶⁺ | 0,5 | 0,5 | - |
| Aluminio | mg/l | (Al) ³⁺ | 5 | 5 | - |

* Acuerdo Ministerial 097-A-ANEXO 3 DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE, NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES AL RECURSO AGUA TABLA B. LÍMITES DE DESCARGA AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PÚBLICO

DIRECCIÓN GENERAL DE AMBIENTE
CALIDAD AMBIENTAL



Gobierno Provincial de Imbabura

Dirección General de Ambiente
Jefatura de Calidad Ambiental

INFORME DE CALIDAD DE AGUA

Table with metadata: Número Informe: ICA-DGAM-ICA-2022-007, Proyecto: Sistema de tratamiento experimental Tesis Ingreso, etc.

Main data table with columns: PARÁMETRO ANALIZADO, UNIDAD, EXPRESADO EN, VALOR, LIMITE MAXIMO PERMISIBLE*, CRITERIO

* Acuerdo Ministerial 097-A ANEXO I DEL LIBRO V DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE...

Signatures and stamps at the bottom of the first report.



Gobierno Provincial de Imbabura

Dirección General de Ambiente
Jefatura de Calidad Ambiental

INFORME DE CALIDAD DE AGUA

Table with metadata: Número Informe: ICA-DGAM-ICA-2022-025, Proyecto: Sistema de tratamiento experimental Tesis Ingreso, etc.

Main data table with columns: PARÁMETRO ANALIZADO, UNIDAD, EXPRESADO EN, VALOR, LIMITE MAXIMO PERMISIBLE*, CRITERIO

* Acuerdo Ministerial 097-A ANEXO I DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL...

Signatures and stamps at the bottom of the second report.

Anexo 3. Diseño de estrategias de manejo de las especies *Typha latifolia* y *Schoenoplectus californicus*

“ESTRATEGIAS DE MANEJO DE LOS MACRÓFITOS
SCHOENOPLECTUS CALIFORNICUS Y *TYPHA*
LATIFOLIA EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES”

Autor: Andrés Acosta




INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso esencial para la vida, pero solo el 2.5% de la superficie de la Tierra está cubierta de agua dulce, y solo el 0.3% de esta agua está disponible para nuestro uso. Por lo tanto, debemos cuidar el agua que consumimos y usarla de manera eficiente (Comisión Nacional del Agua, 2013).

Las **tecnologías sostenibles** para el tratamiento de aguas residuales son aquellas que utilizan recursos naturales y procesos biológicos para eliminar los contaminantes. Estas tecnologías tienen una serie de ventajas sobre las tecnologías tradicionales (Aguilar et al., 2002).

- **Humedales artificiales:** sistemas que utilizan plantas y microorganismos para depurar las aguas residuales.
- **Filtros de arena:** Los filtros de arena utilizan arena para retener los sólidos y las bacterias.
- **Técnicas de oxidación avanzada:** Las técnicas de oxidación avanzada utilizan agentes químicos para eliminar los contaminantes.



La fitorremediación, una solución basada en aprovechamiento de las capacidades sostenibles de la naturaleza

La fitorremediación es una técnica ambiental que aprovecha el potencial presente en la naturaleza misma para autorregularse, surge como un proceso donde se aprovechan la capacidad de ciertas plantas ya sea para acumular, absorber, metabolizar, estabilizar o volatilizar las sustancias contaminantes de un medio ya sea suelo, agua o aire (Oquendo, 2016).

Es un proceso donde plantas ayudan de manera satisfactoria a reducir la contaminación de las aguas residuales debido a su capacidad de absorber o retener los contaminantes o sedimentos como: metales pesados y radiactivos o compuestos orgánicos e inorgánicos (Mendoza et al, 2016).



Humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal con plantas flotantes, como tecnología sostenible en el tratamiento de aguas residuales



Para dicho proceso comúnmente se realizan humedales donde estas plantas están en contacto directo con el agua contaminada de tal manera que puede almacenar o retener los contaminantes presentes en el afluente (Delgadillo et al., 2010).

Aporte de las tecnologías sostenibles para la gestión integral y sostenible en el tratamiento de aguas residuales, basado en:

Captación:

- Fácil construcción y de bajo costo
- Consumo de energía muy bajo o casi nulo
- Operación y mantenimiento sencillo
- No tienen un alto impacto sobre el medio ambiente
- Eficientes y viables en comunidades pequeñas

Tratamiento:

- Eliminación de microorganismos patógenos buena
- Tienen un buen rendimiento en la degradación de contaminantes
- Escaso mantenimiento y fácil de operar
- Costos de construcción y de consumo de energía bajos
- Producción de ruido y residuos baja
- Tiene una buena integración al medio ambiente

Reutilización:

- Mayor disponibilidad del recurso
- Reúso del recurso en el sitio mismo
- Estabilidad en el caudal de abastecimiento
- Disminuyen los vertidos en la red de saneamiento urbano
- Ahorro significativo de recursos en el proceso de depuración de aguas residuales

Son más respetuosas con el medio ambiente: Las tecnologías sostenibles utilizan recursos naturales renovables y generan menos residuos.

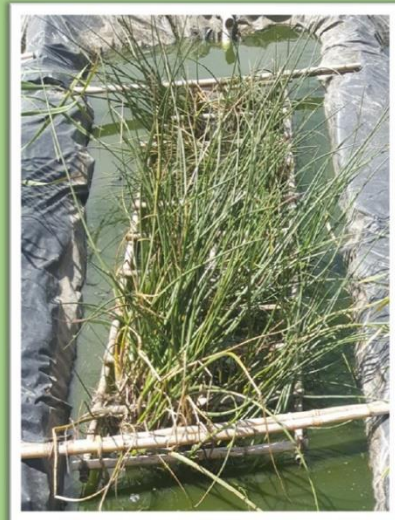
Son más eficientes: Las tecnologías sostenibles pueden eliminar los contaminantes con menor consumo de energía y recursos.

Son más rentables: Las tecnologías sostenibles pueden reducir los costos de tratamiento a largo plazo.

Descripción de los macrófitos utilizados en el estudio

Schoenoplectus californicus

La totora, también conocida con el nombre científico de *Schoenoplectus californicus*, es una planta acuática perenne que pertenece a la familia de las ciperáceas. Fue descrita por primera vez por Persoon en 1805. Puede alcanzar una altura de entre 1 y 3 metros y es muy común en esteros y pantanos de América del Sur. La totora tiene un tallo erecto, liso y cespitoso. En su parte inferior, presenta hojas con vainas foliares que carecen de láminas. Su inflorescencia es un agregado simple en espiguillas.



Typha latifolia



La cola de gato, también conocida como *Typha latifolia*, es una planta herbácea perenne que pertenece a la familia de las tifáceas. Fue descrita por primera vez por Kronfeld en 1889. Puede alcanzar una altura de entre 1,5 y 3 metros. Esta especie se distribuye en áreas con climas tropicales y subtropicales. Ocupa zonas pantanosas, marismas, orillas de lagos, estuarios costeros y zanjas de carreteras de todos los continentes. Sus hojas son planas y de color verde claro. Pueden tener un ancho de entre 2 y 4 centímetros. Se disponen en una vaina en la base de la cual sale una inflorescencia en espiga que puede medir entre 20 y 40 centímetros.

Métodos de propagación recomendado, aplicado a los macrófitos utilizados en la investigación

El protocolo de recolección y procesamiento de individuos utilizado por Oquendo (2016), consiste en una recolección de plántulas con esquejes adecuados para su proliferación y una posterior fase de adaptación en un sustrato.



La recolección de plántulas de estas dos especies consistió en dirigirse a la laguna de Yahuarcocha e identificar colonias saludables a la vista, posterior a esto se procedió a la extracción de los esquejes para su propagación. La extracción de dichos esquejes se realizó con herramienta de mano como tijeras, palas y machete.

Reproducción asexual o por esquejes de los dos macrófitos

Procedimiento:

1. Dirigirse al sistema lacustre.
2. Seleccionar comunidades saludables de las especies a recolectar.
3. Extraer las plántulas con raíces, rizomas y que en sus tallos contengan yemas.
4. Colocar los ejemplares en un recipiente con abundante agua extraída del sitio.
5. Colocar el recipiente con las plántulas en un lugar donde la luz del sol no llegue directamente.
6. Cambiar de agua cada 15 días, ya sea con agua del lugar donde fueron extraídas o con el agua de acequia. El uso de algún tipo de sustrato es opcional y en este caso no fue necesario.



Aplicación de los macrófitos en los humedales de flujo subsuperficial horizontal con plantas flotantes



Con el fin de que reduzca al mínimo la filtración del agua residual a tratarse se colocó una geomembrana que cubra todo el humedal, posterior a esto para que las plántulas se fijen en la capa superior del agua a tratarse y que acurra el flujo subsuperficial, adicional a esto se realizó una adecuación con cuadrículas de bambú que sostengan los esquejes hasta que se produzca una adecuada adaptación y posterior proliferación.

Proceso de cosecha y mantenimiento de los macrófitos



1. Las dos especies al ser de tipo perenne requieren una cosecha cada año, sin embargo, se recomienda realizar una poda cada 6 meses.
2. La poda manual de las hojas que van deteriorándose se debe realizar cada tres meses con la ayuda de tijeras de podar, esto hará que la planta genere nueva biomasa y por defecto tendrá una mayor absorción de contaminantes del medio (esta poda podría ser realizada más a menudo).

Manejo y aprovechamiento de los residuos

El manejo del material vegetal resultante de la poda y mantenimiento de los macrófitos esta direccionado a su aprovechamiento en beneficio de la comunidad, por ejemplo, dependiendo su uso tenemos:



El uso de la totora es muy versátil y data de la antigüedad tanto en la construcción de techos para las viviendas y embarcaciones en las playas, sin embargo, los tallos de menor tamaño y las hojas de la Typha se emplean en la actualidad para la construcción de esteras y artesanías en las comunidades de nuestro país, como podemos encontrar cerca de centros turísticos de lagos y lagunas de nuestro país como Quilotoa, Cuicocha, San Pablo, etc.

En cuanto al **uso agropecuario** se puede realizar diferentes tipos de composta con la finalidad de regresar los nutrientes al suelo luego de una agricultura excesiva, en un estudio realizado por (Barrionuevo et al., 2020) se investigó y realizaron compost con macrófitos en una mezcla de 60/40 con gallinaza, respectivamente.



Dicho estudio tuvo resultados muy satisfactorios debido a que concluyeron, que es una alternativa de tratamiento viable para los macrófitos y podría ser un excelente estructurante para la elaboración del compost. De igual manera estos son muy buenos alimentos para el ganado y se presenta como una alternativa a la cual, debe manejarse con precaución debido a los contaminantes (Nieto, 2013).

La fitorremediación, una alternativa de tratamiento de aguas residuales municipales saludable para nuestro planeta, con enfoque sostenible.



El uso de tecnologías sostenibles para el tratamiento de aguas residuales es una forma importante de proteger el medio ambiente, mejorar la salud pública y reducir el uso de recursos naturales.

¡Hagámoslo juntos, hagámoslo por todos!