

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES

EVALUACIÓN DE DOS MACRÓFITOS EN EL TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA PARROQUIA GONZÁLEZ
SUÁREZ, CANTÓN OTAVALO

PLAN DE TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERAS EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

AUTORAS:

SUÁREZ MESA VERÓNICA YECENIA
VÁSQUEZ VILLACRESES KARLA DANIELA

DIRECTOR

BIOL. JORGE RENATO OQUENDO ANDINO MSc.

Ibarra-Ecuador

2020



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**“EVALUACIÓN DE DOS MACRÓFITOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA PARROQUIA GONZÁLEZ SUÁREZ,
CANTÓN OTAVALO”**

Trabajo de titulación revisada por el Comité Asesor, previa a la obtención del Título de:
INGENIERAS EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

APROBADA:

Biól. Renato Oquendo MSc.

DIRECTOR

Biól. Renato Oquendo MSc.

FIRMA

Ing. Elizabeth Velarde MSc.

ASESOR

FIRMA

Ing. Santiago Cabrera MSc.

ASESOR

FIRMA

IBARRA-ECUADOR

SEPTIEMBRE, 2020



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:	DE	1004481329	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Y	Suárez Mesa Verónica Yecenia	
DIRECCIÓN:		Los Óvalos-Antonio Ante-Imbabura	
EMAIL:		vysuarezm@utn.eu.ec	
TELÉFONO FIJO:	(06)2535-646	TELÉFONO MÓVIL:	098665107

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	EVALUACIÓN DE DOS MACRÓFITOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA PARROQUIA GONZÁLEZ SUÁREZ, CANTÓN OTAVALO.
AUTOR (ES):	Suárez Mesa Verónica Yecenia Vásquez Villacreses Karla Daniela
FECHA:	22 de Septiembre del 2020
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera en Recursos Naturales Renovables
ASESOR /DIRECTOR:	Biól. Renato Oquendo 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 22 días del mes de Septiembre de 2020

EL AUTOR:

Firma:

Nombre: Suárez Mesa Verónica Yecenia



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 IDENTIDAD:	DE	1004386874	
APELLIDOS NOMBRES:	Y	Vásquez Villacreses Karla Daniela	
DIRECCIÓN:	Cdla 31 de Octubre-Otavalo-Imbabura		
EMAIL:	kdvasquezv@utn.eu.ec		
TELÉFONO FIJO:	(06)2920-745	TELÉFONO MÓVIL:	0984705262

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	EVALUACIÓN DE DOS MACRÓFITOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA PARROQUIA GONZÁLEZ SUÁREZ, CANTÓN OTAVALO.
AUTOR (ES):	Suárez Mesa Verónica Yecenia Vásquez Villacreses Karla Daniela
FECHA:	22 de Septiembre del 2020
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera en Recursos Naturales Renovables
ASESOR /DIRECTOR:	Biól. Renato Oquendo 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 22 días del mes de Septiembre de 2020

EL AUTOR:

Firma:

Nombre: Vásquez Villacreses Karla Daniela

CERTIFICACIÓN

Biol. Renato Oquendo MSc., director del Trabajo de Titulación desarrollado por las señoritas estudiantes Vásquez Villacreses Karla Daniela y Suárez Mesa Verónica Yecenia.

CERTIFICA

Que, el Proyecto de Tesis de grado titulado **“EVALUACIÓN DE DOS MACRÓFITOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA PARROQUIA GONZÁLEZ SUÁREZ, CANTÓN OTAVALO”**, ha sido realizado en su totalidad por las señoritas estudiantes **Vásquez Villacreses Karla Daniela** y **Suárez Mesa Verónica Yecenia** bajo mi dirección, para la obtención del título de Ingenieras 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.



Biol. Renato Oquendo MSc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

AGRADECIMIENTO

A la distinguida Universidad Técnica del Norte por habernos permitido formar parte de tan prestigiosa institución especialmente a la Escuela de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, a todos sus docentes por brindarnos tan valioso conocimiento que nos permiten ser profesionales de excelencia y por sus valores inculcados.

A la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado Otavalo por facilitarnos sus instalaciones para la ejecución de este proyecto que fue de gran beneficio del presente estudio. Al Gobierno Provincial de Imbabura por la apertura a sus laboratorios que fue parte esencial para obtener los resultados de esta investigación además de brindarnos apoyo desinteresado de todo su personal.

Por los conocimientos y tiempo de nuestro director de tesis Biol. Renato Oquendo, nuestro guía en todo este proceso para lograr la excelencia de esta tesis. A nuestros asesores Ing. Elizabeth Velarde y Santiago Cabrera por el tiempo brindado, acompañamiento y observaciones que ayudaron a mejorar cada día este trabajo. Además, agradecimientos Ing. Marcelo Mosquera, Ing. Michael Bermúdez, Ing. Pablo Vásquez por su apoyo y gestión que facilitó este arduo trabajo.

A nuestras familias Suárez Mesa y Vásquez Villacreses por su apoyo incondicional y a quienes debemos esta meta tan anhelada. Por último, a nuestros amigos por tan valiosos tiempos compartidos en la universidad los que los han convertido en parte de nuestras familias los llevo en el corazón.

Verónica Yecenia Suárez Mesa

AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme guiado, darme fuerza, sabiduría, paciencia e inteligencia durante todos mis años de estudio y sobre todo en este caminar de la vida universitaria.

A mis padres Ing. Pablo Vásquez y Lic. Zulma Villacreses que me brindaron el regalo de la vida, quienes sin escatimar ningún esfuerzo me han apoyado en cada sueño y aventura caminando a mi lado todos los días dándome su apoyo, comprensión, paciencia, pero sobre todo su amor. Esto es por y para ustedes. Gracias por ser los mejores del mundo.

A mi hermano Alexis Sebastián que siempre estuvo presto a dar una mano amiga en las extenuantes horas de trabajo de campo y por ser el director del trabajo creativo.

A la Universidad Técnica del Norte que me abrió las puertas, me brindo gratas y satisfactorias experiencias, por haberme formado académicamente con conocimientos y valores valiosos impartidos por sus docentes.

A nuestro director de tesis, Biol. Renato Oquendo MSc. por su paciencia, guía y tiempo durante todo el trabajo de investigación siempre buscando excelentes resultados además con sus palabras de apoyo, ayudándonos a culminar con éxito esta etapa.

A nuestros asesores: Ing. Elizabeth Velarde MSc. e Ing. Santiago Cabrera MSc. por sus consejos y acompañamiento investigativo para que el trabajo sea de calidad.

A la Prefectura de Imbabura de manera especial a la Dirección de Gestión Ambiental, Dirección Administrativa, Dirección de Comunicación y Dirección de Recursos Hídricos por las facilidades y apoyo técnico en el desarrollo de la investigación.

Al Ing. Jorge Arturo Castro el cual con sus conocimientos, paciencia y predisposición nos colaboró desde el inicio hasta el final, su vocación y el cariño por el ambiente y en especial por la recuperación de los cuerpos hídricos ha hecho que nuestra investigación sea reconocida dando excelentes resultados. Muchas Gracias por su dedicación y cariño puesto en esta investigación.

Al grupo de personas que siempre estuvieron prestos a dar una mano amiga: Karen Vanessa J., Mariana Alejandra G., Dayana Tahiry M., Malqui David T., Daniela Abigail B, Álvaro Israel P., por su apoyo desinteresado en cada aventura y en especial en este largo caminar llamado tesis.

A la mejor compañera de tesis y a quien tengo la dicha de llamar amiga Verónica Yecenia S., por su entrega, paciencia, cariño, amor y pasión puesta en esta investigación, estoy segura de que esta aventura no hubiera sido la misma si no lo compartíamos juntas.

Karla Daniela Vásquez Villacreses

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación está dedicado en primer lugar a Dios, por su infinito amor y bondad, quien me guio e iluminó mis pensamientos y me ha dado fortaleza para seguir a pesar de todas las circunstancias y por quién he logrado alcanzar esta meta.

A los pilares fundamentales de mi vida, mis amados padres, a quienes todo les debo, Alfonso Suárez y Luzmila Mesa por todo su esfuerzo y sacrificio constante durante toda mi carrera y de quienes he recibido los mejores consejos y sabiduría gracias infinitas por su amor, paciencia, por cada palabra de aliento, por sus abrazos en los momentos difíciles por inculcarme valores de respeto y humildad y por su confianza depositada en mí, le agradezco a Dios por darme tan maravillosos padres ustedes son los mejores del mundo. Los amo

A mis queridas hermanas Doris y Paty, mi pequeña sobrina Hazel y mi cuñado Bayron por aconsejarme y estar siempre a mi lado alentándome y dándome su apoyo incondicional, gracias por estar pendiente de mí y por cada momento compartido son parte esencial de mi vida.

A mi querida amiga y compañera de tesis Karlita, por ser parte de esta aventura que inició como un sueño y hoy rinde sus frutos. Gratitudes eternas ser mi soporte, extenderme la mano a lo largo de este camino y con quien compartir una sincera amistad soy muy afortunada al contar con tan grandiosa persona.

Además, a mis amigos Dany B., Malqui., y Silvia C. con los que compartí momentos maravillosos, inolvidables de arduo trabajo, alegrías, aventuras y locuras y quienes estuvieron ahí cuando los necesite. A todos les deseo éxitos

Y un agradecimiento singular al Biól. Renato Oquendo MCs director y guía de tesis quien compartió todos sus conocimientos y estuvo presto a resolver todas las inquietudes que surgieron no solo durante esta investigación son también en todo el transcurso de mi vida académica, le agradezco por su paciencia y rectitud como docente.

Verónica Yecenia Suárez Mesa

DEDICATORIA

*A Dios por haberme dado la fuerza celestial en este duro caminar
A mi padre Pablo, por haberme apoyado y ayudado durante toda mi vida, por ser la
muestra viviente de que nada te limita y no existen los imposibles. Gracias por ser el
mejor papá.*

*A mi madre Zulma, por ser el pilar de nuestro hogar y por la cual ahora llegue a donde
estoy por todo su apoyo y amor durante toda mi vida. Gracias por ser la mejor mamá.*

*A mi hermano Alexis Sebastián por quien quiero ser mejor cada día, por su apoyo
incondicional.*

*A mis abuelitas Luz María H., Blanca Inés Ch. por su cariño, cuidados y amor único que
me brindaron desde que nací. A mi ángel celestial Carlos Alrnulfo V. que desde el cielo
cuida mis pasos desde hace 22 años.*

*A mi querido abuelito ahora mi ángel Víctor Manuel V., por haber creído en mí y en este
sueño, sé que deseaba poder verme profesional y ahora desde la eternidad y junto a Dios
me dio la fuerza y sabiduría para poder concluir esta etapa. Te amaré por siempre.*

*A Karen Vanessa J. con quien he compartido 19 años de mi vida gracias por estar desde
el inicio hasta el final en lo bueno y malo, por tu ayuda en la investigación sin ti nada de
esto hubiera sido posible.*

*A Mariana Alejandra G. por tu amistad desde hace ya 14 años, por tu apoyo moral y
desinteresado en cada aventura que he querido emprender, gracias por compartir
conmigo tu amistad y la pasión por el cuidado a naturaleza.*

A Dayana Tahiry M. por el cariño que va más allá de la sangre.

*Gracias a todas ustedes por ser la mejor muestra de la existencia de una verdadera
amistad leal, sincera, pero sobre todo incondicional.*

*Familia, amigos y amigas, personas de bien que caminan conmigo todos los días
brindándome su apoyo nada de esto hubiera sido posible sin su presencia en mi
vida. Gracias por haberme ofrecido su ayuda sincera y amor incondicional.*

*Esta investigación está dedicada a todos y cada uno de ustedes, con quien día a día juntos
y de la mano caminamos por el mágico sendero de la vida. Gracias haber creído
en mí, los guardo a todos y cada uno en un rincón especial de mi alma. Los amo
con todo mi corazón.*

Karla Daniela Vásquez Villacreses

ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido	Páginas
RESUMEN.....	xvii
ABSTACT	xix
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Revisión de antecedentes y estado del arte	1
CAPÍTULO II	11
REVISIÓN DE LITERATURA.....	11
2.1. Marco teórico referencial	11
2.1.1. Contaminación y tratamiento de aguas residuales	11
2.1.2. Contaminación por aguas residuales	12
2.1.3. Remediación ambiental	12
2.1.4. Tipos de aguas residuales	13
2.1.5. Tecnologías en el tratamiento de aguas residuales	13
2.1.6. Biorremediación con macrófitas	15
2.1.7 Biorremediación.....	16
2.1.8. Sistemas de fitorremediación	16
2.1.9 Humedales artificiales	18
2.1.10. Macrófitas criterios de selección para la construcción de humedales.....	20
2.1.11 Características de las especies vegetales a utilizarse	20
2.1.12. Parámetros para la caracterización de aguas residuales.....	23
2.2. Marco legal.....	24
2.2.1 Constitución de la República del Ecuador (2008).....	24
2.2.2. Código Orgánico Ambiental (COA)	25

2.2.3. Acuerdo Oficial 097-A del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA) 4 de noviembre del 2015.....	25
2.2.4. Ley de Salud Pública.....	25
2.2.5. Ley Orgánica de los Recursos Hídricos, uso y aprovechamiento del agua	26
2.2.6. Ordenanzas Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Otavalo	26
2.2.7. Plan Nacional de Desarrollo Toda una vida 2017-2021	26
CAPÍTULO III.....	27
METODOLOGÍA	27
3.1. Descripción del área de estudio.....	27
3.1.2. Análisis de cantidad de agua contaminada por habitante.....	29
3.1.3. Déficit de calidad del agua para consumo humano.....	30
3.1.4. Carga orgánica por habitante	30
3.2. Metodología	31
3.2.1 Fase I. Caracterización de dos especies vegetales <i>Typha latifolia</i> y <i>Pistia stratiotes</i> en el tratamiento de aguas residuales domésticas y su funcionalidad dentro de los humedales.	31
3.2.2. Análisis de la relación de los dos macrófitos y los parámetros fisicoquímicos a la entrada y salida de agua de la PTAR de González Suárez, Cantón Otavalo.....	37
3.2.3. Diseño de estrategias de manejo de las especies <i>Typha latifolia</i> y <i>Pistia stratiotes</i> para su aprovechamiento después de culminado el proceso de fitorremediación	41
3.3. Materiales y equipos	43
CAPÍTULO IV.....	44
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44

4.1. Caracterización de dos especies vegetales <i>Typha latifolia</i> y <i>Pistia stratiotes</i> en el tratamiento de aguas residuales domésticas y su funcionalidad dentro de los humedales.....	44
4.1.1 Tasa de crecimiento de las especies dentro de los humedales	44
4.2 Análisis de la relación de los dos macrófitos y los parámetros fisicoquímicos a la entrada y salida de agua en las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas de la Parroquia González Suárez, Cantón Otavalo.	47
4.2.1. pH.....	49
4.2.2 Conductividad	51
4.2.3. Sólidos disueltos totales	53
4.2.4. Temperatura	56
4.2.5. Oxígeno disuelto	58
4.2.6. Turbiedad	62
4.2.7. Demanda Química de Oxígeno	64
4.2.8. Nitrito (NO ₂)	66
4.2.9. Nitrato-(NO ₃)	68
4.2.10. Fosfato-PO ₄	69
4.2.11 Aporte del nitrógeno y fósforo removido por el sistema de plantas acuáticas	73
4.3. Diseño de estrategias de manejo de las especies <i>Typha latifolia</i> y <i>Pistia stratiotes</i> para su aprovechamiento después de culminado el proceso de fitorremediación.	76
CAPÍTULO V	77
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	77
5.1 Conclusiones	77
5.2 Recomendaciones.....	78
REFERENCIAS.....	80

ANEXOS	94
--------------	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica de la lechuga de agua (<i>Pistia stratiotes</i>).....	20
Tabla 2. Clasificación taxonómica de espadaña (<i>Typha latifolia</i>)	22
Tabla 3. Georreferenciación de la Planta de Tratamiento González Suárez.....	32
Tabla 4. Cálculo de caudal para las especies <i>T. latifolia</i> y <i>P. stratiotes</i>	34
Tabla 5. Materiales a utilizarse en las diferentes etapas de investigación.	43
Tabla 6. Monitoreo de la tasa de crecimiento para la especie <i>T. latifolia</i>	44
Tabla 7. Monitoreo de tasa de crecimiento para <i>P. stratiotes</i>	46
Tabla 8. Resultados obtenidos durante el monitoreo del humedal de <i>T. latifolia</i>	47
Tabla 9. Resultados obtenidos durante el monitoreo del humedal con <i>P. stratiotes</i>	48
Tabla 10. Resumen del análisis de resultados en los humedales artificiales	71
Tabla 11. Determinación de la cantidad de nitrógeno y fósforo presente en la molécula de nitrito nitrato y fosfato.....	74
Tabla 12. Resultados del aporte de nitrógeno y fósforo contribuido por el humedal de <i>T. latifolia</i>	74
Tabla 13. Resultados del aporte de nitrógeno y fósforo contribuido por el humedal de <i>P.</i> <i>stratiotes</i>	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Operaciones tecnológicas empleadas para el tratamiento de aguas residuales.	14
Figura 2. Área de estudio-planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de la parroquia González Suárez.	27
Figura 3. a) Identificación de los procesos primarios y secundarios en la PTAR González suárez, b) medición de los humedales en donde se desarrolló la investigación....	32
Figura 4. Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de la parroquia González Suárez.	33
Figura 5. a) Medición de plántulas a ser recolectadas, b) selección de plántulas con rizomas adecuados, c) recolección de plántulas con retroexcavadora	35
Figura 6. a.) Recolección de <i>Pistia stratiotes</i> en la PTAR de González Suárez, b.) Separación de plántulas para reproducción asexual, c.) Crecimiento de las primeras plántulas al primer mes en el medio adaptado de reproducción para posterior colocación en humedales artificiales.....	36
Figura 7. a), b) y c) plantación adaptación e incorporación a los cárcamos con la especie <i>T. Latifolia</i>	37
Figura 8. a.) Toma de muestras a la entrada de agua del humedal con la especie <i>T. latifolia</i> en el primer mes de muestreo. B.) Toma de muestras a la salida del humedal con la especie <i>T. latifolia</i> en el primer mes de muestreo.	38
Figura 9. a.) Análisis de nitritos y nitratos, b.) Análisis de fosfatos, c.) Análisis de parámetros físicos, medición de turbiedad y conductividad	40
Figura 10. Comportamiento del pH en sistema de tratamiento de aguas residuales con la especie <i>T. latifolia</i>	49
Figura 11. Comportamiento del pH en sistema de tratamiento de aguas residuales con la especie <i>P. stratiotes</i>	50
Figura 12. Determinación de la conductividad eléctrica en el humedal de los <i>T. latifolia</i>	52
Figura 13. Determinación de la conductividad eléctrica en el humedal de <i>P. stratiotes</i>	52
Figura 14. Determinación de los SDT en el humedal de <i>T. latifolia</i>	54
Figura 15. Determinación SDT en el humedal de <i>P. Stratiotes</i>	54

Figura 16. Variación de temperatura en el humedal artificial compuesto de <i>T. latifolia</i>	56
Figura 17. Variación de temperatura en el humedal artificial compuesto de <i>P. stratiotes</i>	57
Figura 18. Oxígeno disuelto en el humedal compuesto con <i>T. latifolia</i>	58
Figura 19. Oxígeno disuelto en el humedal compuesto con <i>P. stratiotes</i>	59
Figura 20. Porcentaje de OD registrados en el humedal con la especie <i>P. stratiotes</i>	61
Figura 21. Porcentaje de OD en el humedal con la especie <i>P. stratiotes</i>	61
Figura 22. Variación de turbiedad para el humedal con la especie <i>T. latifolia</i>	62
Figura 23. Variación de turbiedad para el humedal con la especie <i>P. stratiotes</i>	63
Figura 24. DQO para el humedal con la especie <i>T. latifolia</i>	64
Figura 25. DQO para el humedal con la especie <i>P. stratiotes</i>	65
Figura 26. Variación de NO ₂ para el humedal con la especie <i>T. latifolia</i>	66
Figura 27. Variación de NO ₂ para el humedal con la especie <i>P. stratiotes</i>	67
Figura 28. Variación de NO ₃ para el humedal de <i>T. latifolia</i>	68
Figura 29. Variación de NO ₃ para la especie <i>P. stratiotes</i>	69
Figura 30. Variación de PO ₄ para el humedal con la especie <i>T. latifolia</i>	70
Figura 31. Variación de PO ₄ para el humedal con la especie <i>P. stratiotes</i>	70
Figura 32. a.) Selección de especies de <i>T. latifolia</i> b.) Colocación de sustrato en las tarrinas para siembra de la especie, c) siembra de especies de <i>T. latifolia</i> , d.) Elaboración de vivero para adaptación de especies.	94
Figura 33. a), b), y c) plantación adaptación e incorporación de <i>P. stratiotes</i> a los cárcamos.....	94
Figura 34. Recolección, limpieza de <i>T. latifolia</i>	95
Figura 35. Adaptación e implementación de <i>T. latifolia</i>	95
Figura 36. Limpieza se natas de los cárcamos de los humedales artificiales.....	96
Figura 37. Etiquetado de muestras, transporte y colocación de muestras en el kit de transporte.....	96

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES

EVALUACIÓN DE DOS MACRÓFITOS EN EL TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA PARROQUIA GONZÁLEZ
SUÁREZ, CANTÓN OTAVALO

Proyecto del trabajo de titulación

Nombre del estudiante: Verónica Yecenia Suárez Mesa

Karla Daniela Vásquez Villacreses

RESUMEN

El crecimiento poblacional e incremento de actividades antrópicas han ocasionado que cuerpos hídricos se vean afectados, tal es el caso del Lago San Pablo, que a pesar de contar con plantas de tratamiento que depuran de aguas residuales provenientes de las parroquias y comunidades aledañas no solucionan el problema. El objetivo del presente estudio fue evaluar dos macrófitos *Typha latifolia* y *Pistia stratiotes* en la eficiencia del tratamiento de aguas residuales de la parroquia González Suárez, establecido en tres fases (1) caracterización de las dos especies vegetales *T. latifolia* y *P. stratiotes* y su funcionalidad dentro de los humedales en donde se notó un crecimiento de altura máximo dentro del humedal de 1,90 cm de la especie *T. latifolia*, mientras que para *P. stratiotes* su crecimiento máximo fue de 0,22cm. (2) análisis de la relación de los dos macrófitos y los parámetros físico-químicos, en donde se identificó una disminución de los parámetros: pH cuya reducción para la especie *T. latifolia* fue de 0,5% mientras que para *P. stratiotes* fue menor con únicamente 0.4%, para conductividad la reducción del parámetro fue mayor para *T. latifolia* donde su disminución fue de 37 (uS/cm), sólidos disueltos totales se reflejó el cambio existente después del proceso de fitorremediación mayoritariamente para la especie *P. stratiotes* con 3.22%, el oxígeno disuelto decreció para la especie *P. stratiotes* donde disminuyó alrededor de 24,58%, el porcentaje de oxígeno aumento un 81,3% para *T. latifolia*, mientras que para *P. stratiotes* disminuyó en un 17%, la turbiedad para las dos especies disminuyó progresivamente para *T. latifolia* siendo de un 28,1% mientras que para *P. stratiotes* fue de 5,4% en el último mes de monitoreo, la temperatura se mantuvo constante para las dos especies. Con respecto a la Demanda Química de Oxígeno se redujo para ambas especies, pero mayoritariamente para *P. stratiotes* donde la reducción fue de 92,10%, para nitritos (NO₂) el comportamiento de las especies fue similar, para *T. latifolia* la reducción fue de

0,038% y para *P. stratiotes* fue de 0,118% en el último mes de evaluación, con respecto a nitratos (NO₃) existió una reducción para la especie *T. latifolia* con 3,76%. Finalmente, para fosfatos (PO₄) existe una reducción de la concentración a partir del tercer mes de evaluación para las dos especies es así como para *T. latifolia*. La mayor eficiencia de las especies fue para los siguientes parámetros, para el parámetro turbiedad la especie *T. latifolia* removió 87%, DQO 92%, nitrato (NO₃) 58% y un aporte de oxígeno del 18%, mientras que para *P. stratiotes* en turbiedad fue de 75%, DQO 88%, nitrato (NO₃) 64% y aporte de oxígeno de 36%, esto con respecto a un análisis global de los 5 meses de estudio. (3) diseño de estrategias de manejo de las especies *T. latifolia* y *P. stratiotes* para su aprovechamiento después de culminado el proceso de fitorremediación. Con los resultados obtenidos los macrófitos *T. latifolia* y *P. stratiotes* son excelentes depuradores de aguas residuales domésticas además después de su proceso fitodepurador puede ser utilizado en diferentes usos para las comunidades.

Palabras clave: macrófitos, fitorremediación, humedales artificiales, *Typha latifolia*, *Pistia stratiotes*.

ABSTRACT

The population growth and increase in anthropogenic activities have caused water bodies to be affected, such is the case of Lake San Pablo, which despite having treatment plants that purify waste water from the parishes and surrounding communities does not solve the problem. The objective of this study was to evaluate two macrophytes *Typha latifolia* and *Pistia stratiotes* in the efficiency of wastewater treatment in the parish of González Suárez, established in three phases (1) characterization of the two plant species *T. latifolia* and *P. stratiotes* and their functionality within the wetlands where a maximum height growth within the wetland of 1.90 cm of the species *T. latifolia* was noted, while for *P. stratiotes* its maximum growth was 0.22 cm. (2) analysis of the relationship of the two macrophytes and the physical-chemical parameters, where a decrease in the parameters was identified: pH whose reduction for the species *T. latifolia* was 0.5% while for *P. stratiotes* it was less with only 0.4%, for conductivity the reduction of the parameter was greater for *T. latifolia* where its decrease was 37 (uS/cm), total dissolved solids reflected the change that existed after the phytoremediation process mainly for the species *P. stratiotes* with 3.22%, the dissolved oxygen decreased for *P. stratiotes* species where it decreased around 24.58%, the percentage of oxygen increased by 81.3% for *T. latifolia*, while for *P. stratiotes* it decreased by 17%, the turbidity for both species decreased progressively for *T. latifolia* being 28.1% while for *P. stratiotes* it was 5.4% in the last month of monitoring, the temperature remained constant for both species. With respect to the Chemical Oxygen Demand, it was reduced for both species, but mostly for *P. stratiotes* where the reduction was 92.10%, for nitrites (NO₂) the behavior of the species was similar, for *T. latifolia* the reduction was 0.038% and for *P. stratiotes* it was 0.118% in the last month of monitoring, with respect to nitrates (NO₃) there was a reduction for the species *T. latifolia* with 3.76%. Finally, for phosphates (PO₄) there is a reduction in concentration from the third month of assessment for both species as well as for *T. latifolia*. The greater efficiency of the species was for the following parameters, for the turbidity parameter the species *T. latifolia* removed 87%, COD 92%, nitrate (NO₃) 58% and an oxygen contribution of 18%, while for *P. stratiotes* in turbidity it was 75%, COD 88%, nitrate (NO₃) 64% and an oxygen contribution of 36%, this with respect to an overall analysis of the 5 months of study. (3) design of management strategies for *T. latifolia* and *P. stratiotes* species for their use after the phytoremediation process has been completed. With the results obtained, the macrophytes *T. latifolia* and *P. stratiotes* are excellent purifiers of domestic waste water and, after their phytodepuration process, they can be used in different applications for the communities.

Keywords: macrophytes, phytoremediation, artificial wetlands, *Typha latifolia*, *Pistia stratiotes*.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Revisión de antecedentes y estado del arte

El planeta tierra se encuentra cubierto por un 71% de agua un volumen estimado de 14 000 millones de km³, el 95,5% de agua dulce se encuentra concentrado en los glaciares y casquetes polares, el 1,74 se encuentra en acuíferos subterráneos, 1,72 permafrost y glaciares continentales y el solo el 0,04% a lo largo de lagos, humedales, atmósfera, embalses, ríos y seres vivos (Ramírez, 2014). La distribución del líquido vital no es uniforme, existen regiones que cuentan con grandes cantidades de agua y otras se encuentran en total escasez, según la Organización de Naciones Unidas (2015), prevé que para el 2020 ya existirán escases en las fuentes hídricas siendo uno de los primeros países afectados México por lo cual es esencial cuidar los recursos acuáticos.

El agua es un recurso natural esencial que se encuentra estrechamente relacionado a las actividades diarias de los seres humanos. Durante mucho tiempo este líquido vital ha sido altamente explotado, en primera instancia por la gran demanda de la población y por el uso para actividades como la producción agrícola, agropecuaria, industrial, comercial, entre otras (Fernández, 2012), todo esto antes mencionado desencadena un inconveniente: la generación de aguas residuales que afecta principalmente la calidad del agua a nivel global (UNESCO, 2019). En este sentido se estima que más del 80% de las aguas residuales se descargan en ríos o van directamente al mar sin ningún tratamiento lo que representa una grave amenaza a los ecosistemas acuáticos (De Anda, 2017).

La expansión de las ciudades, el crecimiento poblacional y de la industria han ocasionado que los cuerpos hídricos minimicen su capacidad de autodepuración. Según Lozano (2012), la contaminación de los cuerpos hídricos a causa de los vertidos de aguas residuales es un gran inconveniente, las altas tasas de nutrientes provenientes de estos efluentes aceleran la floración de algas, reproducción de

bacterias, virus y protozoos, además de la proliferación de plagas haciendo que los ríos, lagos y lagunas entren en procesos de eutrofización. Bhagowati, Tlukdar y Ahamad (2019) señalan que esta alteración en la calidad de agua origina el deterioro de los servicios ecosistémicos, además de la pérdida de flora y fauna y la reducción de disponibilidad del recurso hídrico de la misma manera Costa, De Souza, Texeira, Nabout y Carneiro (2018) asocian la pérdida de los cuerpos de agua y sus recursos naturales al sobreenriquecimiento de nutrientes y al desarrollo de algas tóxicas y nocivas.

En Latinoamérica donde la mayoría de los países se encuentran en vías de desarrollo los sistemas de tratamiento abarcan en zonas urbanas solo un 59%; y en alrededor 20% en zonas rurales (Hernández, Margni, Noyola y Bulle, 2017). Los gobiernos proponen algunas tecnologías para contrarrestar los problemas ocasionados por estos vertidos, de esta manera se puede mencionar que dentro del proceso de saneamiento existen tratamientos primarios que se enfocan en un saneamiento físico y químico, tratamientos secundarios, cuyo proceso de saneamiento es netamente químico y finalmente tratamientos terciarios enfocados en un saneamiento químico-biológico a fin de lograr revertir o eliminar elementos orgánicos e inorgánicos del agua (Galván y Reyes 2009). Es así que los procesos primarios se enfocan en la eliminación de material visible, el sistema secundario transforma elementos químicos y el tratamiento terciario busca una reducción transformación o eliminación de contaminantes (Rojas, 2002).

En este sentido según Martelo y Lara (2012) mencionan que aplicar un tratamiento biológico que involucre plantas acuáticas es un gran recurso que ha logrado una gran eficiencia en la remediación de las descargas tanto para la remoción de nutrientes orgánicos como inorgánicos, ya que existe una amplia variedad de plantas con potencial fitorremediador. Mudassar, Muhammad, Zeshan, Egrinya, Naureen, Mohammad y Barkat (2014) mencionan que han evaluado el rendimiento de algunas especies como *P. stratiotes*, *E. crassipes*, *Hydrocotyle umbellata*, *Lemna minor*, *T. latifolia* y *Scirpus acutus* tanto en tratamientos individuales o combinados, siendo utilizadas en mayor proporción *E. crassipes* y *P. stratiotes* en

la remoción de contaminantes como nitrógeno, fósforo y materia orgánica, de la misma forma (Kumar y Dutta 2019) sometió a diferentes tipo de aguas residuales (municipales, domésticas y artificiales) a 7 especies macrófitas *T. latifolia*, *Cana Indica*, *Phragmites australis*, *P. stratiotes*, *E. cassipes* encontrándose una capacidad similar de absorción de nitrógeno fósforo y otros metales pesados.

Las macrófitas comprenden una amplia gama de especies, estudios por Núñez, Vong, Ortega y Olguín (2004) manifiestan que los criterios para que una especie sea eficiente en la remoción de contaminantes dependerá de las características que posea la especie, la estacionalidad en que se desarrolle, el tipo de contaminante y la tolerancia de la especie al contaminante, además de la capacidad de acumulación y el potencial para transformar materia orgánica e inorgánica así como su implementación, dependerá de la dificultad en la cosecha que presente. Es así como Celis, Jundo, y Sandoval (2005) evaluaron la capacidad de extracción de Cadmio durante el periodo más frío del año y descubrieron que macrófitas como *Salvinia berzogii*, *P. stratiotes*, *Hydromistia stolonifera* y *E. crassipes* fueron muy eficientes en extraer cadmio del agua residual. No obstante, la especie con mejores resultados fue *P. stratiotes* debido a que presentó un gran desarrollo adaptándose eficientemente a las condiciones del contaminante.

Otra especie con efectivos resultados en el tratamiento de aguas residuales es *T. latifolia* tal como menciona el experimento de Malca y Lloclla (2016) en donde implementaron un sistema de humedales construidos con microorganismos asociados a *T. latifolia* mediante un sistema hidropónico verificaron cambios positivos en parámetros como Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Sólidos Totales, pH y conductividad de tal manera que mejoró la calidad de agua encontrando que la especie presentó un aumento en oxígeno, la eliminación de olores dentro del sistema y eliminación de residuos orgánicos mientras que los nitratos, fosfatos y otros contaminantes fueron absorbidos por las plantas. Además, su capacidad de regeneración fue similar durante todo el año que se llevó a cabo el experimento

Otro estudio similar realizado por Bedoya, Ardilas y Reyes (2014) indican el uso de *T. latifolia* para la eliminación de materia orgánica y el contenido de nutrientes, en el estudio se hace toma de datos dentro de los sistemas artificiales a los 9 días evaluando los parámetros físico químicos en donde se presenta una disminución de Demanda Química de Oxígeno en un 79,4% existiendo una reducción del porcentaje dentro de su concentración de contaminantes además de encontrarse asociaciones de bacterias como *nitrosomas* y *nitrobacter* tanto en las raíces de las plantas como de la mezcla provenientes de agua las cuales ayudan a la descomposición de componentes nitrogenados además que de existir una reducción de DBO₅ y sólidos suspendidos por la presencia de esta especie dentro del humedal (Romero, Colín, Sánchez y Ortiz 2009).

Por otro lado, Escoto, Gayer, Bianchini, Pereira, Roehrs, y Denardin (2019) evaluaron a la especie *P. stratiotes* en la remoción de herbicidas en Brasil, separando a la especie en cinco grupos cada una con diferente concentración, el cual partía desde una baja concentración hasta una de nivel alto, de esta manera se pudo evaluar la capacidad de absorción y de resistencia de la especie, en donde con respecto al herbicida fue capaz de eliminar el 90% de los residuos que se encontraba en el agua, indicando y comprobando que la especie *P. stratiotes* es otra especie ideal para absorber esta clase de compuestos químicos y ser usada en fitoterremediación.

En investigaciones realizadas en Colombia donde es común el uso de macrófitas dentro de los humedales artificiales, Texeira, Resende, Fía, Fereira, y Pimentel (2011) sometieron a *T. latifolia* a aguas porcícolas encontrando que esta presenta óptima adaptación a estas aguas cargadas de nutrientes, después 100 días estas especies ya contenían exceso de macroelementos como calcio, potasio y sodio esto debido a que sus raíces realizan mecanismos de absorción y asimilación incorporando nutrientes a sus tejidos e intercambian oxígeno con el medio acuoso. Los rizomas de estas plantas son capaces de incorporar los elementos inorgánicos en sus tejidos la estructura de las hojas y tallos son provistas de espacio son capaces de almacenar no solo estos elementos sino también algunos metales (Romero et al.,

2009). Sin embargo, el exceso de salinidad de este tipo de agua ocasiona que los tejidos de esta planta presenten senescencia y reduciendo la productividad de la especie.

Otra investigación con *T. latifolia* en donde su uso se enfocó en la remoción de metales pesados en una laguna artificial de San Luis Potosí, México la misma presentaba altos niveles de contaminación por aguas residuales municipales e industriales; la especie tuvo la capacidad de extraer metales pesados como plomo, cadmio, cromo, manganeso y hierro del agua, hallándose que la mayor concentración de estos metales se presentaron en las raíces, a diferencia del tallo y hojas, además se observó que el mayor crecimiento de las plantas se daba en las orillas del cuerpo lacustre donde la sedimentación era más abundante demostrando así que la especie macrófita no presenta problemas de crecimiento en aguas contaminadas que acumulan metales pesados (Álvarez, Castro, y Alfaro, 2008). *T. latifolia* también se ha podido emplear para reducir hasta un 95% de amoníaco (NH_3N) que se encontraba contenido en efluentes provenientes de una refinería de petróleo en donde la Demanda Bioquímica de Oxígeno disminuyó al 80%, después de un periodo de adaptación de alrededor de 2-3 semanas (Huddleston, Gillespie, y Rodgers, 2000).

Por lo tanto, a esta alternativa tecnológica que prueba las capacidades de las plantas para sobrevivir a un medio con altas concentraciones ya sea de materia orgánica o inorgánica y diferentes cambios climáticos se le denominan fitoterremediación y forma parte de técnicas con tratamientos biológicos que hace uso de las plantas y sus microorganismos asociados. Este sistema es eficaz, además de económico y sostenible (Priyanka, Omkar y Supriya, 2016). El éxito de la limpieza con especies vegetales acuáticas radica en la tasa fotosintética del crecimiento que posean las plantas, mismas que también pueden absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en suelo, aire, sedimentos, pero de manera específica en el agua. La fitorremediación ofrecen numerosas ventajas y se refleja en la sostenibilidad y lo económicos que resultan (Delgadillo, González, Prieto, Villagómez y Acevedo, 2011).

La fitorremediación es importante como una nueva tecnología siendo accesible y amigable con el ambiente, el poder utilizar especies vegetales nuevas que tengan en su estructura la capacidad de limpiar materia orgánica para poder ayudar a las entidades pertinentes a brindar servicios de calidad, logrando recuperar parcialmente ambientes lacustres que han sido contaminados a través del tiempo, aprovechando de esta manera las especies nativas del lugar, restaurando ecosistemas acuáticos y sus interacciones que por la contaminación del agua se fueron degradando (León, 2017).

El Ecuador no es ajeno a los esfuerzos de mantener y proteger los sistemas lacustres de procesos de eutrofización, por medio de políticas asigna responsabilidades y obligaciones a las autoridades competentes (MAE, GADs, SENAGUA) a fin de tomar medidas en el control de la contaminación ambiental previniendo así problemas que pueden surgir para la salud pública y medioambiente (Cabrera, Garcés y Paredes, 2012), un claro ejemplo del control y correcto manejo en el porcentajes de cobertura de alcantarillado sanitario es la ciudad de Cuenca además de contar con los mejores procesos para el tratamiento de aguas residuales en el país.

En este ámbito Cueva (2016) realizó investigaciones con macrófitas evaluando así el potencial fitorremediador de *P. stratiotes* y *Limnobium laevigatum* en los lixiviados del relleno sanitario de Zamora Chinchipe encontrando que ambas especies reducen efectivamente sulfatos, fósforo, hierro, así mismo disminuye parámetros de Nitrógeno amoniacal, DBO₅ SDT y DQO con un 99,65%, 98,32%, 97,63 y 97,62% respectivamente además de cumplir con límites máximos permisibles y mostrando una eficiencia del 96,67% y 99,65% en el 50% de sus parámetros evaluados. De la misma forma en Ibarra se desarrolló la evaluación de la macrófita *T. latifolia* en el Lago Yahuarcocha, encontrando la misma capacidad de fitorremediación hallando que esta absorbe altas concentraciones de plomo y cromo, obteniendo una eficiencia de remoción del 62% en estos parámetros además se comprobó que entre más vegetación exista la concentración de metales pesados

tiende a disminuir tanto en época seca como en época lluviosa y sin daños fisiológicos en las especies (Recalde, 2019).

Los resultados antes mencionados muestran que las plantas acuáticas ayudan a eliminar gran cantidad de contaminantes que se encuentran presentes en los cuerpos de agua. La alta productividad de las plantas flotantes y el alto requerimiento nutricional en elementos como nitrógeno (N) y fósforo (P) hacen que estas especies resulten adecuadas para reducir los niveles de estos nutrientes de los efluentes (Sánchez, 2011). Gramíneas del género *Typha sp* son las mejores para este tipo de tratamientos debido a que la parte aérea se cosecha únicamente una vez al año y el sustrato se reemplaza cada 10-15 años reduciendo de esta manera costos y contaminación, así mismo *P. stratiotes* remueve metales, nutrientes y otros elementos haciendo que las especies sean óptimas para implementar en el tratamiento de aguas residuales (Ching y Leal, 2018).

1.1. Problema de investigación y justificación

A medida que se incrementa el valor de uso del agua de igual manera acrecienta la cantidad de efluentes urbanos en el ambiente. América Latina y el Caribe a pesar de ser países ricos en recursos hídricos están en peligro por consecuencia de la mala calidad de agua (Pochat, Donoso y Saldarriaga, 2018). La desigualdad social y económica, la falta de cumplimiento en las políticas públicas para el mejoramiento de los servicios de agua y saneamiento dificultan un uso sostenible de los recursos hídricos. De acuerdo con el estudio de BID y CEPAL (2018) “un alto porcentaje de aguas residuales vuelven a los cuerpos de agua sin ser tratados, afectando así a la salud de la población y los ecosistemas”.

En el año 2006 el manejo de agua en el Ecuador se encontraba en un estado deficiente dado que, no existía una correcta articulación entre las instituciones ni las políticas de gobierno, esto ocasionaba que se incumplieran las normas de calidad ambiental ocasionando problemas en el sector hídrico (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2017). El agua sufre gran presión de contaminantes

principalmente por actividades provenientes del riego en un 81,1%, el uso doméstico en 12,3%, el uso industrial en 6,3% y otros usos 0,63% (FLACSO, MAE y PNUMA, 2008). Para el año 2017 la Asamblea Nacional implementó la gestión de los recursos hídricos articulando a los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD's) como los encargados del manejo del agua alcantarillado y saneamiento (Banco del Estado, 2016).

En la actualidad la importancia de conservar el recurso hídrico ha tomado fuerza, es por esto que preocupa la contaminación por aguas residuales domésticas que se generan en los alrededores del Lago San Pablo. Rosero (2017) señala que este sistema lacustre se encuentra en un proceso inicial de eutrofización afectando principalmente la biodiversidad acuática presente en este ecosistema. En torno del cuerpo lacustre, existen plantas de tratamiento que se encargan de la limpieza de aguas residuales, provenientes de las parroquias rurales: González Suárez, San Rafael de la Laguna, Eugenio Espejo y San Pablo, posteriormente a los tratamientos primario, secundario y terciarios las descargas son directamente vertidas en la cuenca del Lago San Pablo (Moscoso, 2015).

Dentro de las plantas de tratamiento existen humedales artificiales que corresponden a un tratamiento terciario. Estos sistemas están diseñados y construidos para aprovechar el proceso natural de vegetación y microorganismos asociados, su funcionamiento se basa en la fijación de contaminantes y descomposición de nutrientes, de esta manera ayuda a la transformación de elementos orgánicos e inorgánicos (Domínguez, Gómez y Alba, 2016). Las especies comúnmente usadas corresponde a *E. crassipes* y *Lemna minor*, sin embargo, no han presentan grandes cambios, ni disminución de las cargas orgánicas vertidas al Lago San Pablo, siendo la depuración con especies vegetales una tecnología que en lo posible disminuye gradualmente la contaminación (Pérez y Ribas, 2017).

A pesar de que en los alrededores del Lago San Pablo existen 14 plantas de tratamiento, algunas muestran deficiencias en sus operaciones, por ejemplo, en

épocas de abundante lluvia presentan inundaciones ocasionando que se sature el sistema de tratamiento, haciendo que los vertidos se desborden del sistema, por otro lado, los descuidos en el mantenimiento aumentan la carga orgánica.

Es por eso que el estudio “Evaluación de dos macrófitos en el tratamiento de aguas residuales domésticas de la Parroquia González Suárez, Cantón Otavalo” se enfocó en la utilización de 2 nuevas especies macrófitas *Typha latifolia* y *Pistia stratiotes* sirviendo como un aporte a la investigación en el campo de la fitorremediación, generando nuevos datos que servirán para futuros estudios en el tratamiento de aguas residuales domésticas, para que los ecosistemas puedan recuperarse parcial y paulatinamente del daño ambiental que se le ha causado, además de evitar problemas en la salud de la población asentada en sus alrededores.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Evaluar dos macrófitos *Typha latifolia* y *Pistia stratiotes* en la eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas en las plantas de tratamiento de la Parroquia González Suarez, Cantón Otavalo.

1.2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar dos especies vegetales *Typha latifolia* y *Pistia stratiotes* en el tratamiento de aguas residuales domésticas y su funcionalidad dentro de los humedales.
- Analizar la relación de los dos macrófitos y los parámetros fisicoquímicos a la entrada y salida de agua en las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas de la Parroquia González Suárez, Cantón Otavalo.
- Diseñar estrategias de manejo de las especies *Typha latifolia* y *Pistia stratiotes* para su aprovechamiento después de culminado el proceso de fitorremediación.

1.3. Hipótesis

- La implementación de especies acuáticas demuestra eficiencia en el tratamiento de aguas residuales.
- La implementación de especies acuáticas no demuestra eficiencia en el tratamiento de aguas residuales.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco teórico referencial

A continuación, se presenta la revisión de literatura utilizada para el desarrollo de la investigación.

2.1.1. Contaminación y tratamiento de aguas residuales

La contaminación de los recursos hídricos es una grave amenaza para la estabilidad de los ecosistemas acuáticos que repercute directamente a la salud pública que no solo afecta a los seres humanos y animales sino también al ambiente natural en general (Gómez 2018). La contaminación es la acción y efecto de introducir material sólido o cualquier otra sustancia que no pertenece a un medio natural o artificial provocando una alteración perjudicial para los ecosistemas que afecta a la salud humana (Isch, 2011). Estas alteraciones pueden originarse de manera natural provenientes de recursos bióticos o abióticos como seres vivos, de condiciones climáticas, escorrentías, volcanes elementos de los cuales los ecosistemas acuáticos tienen la capacidad de autodepurar y por acciones antropogénicas es decir a los usos por parte de la población que genera restos urbanos, residuos fecales u orgánicos como aceites, lejías, detergentes, disolventes, además de actividades agrícolas y ganaderas que necesariamente requieren de algún tratamiento (Henry, y Heinke 1999; Grisolia y Ortega, 2014).

La contaminación del agua es un problema que afecta a nivel mundial, mantener la calidad del agua se ha vuelto un reto obligado así a la ingeniería a la búsqueda de alternativas tecnológicas que ayuden a recuperar las características del agua es por esto que es necesario disponer de medidas para el tratamiento de las aguas residuales con el fin de controlar la contaminación de los cuerpos receptores y reutilizar los efluentes en diferentes actividades como agricultura, industria y porque no recargas de acuíferos (Espino 2003).

2.1.2. Contaminación por aguas residuales

La generación de aguas residuales es la consecuencia más clara e inevitable de varias actividades humanas, modificando sus características, contaminándolas y restringiendo su posterior uso, ocasionando muchas veces daños irreversibles al ambiente afectando ecosistemas ya sea acuáticos o terrestres (Castañeda y Flores 2013). El tratamiento de aguas residuales es el proceso de acciones que pueden ser físicas, químicas o biológicas que ayudan a reducir la concentración de contaminantes y permite verter efluentes depurados, minimizando riesgos para el medio ambiente y la población (Díaz, Alvarado y Camacho, 2012).

Las aguas residuales generalmente están compuestas por dos efluentes un líquido y un sólido mejor conocido como lodo, existiendo diferentes formas de dar un tratamiento correcto a estas aguas, una de ellas es dejando que el material sólido se asiente en el fondo, tratando la sustancia que está en la parte superior con sustancias químicas para reducir los contaminantes (Treconis 2010). Otro método es utilizar poblaciones bacterianas método conocido como lodos activados, la disminución de la generación de aguas residuales y su óptima gestión en el tratamiento, es prioritario en la actualidad, mejorando así el ambiente, salud y calidad de vida de la población (Romero et al., 2009). Y por último también utilizando lechos de macrófitas en las que interactúan las plantas, el medio acuático y las bacterias asociadas a las raíces.

2.1.3. Remediación ambiental

El saneamiento ambiental es el conjunto de acciones o actividades técnicas y también socioeconómicas que tienen por principal objetivo alcanzar niveles altos de salubridad ambiental y que a su vez estos vayan creciendo (Peña 2016). El saneamiento ambiental se enfoca en dar un manejo y tratamiento adecuado al agua potable, aguas residuales y excretas, residuos sólidos para de esta manera reducir los índices que implican a la salud y así controlar la contaminación ambiental, mejorando la calidad de vida tanto a nivel urbano como rural (Macchiavelli, 2013).

2.1.4. Tipos de aguas residuales

Las aguas residuales son aguas con impurezas de composición variada y dependiendo del origen y la cantidad de sustancias con la que se la ha afectado pueden ser originadas de descargas de uso doméstico, municipal, industrial agrícola, pecuarios, así como también una mezcla de ellas (Rodríguez y Durán, 2006), es así que se las puede clasificar de la siguiente manera:

Aguas residuales Domésticas aquellas que proceden de viviendas y que conllevan actividades domésticas o derivadas por el metabolismo del ser humano tales como el aseo personal, de la cocina y limpieza de la casa, residuos de inodoro y ducha, las características principales son que estas aguas contienen elevada cantidad de materia orgánica, microorganismos, detergentes, grasas jabones entre otros productos (Pérez, 1995; Arias, 2003).

Aguas residuales municipales o también denominadas urbanas, este tipo de aguas se caracterizan por tener una constitución variada y refleja una alta gama de contaminantes llegando a ser una mezcla de vertidos domésticos industrial y/o fluvial y la cual es transportada por la red de alcantarillado (Pereira y Budot, 2010).

Aguas residuales industriales son aguas de composición muy variada ya que depende del proceso industrial que se realice ya sea la fabricación o lavado de materiales (Pereira y Budot, 2010). Estas aguas contienen compuestos como aceites, químicos antibióticos grasas detergentes de modo que estas aguas son muy difíciles de tratar y son las que ocasionan daños al ambiente que a veces pueden ser irreversibles (Proveda y Velasteguí 2014).

2.1.5. Tecnologías en el tratamiento de aguas residuales

En torno al mejoramiento de la calidad de agua actualmente existes diversas operaciones y procesos para contrarrestar los inconvenientes con las aguas residuales que lo que buscan es la minimización o eliminación de contaminantes

del vertido (De la Vega 2012). Las tecnologías comprenden procesos de tratamiento primarios u operaciones físicas, y tratamientos secundarios u operaciones químicas y biológicas, estos procesos solos o integrados repercuten en la calidad del efluente tratado (Noyola, Morgan y Güereca, 2013). A continuación, se presenta las características de cada uno de las tecnologías y la interrelación de los procesos de depuración del agua (Figura 1).

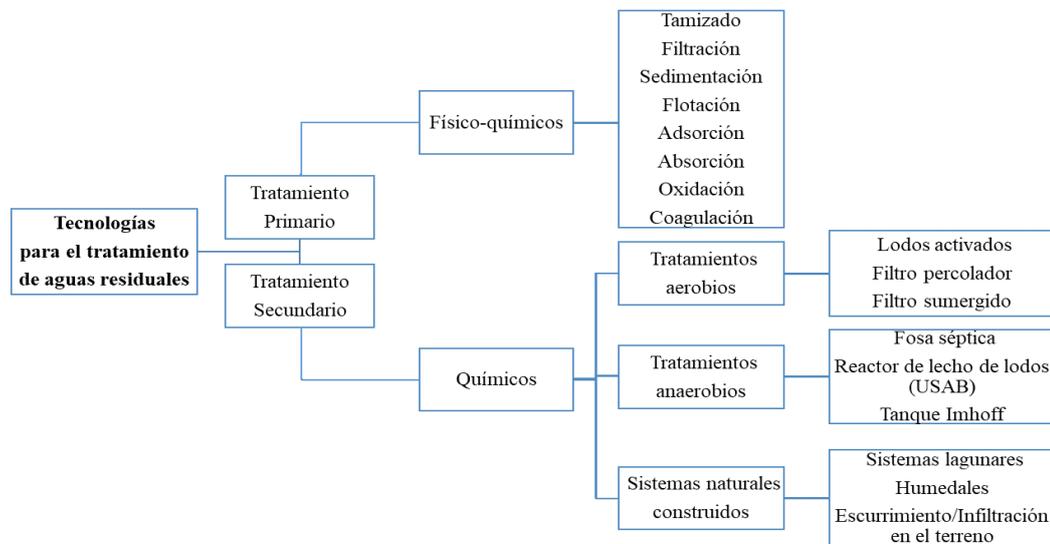


Figura 1. Operaciones tecnológicas empleadas para el tratamiento de aguas residuales.

Lizarazo y Orjuela (2013), señalan que al tratamiento físico busca principalmente la eliminación de material grueso visible como basura, materia fecal, grasas entre otro material que lleva el efluente, con el objetivo de mantener la eficiencia del sistema de tratamiento y a la vez anticiparse a los problemas en los procesos de operación. Entre estos se menciona el cribado y desarenado.

Según la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Ciudad de México (2010), mencionan que el tratamiento químico se le considera como la aplicación de productos químicos con la finalidad de reducir varios parámetros para su eliminación o la conversión de contaminantes, dentro de este proceso se encuentra la sedimentación, decantación y filtración.

Para Ferrer, Seco y Robles (2018), el tratamiento biológico es un proceso más riguroso de tratamiento ya que intensifica la actividad biológica de

microorganismos o plantas para eliminar sustancias biodegradables que se encuentran en forma disuelta. Se puede distinguir procesos como lodos activados, filtros percoladores humedales y filtros biológicos sumergidos.

El uso de nuevas tecnologías e inversiones para mejorar la calidad del agua por parte del gobierno y de las autoridades son puntos críticos en la mejora de la calidad ambiental del agua dentro del informe de la UNESCO (2018) se manifiesta que implementar sistemas de tratamiento que permitan el reaprovechamiento del agua es esencial para cubrir la demanda del agua y plantearse soluciones basadas en la naturaleza inspiradas y respaldadas por la naturaleza imitando así los procesos naturales para la gestión del agua. Por tal razón, nace la biorremediación o la utilización de plantas y microorganismos para restaurar perturbaciones en el ambiente (González, 2011).

2.1.6. Biorremediación con macrófitas

Las macrófitas o también denominadas hidrófitas cumplen un importante papel en los ecosistemas acuáticos han demostrado alta eficiencia en la remoción de materia orgánica, así como nutrientes y metales pesados (Celis et al., 2005). Son plantas que desarrollan su ciclo biológico sumergidas o flotando en la superficie del agua (García, Fernández y Cirujano, 2010). Habitan en lagos, lagunas, arroyos, ríos, humedales e incluso el mar. Son plantas consideradas como bioindicadores de la calidad ambiental y del estado ecosistémico acuático debido a que son especies sensibles a cambios dentro de su medio (Cirujano y Mediano, 2002). Además, estas macrófitas desempeñan funciones vitales como el reciclaje de nutrientes, la limpieza natural por acciones de filtración, estabilización y sedimentación (Delgadillo Camacho Pérez y Andrade 2010).

Los macrófitas presentan características especiales que facilita su adaptación a diversos medios por ejemplo está provisto de un tejido esponjoso con cámaras de aire denominado aerénquima en tallos y hojas propio de plantas acuáticas esto facilita la aireación de los órganos de la planta y su hábitat además de facilitar la flotación, sus tallos son herbáceos y huecos (Rojas y Novelo, 1995; Acosta y

Agüero, 2006). Son fáciles de reproducir ya sea sexualmente por medio de semillas o asexualmente por estolones, o raíces adventicias los que se desprenden y generan una nueva planta (Mereles, De Egeam, Céspedes, Peña, y Arrúa, 2015). Actualmente estas plantas son un atractivo ya que especies como *P. stratiotes* y *Elodea laevigatum* son utilizadas en la decoración dentro de estanques, peceras o en jardinería, también se puede dar otros usos como en la construcción de chozas como es el caso de *T. latifolia*, o como forrajes para la alimentación de animales y elaboración de artesanías (Mereles et al ., 2015).

2.1.7 Biorremediación

Es una tecnología ambientalmente amigable denominada alternativa biológica debido a que utiliza las capacidades biológicas de plantas y microorganismos y sus procesos metabólicos para degradar, transformar contaminantes presentes en agua, suelo y aire a fin de reducir o eliminar la peligrosidad que presente el mismo (Olguín, Hernández y Sánchez, 2007).

2.1.8. Sistemas de fitorremediación

La fitorremediación, es una tecnología empleada para sanear ambientes contaminados en la cual se emplea plantas y organismos asociados a ellas para remover, trasferir, degradar, estabilizar concentrar y/o destruir concentraciones orgánicas e inorgánicas procedentes de actividades antropogénicas y su aplicación puede ser tanto *ex-situ* e *in-situ* (Agudelo, Macías y Suárez, 2005).

Entre las ventajas y desventajas de la fitorremediación tenemos (Proveda y Velasteguí 2014):

Ventajas

- Es una tecnología amigable con el ambiente
- Eficiente en el tratamiento de contaminantes *in-situ* *ex-situ*
- No requiera altos costos, ni personal especializado para su manejo

- Es estéticamente agradable y aceptada por el público
- Se puede reciclar recursos (agua, biomasa)

Desventajas

- Es un proceso lento y depende de las características de las especies
- Es dependiente de las épocas o estaciones del año.
- Los contaminantes acumulados en estructuras vegetales pueden ser devueltos a ambiente
- Requiere de áreas relativamente grandes
- Pudiera favorecer el desarrollo de mosquitos.

Métodos de fitorremediación

Son múltiples los términos que utiliza para los mecanismos de fitorremediación (Cubillos, Pulgarín, Gutiérrez y Paredes 2013) sugieren los siguientes:

- Rizodegradación o fitoestimulación: se refiere a la asociación de las raíces de las plantas y los microorganismos presentes en estas (hongos, bacterias, protozoos) para la degradación de contaminantes orgánicos. Los procesos de alimentación de la planta generan enzimas en las raíces las cuales garantizan la alimentación para el crecimiento de microorganismos (Agudelo et al., 2005).
- Fitoextracción o fitoacumulación: es la absorción de contaminantes por medio de la raíz de la planta y su acumulación en diferentes partes de la planta (Cubillo et al., 2005).
- Fitodegradación: la degradación de contaminantes orgánicos dentro de los tejidos vegetales por medio de enzimas producidas por las plantas (Ortiz, Sanz, Dorada y Villar, 2007).
- Fitoestabilización: ayuda a la reducción de material orgánico por inmovilización mediante la incorporación de plantas al suelo para la reducción de erosión escorrentía y lixiviación (Peralta y Volke, 2012).

2.1.9 Humedales artificiales

Los Humedales artificiales o humedales construidos según Fernández (1998) son apreciados como sistemas de tratamientos de tipo natural generalmente son desarrollados con vegetación adaptada a sistemas acuáticos dispuestas en monocultivo o policultivo que habitualmente se implementan en canales, lagunas o estanques. Su funcionamiento está basado en la actividad microbiana, la oxigenación de las raíces de las plantas, las enzimas que libera y la materia orgánica disponible conjuntamente con los procesos físicos, químicos y biológicos del medio que ayudan a mejorar la calidad del agua residual que circula dentro de estos (Zárate y Durán, 2008).

En estudios realizados por (Díaz, Alvarado y Camacho, 2012) afirman que entre los beneficios ambientales de implementar humedales artificiales se encuentran que

- Los humedales tienen bajos consumos de energía bajos a comparación de los sistemas convencionales
- Requiere de menor labor de operación y mantenimiento
- Se utilizan tanto en climas fríos como en templados, sin embargo, su eficiencia disminuirá en estaciones frías.
- Mejora la calidad de depuración y proporciona efluentes bajos en DBO y macronutrientes (P, N y K)
- Sus costos de tratamiento son menores comparados a los mecanizados
- No generan malos olores.
- Mejora la calidad ambiental, creando nichos además de mejora la visualización del paisaje y sirven como zonas de amortiguamiento.

Clasificación de los sistemas de humedales artificiales

Son diversas las clasificaciones que existen en la identificación de los humedales artificiales sin embargo Arias y Brix (2003) presentan dos tipos según el nivel del agua y son: humedales de flujo libre y humedales de flujo superficial.

Los humedales de flujo libre según Londoño y Marín (2009), afirman que “son aquellos que se encuentran en contacto con la atmósfera y constituyen la fuente principal de oxigenación”. (p.19). Los humedales de flujo libre deben ser impermeabilizados para evitar filtración hacia las capas edáficas del suelo, consta de grava y arena y la circulación de agua es de forma horizontal o vertical dependiendo del diseño (García y Corzo, 2008) es por esto por lo que se recomienda la vegetación emergente para producir una circulación de agua por medio de tallos y raíces.

En cuanto a la base, las plantas pueden enraizarse generando una red dentro del agua con las que capturan los diversos nutrientes, además que en sus raíces darán cabida a la formación de microorganismos que se encargan de la descomposición y transformación de materia orgánica a través de la absorción de nutrientes y de la fotosíntesis para generar la oxigenación en el agua (Lara, 1999).

Los humedales de flujo subsuperficial al igual que los anteriores son diseños impermeabilizados para evitar la escorrentía hacia otras fuentes de agua, su vegetación permanece inundada, en su base contiene arcilla (medio granular y vegetación emergente) estos sistemas son los más utilizados. Sin embargo, una desventaja que presenta es la pérdida o ganancia de calor, esto influye en la actividad dinámica microbiana reduciendo la eficiencia del sistema (García y Corzo, 2008).

La remoción dentro del humedal en cuanto a DQO es eficiente, esto por los procesos biológicos, químicos y físicos que presenta una transformación de las aguas residuales, en su mayoría es eliminada por degradación anaerobia y presenta una reducción de DQO y SST. La remoción de elementos inorgánicos es otro de los beneficios del uso de humedales. Existen bacterias como *nitrosomas* y *nitrobacter* presentes en las raíces de las plantas o provenientes de la mezcla de suelo con el agua que ayudan a la transformación y descomposición de componentes nitrogenados (Romero et al., 2009).

El uso de humedales además de la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales también es considerado como paisajes proporcionando un valor estético y que realza el paisaje, estos sitios promueven la conservación de hábitats de fauna especialmente la anidación de diferentes aves. Los humedales artificiales son un componente esencial para el tratamiento de aguas residuales, conservación de hábitats de vida silvestre como la anidación de diferentes especies de aves, además de brindar un valor estético al paisaje (Cisterna y Pérez, 2019).

2.1.10. Macrófitas criterios de selección para la construcción de humedales

Según Romero et al., 2009 mencionan que las plantas acuáticas para ser consideradas en la fitorremediación deben poseer las siguientes características:

- Tolerancia a altas concentraciones de elementos orgánicos o inorgánicos.
- Ser bioacumuladoras.
- Presentar una tasa alta de crecimiento y alta productividad.
- Ser especies locales, representativas de la comunidad natural.
- Tener facilidad de cosecha.

2.1.11 Características de las especies vegetales a utilizarse

Pistia stratiotes (Tabla 1)

Tabla 1. Clasificación taxonómica de la lechuga de agua (*Pistia stratiotes*)

Reino:	Plantae
Phylum	Magnoliophyta
Clase	Liopsida
Orden	Alismatales
Familia	Araceae
Género	Pistia
Nombre científico	<i>Pistia stratiotes</i> L.
Nombre común	Repollo de agua, lechuga de agua Llantén de agua

Fuente: Cueva (2016).

- Descripción:

Planta herbácea, acuática flotante de raíces fibrosas, conocida como mala hierba en países como Estados Unidos. Presenta hojas esponjosas con pubescencias dispuestas en roseta de color verde grisáceo intenso, estas son ovadas oblongas de ápice redondeado. Alcanza hasta 15 cm de longitud por 6 cm de ancho. Su reproducción habitualmente es vegetativa por estolones. Su temperatura mínima de crecimiento óptimo es de 22 a 30 °C y tolera ambientes con un pH entre 4,5 y 7,5 (Hill, 2003; Cueva, 2016).

- Ecología

Planta flotante libre de aguas lénticos; forma masas densas debido a su rápida propagación por medio de estolones. Se desarrollan en aguas claras o con mucha materia orgánica. Es considerada una maleza, pero actualmente está siendo utilizada como depuradora de aguas contaminadas y como planta ornamental. Soporta levemente la sequía y permanece de forma enana posicionándose sobre el barro (Romero, 2008; Cueva, 2016).

- Distribución

Proviene de zonas tropicales y subtropicales de África; Asia a Nueva Guinea y Norte de Australia y toda América. Se encuentra a elevaciones de 1000 msnm y es considerada una planta invasora ya que se encuentra distribuida en numerosos lugares del mundo (Neuenschwander, Julien, Center y Hill 2009).

- Usos

Principalmente es usada como planta ornamental y decorativa de acuarios o estaqués más sin embargo su principal uso es en el tratamiento de aguas residuales también posee propiedades medicinales y en algunos casos es usada como suplemento alimenticio de animales (Tripathi, Kumar y Rajiv 2009)

Typha latifolia (Tabla 2)

Tabla 2. Clasificación taxonómica de espadaña (*Typha latifolia*)

Reino:	Plantae
Phylum	Magnoliophyta
Clase	Liopsida
Orden	Poales
Familia	Typhaceae
Género	Typha
Nombre científico	<i>T. latifolia</i> .
Nombre común	Espadaña eneas

Fuente: De Carvalho, Texeira, Oliveira Giuliatti (2014)

- Descripción

Planta herbácea robusta perenne, rizomatosa, emergente de tallos erectos y simples, conocida como enea o espadaña (Tabla 2). Presenta un desarrollo anual de biomasa puede alcanzar de 1 a 3 m de altura posee un sistema radicular arraigado. Sus hojas son esponjosas, planas, gladiadas con una vaina envolvente. Su reproducción es por rizomas y por la aspersión de semillas de la inflorescencia. Su temperatura mínima de crecimiento está entre los 10 a 30°C (Saavedra, 2017; Urrutia, Marticorena y Sánchez, 2017).

- Ecología

La especie habita en pantanos, lagos, praderas húmedas, forman biomasa anual emergente para su propagación por rizomas. Se desarrollan en ambientes con condiciones ligeramente salinas, sustratos ácidos, alcalinos. Se utilizan como depurador de aguas residuales ya que ayudan a la remoción de compuestos orgánicos e inorgánicos y además sirve como planta ornamental (García 2010; Tavares, 2019).

- Distribución

Es una especie con una amplia distribución mundial sin embargo se encuentra habitando territorios como Bolivia, Perú y Argentina (García, 2010).

- Usos

Suplementos alimenticios para animales por su gran contenido proteico, en la construcción para la elaboración de casas, fabricación de artesanías y como plantas ornamentales en jardinería (Alarcón, Zurita, Lara, Vidal, 2018).

2.1.12. Parámetros para la caracterización de aguas residuales

Para conocer el tipo de contaminación en el agua residual es necesario llevar a cabo una caracterización con el fin de facilitar información sobre el tipo de aguas residuales y las concentraciones de los contaminantes es así como los parámetros importantes a analizarse son parámetros físicos químicos, biológicos y bacteriológicos (Crombet, Pérez, Ábalos y Rodríguez).

Parámetros físicos brindan una idea de la calidad del agua residual del proceso que se realiza y de los posibles problemas existentes en el tratamiento siendo los más fáciles de medir temperatura, olores, conductividad y turbidez (Barba, 2012).

Los parámetros químicos son de gran importancia ya que indica modificaciones en el agua residual y la capacidad del agua para disolver diversas sustancias entre los cuales se encuentran el pH, Dureza, Alcalinidad Sólidos Disueltos, Nitratos, Fosfatos Metales tóxicos, gases disueltos como el OD entre otros (Muñoz 2008).

Parámetros biológicos son los que indican la contaminación orgánica y biológica tanto de la actividad natural como la humana contribuye a la contaminación orgánica en las aguas residuales la degradación animal y vegetal de los residuos

orgánicos provenientes del uso del agua en estos los más importantes son Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno, Carbón Total (Bedoya, Ardilas y Reyes, 2014).

Parámetros biológicos empleado generalmente para determinar bacterias o grupo de coliformes es un indicativo de la contaminación, y se habla de bacterias como *Escherichia coli*, *Streptococos fecales* y *Clostridios* (Chávez, Leiva y Corroto 2016).

2.2. Marco legal

Las leyes que rigen en el Ecuador se basan en una jerarquía que describe el Artículo 425 de la Constitución de la Republica, nuestra investigación se basa y respalda, considerando parte de la normativa ambiental del país en las que se menciona lo siguiente:

2.2.1 Constitución de la República del Ecuador (2008)

Es de interés nacional la protección de todos los componentes que conforman el ambiente natural y en el que se conforma todo tipo de seres vivos por esto en el Titulo II de los Derechos el **Art.12** señala “El derecho humano del agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescindible, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida”. Además, el **Art. 15** se refiere a que “El Estado promoverá, en el sector público y privado el uso de tecnología ambientales limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará un detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua”.

2.2.2. Código Orgánico Ambiental (COA)

Según el Código Orgánico de Abril del 2017 en su título calidad de los componentes abióticos y estado de componentes abióticos menciona en su **Art. 196** “El tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales. Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales deberán contar con la infraestructura técnica para la instalación de sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales, de conformidad con la ley y la normativa técnica expedida para el efecto. Así mismo, deberá fomentar el tratamiento de aguas residuales con fines de reutilización, siempre y cuando estas recuperen sus niveles cualitativos y cuantitativos que exija la autoridad competente y no se afecte la salubridad pública. Cuando las aguas residuales no puedan llevarse al sistema de alcantarillado su tratamiento deberá hacerse de modo que no perjudique las fuentes receptoras de los suelos o la vida silvestre...”

2.2.3. Acuerdo Oficial 097-A del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA) 4 de noviembre del 2015

Del Anexo 1 de la norma de calidad ambiental y de descargas de efluentes al recurso agua en sus 5 puntos se determina los principios básicos, límites permisibles, disposiciones prohibiciones para las descargas de alcantarillado municipal además de los criterios de calidad de las aguas y la presencia de contaminantes. Esto permite evaluar las condiciones de los cuerpos del agua en función de sus usos.

2.2.4. Ley de Salud Pública

En el Art. 96 destaca que “Toda persona natural o jurídica tiene la obligación de proteger los acuíferos, las fuentes y cuencas hidrográficas que sirvan para el abastecimiento de agua para consumo humano. Se prohíbe realizar actividades de cualquier tipo, que pongan en riesgo de contaminación las fuentes de captación de agua. La autoridad sanitaria nacional, en coordinación con otros organismos competentes, tomarán medidas para prevenir, controlar, mitigar, remediar y sancionar la contaminación de las fuentes de agua para consumo humano. A fin de garantizar la calidad e inocuidad, todo abastecimiento de agua para consumo

humano queda sujeto a la vigilancia de la autoridad sanitaria nacional, a quien corresponde establecer las normas y reglamentos que permitan asegurar la protección de la salud humana”.

2.2.5. Ley Orgánica de los Recursos Hídricos, uso y aprovechamiento del agua

El título cuarto de la planificación hídrica menciona en su **Art. 34** destaca “La planificación hídrica se orientará a la satisfacción de las demandas de agua y a la protección del recurso y de los ecosistemas que esta se encuentra. Igualmente servirá para el equilibrio y armonización del desarrollo regional y sectorial incrementando las disponibilidades del recurso, protegiendo su calidad, economizando su empleo y racionalizando sus usos en armonía con el medio y los recursos naturales”.

2.2.6. Ordenanzas Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Otavalo

De acuerdo con las ordenanzas expedidas por el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Otavalo en el año 2015. Mediante la Ordenanza de creación de la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Otavalo “EMAPAO-EP” en el **Art. 6** de las políticas inciso m, resalta el “Realizar y controlar las descargas de aguas residuales con un manejo técnico ambiental y ecológicamente sostenible”.

2.2.7. Plan Nacional de Desarrollo Toda una vida 2017-2021

En el Objetivo 3 del Plan de Desarrollo Nacional Toda una Vida manifiesta que “La Conservación y Uso Sostenible de los Ecosistemas generados del agua, como los bosques altoandinos, paramos y humedales que proveen de recursos y mantienen el caudal ecológico de quebradas, ríos, acuíferos y manantiales es prioritario, ya que son las principales fuentes para el consumo humano, riego, y proyectos hidroeléctricos”.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. Descripción del área de estudio

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas donde se realizó la investigación se encuentra ubicada en la Parroquia Rural de González Suárez, Comunidad de Gualacata, Cantón Otavalo, Provincia de Imbabura (Figura 2). La Parroquia González Suárez se creó el 24 de marzo de 1914, geográficamente se encuentra ubicada en el Cantón Otavalo a 14 km del Sur de la ciudad en la Provincia de Imbabura y a 85 Km de la ciudad de Quito, capital del Ecuador. En la parroquia habitan alrededor de 5360 personas que representan el 5,37% de la población total del Cantón, la parroquia, además forma parte de la Cuenca del Lago San Pablo (Imbakucha), colindando con la quebrada de la Rinconada al Noreste junto al Río Itambí, y al Noroeste con la quebrada Santo Domingo-Huaycopungo.

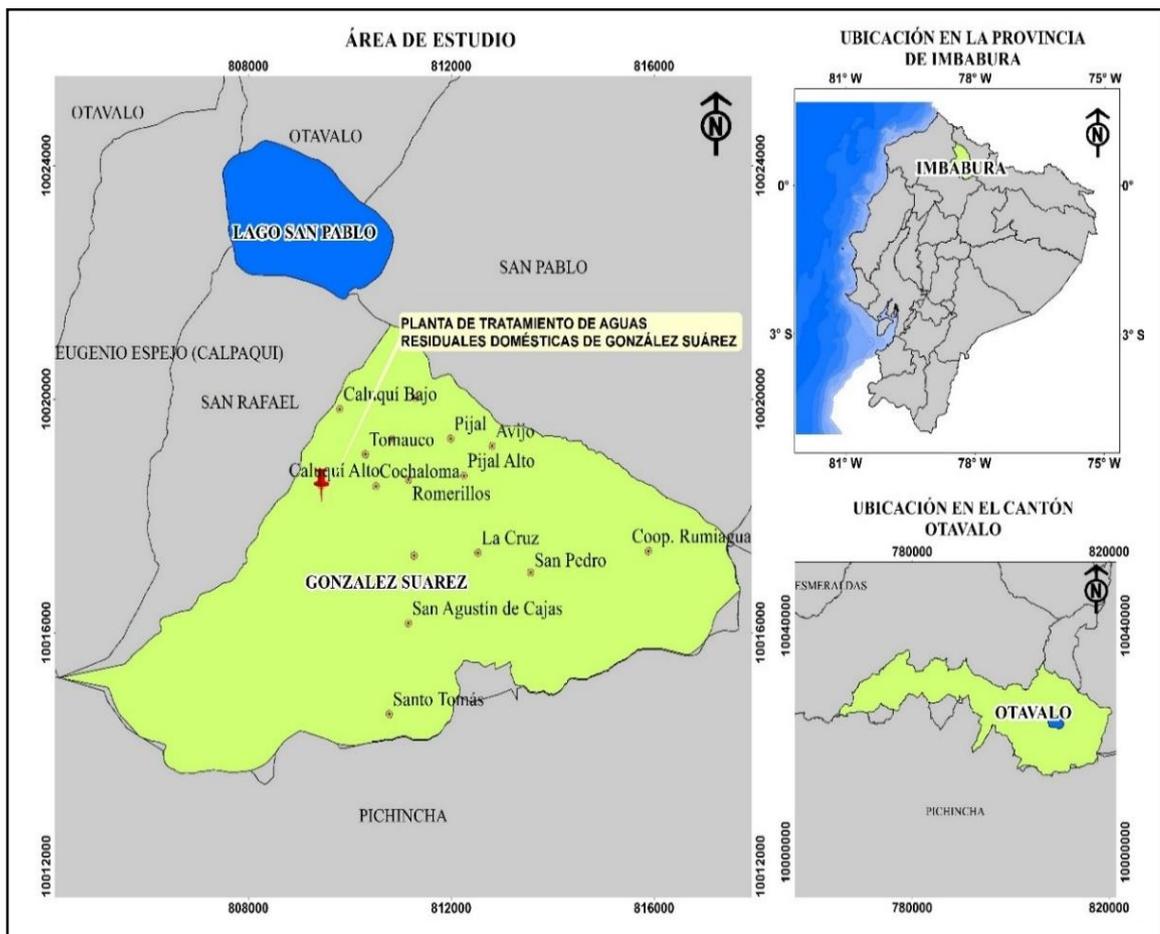


Figura 2. Área de Estudio-Planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de la Parroquia González Suárez.

La Parroquia Rural de González Suárez limita al Norte con la Parroquia de San Pablo de Lago, el límite Sur es la Provincia de Pichincha, en el límite Este se encuentra la Parroquia Rural de San Pablo y la Parroquia Rural de Angochahua que forma parte del Cantón Ibarra además la Parroquia Olmedo del Cantón Cayambe, finalmente el límite Oeste es la Parroquia Rural de San Rafael. La ubicación parroquial es un factor importante en el clima, las precipitaciones en el área de estudio oscilan entre 900mm a 1300mm anualmente; mientras que su temperatura está registrada entre 6°C y 13°C en donde podemos resaltar dos zonas de vida específicas para este tipo de formaciones ecológicas las cuales son: bosque seco montano bajo y bosque húmedo montano (PDOT González Suárez, 2015).

González Suárez posee una población total de 5.360 habitantes en donde 2.753 son hombres que representan el 49% y alrededor de 2.877 son mujeres que es el 51% de la población total de la parroquia. En base a los datos del censo de los años 1990, 2001 y 2010 se puede mencionar que la población mantiene un equilibrio en lo que se refiere al género. El avance de la población desde el año 1990 hasta el año 2001 ha crecido alrededor del 12,36% y desde el año 2001 al 2010 la población ha incrementado un 0,63%. La población hasta el año 2015 fue de 6.304 habitantes representando el 5,37% de la población total del Cantón Otavalo. En la parroquia se puede encontrar diversidad étnica-cultural identificando varios grupos étnicos. La mayoría de la población se auto identifican como indígenas que representa el 72,15%, otra parte de la población se autodefine como mestizo que representa el 26,50%, como blancos el 0,75% del total de la población y finalmente el 0,60% se consideran afroecuatorianos, siendo la etnia más representativa la población indígena (INEC, 2010).

Según datos tomados del Plan de Ordenamiento y Desarrollo Territorial del Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de González Suárez (2015) el relieve en la parroquia es de 6 tipos, los suelos con pendientes casi planas representan un 25,44% del total de la superficie, pendientes suavemente inclinadas representan el 6,88%, pendientes fuertemente inclinadas el 19,28%, pendientes

montañosas el 28,14%, pendientes muy montañosas el 14,10% y pendientes escarpadas el 6,16%. En la parroquia se encuentran asentados diversos tipos de formaciones geológicas, entre ellas se puede encontrar la formación volcánica de Cusín que representa un área de 528,73 ha y de Mojanda con un área de 3264,2ha las cuales son estratovolcanes de lava dacíticasandesíticas y piroclástos.

La parroquia posee distintas formaciones geológicas, teniendo como resultado múltiples tipos de suelo como son los Orthent que representa 1085,25 ha del área total de la parroquia, los Andept cuya característica principal es que son ricos en humus y sílice y constituyen 941,61 ha del área total, los suelos del tipo Tropept mismos que se les encuentra en latitudes bajas principalmente son de color rojizo representan un área de 80,34 ha, el tipo de suelo Udoll que representa un área total de 2677,99 ha, el suelo Ustoll que acumula carbonato de calcio y representa un área en total de 203,40 ha y finalmente suelos que no son aplicables que representan un área de 29,12 ha La Cobertura Vegetal de la parroquia se caracteriza por ser variada, encontrando vegetación arbustiva que representa el 1310,23 ha del área, cultivos de circo corto que constituyen un área 28,39 ha, además la existencia de páramo que representa alrededor de 1231,62 ha, cultivos de ciclo corto y de pasto cultivado que poseen un área alrededor de 1053,73 ha, cultivos de maíz que constituyen con un área de 89,90 ha, además los cuerpos de agua naturales corresponden a un área de 28,86 ha y finalmente el área urbana con un área de 23,10 ha (PDOT González Suárez, 2015).

3.1.2. Análisis de cantidad de agua contaminada por habitante

Las formaciones geológicas existentes, grado de inclinación de la pendiente, precipitaciones y presencia de páramos del Volcán Imbabura, Mojanda y Cusín forman lugares de almacenamiento de agua natural creando redes hídricas que en su gran mayoría son aprovechadas para consumo humano originando diferentes cauces, todas son formaciones naturales que sirven de límite para las parroquias San Pablo y San Rafael además existen diferentes cuerpos de agua que nacen por

filtración interna denominados ojos de agua que en gran parte sirven a las comunidades y parroquias para riego y consumo humano (PDOT González Suárez, 2015).

3.1.3. Déficit de calidad del agua para consumo humano

En la parroquia González Suárez el recurso agua tiene una cobertura total de 779 viviendas que representa únicamente el 59% que tiene una conexión hacia el alcantarillado. Alrededor de 453 viviendas poseen cobertura de agua por medio de río, acequia o vertiente el cual representa el 37%. Por otro lado 21 viviendas poseen acceso de agua por medio de pozo y 28 viviendas más tienen acceso al líquido vital por otros medios o tipo de fuente. De acuerdo con el proceso de actualización del PDOT se constató que la parroquia posee una cobertura total en la provisión del servicio de agua, el problema del servicio es la calidad ya que en su mayoría es entubada y no posee un tratamiento adecuado de potabilización (PDOT González Suárez, 2015).

3.1.4. Carga orgánica por habitante

En la parroquia González Suárez únicamente el 29% de hogares poseen una correcta conexión a la red pública del alcantarillado, de igual manera alrededor del 29% son las viviendas que poseen acceso a un pozo séptico para las descargas y el 11% no poseen ningún tipo de conexión para descarga de aguas servida. En la actualización del Plan de Ordenamiento Territorial los datos que se suministraron son que el 62% de las viviendas poseen el servicio de alcantarillado mayoritariamente focalizado en el centro de la parroquia, y el 38% remite sus descargas hacia pozos sépticos o pozos ciegos (PDOT González Suárez, 2015).

3.2. Metodología

Para el cumplimiento de los objetivos propuestos en el trabajo de titulación “Evaluación de dos macrófitos en el tratamiento de aguas residuales domésticas de la parroquia González Suárez, Cantón Otavalo” se estableció la siguiente metodología comprendida en tres fases:

- Fase I. Caracterización de dos especies vegetales *Typha latifolia* y *Pistia stratiotes* en el tratamiento de aguas residuales domésticas y su funcionalidad dentro de los humedales.
- Fase II. Análisis de la relación de los dos macrófitos y los parámetros fisicoquímicos a la entrada y salida de agua de la PTAR de González Suárez, Cantón Otavalo.
- Fase III. Diseño de estrategias de manejo de las especies *Typha latifolia* y *Pistia stratiotes* para su aprovechamiento después de culminado el proceso de fitorremediación.

3.2.1 Fase I. Caracterización de dos especies vegetales *Typha latifolia* y *Pistia stratiotes* en el tratamiento de aguas residuales domésticas y su funcionalidad dentro de los humedales.

Cumpliendo la fase I de la investigación se realizó revisión bibliográfica del área de estudio, límites, clima, relieve, cobertura vegetal del lugar, además de conocer las actividades socioeconómicas de la población, para determinar diversos factores que influyeron en el crecimiento de las especies macrófitas y por ende el monitoreo en el área de estudio.

Fase de campo

La segunda etapa de la fase I se realizó en la Provincia de Imbabura, Cantón Otavalo, Parroquia González Suárez, Comunidad Gualacata en las riveras del Lago San Pablo; en el sitio se llevó a cabo el diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales, donde con GPS se ejecutó la toma de puntos de los humedales

artificiales estudiados, además de conocer el caudal, procesos primarios y secundarios que se efectuaron en la planta de tratamiento (Figura 3).



Figura 3. a) Identificación de los procesos primarios y secundarios en la PTAR González Suárez, b) Medición de los humedales en donde se desarrolló la investigación.

Para determinar la ubicación del área de estudio se ejecutó el levantamiento de 15 puntos alrededor de la planta de tratamiento González Suárez con ayuda del GPS de la marca Garmín map 60CSx (Tabla 3).

Tabla 3. Georreferenciación de la Planta de Tratamiento González Suárez

PUNTO	X	Y	Z
1	811196	20637	8827
2	811211	20647	8841
3	811234	20669	8841
4	811267	20695	8834
5	811267	20696	8838
6	811250	20716	8837
7	811226	20745	8834
8	811197	20773	8836
9	811186	20761	8830
10	811163	20741	8830
11	811140	20723	8829
12	811155	20688	8827
13	811175	20666	8831
14	811175	20666	8833
15	811188	20644	8838

La planta de Tratamiento González Suárez corresponde a la planta N° 1 dentro de los sistemas de tratamiento. La recolección de los vertidos descende de la parte urbana de la parroquia González Suárez (Canal San Agustín) que cubre los sectores de: González Suárez, La Mariscal, Gualacata, Caluquí y Pijal Bajo, obteniendo una cobertura para 3403 habitantes y una estimación futura para el 2026 de 4457 habitantes. La captación de los vertidos a tratarse funciona a base de gravedad, consta de tres colectores, un paso fluvial (Canal San Agustín), un separador de caudales y el sistema de tratamiento de aguas servidas. El sistema consta de un sedimentador, filtro lento y plantas acuáticas flotantes. Sus descargas se realizan al canal San Agustín afluente del río Itambí y secuencialmente al lago San Pablo (Figura 4).

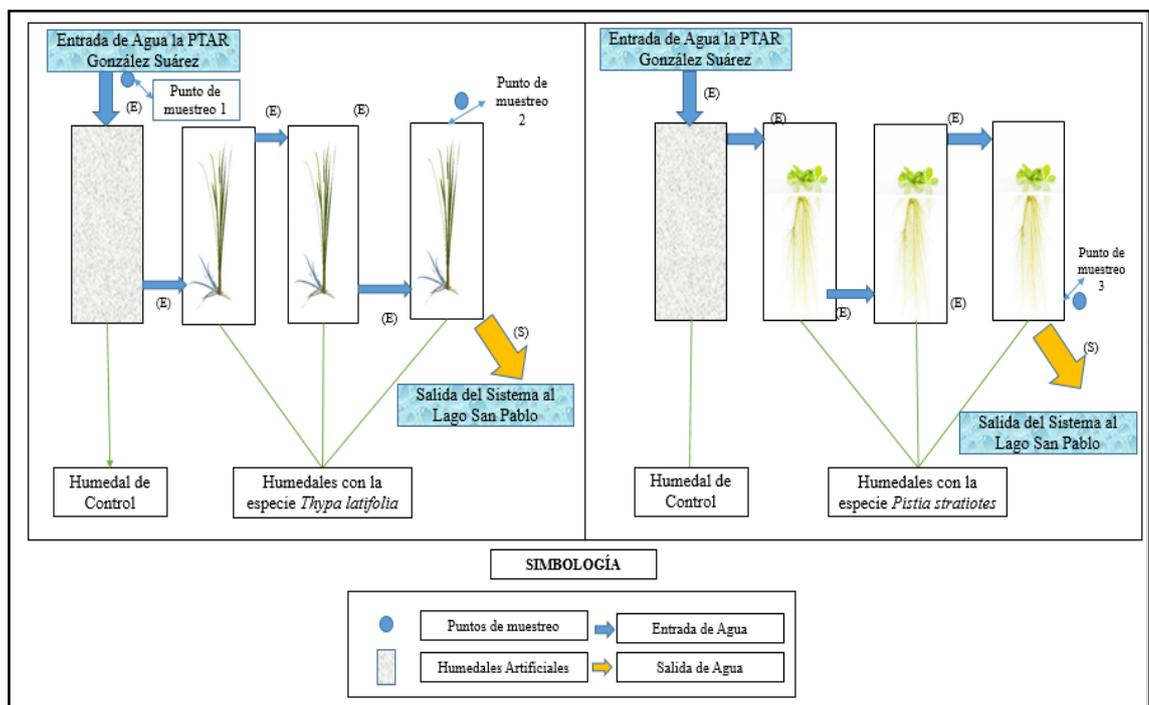


Figura 4. Diseño de la Planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de la parroquia González Suárez.

El sistema de tratamiento presenta las siguientes características:

- Tratamiento primario, que corresponde a los tanques sedimentadores con los cuales se eliminan las partículas sólidas gruesas.
- Tratamiento secundario, conformado por los filtros percoladores los cuales contiene material granular y sistemas de tuberías.
- Tratamiento terciario estanques para plantas acuáticas.

- Descargas del sistema.

Medidas de los estanques para plantación de plantas acuáticas

Corresponde al sistema de tratamiento o recinto donde fluye el agua, estos se encuentran interconectados con varios estanques en forma de espiral en ellos se cultivan plantas acuáticas para el correspondiente tratamiento (Moscoso, 2006). En la planta de tratamiento González Suárez los estanques se alimentan de un caudal de 9,38 l/s en todo el sistema con un tiempo de retención de 1,05 días, consta de 25 estanques cada uno con una dimensión de 63m de largo y 3m de ancho además cuenta con dos entradas hacia los estanques cada uno con un caudal de 0,72 l/s y 0,69/s el cual se calculó con la siguiente fórmula:

Cálculo del caudal

$$Q = \frac{V}{t}$$

En la medición de caudal para cada una de las especies se obtuvo los siguientes resultados (Tabla 4):

Tabla 4. Cálculo de caudal para las especies *T. latifolia* y *P. stratiotes*

Repeticiones	Humedal <i>Typha latifolia</i>	Humedal <i>Pistia stratiotes</i>
R1	1,58	1,58
R2	1,51	1,51
R3	1,24	1,24
R4	1,32	1,44
R5	1,31	1,44
Total	6,96	7,21
Caudal	1,392 (l/s)	1,442 (l/s)

Protocolo de recolección de individuos

Especie *T. latifolia*

Las plántulas de la especie *T. latifolia* se recolectaron con herramientas manuales: palas, barrenos además de retroexcavadora, posteriormente se las coloco en tarrinas

con sustrato compuesto por fibra de coco y turba (Oquendo, 2016). Se seleccionaron plántulas sanas, con rizomas, de dos a cinco tallos con yemas. Para poder multiplicarlas se utilizó la técnica de división de rizomas manteniéndolas con tierra húmeda hasta que se instalaron en los humedales artificiales de la PTAR de González Suárez (Figura 5).

Para la recolección de la especie se identificó que las poblaciones macrófitas posean buena aireación para que la especie se mantenga a niveles adecuados de oxígeno, logrando así ser resistentes al frío, adaptándose adecuadamente al área de estudio, además su crecimiento fue en suelos ricos en materia orgánica en descomposición (Martínez, Díaz, y Vargas, 2012).

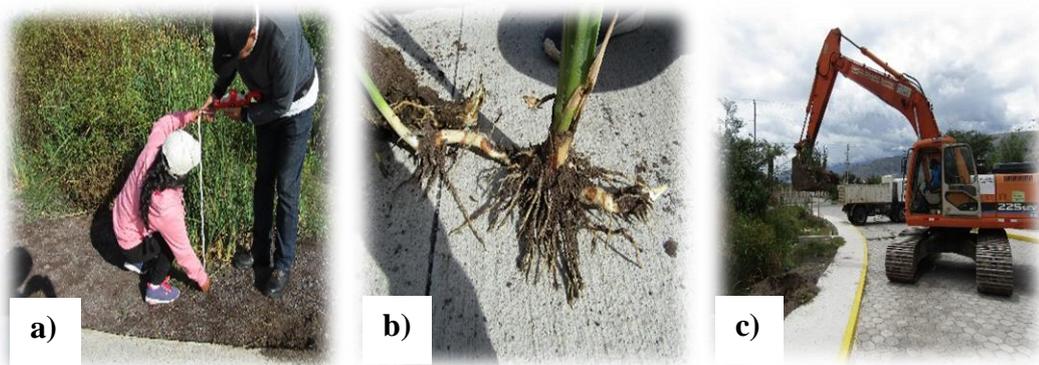


Figura 5. a) Medición de plántulas a ser recolectadas, b) Selección de plántulas con rizomas adecuados, c) Recolección de plántulas con retroexcavadora

Adecuación de área para colocación de especie macrófita *T. latifolia*.

Se adecuó en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de González Suárez se procedió a adecuar un sitio en donde se colocó la especie *T. latifolia* para que se puedan adaptar al clima y lugar de estudio donde posteriormente fueron plantadas en los humedales artificiales (Anexo 1; Figura 32).

Protocolo de recolección de individuos

P. stratiotes

Las poblaciones de la especie *P. stratiotes* fueron recolectadas en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de González Suárez. Su reproducción fue asexual por medio de estolones, verificando las características esenciales de la macrófita: hojas gruesas, suaves, con color adecuado, sin presencia de plagas y que estén desarrolladas en forma de roseta. Se realizó un control constante del medio donde se reprodujo a la especie, para que la planta crezca correctamente verificando que la temperatura oscile entre los 17°C a 30°C, impidiendo que descienda a los 15°C, además se suministró una correcta y adecuada iluminación (Figura 6).



Figura 6. a.) Recolección de *Pistia stratiotes* en la PTAR de González Suárez, b.) Separación de plántulas para reproducción asexual, c.) Crecimiento de las primeras plántulas al primer mes en el medio adaptado de reproducción para posterior colocación en humedales artificiales

Instalación de las especies macrófitas en los humedales artificiales

Para el tratamiento con *T. latifolia* se incorporó 55,8kg de la especie distribuidas en tres cárcamos de la Planta de Tratamiento González Suárez, donde se cubrió un área total de 10m x 3,30 m con la planta. Para el tratamiento con *P. stratiotes* se siguió el mismo procedimiento incorporándose el mismo peso en kg en biomasa cubriendo la misma área en los tres cárcamos aledaños (Figura 7).

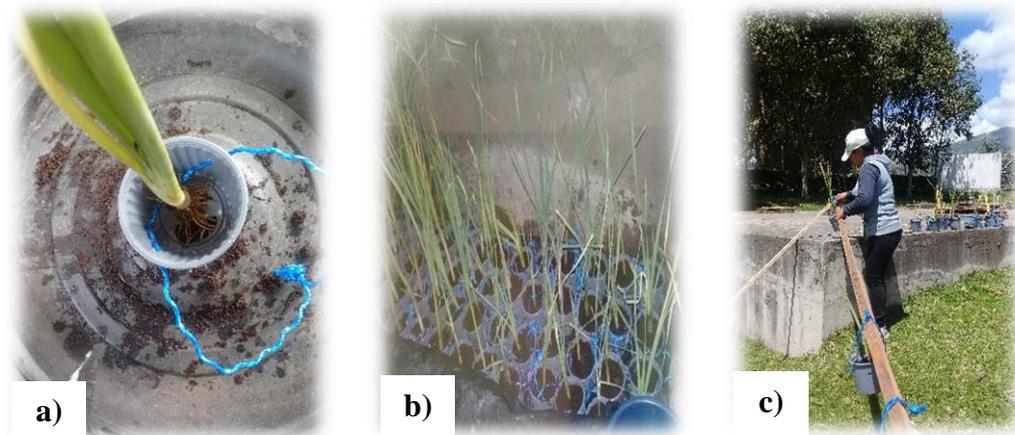


Figura 7. a), b) y c) Plantación adaptación e incorporación a los cárcamos con la especie *T. latifolia*.

3.2.2. Análisis de la relación de los dos macrófitos y los parámetros fisicoquímicos a la entrada y salida de agua de la PTAR de González Suárez, Cantón Otavalo.

Para lograr llevar a cabo el segundo objetivo de investigación se procedió a realizar lo siguiente:

Fase de muestreo

En la toma de muestras efectuadas in-situ en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas de la Parroquia González Suárez se utilizó envases esterilizados de 150ml con tapa rosca para evitar su alteración. Esta fase se llevó a cabo manualmente tomando muestras a la entrada y salida de los humedales artificiales evaluados (Guzmán y Narváez, 2010) (Figura 8).

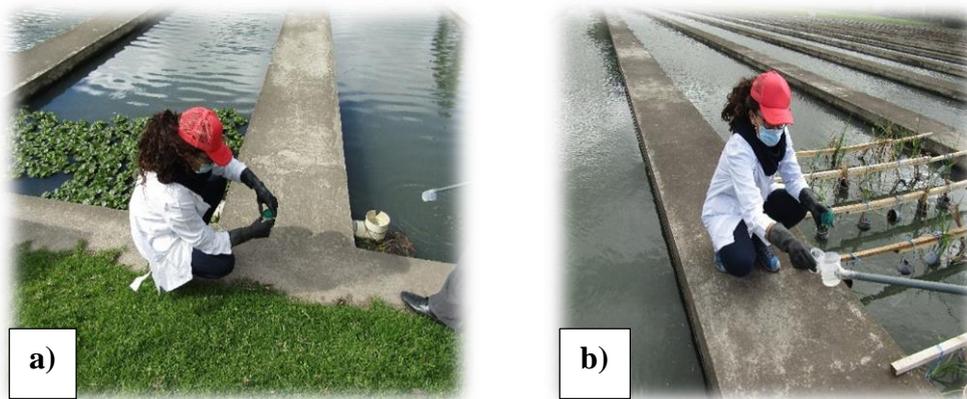


Figura 8. a.) Toma de muestras a la entrada de agua del humedal con la especie *T. latifolia* en el primer mes de muestreo. b.) Toma de muestras a la salida del humedal con la especie *T. latifolia* en el primer mes de muestreo.

Etiquetado de las muestras

Para el etiquetado de los envases se utilizó cinta, las etiquetas indicaron el punto GPS de la toma de muestras, fecha y características en las que fueron recolectadas. Se utilizó el kit de transporte para la conservación a una temperatura uniforme para que así no existan alteraciones, posteriormente se transportó hacia el laboratorio (Anexo 1; Figura 37).

Para cumplir con lo establecido en la Fase II de la investigación se procedió a realizar en laboratorio los análisis de los siguientes parámetros.

Parámetros físicos

Los sólidos disueltos totales suspendidos (SDT) son parámetros fundamentales en cuanto a mediciones, al estar presente en el agua residual indican que estas fuentes no pueden ser usadas en actividades de recreación y mucho menos para el consumo. En los humedales muchos de estos parámetros pueden ser removidos en un gran porcentaje ratificando que el uso de estos sistemas son la mejor opción para el tratamiento de aguas residuales (Barba, 2012).

La turbiedad es una propiedad óptica de la capacidad que tiene la luz para dispersarse a través de la suspensión del agua, para medir este parámetro se utilizó el equipo denominado turbidímetro de la marca Hach 2100P (Deloya, 2003).

La conductividad es la capacidad que el agua posee de conducir corriente eléctrica, indica el movimiento de las partículas, especialmente de compuestos inorgánicos como nitratos, sulfatos y fósforos, para esto se empleó el conductímetro HQ40D53000000 portátil en unidades de medición de (mS/cm).

Parámetros químicos

El pH es un parámetro que varía según la estación del año, representa el correcto funcionamiento de una planta de tratamiento, además exhibe rangos que van de 3,5 a 7 dentro de las plantas de tratamiento. El equipo que se utilizó es el pH-metro de la serie HD30d de la marca Hach, siendo su rango desde un pH bajo o alcalino hasta un pH ácido, además el instrumento permitió medir la temperatura que fue otro factor importante para la evaluación de los macrófitos en estudio (Environmental Protection Agency, 2001).

La medición de fosfatos se realizó por el método 8178, método de aminoácido (Severiche, Castillo y Acevedo, 2013). Su unidad de medida es (mg/l) y los pasos que se siguieron fueron los siguientes:

- 1.- Ingreso al programa de agua en el espectrofotómetro.
- 2.- Ajuste del espectrofotómetro con la unidad en blanco.
- 3.- Llenado 25ml con la muestra.
- 4.- Adición 1ml de reactivo de molibdeno utilizando un gotero.
- 5.- Adición 1ml de reactivo. Tapar y homogenizar varias veces.
- 6.- Esperar un periodo de reacción de 10 min.
- 7.- Verter el blanco de 25 ml.
- 8.- Efectuar las mediciones de 25 ml.

El análisis de nitrato (Figura 9), se llevó a cabo por el método 8029 denominado también método de reducción de cadmio.

- 1.- Ingreso el código del programa nitrato.
- 2.- Colocación en las celdas con muestras de 25ml.
- 3.- Adición del contenido existente en una bolsa de reactivo de NitraVer proceder a tapar.
- 4.- Homogenización y reposo alrededor de 5 minutos.
- 5.- Colocación del blanco en el espectrofotómetro posteriormente la muestra.
- 6.- Realización de mediciones correspondientes y anotar los resultados.

Este mismo procedimiento se realizó para el nitrito aplicando el método 8597 Método de Diazotización aprobado por la USEPA para realizar informes sobre análisis de aguas residuales.

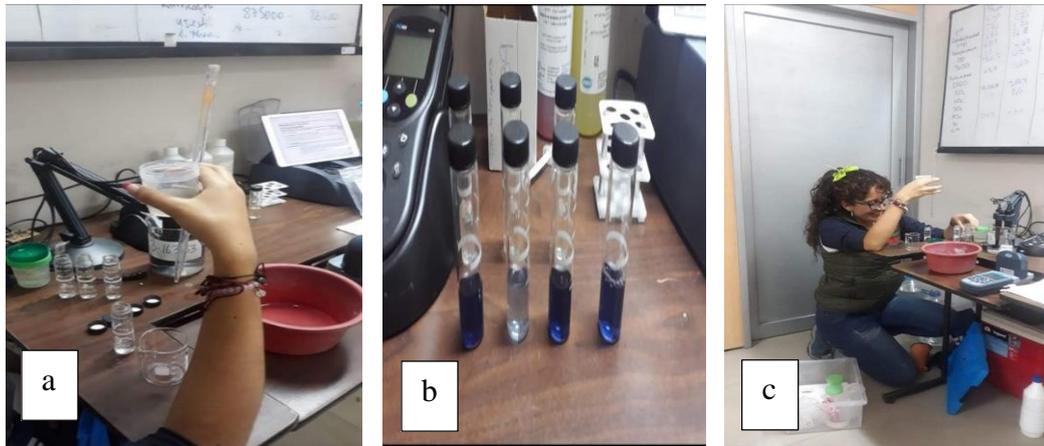


Figura 9. a.) Análisis de nitritos y nitratos, b.) Análisis de fosfatos, c.) Análisis de parámetros físicos, medición de turbiedad y conductividad

Análisis biológicos

La demanda química de oxígeno se llevó a cabo por el método 8000, aprobado por la USEPA para realizar informes sobre análisis de aguas residuales, esta variable se usó para medir la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación de la materia orgánica degradable. El método consistió en usar una muestra en los frascos de 1

litro e incubarlo durante 5 días con medidores automáticos la unidad en la que se medió es en mg/l. El DBO5 se realizó bajo luminiscencia SM 52b, ASTM 888-09 por el Método C y DQO por el reflujo cerrado y colorímetro, SM5220 D por el método descrito por Standard (Methods, 1905).

-Diseño experimental y análisis estadísticos

Para la presente investigación se realizó el análisis estadístico con la ayuda del programa estadístico SPSS aplicando la Prueba Shapiro- Wilk.

La Prueba de Shapiro - Wilk se utilizó en la investigación debido a que fue una muestra pequeña menor <30 muestras de la cual se obtuvo un pValor > 0,005 es decir existe normalidad en los datos. Por otro lado se aplicó la prueba de Levene de comparación de igualdad de varianzas de la cual el pValor < 0,05 es decir q las varianzas no son iguales por lo cual se procedió a aplicar una t de student no paramétrica para muestras independientes la cual permitió determinar si existen diferencias entre las medias de tratamientos a través de la prueba de la U de Mann Whitney en base al número de repeticiones comparando las diferencias existentes para las especies *T. latifolia* y *P. stratiotes* y su eficiencia dentro de los humedales artificiales (Sánchez, 2011).

3.2.3. Diseño de estrategias de manejo de las especies *Typha latifolia* y *Pistia stratiotes* para su aprovechamiento después de culminado el proceso de fitorremediación

En el cumplimiento del último objetivo de investigación se realizó un manual de estrategias de manejo para las dos especies macrófitas estudiadas, y su eficiencia en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

Análisis multidisciplinario

Para la elaboración de las estrategias de manejo de las especies macrófitas se procedió a realizar un análisis multidisciplinario para un adecuado manejo de *T. latifolia* y *P. stratiotes*, enfocándose principalmente a la concientización y educación ambiental de la población, además de la utilización de las especies como materia prima para la elaboración de biogás, compost, elaboración de papel, artesanías y fuentes de combustible que podrán llevar a cabo las comunidades de los alrededores (Calle y Piedrahita, 2007).

Aplicación de análisis multidisciplinario

Para la aplicación de análisis multidisciplinario se procedió a determinar los aspectos importantes en los cuales se desarrolló el manual tomando en cuenta varios puntos importantes:

- Importancia de las especies macrófitas del estudio.
- Limpieza de contaminantes con especies macrófitas.
- Fitorremediación
- Género *Typha* y *Pistia*
- Humedales Artificiales
- Beneficios de Humedales Artificiales
- Manejo de Humedales
- Tipos de siembra de las especies en humedales artificiales
- Cosecha
- Aprovechamiento de especies macrófitas de las dos especies macrófitas: propuesta de alternativas de aprovechamiento de biomasa de las especies enea y lechuga de agua.

3.3. Materiales y equipos

A continuación, se presenta una lista de los diferentes materiales y equipos que se utilizó durante todo el proceso de investigación para cumplir con los objetivos planteados (Tabla 5).

Tabla 5. Materiales a utilizarse en las diferentes etapas de investigación.

Materiales de campo	Materiales de laboratorio	Materiales de oficina
GPS	Espectrofotómetro UV-Visible Plus)	2 Laptos
Cámara	Turbidímetro Hach 2100p	Cuaderno
Botas	Multiparámetro	USB
Mascarilla	Elmeyers de 1000ml	Lápiz
Mandil	Cubetas	Libreta de Campo
Gorra	Reactivos	
Guantes	Agua destilada	
Frascos de prolipropileno	Pipeta	
Antibacterial	Probeta	
Retroexcavadora	Vasos de precipitación	
Masquin		
Esfero gráfico		
Kit de transporte de muestras		
Muestreador de jarra 150 ml		
Palas		
Barrenos		

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El presente capítulo muestra los resultados obtenidos durante la investigación, los mismos están presentados en orden de los objetivos planteados.

4.1. Caracterización de dos especies vegetales *Typha latifolia* y *Pistia stratiotes* en el tratamiento de aguas residuales domésticas y su funcionalidad dentro de los humedales.

4.1.1 Tasa de crecimiento de las especies dentro de los humedales

Con respecto a la tasa de crecimiento promedio registrada dentro de los humedales para la especie *T. latifolia* durante el periodo de experimentación alcanzó una altura máxima de 1,90 cm a lo largo de 6 meses (Tabla 6). La especie inició con una altura de 0,55cm, dentro del tiempo evaluado triplicó su crecimiento y permaneció cubriendo un área de 10m, el mayor desarrollo de la especie fue en el mes de octubre, igualmente se observó que su adaptación fue después de tres meses lo cual reflejó en su coloración característica siendo el mismo verde oscuro. Por último, alcanzó el número máximo de 10 hojas y una reproducción de rizomas mayor a 22. Cabe recalcar que durante este tiempo la especie no presentó afectaciones por plagas en las partes aéreas y tampoco existió floración.

Tabla 6. Monitoreo de la tasa de crecimiento para la especie *T. latifolia*

Meses de monitoreo	Área cubierta (m)	Desarrollo (cm)	Número foliar (N° de hojas)	Número de rizomas	Color
Julio	10	0,55	4 a 5	2	Marrón verdoso
Agosto	10	0,60	5 a 6	3	Verde claro
Septiembre	10	0,70	7 a 8	4 a 8	Verde oscuro
Octubre	10	1,50	8 a 9	8 a 12	Verde oscuro
Noviembre	10	1,75	10 a 11	12 a 20	Verde oscuro
Diciembre	10	1,90	10 a 12	>22	Verde oscuro

Con respecto a la tasa de crecimiento presentada durante los meses de julio a diciembre durante la permanencia de la especie *T. latifolia* dentro de los humedales artificiales de la planta de tratamiento González Suárez, se evidenció que su crecimiento fue progresivo ya que alcanzó una altura máxima de 1,90 cm dentro de los 10m (Tabla 6). Durante los primeros tres meses el desarrollo vegetal fue lento sin embargo se pudo notar que durante el mes de octubre hubo un cambio significativo en las medidas obtenidas, esto relacionado con el aumento de precipitaciones que favorecen a las condiciones los macrófitos a adaptarse (Cubillos et al., 2013). Resultados diferentes se encontraron en la investigación de Leto, Tuttolomondo, La Bella y Leone (2013) los cuales mencionan que este tipo de macrófitos presentaron igual o mayor crecimiento vegetativo de *T. latifolia* durante el verano en las cuales prevalece las altas temperaturas alcanzando alturas de 2,29 cm. Por parte de los investigadores Eid, Shaltout y Asaeda (2012) se menciona que el número de brotes de esta especie tienden a bajar en el cambio de temporada esto puede estar relacionado con los pocos brotes que *T. latifolia* tuvo durante los primeros meses (Tabla 6), ya que corresponden a meses de altas temperaturas en los cuales la planta necesita guardar nutrientes para realizar procesos de fotosíntesis. Por lo observado la especie implementada en este sistema presentó una alta adaptación al sistema de tratamiento a los tres meses de haber sido instalada siendo capaz de tolerar altas y bajas temperaturas aumentando la altura de la especie.

La tasa de crecimiento promedio registrada para la especie *P. stratiotes* durante el periodo de experimentación alcanzó un crecimiento máximo de 0,23 cm durante los 6 meses (Tabla 7) mostrando un buen desarrollo foliar. Además, se observó que el tiempo de adaptación de la especie fue de 30 días, sin embargo, no fue hasta el tercer mes que presentó un color verde claro brillante característico, por otro lado *P. stratiotes* dentro de su reproducción solo alcanzó el desarrollo de 4 estolones y un número máximo de láminas foliares de 8 hojas. Cabe recalcar que en ese tiempo la planta no llegó a su estado adulto y no mostró degeneración, plagas ni fases de floración.

Tabla 7. Monitoreo de tasa de crecimiento para *P. stratiotes*

Meses de monitoreo	Área cubierta (m)	Desarrollo (cm)	Número foliar (N° de hojas)	Número de rizomas	Color
Julio	10	0,05	4 a 5	2	Verde amarillento
Agosto	16,32	0,07	4 a 5	2	Verde amarillento
Septiembre	27,5	0,10	5 a 6	3	Verde obscuro
Octubre	40,6	0,14	5 a 7	4	Verde obscuro
Noviembre	53,2	0,18	6 a 7	4	Verde claro
Diciembre	63,3	0,23	7 a 8	4	Verde claro

Con los datos recolectados con respecto a la tasa de crecimiento para la especie *P. stratiotes* instaladas durante seis meses dentro de los humedales de la planta de tratamiento González Suárez, todas las plantas lograron un crecimiento progresivo óptimo alcanzando un máximo desarrollo de 0,23 cm con un área cubierta de 63,3m (Tabla 7). Durante los primeros dos meses las plantas presentaron problemas en su adaptación esto se reflejó en su coloración que fue verde amarillento. En estudios de Barrantes y Pittman (2018) menciona que la planta tiende a presentar coloraciones amarillentas en su follaje por el exceso de nitrógeno y fósforo elementos que están presentes dentro de las aguas residuales, eso explicaría la tardanza *P. stratiotes* para adaptarse, sin embargo, su reproducción no se vio afectada ya que aumento progresivamente la biomasa dentro del área asignada.

Estudios de Aponte y Ramírez (2011) evaluaron la estructura de las comunidades vegetales dentro de cuatro humedales con varias especies mencionan que las poblaciones de las especies de *P. stratiotes*, *Eichornia crassipes* y *Lemna gibba* aumentó, esto debido a que las aguas del sistema de tratamiento contenían exceso de nutrientes por actividades agrícolas. Lo afirmado tiene tienen similitud en el lugar en que se llevó a cabo el estudio, la población depende de las actividades agropecuarias y ganaderas sus vertidos pueden contener exceso de nutrientes lo cual explicaría el comportamiento de *P. stratiotes* en el aumento de biomasa. Según Agudelo et al., (2005) existió un proceso de rizodegradación debido a la asociación de los microorganismos y las enzimas producidas por *T. latifolia* y *P. stratiotes* que permitieron que estas lograran un buen crecimiento.

4.2 Análisis de la relación de los dos macrófitos y los parámetros fisicoquímicos a la entrada y salida de agua en las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas de la Parroquia González Suárez, Cantón Otavalo.

A continuación, se muestran los resultados de la medición de los parámetros fisicoquímicos realizados en los meses de julio, septiembre, octubre, diciembre de 2019 y enero de 2020, con muestras puntuales a entrada y salida del sistema obteniendo los siguientes resultados (Tabla 8 y 9).

Tabla 8. Resultados obtenidos durante el monitoreo del humedal de *T. latifolia*.

Meses	Parámetros	Unidad	JUL		SEP		OCT		DIC		ENE	
			Entrada	Salida								
pH	UpH		7,60	7,68	7,57	7,09	6,61	7,10	6,63	6,86	6,89	6,93
Conductividad	µS/cm		515	478	486	484	321	396	349	353	394	433
STD	mg/l		293	262	282	276	191,8	229	206	201	231	241
Temperatura	°C		17,70	19,20	22,10	16,80	15,10	16,60	16,20	16,50	18,50	18,40
OD	mg/l		0,80	1,70	1,10	4,67	1,50	1,23	0,43	0,12	1,29	7,10
%OD	%		11,30	25	15,60	65	20,50	17,30	6	1,70	18,80	100
Turbiedad	NTU		93,90	5,90	64,90	5,63	34,90	5,50	27,80	3,84	35,30	7,20
DQO	mg/l		486	27	486	47	600	67	760	80	583	10
NO ₂	mg/l		0,045	0,331	0,028	0,164	0,129	0,034	0,166	0,049	0,127	0,094
NO ₃	mg/l		6,10	3,80	6,90	2,60	3,40	0,90	0,90	0	3,30	2,70
PO ₄	mg/l		6,20	8,30	0,30	4,40	13,30	12,90	5,50	5,20	5,70	6,10

Tabla 9. Resultados obtenidos durante el monitoreo del humedal con *P. stratiotes*

Meses	Parámetros	Unidad	JUL		SEP		OCT		DIC		ENE	
			Entrada	Salida								
	pH	UpH	7,60	7,76	7,57	8,67	6,61	7,12	6,63	6,70	6,89	6,54
	Conductividad	µS/cm	515	500	486	488	321	313	349	344	394	472
	STD	mg/l	293	274	282	279	191,80	188,60	206	198,50	231	262
	Temperatura	°C	17,70	19,10	22,10	18,50	15,1	14,80	16,20	17,10	18,50	18,60
	OD	mg/l	0,80	2,47	1,10	3,33	1,50	1,23	0,43	0,12	1,29	0,12
	%OD	%	11,30	36,70	15,60	47,60	20,50	16,50	6,00	1,80	18,80	1,80
	Turbiedad	NTU	93,90	3,83	64,90	11,51	34,90	4,51	27,8	2,53	35,3	29,90
	DQO	mg/l	486	30	486	85	600	138	760	70	583	35
	NO ₂	mg/l	0,045	0,021	0,028	0,338	0,129	0,350	0,166	0,005	0,127	0,009
	NO ₃	mg/l	6,10	0,70	6,90	0,70	3,40	14,20	0,90	0,20	3,30	1,20
	PO ₄	mg/l	6,20	11,20	0,30	5,50	13,30	9,00	5,5	4,30	5,70	10,50

4.2.1. pH

A partir de la implementación de la especie *T. latifolia* en los estanques de la planta de tratamiento con respecto al parámetro pH existió una variación en las concentraciones cuyos valores oscilan en 7,6 y 6,6 pH en la entrada del sistema mientras que después de pasar por el tratamiento los valores sufren un ligero cambio a la salida encontrando valores de que fluctúan entre 7,7 y 6,9 pH. Los valores descritos dentro de la escala del pH se consideran de neutro a ácido (Figura 10).

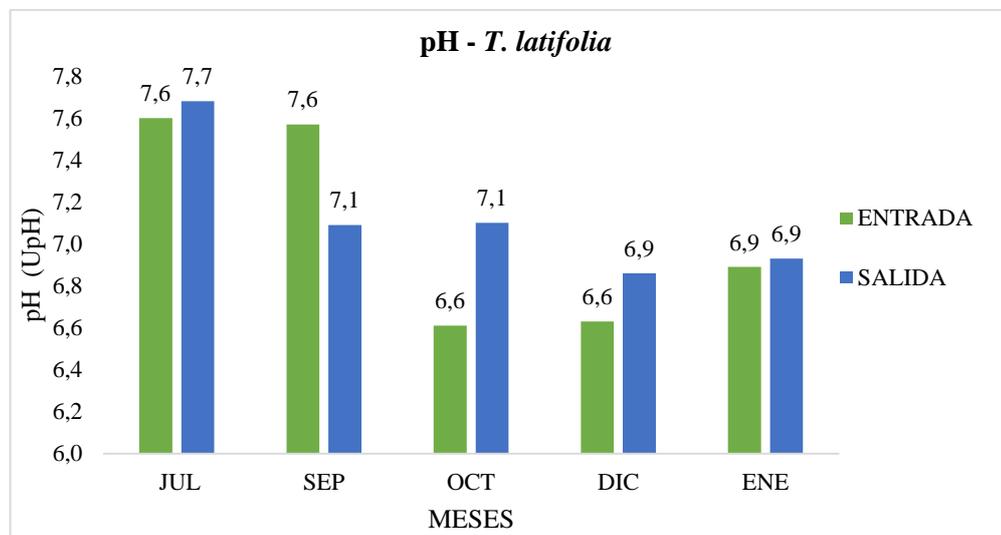


Figura 10. Comportamiento del pH en sistema de tratamiento de aguas residuales con la especie *T. latifolia*.

El comportamiento del pH en el tratamiento de aguas residuales con la especie *P. stratiotes*, se encontró que los valores iniciales en el mes de julio a la entrada del sistema el valor de ingreso fue de 7,6 pH con una tendencia a disminuir para que finalmente en el mes de enero la entrada fue de 6,9 pH y 6,5 pH a la salida del humedal. Estos valores obtenidos indican que el pH está en un rango de un neutro a ácido (Figura 11).

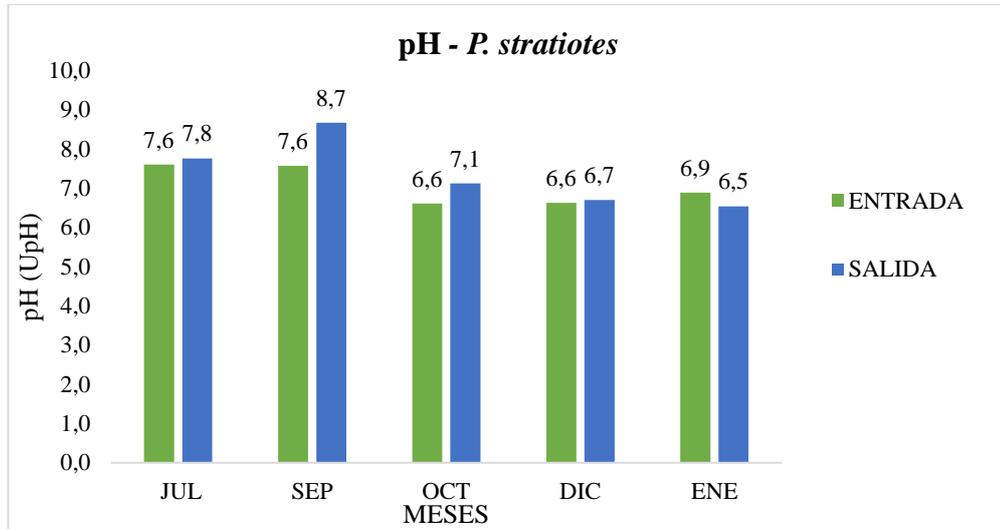


Figura 11. Comportamiento del pH en sistema de tratamiento de aguas residuales con la especie *P. stratiotes*.

El pH es un parámetro importante dentro del tratamiento de aguas residuales debido a que las descargas con un alto porcentaje de acidez pueden alterar la vida de los ecosistemas acuáticos es por esto que las investigaciones de Londoño y Marín (2019) mencionan que los vertidos hacia los ríos deben permanecer en un rango de pH entre 6,5 y 8,5 para admitir la protección de organismos que se encuentren en el agua, también Mendoza, Pérez y Galindo (2018) menciona que en humedales con tratamientos biológicos debe existir un valor de pH entre 4 a 10 para un correcto funcionamiento de los humedales construidos además que esto favorece a los proceso de nitrificación y desnitrificación ya que las condiciones ácidas del agua permiten el crecimiento de bacterias.

Los resultados obtenidos en los humedales con la especie *T. latifolia* se encontró cambios de pH a la entrada que oscilaron entre 7,6 a 6,9 y a la salida valores de 7,7 a 6,9 (Mendoza et al., 2018) mencionan que un pH que se encuentre en un rango de 4 a 10 asegura que esta especie pueda adaptarse y se desarrolle adecuadamente, además Calheiros, Rangel, y Castro (2009) obtuvieron resultados similares en valores de pH al evaluar *T. latifolia* y *P. australis* encontrando un pH promedio de entrada de aguas residuales varió entre 6,36 y 7,82 y para la salida oscilaban entre 7,82 y 8,27. Los resultados para el humedal con *P. stratiotes* se obtuvo pH que

oscilaron a la entrada de 7,60 y 6,6 y a la salida desde 8,67 y 6,5. Los requerimientos para que la especie *P. stratiotes* mantenga una adecuada adaptación y desarrollo en el agua debe existir un pH entre 5 a 8 (Barreto y Paredes, 2015).

En estudios en los que se evaluó tres macrófitas *E. crassipes*, *P. stratiotes* y *S. molesta*, en aguas residuales se encontró que el pH durante el tiempo experimental varió entre 6,5 y 7,7 Wickramasinghe, y Jayawardana (2018). También Ouyang, Murygina, Yu, y Ziu (2005) indica que la variación del pH con *P. stratiotes* varía en un rango de 6,5 a 8,3 el cual es un rango permitido del pH, menciona también que esta variación permite la presencia de actividad de microorganismos estabilizadores ayudando a mantener las condiciones adecuadas en el cual puedan interactuar los ecosistemas además la normativa del Ecuador 097 A en la norma para descargas de aguas residuales hacia medios acuáticos y descargas para alcantarillado permiten valores de pH entre 6,5 a 8,4.

4.2.2 Conductividad

El comportamiento de conductividad obtenido en el efluente correspondió a los cinco meses de monitoreo sometidos a tratamiento con la especie *T. latifolia* en los que se pudo observar que tanto a la entrada como a la salida la conductividad sufrió variaciones los meses de julio y septiembre disminuyen ligeramente mientras que octubre y enero aumentan. Es así como se obtiene un rango de 515 a 321 uS/cm a la entrada y a 478 a 353 uS/cm a la salida (Figura 12).

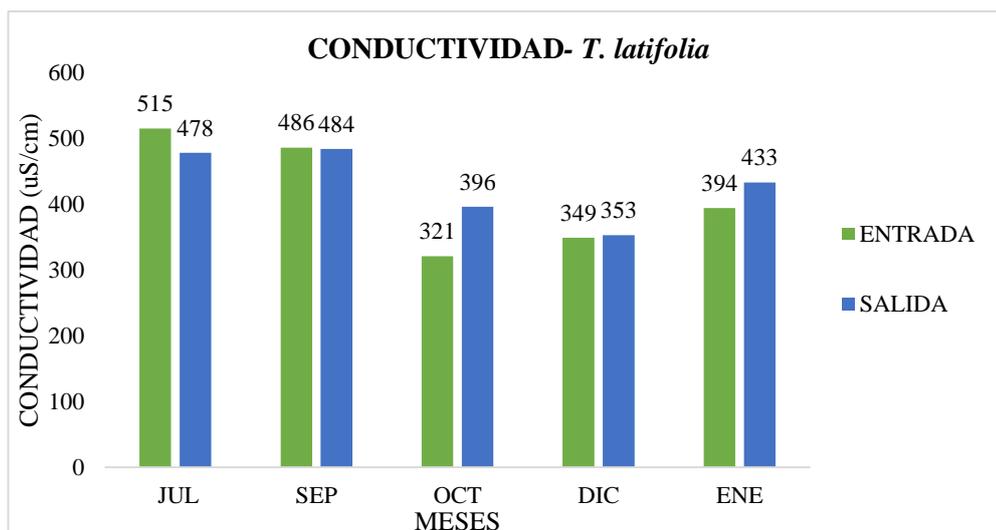


Figura 12. Determinación de la conductividad eléctrica en el humedal de los *T. latifolia*

El comportamiento de la conductividad en los sistemas de tratamiento con la especie *P. stratiotes* obtenidos del efluente reflejan valores variables que disminuyen en el mes de julio, octubre y diciembre siendo en el mes de octubre los datos con mayor reducción a la entrada de 321uS/cm y con una salida de 313uS/cm por otro lado en los meses de septiembre y enero los valores reflejan un aumento de conductividad (Figura 13).

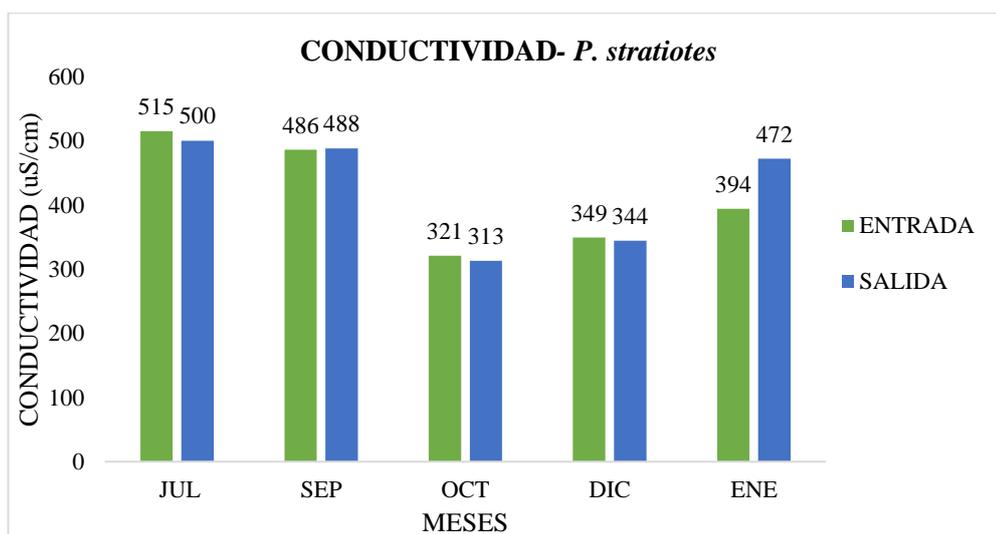


Figura 13. Determinación de la conductividad eléctrica en el humedal de *P. stratiotes*.

Saavedra (2017), refiere a la conductividad como un parámetro importante dentro de las aguas residuales e indica el grado de mineralización que posee el agua además

de las cargas iónicas que se encuentran presentes y su capacidad para transportar corriente eléctrica. Romero (2012) indica que la presencia de estos iones disueltos en el agua puede deberse a cationes de sodio, potasio, calcio, magnesio y otros y también aniones como carbonatos, bicarbonatos, sulfatos y cloruros sin embargo la presencia de las altas concentraciones de conductividad indica aguas altamente corrosivas lo cual tiene grandes efectos sobre los ecosistemas causando una reducción de la biodiversidad (Ontiveros, Diakite y Álvarez, 2013).

De acuerdo con los valores de conductividad durante los cinco meses se pudo evidenciar un comportamiento inestable tanto en el humedal con *T. latifolia* y *P. stratiotes*. Los valores indican una tendencia a la disminución al finalizar el mes de enero en comparación con los valores iniciales tomados para el mes de julio, este comportamiento de acuerdo con Saavedra (2007) en su estudio con macrófitas para el tratamiento de aguas residuales concluye que las especies poseen la capacidad de absorber muchos de los iones del agua residual además menciona que en aguas residuales de uso doméstico la conductividad se sitúa en intervalos de 1.000 a 2.000 uS/cm.

De igual manera Ciria, Solano y Soriano (2005) observaron en humedales con *P. stratiotes*, *T. latifolia*, *Lemna gibba* y *Phragmites sp* a escala de laboratorio existió un descenso de conductividad con valores iniciales de 32,84 a 23,59 uS/cm esto debido a que las plantas tienen la capacidad de absorber iones e incorporarlos a su sistema reduciendo así las sales disueltas en las aguas residuales.

4.2.3. Sólidos disueltos totales

El comportamiento de los sólidos disueltos totales en los sistemas de tratamiento con la especie *T. latifolia* obtenidos al final del efluente de la planta de tratamiento reflejan valores que descienden en el mes de julio, septiembre y diciembre siendo en el mes de diciembre donde existió mayor reducción con valores a la entrada de 206 uS/cm y con una salida de 201uS/cm por otro lado en los meses de octubre y enero los valores reflejan un aumento de conductividad (Figura 14).

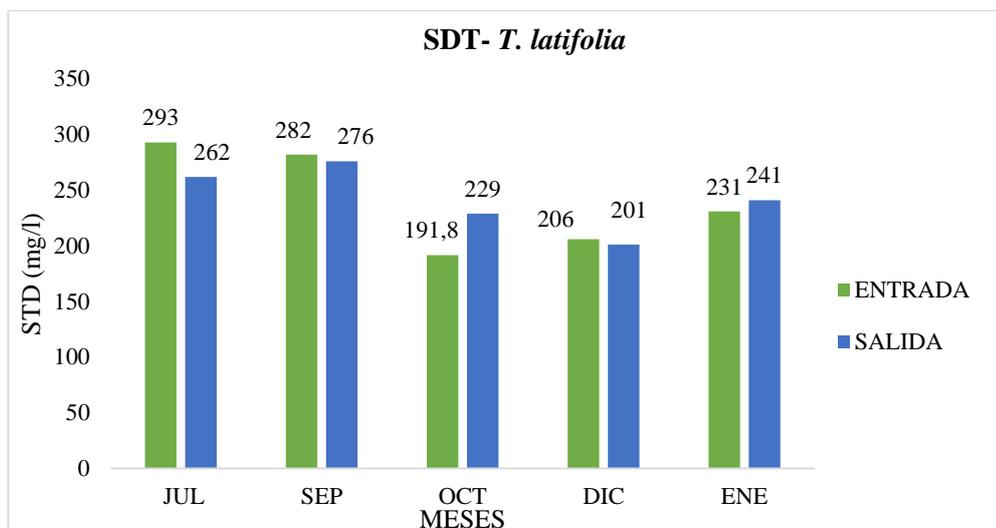


Figura 14. Determinación de los SDT en el humedal de *T. latifolia*.

El comportamiento de los sólidos disueltos totales en los sistemas de tratamiento con la especie *P. stratiotes* obtenidos al final del efluente de la planta de tratamiento reflejan valores que disminuyeron en los meses de julio, septiembre, octubre y diciembre con valores en un rango de 293 a 191,8 mg/l a la entrada y valores a la salida de 279 a 188,6 mg/l, por otro lado, para el mes de enero los valores tienden a aumentar ligeramente (Figura 15).

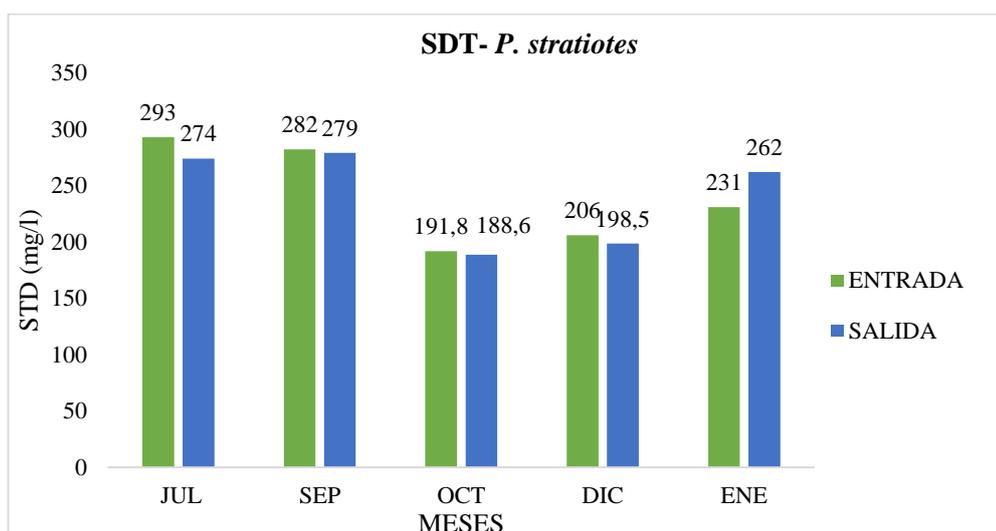


Figura 15. Determinación STD en el humedal de *P. stratiotes*.

Los sólidos disueltos totales representan los iones móviles de minerales, sales, metales y pequeñas cantidades de materia orgánica, su determinación es una medida primaria de la calidad de agua que permite evaluar y dictaminar el tipo y el uso de la misma, una alta concentración de SDT incide en una concentración de contaminantes como hierro, sulfatos, bromatos entre otros (Torres y Lozano, 2017). Este parámetro además se relaciona con la conductividad ya que si sus concentraciones aumentan de igual manera aumenta la conductividad y de la misma forma aumenta las sales en el agua, lo que es un indicador de la corrosividad de este (Raggio y Moro, 2006).

La concentración de las SDT dentro de los humedales es relativamente variable, en general no superan los 300 mg/l, se pudo apreciar que los valores a la entrada en el primer mes fueron de 293 mg/l y se notó una reducción de los valores de salida para la especie *T. latifolia* con 262 mg/l y 274 mg/l para la especie *P. stratiotes*. En los siguientes meses de igual manera se observó el mismo comportamiento al ir reduciendo los valores hasta el cuarto mes de monitoreo obteniéndose así una entrada de 206 mg/l para los dos humedales y a la salida un rango que fue de 201 mg/l en el mes de diciembre para el humedal con la especie *T. latifolia* y 198 mg/l para el humedal con la especie *P. stratiotes*. Sin embargo, para el mes de enero cambia el comportamiento y los SDT sufren un ligero aumento a la salida sin superar el rango del primer monitoreo.

En estudios de Cortés y Mesa (2015) con humedales con lechuga de agua se encontró el mismo comportamiento dando una reducción de SDT de 214 a 58 mg/l en granjas porcinas en el Valle del Cauca también Pérez, Domínguez, Martínez, López, Gonzáles y Monteagudo (2015) en su evaluación de *T. latifolia* a escala de laboratorio sometió a enneas a diferentes concentraciones de aguas residuales de 100, 40 y 10 obteniendo una reducción en concentraciones de SDT 118 a 4 mg/l.

4.2.4. Temperatura

El comportamiento del parámetro temperatura dentro del humedal con la especie *T. latifolia* durante los meses de julio a enero mostraron variaciones las mismas oscilaron entre 22,1 °C siendo esta la más alta temperatura durante todo el monitoreo y 15,1°C siendo la menor a la entrada del sistema y temperatura máxima de 19,2 °C y una mínima de 16,5°C a la salida (Figura 16).

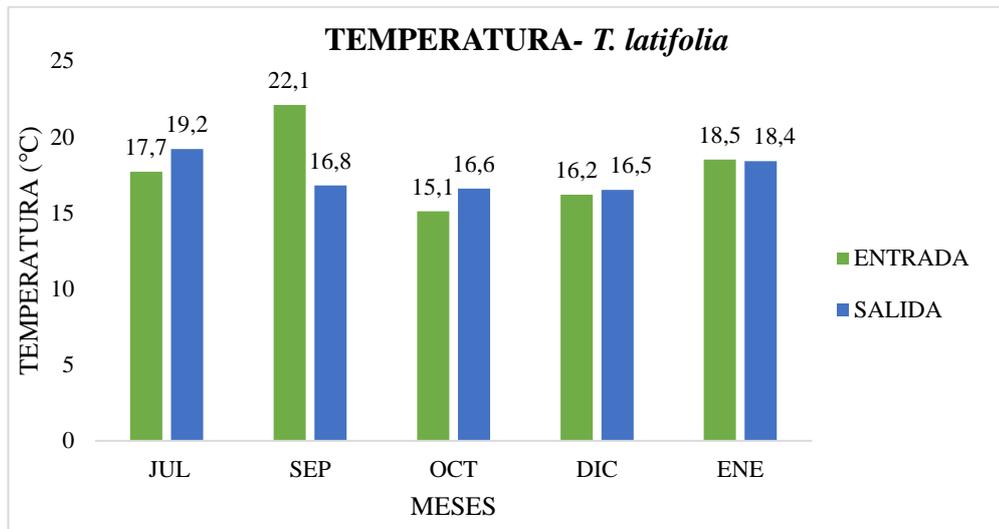


Figura 16. Variación de temperatura en el humedal artificial compuesto de *T. latifolia*.

El comportamiento de la temperatura para la especie *P. stratiotes* durante los cinco meses de monitoreo a la entrada del sistema oscilaron en valores de 22,1°C siendo esta la máxima y una mínima de 15,1°C, mientras que para la salida se encontraron valores de temperatura máxima de 19,1°C y una mínima de 14,8°C (Figura 17).

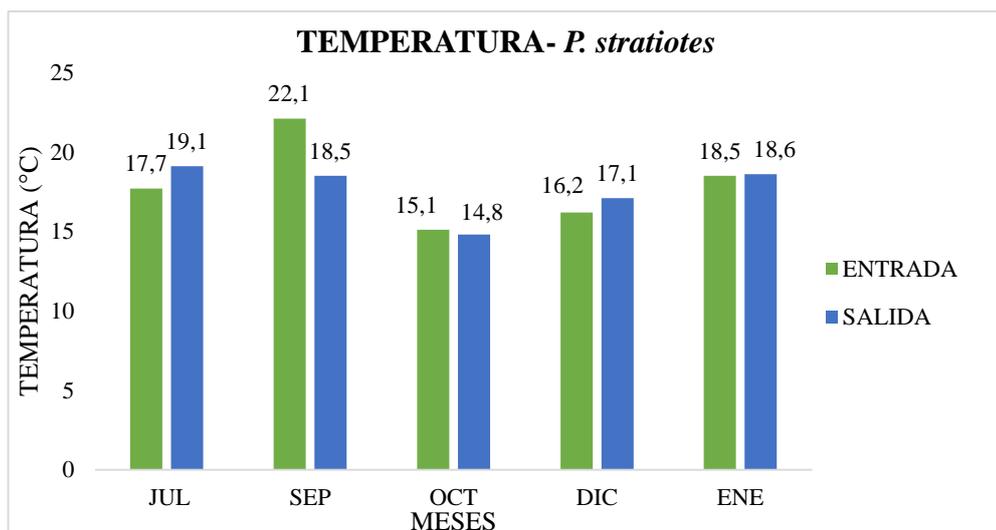


Figura 17. Variación de temperatura en el humedal artificial compuesto de *P. stratiotes*.

La temperatura es un factor que varía en las aguas residuales y presenta gran incidencia en parámetros como pH, conductividad, oxígeno disuelto entre otros, este parámetro presenta variación dependiendo de las estaciones del año y la posición geográfica e influye en la actividad biológica, reacciones químicas y la cantidad de gases (Pérez, 2016).

Metclaf y Eddy (1985) menciona que la temperatura de las aguas residuales generalmente es mayor al que del agua del suministro, es decir, está influenciada por la temperatura total del clima acorde con el área en donde se realizó la investigación, los valores de temperatura tienden a estar entre los 27°C y 13°C. Según (Ontiveros, Diakite y Álvarez, 2013 para que el tratamiento biológico se desarrolle de manera adecuada el rango de temperatura en los humedales artificiales debe estar entre 25-35°C, de manera general la actividad biológica se acelera con la presencia de temperatura más cálida y disminuye a temperatura baja, sin embargo, bajo temperaturas tanto frías como calientes pueden llegar a obstaculizar el tratamiento.

Dentro de los humedales artificiales se registraron temperaturas que oscilan entre 20°C y 14°C, *T. latifolia* es una planta acuática que presenta alta tolerancia a los cambios de temperatura es resistente y no muy exigente (Forcada, 2010), fácilmente

se desarrolla en ambientes con temperaturas de 10°C a 30°C mientras que *P. stratiotes* soporta temperaturas mínimas de 17°C y una óptima de 22°C a 30°C. La temperatura es un factor que influye para la remoción de contaminantes presentes en las aguas residuales los procesos biológicos dependen de esta variable e influye de forma muy significativa en las especies acuáticas determinado su metabolismo, productividad primaria, respiración y descomposición de materia orgánica (Binu, Mohan, Vijaya, Juginu, Kavithamani y Hema, 2015).

4.2.5. Oxígeno disuelto

El proceso de oxigenación dentro del humedal con la especie *T. latifolia* mostró un incremento de oxígeno para los meses de julio, septiembre y enero con variaciones de 1,7 y 7,1 mg/l a la salida mientras que para los meses de octubre y diciembre disminuyó notablemente en rangos de 1,23 y 0,12 mg/l (Figura 18).

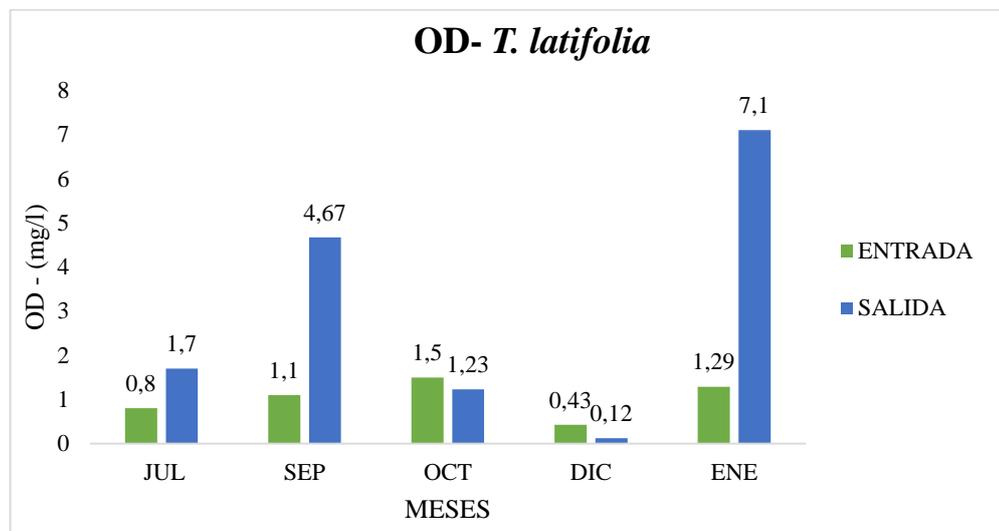


Figura 18. Oxígeno disuelto en el humedal compuesto con *T. latifolia*.

Dentro del humedal con la especie *P. stratiotes* la especie presentó aumento de oxígeno en el mes de septiembre con 3,33 mg/l mientras que para los meses de octubre, diciembre y enero disminuyeron significativamente los valores en un rango de 3,3 mg/l a 0,12 mg/l (Figura 19).

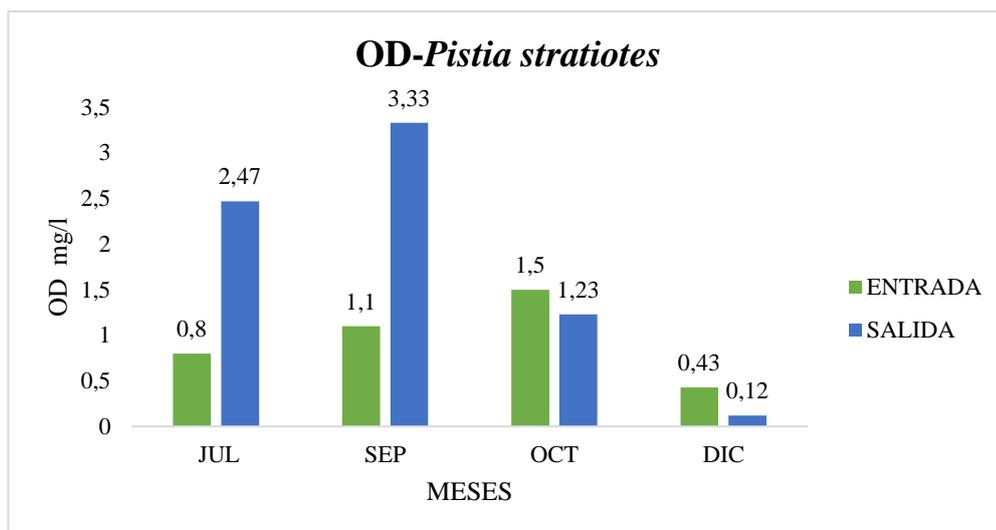


Figura 19. Oxígeno disuelto en el humedal compuesto con *P. stratiotes*.

El oxígeno disuelto es el oxígeno presente en el agua, el que es producido por la fotosíntesis de plantas acuáticas y la difusión de oxígeno desde la atmósfera (Oyedeeji y Abowei, 2012). El oxígeno juega un papel importante en el tratamiento de las aguas residuales ya que la cantidad de oxígeno disuelto incide en los procesos biológicos, ayuda a mantener el metabolismo de organismos que aceleran la descomposición de materia orgánica de las aguas residuales, además tiene una relación con la temperatura ya que a mayor temperatura el oxígeno disponible disminuye, esto ocasiona que exista anoxia y los organismos que se encuentran ahí mueran (López, Cabrera y Carrillo, 2017).

Dentro de los humedales con *T. latifolia* los valores del oxígeno disuelto difirieron significativamente en la salida para los meses de septiembre y enero, la exposición de la planta mostró los valores más altos de 4,67 y 7,1 mg/l según lo declarado por Mannarino, Ferreira, Campos y Ritter (2006) estos resultados indican que fue efectivo el transporte de oxígeno al medio ambiente por su sistema radicular, su estructura formado por tejidos abiertos ayudaron a al trasporte del oxígeno del ambiente a las hojas y de estas al sistema radicular y los rizomas de la planta y posteriormente al agua. Los niveles de oxígeno después del proceso de fitorremediación con las especies *T. latifolia* aumentaron, esto se debe a que los macrófitos no solo poseen la capacidad de absorber iones sino también de inyectar

oxígeno a través de sus raíces esto concuerda con los estudios de Velázquez, Ortega, Esparza (2013) quienes afirman que las plantas flotantes modifican propiedades de pH, liberan exudados de sus raíces, aumentan la aireación liberan oxígeno incrementa la capacidad de reacciones y efectúa transformaciones del agua.

Resultados diferentes se encontraron en el tratamiento con la especie *P. stratiotes* ya que solo en los meses de julio y septiembre presentó el mayor aporte de oxígeno sin embargo para los otros meses existió una baja en los niveles de oxígeno este hecho según Lallana, Billard, Elizalde y Lallana (2008) es resultado de la alta carga orgánica que es degradada por microorganismo que a su vez elevan el consumo de oxígeno y por ende disminuye el oxígeno disuelto del agua, por otro lado en el estudio de Lacuesta y Critobal (2013) en la que evaluaron tres macrófitas en la remediación de aguas de arroyo Miguelete mencionan *P. stratiotes* es la menos rendimiento tuvo en aporte de oxígeno y las especies de *Eichornia crassipes* y *T. latifolia* son más eficientes que la especie antes mencionada.

Además, Romero y Rojas (1999) y Reis, Almeida, Conceição, Batista (2019) afirmaron en sus estudio con plantas acuáticas el oxígeno disuelto varía durante el día en la superficie aerobia de una laguna se pueden observar concentraciones de sobresaturación de oxígeno, muchos de estos valores logrando llegar hasta 36 mg/l, al igual que después de un día claro y soleado las concentraciones pueden caer a menos de 1 mg/l muchas veces en la noche incluso pueden llegar a ser nula.

4.2.5.1. Porcentaje de oxígeno disuelto

El porcentaje de saturación de oxígeno para los meses de estudio en el humedal de *T. latifolia* registró un aumento para los meses de julio, septiembre y enero con una disponibilidad de 25%, 65% y 100% el último valor indica que existe una supersaturación es decir existió mayor cantidad de productores primario de oxígeno (plantas, microorganismos algas o bacterias) desarrollados por el acceso de nutrientes sin embargo para los meses de octubre y diciembre la cantidad de

oxígeno disminuye es decir que existe mayor organismos utilizando el oxígeno para degradar la materia orgánica presente en el agua residual (Figura 20).

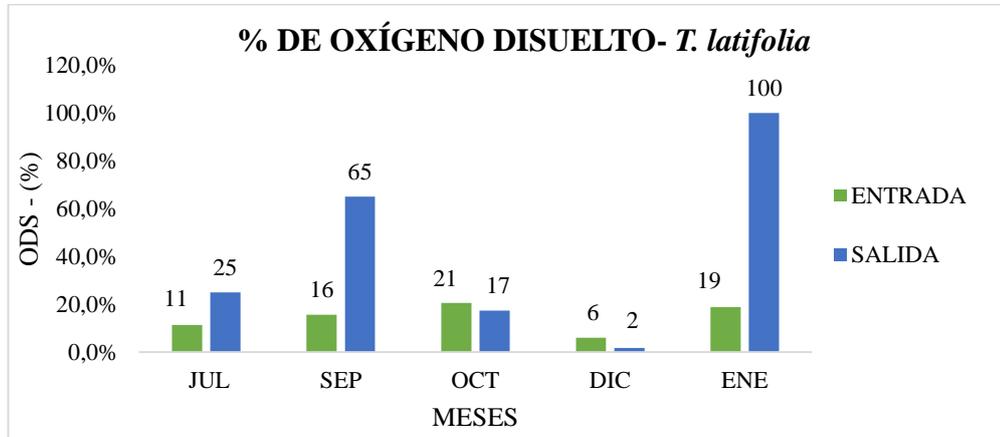


Figura 20. Porcentaje de OD registrados en el humedal con la especie *P. stratiotes*.

El porcentaje de saturación de oxígeno para los meses de estudio en el humedal con *P. stratiotes* registró un aumento para los meses de julio y septiembre con una disponibilidad de 37% y 48% estos valores indican que existe mayor cantidad de productores primarios desarrollados por el acceso de nutrientes sin embargo para los meses de octubre, diciembre y enero la cantidad de oxígeno disminuye es decir que existe mayor cantidad de organismos anaerobios utilizando el oxígeno para degradar la materia orgánica presente en el agua residual (Figura 21).

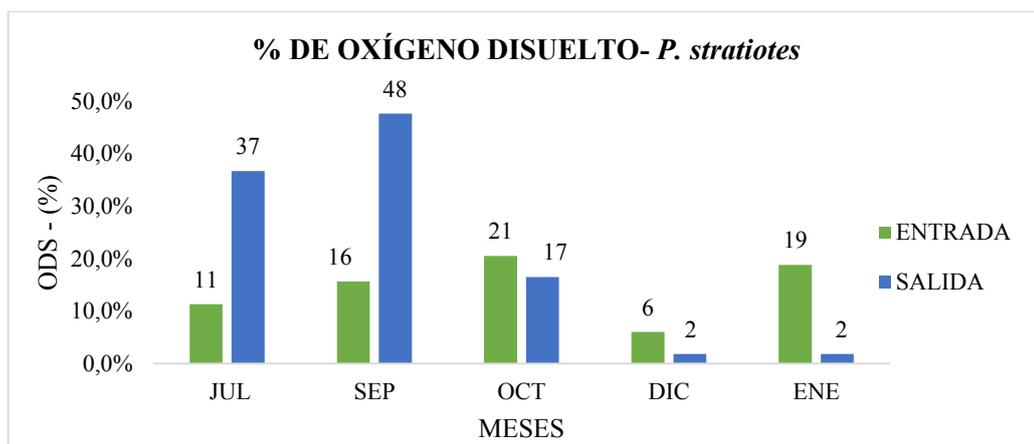


Figura 21. Porcentaje de OD en el humedal con la especie *P. stratiotes*

El porcentaje de saturación de oxígeno en el humedal de *T. latifolia* fue mayor a los presentados en el humedal con la especie *P. stratiotes* ya que se mantuvo durante mayor tiempo, estos resultados indican que durante los meses de estudio el proceso de mineralización y descomposición de la materia orgánica fue efectiva (Datta, Wani, Pantil y Tilak, 2016). Según la investigación de Muñoz, Orozco, Vera, Suárez, García Neria y Jiménez (2015) los valores indican que existieron mayores microorganismos primarios productores de oxígeno mientras que en *P. stratiotes* existieron mayores procesos metabólicos de parte de organismos aeróbicos para ayudar a la descomposición de nutrientes. Según Muñoz et al., (2015) quienes realizaron un estudio para medir el porcentaje de saturación de oxígeno con la precipitación pluvial y temperatura, mencionan que según la temporada de sequias el porcentaje puede llegar a ser de 46% O₂sat, mientras que en temporadas de lluvia llega a aumentar hasta un 83,3% O₂sat.

4.2.6. Turbiedad

La variación de turbiedad para la especie *T. latifolia* fue constante, en el mes de julio disminuyó 88 NTU que es la mayor reducción para los meses de monitoreo, en el mes de septiembre se redujo 59,27 NTU, el mes de octubre registra una disminución de 29,4 NTU, para diciembre se registró una disminución de 23,96 NTU finalmente para el mes de enero la reducción fue de 28,1 NTU (Figura 22).

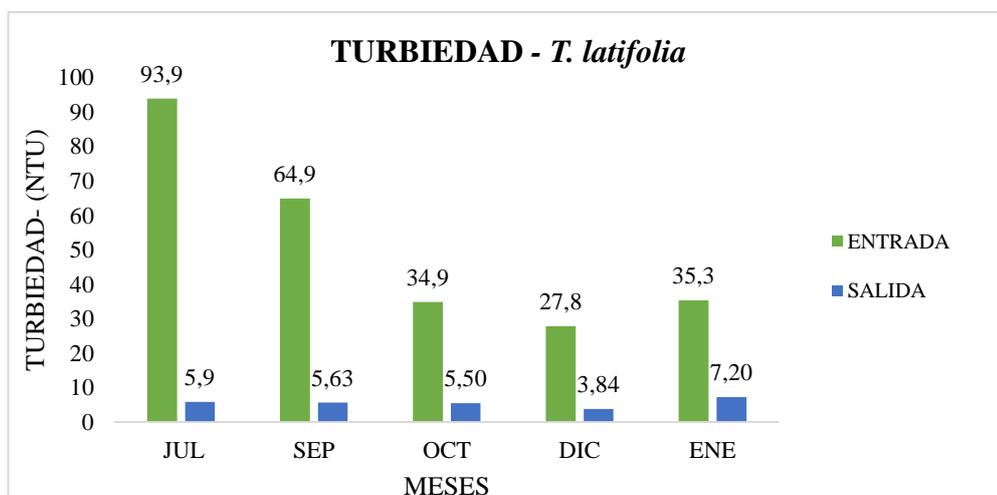


Figura 22. Variación de turbiedad para el humedal con la especie *T. latifolia*.

Se indica la variación de turbiedad para la especie *P. stratiotes*, el cual en el mes de julio registró la mayor disminución en 90,07 NTU, el mes de septiembre se registró una disminución de 53,39 NTU, en octubre la disminución de turbiedad fue 30,39 NTU, el mes de diciembre la disminución fue de 25,24 NTU, finalmente en enero la disminución de turbiedad para la especie *P. stratiotes* fue de 5,4 NTU. (Figura 23).

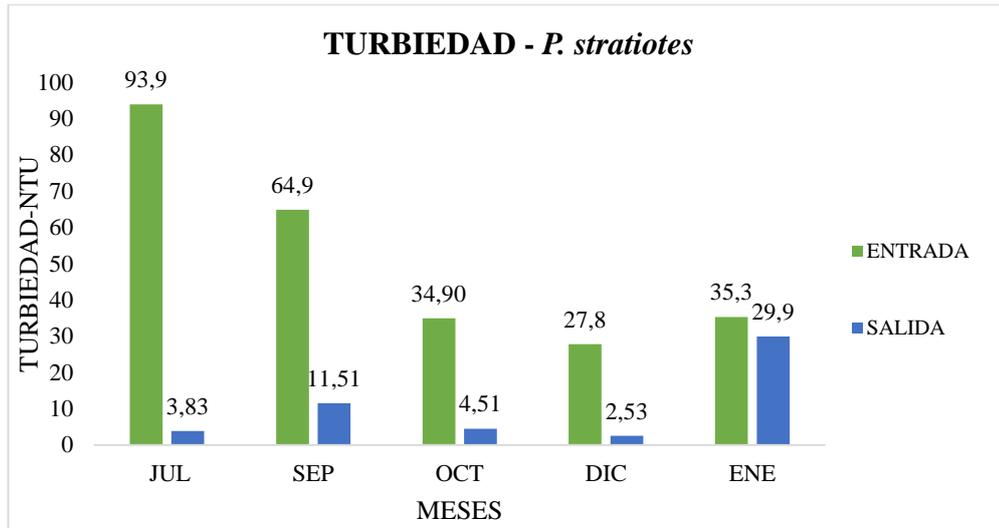


Figura 23. Variación de turbiedad para el humedal con la especie *P. stratiotes*.

La turbiedad para los meses estudiados se encuentra en uniformidad, donde existe una disminución a la salida de los humedales en estudio para *T. latifolia* y *P. stratiotes*. La turbiedad es causada por la materia en suspensión coloidal haciendo que la luz sea remitida y no transmitida como lo menciona Romero y Rojas (1999). El parámetro es un factor importante en la calidad de los efluentes con respecto a las partículas coloides como lo indica Metcalf y Eddy (1985). Según el estudio de Montoya et al. (2011) en su investigación acerca del efecto del incremento en la turbiedad del agua cruda sobre procesos convencionales de potabilización se ha llegado a alcanzar turbiedades de hasta 10.000 NTU. Según Lin et al., (2004), en Taiwán, la turbiedad en este tipo de plantas de tratamiento se mantiene inferior a 10 NTU en condiciones normales, mientras que, en verano a causa de tormentas tropicales, lluvias, etc la turbiedad aumenta hasta 100 NTU.

De acuerdo con el estudio de Meerhoff y Mazzeo (2004) menciona que en sistemas cuya cobertura vegetal es densa usualmente se puede notar una disminución en los niveles de turbidez del agua, la misma que está determinada por la cantidad de biomasa, así como también la de los sólidos en suspensión reduciendo así la penetración de la luz y concentración de nutrientes. Según los datos obtenidos con respecto a la turbiedad se puede mencionar que para cada uno de los tratamientos sea con *T. latifolia* y *P. stratiotes* se ha visto una disminución uniforme en las salidas de los humedales de estudio.

4.2.7. Demanda Química de Oxígeno

El comportamiento de la especie *T. latifolia* con respecto al DQO en el mes de diciembre la disminución fue 680 mg/l, seguido del mes de enero donde disminuyó 573 mg/l, en el mes de octubre se redujo 533 m/l, además en julio la variación fue de 459 mg/l, finalmente en el mes de septiembre la disminución de DQO fue 439 mg/l (Figura 24).

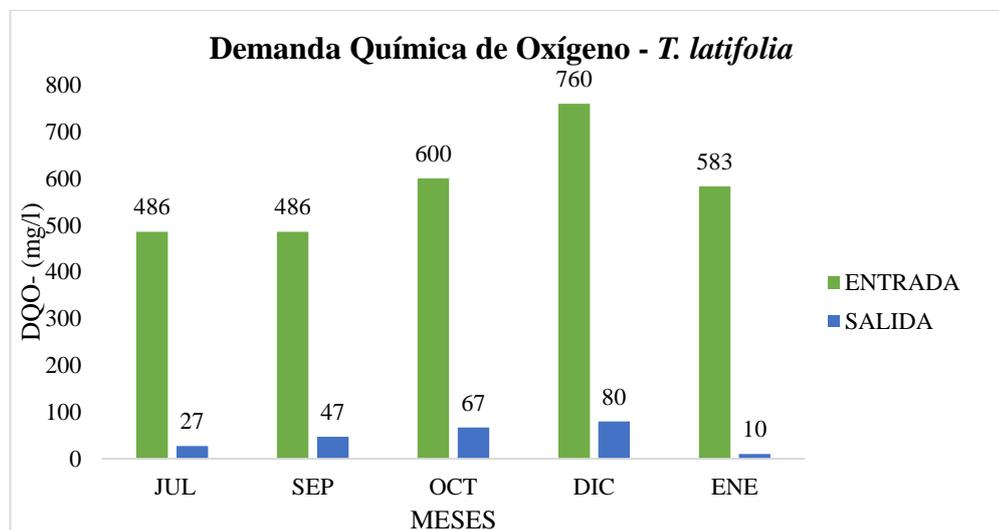


Figura 24. DQO para el humedal con la especie *T. latifolia*.

El comportamiento del DQO para la especie *P. stratiotes* en el mes de diciembre se redujo 690 mg/l, para el mes de enero la reducción fue de 548 mg/l, para el mes de octubre la reducción fue de 462 mg/l, igualmente en el mes de julio el DQO

disminuyó 456 mg/l, finalmente en septiembre la reducción fue de 401 mg/l (Figura 25).

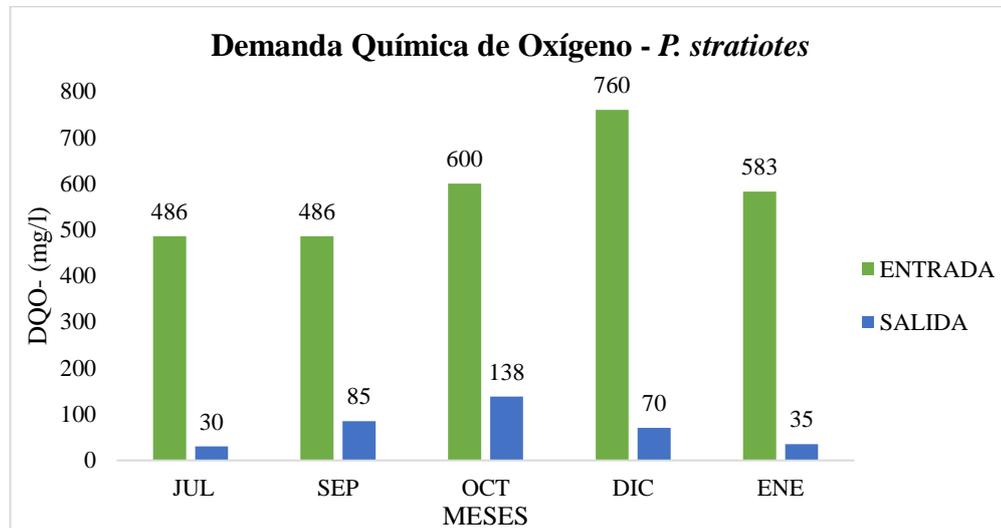


Figura 25. DQO para el humedal con la especie *P. stratiotes*.

De acuerdo con Zambrano e Isaza (1998) en términos de contaminación en sistemas acuáticos la demanda química de oxígeno permite determinar químicamente la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar la materia orgánica que se encuentra presente en el agua residual. Es así como la demanda química de oxígeno para los meses estudiados nos indica que existió una reducción para ambos tratamientos tanto como para *T. latifolia* y *P. stratiotes*. De acuerdo con el estudio de Calheiros et al., (2009) en la evaluación de microcosmos para el tratamiento de aguas residuales con los géneros *Typha* y *Phragmites* el DQO vario a la entrada de 808 a 2449 mg/l presentándose una remoción de 92%. Por otra parte, Mendoza, Pérez, Galindo (2018) en su estudio con las especies *P. stratiotes* y *E crassipes* existió una remoción de 79,1%. El estudio realizado por Bedoya, Ardila y Reyes (2014) en donde se evaluó las especies *T. latifolia* y *C. papyrus* en aguas residuales se notó una mayor reducción del DQO para la especie *T. latifolia* de 53,9% al contrario de la especie *C. papyrus* cuya remoción fue únicamente de 47,9%. Con los datos obtenidos en la investigación se la especie *T. latifolia* tuvo mayor disminución de la demanda química de oxígeno en comparación con *P. stratiotes*.

4.2.8. Nitrito (NO₂)

La remoción de nitritos presentes en el humedal compuesto por la especie *T. latifolia* en el mes de diciembre fueron de 0,177 mg/l, para el mes de octubre la remoción de nitritos fue de 0,095 mg/l además en el mes de enero los valores de nitritos se redujeron a 0,033 mg/l, a diferencia de los meses de julio y septiembre donde los nitritos aumentaron 0,286 mg/l y 0,136 mg/l respectivamente (Figura 26).

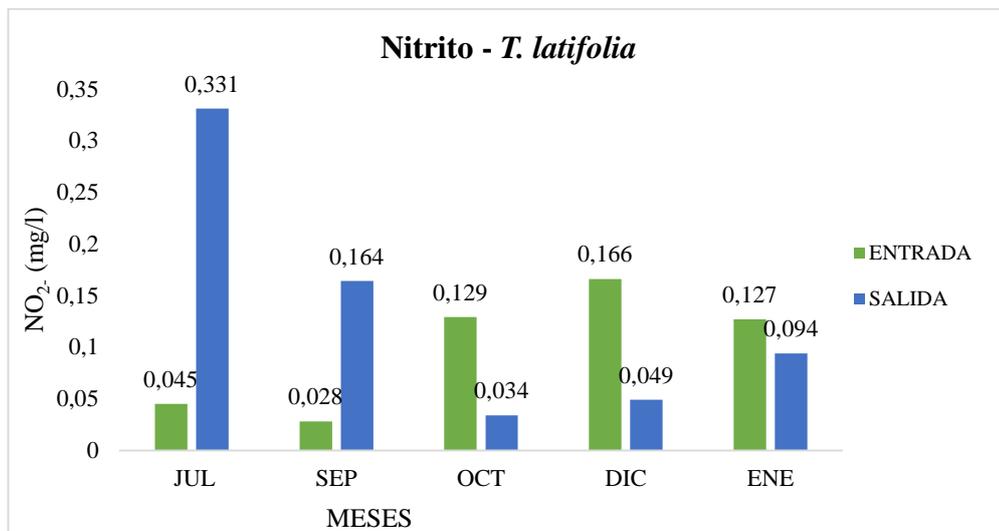


Figura 26. Variación de NO₂ para el humedal con la especie *T. latifolia*.

La disminución de nitritos para la especie *P. stratiotes* fue de 0,161 mg/l en el mes de diciembre, seguido en el mes de enero que la reducción fue de 0,118 mg/l y 0,024 mg/l en el mes de julio, a diferencia de los meses de septiembre y octubre donde los niveles aumentaron 0,31 mg/l y 0,221 mg/l respectivamente (Figura 27).

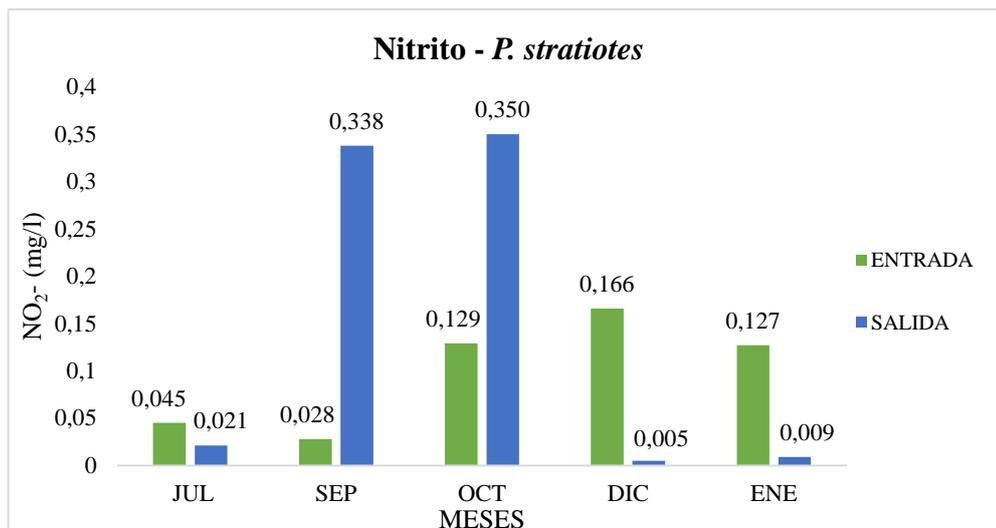


Figura 27. Variación de NO₂ para el humedal con la especie *P. stratiotes*.

En el parámetro nitritos existen variaciones significativas entre cada uno de los tratamientos para cada uno de los meses, Wenwei et al., (2016) realizó un estudio para determinar la eficiencia de la especie *P. stratiotes* donde el porcentaje de remoción de NO₂ fue de alrededor del 60% en el tratamiento de aguas residuales agrícolas. De acuerdo con el estudio de Ramos, Rodríguez y Martínez (2007) donde se evaluó la calidad de agua obtenida posterior al proceso de fitorremediación de las especies *Scirpus americanus*, *Typha latifolia* y *Eichhornia crassipes* se identifica una reducción de alrededor del 82% para la especie *T. latifolia* después de 30 días de adaptación confirmando así la existencia de procesos de nitrificación dentro del humedal. Para los dos tratamientos evaluados en la investigación con *T. latifolia* y *P. stratiotes* los meses de mayor remoción fue en el mes de julio, septiembre y octubre en las dos especies macrófitas en estudio sin embargo comparado con los estudios mencionados anteriormente las especies macrófitas además de nitrificar son excelentes removedores de nitritos en aguas residuales sobre todo de origen agrícola, y en menor cantidad logran remover el nitrito de las aguas residuales domésticas.

4.2.9. Nitrato-(NO₃)

La variación de nitratos con la especie *T. latifolia* en el mes de septiembre la reducción fue de 4,3 mg/l, en el mes de julio la especie disminuyó la concentración en 2,3 mg/l para el mes de octubre la reducción fue de 2,5 mg/l, en el mes de diciembre disminuyó 0,9 mg/l y finalmente para el mes de enero la reducción de concentración de nitritos fue de 0,6 mg/l (Figura 28).

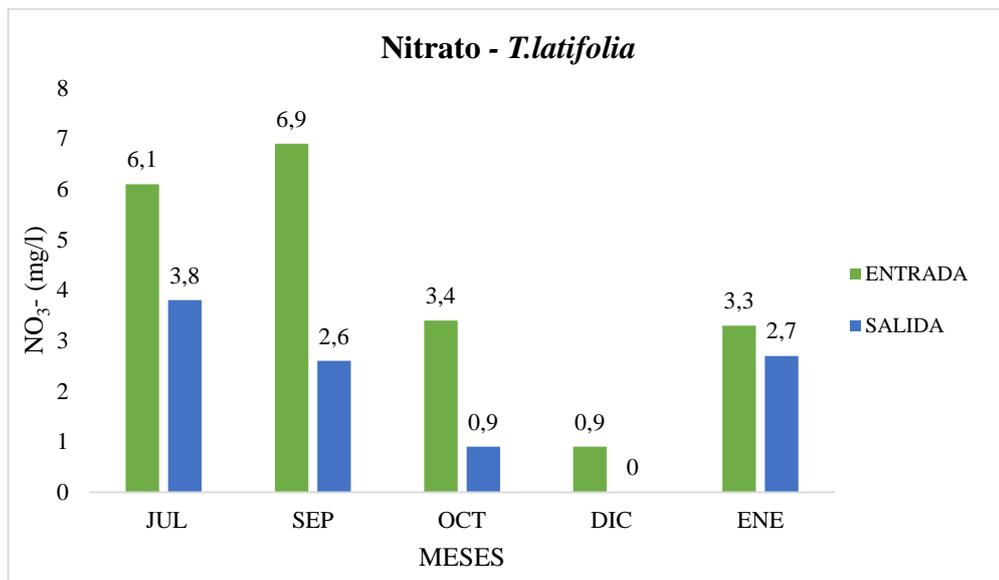


Figura 28. Variación de NO₃ para el humedal de *T. latifolia*.

El comportamiento de la especie *P. stratiotes* con respecto a los nitratos en el mes de septiembre disminuyó 6,2 mg/l, de igual manera en el mes de julio la reducción fue de 5,4 mg/l, en el mes de diciembre se redujo 0,7 mg/l y en el último mes de monitoreo en el mes de enero la disminución fue de 2,1 mg/l, a diferencia del mes de octubre donde los nitritos aumentaron 10,8 mg/l (Figura 29).

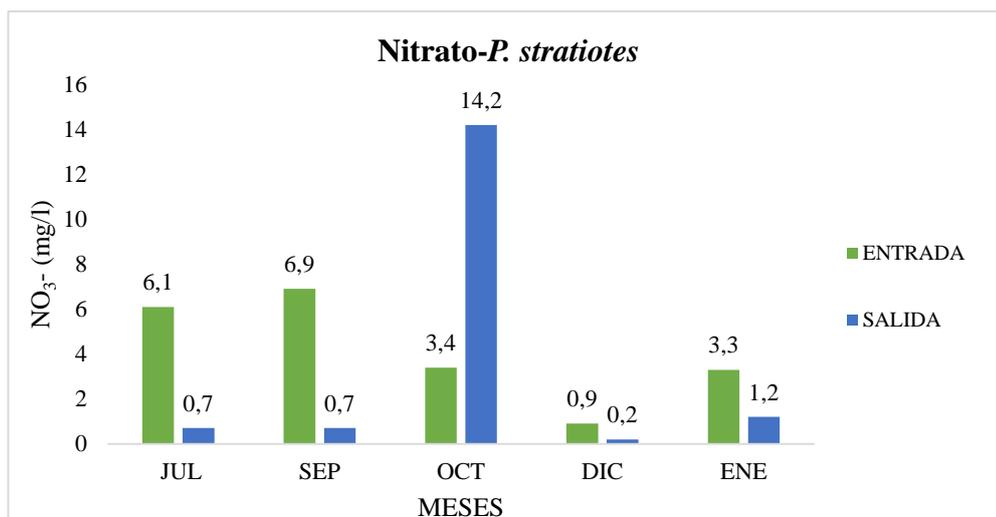


Figura 29. Variación de NO_3^- para la especie *P. stratiotes*.

En el parámetro NO_3^- en el tratamiento con la especie *T. latifolia* se registró una disminución constante en la salida de los 5 meses de estudio al contrario de la especie *P. stratiotes*. El estudio de Wenwei et al., (2016) menciona que durante 10 días de experimento para 4 tipos de tratamientos con la especie *P. stratiotes* el incremento del parámetro fue desde los 57% hasta el 66%. Mendoza, Pérez y Galindo (2018) en su estudio evaluando el agua residual municipal con las especies macrófitas *P. stratiotes* y *E. crassipes* menciona que en los 3 meses de estudio en los meses de mayo, junio y julio del 2015 los nitratos incrementaron su concentración. Según el estudio de Ramos, Rodríguez y Martínez (2007) nos menciona que con la disminución de nitritos y aumento de nitratos en el humedal artificial existen procesos de nitrificación y desnitrificación como es el caso de la especie *P. stratiotes*.

4.2.10. Fosfato- PO_4

El comportamiento de *T. latifolia* con respecto a la remoción de fosfatos en el mes de octubre la remoción fue de 0,4 mg/l, en el mes de diciembre fue de 0,3 mg/l a diferencia de los meses de julio, septiembre y enero donde los fosfatos aumentaron 2,1 mg/l, 4,1 mg/l y 0,4 mg/l respectivamente (Figura 30).

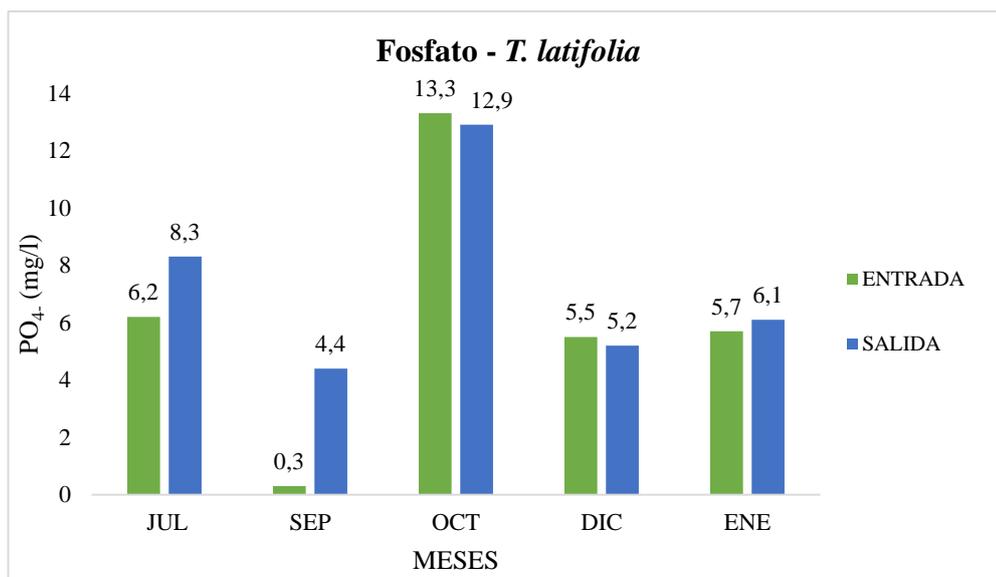


Figura 30. Variación de PO_4 para el humedal con la especie *T. latifolia*.

El comportamiento de la especie *P. stratiotes* en el mes de octubre con respecto a la concentración de fosfatos se redujo 4,3 mg/l igualmente en el mes de diciembre que disminuyó 1,2 mg/l a diferencia de los meses de julio, septiembre y enero donde los fosfatos aumentaron 4,9 mg/l, 5,2 mg/l y 4,8 mg/l respectivamente (Figura 31).

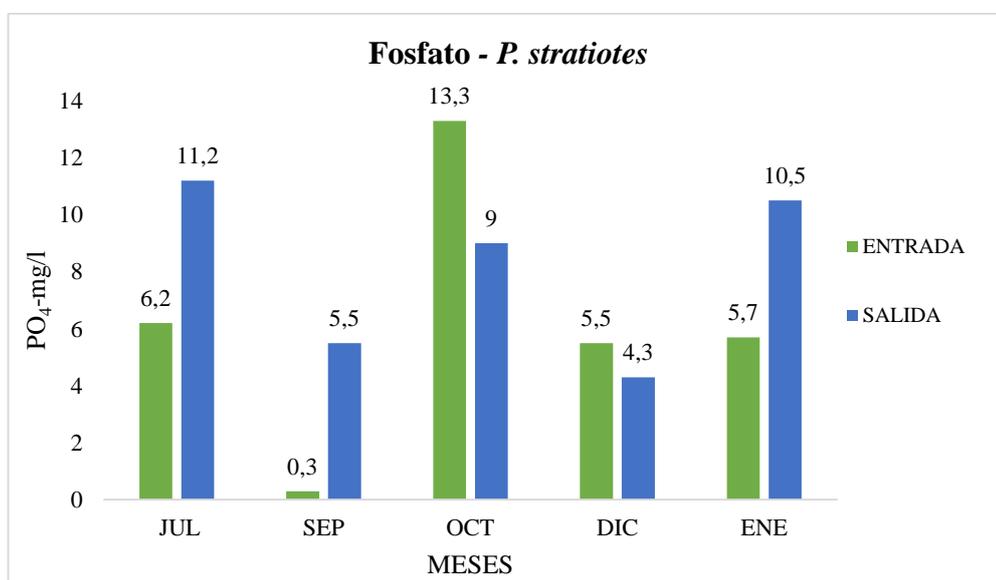


Figura 31. Variación de PO_4 para el humedal con la especie *P. stratiotes*

La remoción de fosfatos para los tratamientos de la investigación se puede notar a partir del tercer mes de estudio. Lu et al., (2010) evaluó la especie *P. stratiotes* para

remoción de fosfatos donde la especie mostro una remoción significativa de dicho parámetro de alrededor de 75% lográndose a partir de 60 días de evaluación eliminando gradualmente el fósforo de las aguas residuales. Igualmente, de acuerdo Wenwei et al., (2016) la remoción de fósforo en el tratamiento de aguas residuales agrícolas fue de 78%. De acuerdo con el estudio de Ramos, Rodríguez y Martínez (2007) donde la especie *T. latifolia* fue evaluada alrededor de 30 días se notó una disminución de la concentración de fósforo en un 77%. En el estudio existe remoción de fosfatos tanto para *T. latifolia* como para *P. stratiotes* en cada uno de sus humedales a partir del tercer mes de evaluación.

Análisis conjunto de los humedales *T. latifolia* y *P. stratiotes*

Dentro de un análisis conjunto de los humedales se encontró que las dos especies lograron adaptarse al sistema, su desarrollo fue progresivo durante toda la investigación manteniendo un ecosistema sano, verde y agradable a la vista en los cuales se pudo apreciar resultados positivos posteriores a los tres meses de evaluación de los macrófitos obteniendo los siguientes resultados (Tabla 10).

Tabla 100. Resumen del análisis de resultados en los humedales artificiales

Parámetros	Tratamiento con <i>T. Latifolia</i>	Tratamiento con <i>P. stratiotes</i>
pH	Similares valores de acidez de 6 a 7	Similares valores de acidez de 6 a 7
Conductividad	No disminuyó	Disminuyó
STD	Disminuye en julio septiembre y diciembre	Disminuye en los meses de octubre y diciembre
Temperatura	Valores similares max 22 y min 15	Valores similares max 22 y min 15
OD	Mayor disponibilidad de oxígeno disuelto en los meses de julio, septiembre enero	Mayor disponibilidad de oxígeno disuelto en julio y septiembre
%OD	Valor max 100% y min 19%	Valor max 46% y min 2%
Turbiedad	Similar reducción de turbiedad	Similar reducción de turbiedad
DQO	Similar reducción de DQO	Similar reducción de DQO
NO ₂	Disminución durante octubre diciembre y enero remueve NO ₂	Disminución durante julio diciembre y enero remueve NO ₂
NO ₃	Remueve durante todos los meses de estudio	Sólo aumento la concentración en octubre
PO ₄	Reduce únicamente en diciembre	Reduce en octubre y diciembre

Temperaturas variables dentro de los dos ecosistemas las que no perturbaron el funcionamiento de los humedales, un valor de pH no significativo debido a que tanto en uno como en otro se mantuvo los valores con una acidez entre 6 a 7 pH confirmando así que las dos especies son capaces de regular tanto la temperatura gracias desarrollo de su biomasa y de regular pH gracias a la capacidad radicular que poseen lo cual permitió que sus exudados radiculares activen los diferentes microorganismos como respuesta al estrés de las aguas residuales (Oliveros et al., 2009).

La conductividad y SDT reflejaron mejores resultados en el humedal de *P. stratiotes* disminuyendo su conductividad a lo largo de los meses, lo que indicó que la salinidad en el agua se redujo y a la vez la interacción existente entre las raíces de las plantas con las diferentes cargas del agua residual ayudó para que el intercambio iónico aumente y de esta manera el parámetro disminuya. Por otro lado, los resultados del OD variaron entre cada humedal puesto que se vio mejor aporte de oxígeno en el humedal de *T. latifolia* alcanzando valores máximos de %OD de 60% y 100% realizando un promedio dentro de los 5 meses equivale a un 18% mientras que en *P. stratiotes* sus valores máximos alcanzaron los 36% y 46% equivalente a 36% dentro de la investigación.

Por otro lado, la turbiedad gráficamente en los dos casos fue representativos, sus valores disminuyeron significativamente, se puede notar que en el tratamiento con *T. Latifolia* el porcentaje de reducción fue de 87%, caso contrario al tratamiento con *P. stratiotes* redujo en un 74% sin embargo al aumentar sus valores este presenta cambios abruptos al último mes de tratamiento. El mismo comportamiento se encontró en el DQO, de igual manera en ambos humedales se redujeron los valores y al ser un determinante de la contaminación del agua y la degradación de materia orgánica con la reducción de los niveles se removió alrededor de 92% en el humedal compuesto por *T. latifolia* y un 88% en *P. stratiotes* en todos los meses de evaluación.

Con respecto a los compuestos nitrogenados como lo es el nitrito (NO_2) y nitrato (NO_3) *T. latifolia* demostró un buen funcionamiento en la remoción durante los últimos meses alcanzando alrededor de 34% de remoción a diferencia de *P. stratiotes* que actuó desde el primer mes alcanzando una remoción del compuesto nitrogenado de alrededor del 49%. En el parámetro nitrato (NO_3) *T. latifolia* funcionó removiendo durante todos los meses de estudio, con respecto a *P. stratiotes* dejó de remover el compuesto nitrogenado solo para el mes de octubre. Por último, para fosfato (PO_4) se encontró que las dos especies presentan problemas en la absorción del fósforo obteniendo un 2% para *T. latifolia* y un 11% para *P. stratiotes* vale recalcar que los meses de octubre y diciembre fue donde mejor resultados se obtuvo.

Análisis estadístico

El análisis estadístico que se realizó fue una comparación de los resultados de entrada vs salida tanto para la especie *T. latifolia* y *P. stratiotes* obteniendo que los datos fueron normales a través de la prueba de Shapiro Wilk además al ser muestras menores a 30 se aplicó una prueba de la U de Mann Whitney obteniendo una significancia en los resultados de DQO en el caso de *P. stratiotes* y turbiedad y DQO en el caso de *T. latifolia* (Anexo 2). Y por último se comparó de la misma manera la salida del efluente de *T. latifolia* y *P. stratiotes* obteniendo resultados no significativos por lo tanto se acepta la hipótesis nula es decir las dos especies demuestran eficiencia en el tratamiento de aguas residuales a la salida del efluente en el tratamiento de aguas residuales.

4.2.11 Aporte del nitrógeno y fósforo removido por el sistema de plantas acuáticas

El nitrógeno y fósforo son uno de los mayores problemas al momento de realizar fitodepuración, la fuente principal de estos está relacionadas con productos de uso diario de la población tales como detergentes, jabones y fertilizantes usados en la agricultura (Zouiten, 2012). Es por esto por lo que se realizó un análisis de la contribución de las especies *T. latifolia* y *P. stratiotes* en la eliminación de estos

elementos. Se obtuvo el peso molecular y así se consiguió el nitrógeno y fósforo de la molécula de nitrito (NO₂), nitrato (NO₃) y fosfato (PO₄) obteniéndose los siguientes resultados (Tabla 11).

Tabla 111. Determinación de la cantidad de nitrógeno y fósforo presente en la molécula de nitrito nitrato y fosfato.

NO2		NO3		PO4	
N	14	N	14	P	31
O	32	O	48	O	64
Total	46	Total	62	Total	95
N	3,29	N	4,429	P	3,06

-Aporte de N y P para el humedal con *T. latifolia*

La tabla 12 muestra los valores remoción de nitrógeno y fósforo en cada molécula tanto a la entrada como a la salida del humedal durante el periodo de monitoreo mensual previo a la multiplicación con los valores del caudal correspondiente a la tabla 4 y a la transformación de unidades para su interpretación.

Tabla 122. Resultados del aporte de nitrógeno y fósforo contribuido por el humedal de *T. latifolia*.

Unidad		E	S	E	S	E	S	E	S	E	S
		Jul	Jul	Sep	Sep	Oct	Oct	Dic	Dic	Ene	Ene
N-NO ₂	qq/mes	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N-NO ₃	qq/mes	0,05	0,03	0,06	0,02	0,03	0,01	0,01	0,00	0,03	0,02
P-PO ₄	qq/mes	0,07	0,10	0,00	0,05	0,16	0,15	0,06	0,06	0,07	0,07

Se aplicó la fórmula de remoción usada por (Huliñir, Aspé y Roeckel, 2008):

$$\text{Remoción \%} = (C_i - C_f) * \frac{100}{C_i}$$

Ci: Concentración inicial

Cf: Concentración final

Después de calcular el porcentaje de remoción el resultado más importante se encontró dentro del nitrato en el mes de diciembre con un resultado del 100% de

remoción de nitrógeno en el sistema, sin embargo, el promedio total de los meses de monitoreo fue del 44%, en cuanto a la concentración de fósforo fue relativamente baja logrando una mínima remoción en los meses de octubre en un 3% y diciembre 6% dando un promedio total de 2% durante la investigación.

-Aporte de N y P para el humedal con *P. stratiotes*

La tabla 13 muestra los valores de remoción de nitrógeno y fósforo en cada molécula tanto a la entrada como a la salida durante el periodo de monitoreo mensual previo a la multiplicación con los valores del caudal correspondiente a la tabla 4 para este humedal y la después de la transformación de unidades para su interpretación.

Tabla 133. Resultados del aporte de nitrógeno y fósforo contribuido por el humedal de *P. stratiotes*.

Unidad		E	S	E	S	E	S	E	S	E	S
		Jul	Jul	Sep	Sep	Oct	Oct	Dic	Dic	Ene	Ene
N-NO ₂	qq/mes	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N-NO ₃	qq/mes	0,05	0,01	0,06	0,01	0,03	0,12	0,01	0,00	0,03	0,01
P-PO ₄	qq/mes	0,08	0,14	0,00	0,07	0,16	0,11	0,07	0,05	0,07	0,13

Se logró calcular el porcentaje de remoción en el cual el hallazgo más importante en cuanto a nitrógeno y fósforo expuestos para los diferentes meses de monitoreo mostraron que el mayor aporte de remoción fue para nitrógeno dentro del nitrato debido a que se logró reducir los valores en la salida expresados en un valor porcentual en un rango de 88% a 63% de remoción a excepción del mes de octubre donde su remoción fue 0 dando como resultado total un promedio de remoción del 64% durante los 5 meses, también se puede apreciar que mientras mayor es el tiempo de exposición de las plantas a las concentraciones de estos nutrientes existe pérdida de remoción de este componente esto por el proceso de senescencia de las plantas lo cual ocasiona que el N retorne al humedal (Roig, 2013). En cuanto al fósforo se pudo notar que el mayor aporte fue para los meses de octubre y diciembre con una remoción de 32% y 21% esto está relacionado a los meses en donde existió

mayor cobertura de biomasa haciendo que haya existido mejor absorción de nutrientes sin embargo el resultado total de remoción en los 5 meses fue en un 11%. Los resultados obtenidos del aporte de los humedales *T. latifolia* y *P. stratiotes* mostraron que la especie *P. stratiotes* disminuyó mejor el porcentaje de nitrógeno y fósforo a comparación de *T latifolia*.

4.3. Diseño de estrategias de manejo de las especies *Typha latifolia* y *Pistia stratiotes* para su aprovechamiento después de culminado el proceso de fitorremediación.

En el cumplimiento del último objetivo de investigación se elaboró un manual de estrategias de manejo para las especies macrófitas *T. latifolia* y *P. stratiotes* (Anexo 4), con el fin de buscar estrategias en el aprovechamiento de estas especies posterior al uso en el proceso de fitorremediación dentro de las plantas de aguas residuales. El documento fue elaborado con ayuda de un análisis multidisciplinario.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- La especie *T. latifolia* y *P. stratiotes* lograron una adecuada adaptación a las cargas orgánicas provenientes de las aguas residuales en la planta de tratamiento de González Suárez puesto que mantuvieron un buen crecimiento foliar y presentaron el desarrollo de nuevos retoños, alcanzando un crecimiento máximo de 1,90 cm para *T. latifolia* y 0,22 cm para *P. stratiotes* siendo el mes de octubre el mes en que aumentó su reproducción, no se observaron plagas que afecten el rendimiento de los humedales.
- El humedal artificial estudiado con la especie *T. latifolia* mostró una alta eficiencia de remoción en algunos contaminantes presentes en las aguas residuales de la planta de tratamiento de González Suárez. El promedio de eficiencia de remoción para los 5 meses de estudio para turbiedad de 87%; DQO de 92% y NO₃ de 58%, además existió un considerable incremento de OD de 18%, mientras que los valores de pH se mantuvieron de 6 a 7, conductividad medianamente alta y SDT en un promedio de 241mg/l.
- En cuanto al humedal con *P. stratiotes* mostró mejores resultados en la remoción de contaminantes en el efluente. El promedio de eficiencia de remoción para los 5 meses de estudio para turbiedad fue de 74%, DQO 88%, NO₃ de 64%, además existió un considerable aumento de OD en 36%, los parámetros de pH se mantuvieron en el rango de 6 a 7, conductividad medianamente alta y SDT en un promedio de 240 mg/l y una baja reducción de fósforo.
- En cuanto a las diferencias encontradas entre *T. latifolia* y *P. stratiotes* la primera muestra mejores resultados, *T. latifolia* aporta mayor cantidad de oxígeno al sistema removiendo un 92% de DQO, mientras que el humedal con *P. stratiotes* es idónea al momento de remover compuestos nitrogenados logrando hasta un 64% de remoción, las condiciones que presentan las macrófitas y las diferencias morfológicas exponen las capacidades que poseen las dos plantas para tratar diferentes contaminantes en las aguas residuales y

ambas especies demostraron su tolerancia al pH ácido sin presentar deterioro visible en su salud y una baja remoción de fósforo.

- Aplicando la prueba estadística de U de Mann Whitney para grupos independientes para una muestra $n < 50$ y con una significancia de $p=0,05$ se encontró que los valores significativos a la salida del sistema en el humedal de *T. latifolia* fueron relevantes para los parámetros DQO y turbiedad, mientras que en el tratamiento con *P. stratiotes* fue significativo el DQO.
- En base a la prueba estadística aplicada en el estudio y comparando los dos tratamientos a la salida de los humedales artificiales se obtuvo una eficiencia tanto para *T. latifolia* como para *P. stratiotes* aceptando la hipótesis nula la cual indica que los dos macrófitos muestran eficiencia en el tratamiento de aguas residuales.
- El aporte más importante en el sistema de tratamiento por parte de plantas acuáticas fue la reducción de nitrógeno y fósforo dentro de nitratos y fosfatos. Para el humedal de *T. latifolia* se calculó que remueve un 44% de nitrógeno presente en nitratos y 2% de fósforo, mientras que para *P. stratiotes* se logró una remoción de 62% de nitrógeno y 32% de fósforo.
- El manual de estrategias para las especies macrófitas *T. latifolia* y *P. stratiotes* se encaminó en la importancia, manejo, aprovechamiento que pueden tener estas macrófitas enfocadas principalmente en el reúso después de cumplir su rol como fitorremediadoras a fin de crear un beneficio ambiental, económico y social para las empresas, organizaciones y comunidades interesadas.

5.2 Recomendaciones

- Fomentar el uso de la especie *T. latifolia* y *P. stratiotes* para generación de compostaje, además existiendo otras alternativas para su uso tales como artesanías, fuente de producción de biogás, carbón y papel.
- Proponer otras especies macrófitas comprobada su acción depuradora para utilizarlas combinadas en otros sistemas de tratamiento de aguas.

- Proponer las especies *T. latifolia* y *P. stratiotes* para su utilización en plantas de tratamiento de aguas residuales cuyo efluente directo este asociado a un cuerpo lacustre.
- Proponer un programa de educación el cual dé a conocer las especies macrófitas en su medio natural y su importancia dentro de los ecosistemas con el fin de promover la conservación de estas especies.

REFERENCIAS

- Acosta, A. y Agüero, R. (2006). Maleza acuática como componentes del ecosistema. *Revista Agronomía Mesoamericana*, 17 (2), 213-218.
- Acuerdo ministerial 097- A (2015). Edición especial Ministerio del Ambiente *Registro Oficial N° 387* del 4 de enero del 2015. Quito.
- Agudelo, L., Macías, K. y Suárez, A. (2005). Fitorremediación: la alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos. *Revista lasallista de investigación*, 2 (1), 57-60.
- Alarcón, M., Zurita, F., Lara, J. y Vidal, G. (2018). *Humedales de tratamiento: alternativas de saneamiento de aguas residuales aplicables en América Latina*. Bogotá, Colombia: Multigraph.
- Álvarez, C., Castro, A. y Alfaro, M. (2008). Accumulation and Distribution of Heavy Metals in *Scirpus americanus* and *Typha latifolia* from an Artificial Lagoon in San Luis Potosí, México. *Water, Air and Soil Pollution*, 188 (1), 297-309.
- Alvinge, S. (2010) *Evaluation of emergent macrophytes as a source for biogas production after mechanical alkaline and fungal pretreatments*. (Tesis de Maestría). Linkopings Universitet, Sweden.
- Amaya, W., Cañon, A. y Avilés, O. (2014). Control de pH para plantas de tratamiento de aguas residuales. *Ciencia e ingeniería neogranadina*, 14 (1), 86-95.
- Aponte, H. y Ramírez, D. (2011). Humedales de la costa central de Perú: estructura y amenazas de sus comunidades vegetales. *Ecología Aplicada*, 10 (1), 1726-2216.
- Arias, C. y Brix, H. (2003). Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 13 (1), 17-24.
- Banco del Estado. (2016). *Macro programa del saneamiento ambiental nacional prosaneamiento*. Quito; Ecuador.
- Barba, L. (2012). *Conceptos básicos de la contaminación del agua y parámetros de medición*. (Tesis de pregrado), Universidad del Valle, Santiago de Cali, Cali.

- Barrantes, S. y Pittman, R. (2018). *Efectos de la microalga Botryococcus sp. En la remoción de nitratos y fosfatos en las aguas residuales en la empresa municipal de agua potable y alcantarillado de Coronel Portilla Ucayali, Marzo 2018.* (Tesis de pregrado) Universidad Nacional de Ucayali. Pucallpa- Perú.
- Barreto, Y. y Paredes, J. (2015). Determinación del potencial de absorción de cobre en solución acuosa de las especies *P. stratiotes* y *Echhomia crassipes*. *Investigación y Amazonía*, 5 (1), 9 – 14.
- Bedoya, J., Ardila, A. y Reyes, J. (2014). Evaluation of an artificial subsurface flow wetland for the treatment of wastewater generated in the Institution Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Colombia. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 30 (3), 25-75.
- Bhagowati, B. y Talukdar, B. (2019). *Lake Eutrophication: Causes, Concerns and Remedial Measures*. South East Asian. STICEE.
- BID y CEPAL. (2018). *Proceso Regional de las Américas Foro Mundial del Agua. América Latina y el Caribe. Informe Regional América Latina*. México: BID.
- Binu, S., Mohan, M., Vijaya, K., Jumginu, M., Kavithamani, N. y Hema, S. (2015). Phytoremediation of industrial effluent and reduction of physicochemical parameters from pond water using aquatic weeds. *Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 9 (11), 54-55.
- Calheiros, C., Rangel, A. y Castro, P. (2009). Treatment of industrial wastewater with two-stage constructed wetlands planted with *Typha latifolia* and *Phragmites australis*. *Bioresource technology*, 100 (13), 3205-3213.
- Calle, Z. y Piedrahita, L. (2007). Cómo diseñar estrategias para el manejo de plants, de interés para la conservación de los paisajes ganaderos. *Agroforestería en las Américas*, 1 (45), 117-122.
- Campos, R., Del Razo, O., Almaraz, I., Ramírez, E., Soriano, R., Salinas, J., Árias, L. y González, S. (2018). Bioconversion of vegetables wastes to biogás from rumenmicroorganisms. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 34 (1), 215-246.

- Carranza, C., Alonso, A., Alfaro, M. y García, R. (2008). Accumulation and distribution of heavy metals in scirpus americanus and *Typha latifolia* from an artificial lagoon in San Luis Potosí, México. *Water, Air, and Soil Pollution*, 188 (4), 297-308.
- Castañeda, A. y Flores, H. (2013). Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante plantas macrófitas típicas en Los Altos de Jalisco, México. *Revista Tecnología y Sociedad*, 5 (1), 3-14.
- Celis, J., Jundo, J. y Sandoval, M. (2005). Recent applications of wastewater by means of aquatic plants. *Teoría*, 14 (1), 2005.
- Chávez, J. Leiva, D. y Corroto, F. (2016). Caracterización fisicoquímica y microbiológica de las aguas residuales en la ciudad, Chachapoyas, Región Amazonas. *Revista Ciencia Amazónica*, 6 (1), 16-27.
- Ching, R. y Leal, J. (2018) Conservación de la *Typha domingensis* (Typhaceae) ensilajes y henificación. UNED. *Research Journal*, 10 (1), 119-126.
- Cirujano, S. y Mediano, L. (2002). Plantas acuáticas de las lagunas y humedales de Castilla La Mancha. Madrid, España: CSIC.
- Cisterna, P. y Pérez L. (2019). Propuesta de humedales artificiales, impulsores de biodiversidad, que depuran aguas contaminadas para la recuperación de la laguna urbana de concepción. *Revista hábitat sustentable*, 9 (1), 20-31.
- Código Orgánico del Ambiente. (2017). *Registro Oficial Suplemento 938*. (12 de abril del 2017).
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). *Registro Oficial de 449*. (20 de octubre del 2008).
- Córdoba S., Guzmán J., Pérez B., Zuñiga P. y Pacheco R. (2010). *Propagación de especies nativas de la región andina. Subdirección científica: Jardín Botánico José Celestino Mutis*. Bogotá, D. C.
- Costa, J., De Souza, P., Texeira, A., Nabout, J. y Carneiro, F. (2018). Eutrophication in aquatic ecosystems: a scintometric study. *Acta de Limnologica Brasilensis*, 30 (1), 2-10.
- Crombet, S. Pérez, N. Ábalos, A. y Rodríguez, S. (2013). Caracterización de aguas residuales de la comunidad Antonio Maceo. *Revista Cubana de Química*, 25 (2), 134-142.

- Cronk, J. y Fennessy, M. (2001). *Wetland Plants Biology and Ecology*. CRC Press LLC Lewis Publishers. Nueva York.
- Cubillos, J., Pulgarín, P., Gutiérrez, J. y Paredes, D. (2013). Fitorremediación en aguas y suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo. *Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, 16 (1), 131-146.
- Cueva, P. (2016). Evaluación del Potencial Fitorremediador de dos especies *Pistia stratiotes* y *Limnobium laevigatum* para el tratamiento de lixiviados producidos en el relleno sanitario del cantón Centinela del Cóndor provincia de Zamora Chinchipe. (Tesis pregrado). Universidad Nacional de Loja. Zamora- Ecuador.
- Damiani, M. (2016). *Evaluación fisicoquímica de compost, elaborado a partir de Pistia stratiotes más estiércol de bovino bajo cuatro métodos de compostaje*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Babahoyo, Los ríos Ecuador.
- Datta, A., Wani, S., Patil, M. y Tilak, A (2016). Field scale evaluation of seasonal Wastewater treatment efficiencies of free surface constructed wetlands in ICRISAT, India. *Current Science*, 110 (9) 1756- 1763.
- De Anda, J. (2017). Saneamiento Descentralizado y reutilización sustentable de las aguas residuales municipales en México. *Sociedad y Ambiente*, 14 (1), 119-43.
- De Carvalho, M., Texeira, C., Oliveira, R. y Giulietti. (2014). Flora de Bahía: Typhaceae. *Sitientibus serie Ciencias Biológicas*, 14 (1), 1 – 4.
- De la Vega, M. (2012). Eficiencia en tratamiento de aguas residuales: contribución a la gestión y desarrollo social. México: SEDESOL.
- Delgadillo, A., González, C., Prieto, F., Villagómez, J. y Acevedo, O. (2011). Fitorremediación: Una alternativa para la eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosistemas*, 4 (2), 597- 612.
- Díaz, E. Alvarado, A. y Camacho, K. (2012). El tratamiento de aguas residuales domésticas para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUSTRANE) en San Miguel Almaya, México. *Quivera Revista de estudios territoriales*, 14 (1), 78-97.

- Domínguez, M., Gómez, S. y Alba, A. (2016). Fitorremediación de mercurio presente en aguas residuales provenientes de la industria minera. *UGCiencia*, 22 (1), 227-237.
- Eid, E., Shaltout, K. y Asaeda, T. (2012). Modeling growth dynamics of *Typha Domingensis* (Per) Poir. Ex Steud. In lake Burullus, Egipt. *Ecological Modelling*, 243 (1), 63-72.
- Escoto, D., Gayer, M., Bianchini, M., Pereira, G., Roehrs, R. y Denardin, L. (2019). Use of *Pistia stratiotes* for phytoremediation of water resources contaminated by clomazone. *Chemosphere*, 227 (2), 299-304.
- Espino, M. (2003). *Estudio de nitrificación y desnitrificación de un efluente secundario de tratamiento de aguas mediante un sistema de reactores biológicos en serie*. (Tesis Doctoral). Centro de Investigación en Materiales avanzados Ciencia y tecnología ambiental. Chihuahua.
- Fernández, A. (2012). El agua unos recursos esenciales. *Revista Química viva*, 11 (3), 147-170.
- Fernández, J. (1998). Humedales artificiales para la depuración. En Fernández, J, De Miguel, E. y Curt, M. *Manual de fitodepuración, Filtros de macrófitas en flotación*. (pp. 91-105). Madrid: Edita.
- Ferrer, J., Seco, A. y Robles, A. (2018). *Tratamientos Biológicos de aguas residuales*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- FLACSO, MAE y PNUMA. (2008). Geo Ecuador 2008 Informe sobre el estado del medio ambiente. Quito, Ecuador.
- Forcada, N. (2010). Estudio de implantación de piscinas ecológicas en las piscinas municipales de Cataluña. (Tesis de doctorado). Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona.
- Galván, L. y Reyes, R. (2009). Algunas herramientas para la prevención y control de la contaminación ambiental. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, 13 (53), 287-294.
- García, J. y Corzo, A. (2008). *Depuración con humedales construidos: Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales de flujo subsuperficial*. Cataluña, España: Paraninfo.
- García, M. Fernández, R. y Cirujano, S. (2010). *Macrófitos. Andalucía: Monto*.

- Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de González Suárez. (2015). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia González Suárez 2015-2019.
- Gold, K., León, P. y Way, M. (2004). *Manual de recolección de semillas de plantas silvestres para conservación a largo plazo y restauración ecológica. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigaciones Intihuasi*. La Serena, Chile.
- Gómez, O. (2018). Contaminación del agua en países bajos y medianos recursos, un problema de salud pública. *Rev. Fac. Medi*, 66 (1), 7-12.
- González, E. (2011). Concepto y estrategia de biorremediación. *Inge@UAN*, 1 (1), 20 - 29.
- Grisolía, S. y Ortega, L. (2014). La hidrósfera: contaminación. *IES-CTMA*, 5, 2-13.
- Guzmán., V. y Narváez, R. (2010). *Línea base para el monitoreo de la calidad de agua de riego y demarcación hidrográfica de Guayas*. Quito, Ecuador: Secretaría Nacional del Agua.
- Henry, J. (1999). Contaminación del agua. Henry, J y Heinke, G. (Eds.), *Ingeniería Ambiental* (pp. 421). México: PRENTICE HALL
- Hernández, F., Margini., Noyola, L. y Bulle, C. (2017) Assessing waster treatment in Latin America and Caribbean: Enhancing life cycle assessment interpretation by regionalization and impact assessment sensibility. *Journal of Clean Produccion*, 142 (1), 21140-2153.
- Hill, M. (2003). The impact and control of alien aquatic vegetation in South African ecosystems. *African Journal of Acuatic Science*, 28, 19-24.
- Huddleston, G., Gillespie, W. y Rodgers, J. (2000). Using Constructed Wetlands to Treat Biochemical Oxygen Demand and Ammonia Associated with a Refinery Effluent. *Ecotoxicology and Environmental Safety. Ecotoxicology and environmental safely*, 45 (2), 188 - 193.
- Huliñir, C. Aspé, E. y Roeckel. Remoción de carbono de vertido de la industria salmonera usando reactores tubulares. *Información Tecnológica*, 19 (6), 33-46.
- Hussain, R. (2007). *Phytoremediation Methods and Reviews*. New Jersey, United States of America: Humana Press.

- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2010). Censo Poblacional del 2010 Parroquia González Suárez.
- Isch, E. (2011). La contaminación del agua como proceso acumulador. Boelens, Rutgerd, Leontien, Cremers y Margreet (Eds.), *Justicia Hídrica, acumulación conflicto y acción social* (pp. 97). Lima: Instituto de estudios Peruanos.
- Kumar, S. y Dutta, V. (2019). Constructed wetland microcosms as sustainable technology for domestic wastewater treatment: an overview. *Environmental Science and Pollution*, 26, 11662-11673.
- Lacuesta, C. y Cristobal, M. (2013). Eficiencia de tres Macrófitos en la remediación de las aguas del arroyo Miguelete. (Tesis de pregrado). Universidad de Montevideo. Uruguay.
- Lallana, M., Billard, C., Elizalde, J. y Lallana, V. (2008). Bioensayos de germinación de *Lauca Sativa* y *Pistia stratiotes*, determinación de calidad de agua en represas para riego. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 40 (1) 29-38.
- Lara, J. (1999) Depuración de Aguas Residuales Municipales con Humedales Artificiales. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
- León, J. (2017). *Una mirada a la Fitorremediación en Latinoamérica*. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Zipaquirá, Colombia.
- Leto, C., Tuttolomondo, T. y La Bella. (2013). Effects of plant species in horizontal subsurface flow constructed wetland phytoremediation of treated urban wastewater with *Cyperus alternifolius* L. and *Typha latifolia* in the West of Sicily (Italy). *Ecological Engineering*, 61, 282-291.
- Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del agua. (2014). *Registro Oficial Suplemento 305*. (06 de agosto del 2014).
- Ley Orgánica de Salud. (2012). Promulgada por la asamblea Nacional en el *Registro Oficial N° 423* del 24 de enero del 2012. Quito: Asamblea Nacional.

- Lizarazo, L. y Orjuela, I. (2013). *Sistemas de plantas de tratamiento de aguas residuales en Colombia* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Londoño, L. y Marín, C. (2009). *Evaluación de la eficiencia de remoción de materia orgánica en humedales artificiales de flujo horizontal subsuperficial alimentados con aguas residuales sintéticas* (Tesis de pregrado). Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia.
- López, A., Cabrera, M. y Carrillo, Y. (2017). Organic contaminants removal in domestic wastewater using a prototype laboratory scale. *Revista de ciencia y vida*, 26 (2), 72-83.
- Lozano, W. (2012). *Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales*. Bogotá Colombia.
- Macchiavelli, R. (2013). *Saneamiento Ambiental y Salud en una Población Urbano-Marginal de Córdoba, Argentina. Riesgo de Enfermedades Pediátricas*. (Tesis de grado), Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.
- Malca, M. y Lloclla, H. (2016) Microorganismos depuradores asociados con eneas *Typha latifolia* en depuración de aguas residuales. *UCV HACER Revista de Investigación y Cultura*, 5 (1), 2305-8552.
- Mannarino, C., Ferreira, J., Campos, J. y Ritter, E. (2006). Wetlands para tratamiento de lixiviados de aterros sanitarios experiencias no aerro sanitário de Pirai e no aterro metropolitano de Gramacho (RJ). *Eng and Amb*, 11 (2), 108-112.
- Martelo, J. y Lara, J. (2012). Macrófitos Flotantes en el tratamiento de aguas residuales: revisión del estado de arte. *Ingeniería y ciencia*, 8 (15), 221-243.
- Martínez, A. (2003). Métodos de análisis físico químico y espectrofotómetro para el análisis de aguas residuales. *Tecnología en marcha*, 19 (2), 31 – 40.
- Martínez, M., Díaz, A. y Vargas, O. (2012). Protocolo de propagación y manejo de vivero para la rehabilitación ecológica de los parques ecológicos distritales de humedal. Bogotá D.C: Colombia.

- Meerhoff, M. y Mazzeo, N. (2004) Importancia de las plantas flotantes libres de gran porte en la conservación y rehabilitación de lagos someros de Sudamérica. *Ecosistemas*, 13 (2), 13–22.
- Mendoza, Y., Pérez, J. y Galindo, A. (2018). Evaluación de aporte de las plantas acuáticas *Pistia stratiotes* y *Echhornia crassipes* en el tratamiento de aguas residuales municipales. *Información tecnológica*, 29 (2), 205-214.
- Mereles, F., Fátima, K., De Egeam, J., Céspedes, G., Peña, M. y Arrúa, R. (2015). *Plantas acuáticas y palustres del Paraguay: Bryophyta, Pteridophyta y Angiospermae Monocotiledoneae*. San Lorenzo, Paraguay: ROJASIANA.
- Metcalf y Eddy. (1985). Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. *Ingeniería sanitaria*. Barcelona: Labor, S.A.
- Montenegro, K., Rojas, A., Cabeza, I. y Hernández, M. (2016). Biogas Potential of agro-industrial residues generated in the department of Cundinamarca. *Revista Ion*, 29 (2), 23-37.
- Moscoso, A. (2006). *Manual de operación y mantenimiento San Pablo*. Otavalo Ecuador.
- Moscoso, A., (2015). *Estudios de los sistemas de alcantarillado Sanitario y tratamiento de las aguas servidas de las poblaciones del Lago San Pablo. Memoria técnica, Fase II*. Otavalo.
- Mudassar, F., Muhammad, I., Muhammas, F., Zeshan, A., Engrinya, E., Naureen, A., Ashiq, M. y Barkat, A. (2014). Effect of Cyclic Phytoremediation with Different Wetland Plants on Municipal Weastewater. *International Journal of Phytoremediation*, 16 (6), 27-59.
- Muñoz, A. (2008). *Caracterización y tratamiento de aguas residuales*. (Tesis Pregrado). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México.
- Muñoz, H., Orozco, S., Vera, A., Suárez, J., Gacía, E., Neira, M. y Jiménez, J. (2015). Relationship between Dissolved oxygen, rainfall and temperature: Zahuapan river, Tlaxcala, México. *Tecnología y ciencias del agua*, 6 (5), 59-74.
- Neuenshwander, P., Julien, M., Center, T. y Hill, M. (2009). *Pistia stratiotes L. (Araceae)*. Cotonú Benin: Cambridge University Press.

- Noyola, A., Morgan, J. y Güereca, L. (2013). *Selección de Tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales*. México: UNAM.
- Núñez, R., Vong, Y., Ortega, R. y Olguín, E. (2004). Fitorremediación: Fundamentos y Aplicaciones. *Ciencia*, 1 (2), 1-15.
- Olguín, E., Hernández, E. y Sánchez, G. (2007). Contaminación de manglares por hidrocarburos y estrategias de fitorremediación y restauración. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 23 (3), 139 - 154.
- Ontiveros, R. Diakite, L. y Álvarez M. (2013). Evaluación de aguas residuales en la ciudad de México utilizadas para riego. *Tecnología y Ciencias del agua*, 4 (4), 127-140.
- Ordenanza de Creación de la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Otavalo "EMAPAO-EP". (2015). *Resolución de Concejo N° 155*. (29 de junio del 2015).
- Organización de Naciones Unidas, (2015). *Informe Técnico del PAC 89; Plataformas para la gestión de aguas residuales en la región del gran caribe: Análisis de la situación*. Recuperado de http://cep.unep.org/publications-and-resources/technical-reports/cep_tr_85-es.pdf/@download/file/CEP_TR89-es.pdf
- Ortiz, I., Sanz, J., Dorada, M. y Villar, S. (2007). *Técnicas de recuperación de suelos contaminados*. Madrid, España: Elecé Industria Gráfica.
- Ouyang, W., Murygina, V. Yu, Y. y Ziu, Z (2005). Comparison of bioaugmentation and compositing of oil sludge a field scale in China. *Biochem*, 40, 8- 3761.
- Oyedeji, A. y Abowei J. (2012). The classification, distribution, control and economic importance of aquatic plants. *International Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1 (2), 118-128.
- Pantawong, R., Chuanchai, A., Thiphunra, P., Unpaprom, y Ramajaj, R. (2015) Experimental Investigation on biogás production from water lettuce, *Pistia stratiotes L. Emer life Sci Res*, 1 (2), 41-46.
- Peña, J. (2016). Saneamiento ambiental y Participación ciudadana. *Revista Scientific*. 1(1), 53-71.

- Peralta, M. y Volke, T. (2012). La defensa de antioxidantes en las plantas: Una herramienta clave para la fitorremediación. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 11 (1), 75-88.
- Pereira, P. y Baudot, B. (2010). *Proceso extensivo de depuración de las aguas residuales adaptadas a las pequeñas y medias colectividades*. Francia: Oficina Internacional del agua.
- Pérez, A. y Ribas, J. (2017). *Biorremediación de lagos tropicales eutrofizados: estudio del Lago San Pablo* (Tesis de Maestría). Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona.
- Pérez, J. y Espigarez, M. (1995). *Aspectos sanitarios del estudio del agua*. Granada.
- Pérez, L. (2016) Quality control of water for human consumption in the región of west in Coata Rica. *Tecnología en marcha*, 29 (3), 3 – 14.
- Pérez, M., Domínguez, E., Martínez, P., López, M., Gonzáles, Y. y Monteagudo, M. (2015). Eficiencia de sustratos de filtros de suelo plantados en la depuración de aguas residuales domésticas. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 40 (3), 181-185.
- Pochat, V., Donoso, M. y Saldarriaga, J. (2018). *Proceso regional de las Américas Foro mundial del agua 2018*. Ecuador: BID
- Prinyanka, S., Omkar, S. y Supriya, S. (2016). Phytoremediation of industrial mines wastewater using water hyacinth. *Phytoremediation*, 19 (1), 87-96.
- Proveda, R. y Velasteguí R. (2014). *Evaluación de especies acuáticas flotantes para la fitorremediación de aguas residuales industrial y uso agrícola previamente caracterizadas en el cantón Ambato, provincia de Imbabura*. (Tesis pregrado). Universidad Técnica de Ambato. Ambato- Ecuador.
- Raggio, M. y Moro, N. (2006). Diagnostic y predicción water quality in the basin of the Amajac river, Hidalgo, México: diagnosis and predicción. *Revista Internacional de Botánica Experimental*, 75, 71-83.
- Ramírez, V. (2014). *Química General*. México: Patria.
- Ramos, M., Rodríguez, L. y Martínez, P. (2007) Uso de macrofitas acuáticas en el tratamiento de aguas para el cultivo de maíz y sorgo. *Hidrobiológica*, 17 (Supl. 1), 7-15.

- Recalde, E. (2019). *Evaluación de Concentración de Plomo y Cromo en poblaciones de Typha latifolia en la Laguna de Yahuarcocha* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Reis, W., Almedia, A., Conceição, E. y Batista, J. (2019). Constructed wetlands as post treatment of a decanter digester followed by an anaerobic filter. *Ambiente y Agua-An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 14 (4), 1-12. doi:10.4136/1980-993X
- Rodríguez, J. y Durán, C. (2006) Remoción de nitrógeno en un sistema de tratamiento de aguas residuales usando humedales artificiales de flujo vertical a escala banco. *Revista Tecnología y ciencia*. 21, 25-33.
- Rojas, J. y Novelo, A. (1995). Flor y vegetación acuática del Lago de Cuitzeo, Michoacán, México. *Acta Botánica Mexicana*. 31, 1-17.
- Rojas, R. (2002). Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. *Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente*, 1 (3), 564-632.
- Romero, J. y Rojas, A. (1999). Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización. México: Alfaomega.
- Romero, M., Colin, A., Sánchez, E. y Ortiz, L. (2009). Wastewater treatment by an artificial wetlands pilot system: evaluation of the organic charge removal. *Contamination Ambiental*, 25 (3), 157-167.
- Romero, R. (2008). *Flora del centro de Bolívar*. Texas: Universidad de Texas.
- Rosero, T. (2017). *Biorremediación de Lagos tropicales Eutrofizados: Estudios del Lago San Pablo* (Tesis pregrado). Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona.
- Saavedra, B. (2017). *Aplicación de Macrófitas en flotación como ayuda en el tratamiento de aguas residuales en la laguna de UDEP*. (Tesis de Doctorado). Universidad de Piura. Piura.
- Sánchez, R. (2011). *Evaluación del humedal artificial de la hostería Cuicocha, utilizando para el tratamiento de aguas residuales domésticas* (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Sánchez, R. (2015). t-Student. Usos y abusos. *Revista Mexicana de Cardiología*, 26 (1), 59-61.

- Secretaría de Alianza por el agua Ecología y Desarrollo, (2008). *Manual de depuración de aguas residuales urbanas*. Barcelona, España: Indesamares.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2010). *Manual de agua potable alcantarillado y saneamiento, introducción al tratamiento de aguas residuales municipales*. Tlapán, México D.F: Copilco.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017- 2021: Toda una Vida*. Quito, Ecuador.
- Severiche, C., Castillo, M y Acevedo R. (2013). *Manual de Métodos Analíticos para la determinación de parámetros físicoquímicos básicos en aguas*. Cartagena de Indias, Colombia. Eumed.
- Storm, E. (2010). *Leachate treatment anaerobic digestion using aquatic plant algae*. Master thesis. Linkoping University, Sweden.
- Tavares, J. (2019). *Morfoanatomía e desenvolvimento de órgãos reprodutivos em espécies de Typha L. (Typhaceae)*. (Tesis de Posgrado). Universidad Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- Texeira, M., Resende, F., Fía, R, Fereira. L. y Pimentel. M. (2011). Remoção de nutrientes por *Typha Latifolia* e *Cynodon* spp. Cultivadas en sistemas alargados construidos. *Ambiente y agua*, 6 (1), 77 - 89. doi: 10.4136/abi-agua.175
- Torres, G. y Lozano, E. (2017). Disminución de sólidos de aguas grises mediante un proceso de aireación. *Revistas científicas de América Latina y el Caribe*, 13 (3), 393 – 404.
- Torres, J. (2014). *Diseño de un biorreactor de lecho fijo y tambor giratorio alimentado por energía fotovoltaica para la producción de compost a partir de Azolla filiculoides y Typha latifolia de la Laguna Chocolate UNE Cundinamarca*. (Tesis de Posgrado). Universidad Libre de la Facultad de Ingeniería en Energías Alternativas, Bogotá.
- Tripathi, P., Kumar, R. y Rajiv, Sh. (2009). Pistia stratiotes (Jalkumbhi): A review. *Phcog Rev*, 3(5), 1-14.
- Troconis, A. (2010). *Tratamiento de Aguas residuales*. Miami: Berzona Inc.

- UNESCO. (2018). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos: Aguas residuales, el recurso no explotado*. París, Francia: UNESCO.
- UNESCO. (2019). Programa Mundial de Evaluación de Recursos Hídricos de las Naciones Unidas WWAP: *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2019: No dejar a nadie atrás*. París, UNESCO.
- Urrutia, J., Marticorena, A. y Sánchez, P. (2017). *Typha latifolia L.* (Typhaceae), nuevo registro para la flora de Chile. *Gayana Botánica*, 74 (2), 299 – 301.
- Vázquez, G., Ortega, E. y Esparza, M. (2013). Fraccionamiento de DQO del agua residual Toluca por el protocolo STOWA. *Tecnología y ciencia del agua*, 2 (2), 21-35.
- Wickramasinghe, S. y Jayawardana, C. (2018). Potential of aquatic macrophytes *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes* and *Salvinia molesta* in phytoremediation of textile wastewater. *Journal of water security*, 4 (1), 1-8.
- Zambrano, F. e Isaza, H. (1994) Demanda química de oxígeno y nitrógeno total, de los subproductos del proceso tradicional de beneficio húmedo del café. *Cenicafé*, 49 (4): 279-289
- Zárate, G. y Durán, C. (2008). Remoción de contaminantes modelo de humedales artificiales a escala de laboratorio. *Tecnología, Ciencia y Educación*, 23 (1), 15 – 22.
- Zouiten, H. (2012). *Análisis mediante modelado avanzado del proceso de eutrofización en lagunas litorales aplicación a masas de agua Atlánticas y Mediterráneas*. (Tesis Doctoral). Universidad de Cantabria. Santander.

ANEXOS

Anexo 1. Registro Fotográfico

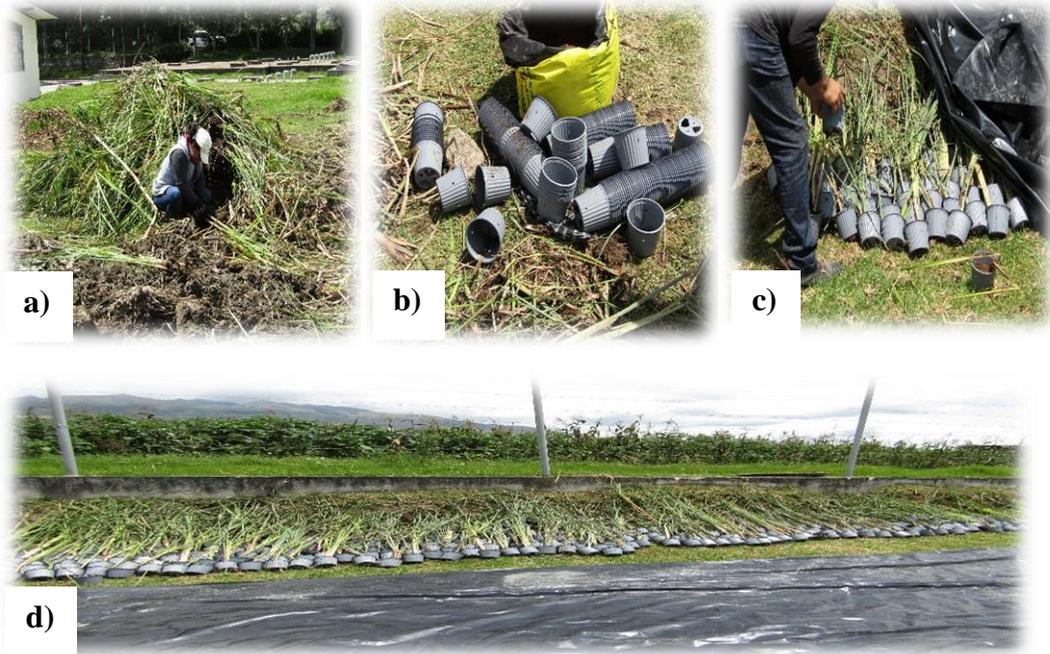


Figura 32. a.) Selección de especies de *T. latifolia* b.) Colocación de sustrato en las tarrinas para siembra de la especie, c) Siembra de especies de *T. latifolia*, d.) Elaboración de vivero para adaptación de especies.

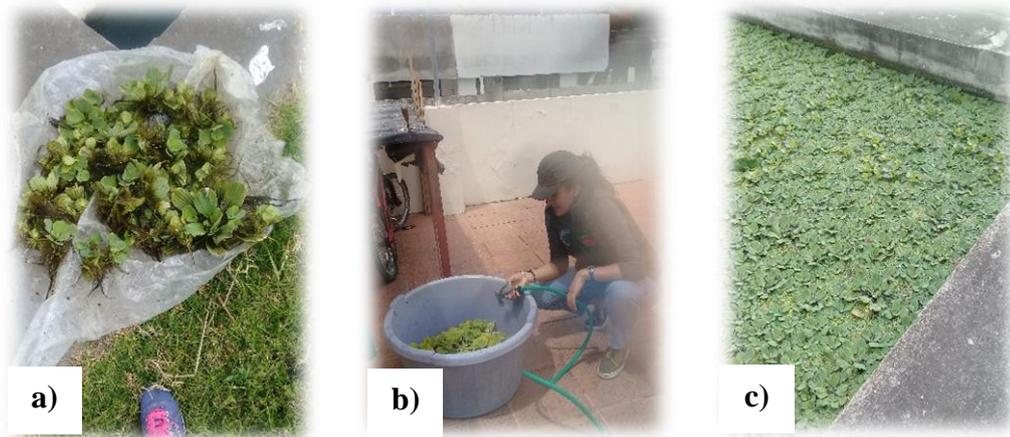


Figura 33. a), b), y c) Plantación adaptación e incorporación de *P. stratiotes* a los cárcamos.



Figura 34. Recolección, limpieza de *T. latifolia*



Figura 35. Adaptación e implementación de *T. latifolia*



Figura 36. Limpieza se natas de los cárcamos de los humedales artificiales.



Figura 37. Etiquetado de muestras, transporte y colocación de muestras en el kit de transporte.

Anexo 2. Análisis estadístico

Prueba estadística de Normalidad (Shapiro-Wilk <0,05) para los datos de ingreso de *P. stratiotes* vs datos de salida de *P. stratiotes*.

	TRATAMIENTO	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
pH	1,00	,809	5	,096
	2,00	,919	5	,521
Conductividad	1,00	,916	5	,504
	2,00	,819	5	,114
STD	1,00	,901	5	,417
	2,00	,815	5	,107
Temperatura	1,00	,943	5	,685
	2,00	,854	5	,206
OD	1,00	,974	5	,902
	2,00	,653	5	,003
%OD	1,00	,948	5	,726
	2,00	,883	5	,321
Turbiedad	1,00	,851	5	,198
	2,00	,771	5	,046
DQO	1,00	,871	5	,272
	2,00	,918	5	,515
NO ₂	1,00	,888	5	,346
	2,00	,718	5	,015
NO ₃	1,00	,937	5	,646
	2,00	,607	5	,001
PO ₄	1,00	,903	5	,425
	2,00	,898	5	,397

Prueba estadística (U Mann Whitney <0,05) para los datos de ingreso de *P. stratiotes* vs datos de salida de *P. stratiotes*.

Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	Las medianas de pH son las mismas entre las categorías de TRATAMIENTO.	Prueba de la mediana para muestras independientes	1,000 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.
2	Las medianas de Conductividad son las mismas entre las categorías de TRATAMIENTO.	Prueba de la mediana para muestras independientes	1,000 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.
3	Las medianas de STD son las mismas entre las categorías de TRATAMIENTO.	Prueba de la mediana para muestras independientes	1,000 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.
4	Las medianas de Temperatura son las mismas entre las categorías de TRATAMIENTO.	Prueba de la mediana para muestras independientes	1,000 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.
5	Las medianas de OD son las mismas entre las categorías de TRATAMIENTO.	Prueba de la mediana para muestras independientes	1,000 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.
6	Las medianas de %OD son las mismas entre las categorías de TRATAMIENTO.	Prueba de la mediana para muestras independientes	1,000 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.
7	Las medianas de Turbiedad son las mismas entre las categorías de TRATAMIENTO.	Prueba de la mediana para muestras independientes	,206 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.
8	Las medianas de DQO son las mismas entre las categorías de TRATAMIENTO.	Prueba de la mediana para muestras independientes	,008 ^{1,2}	Rechazar la hipótesis nula.
9	Las medianas de NO2 son las mismas entre las categorías de TRATAMIENTO.	Prueba de la mediana para muestras independientes	1,000 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.
10	Las medianas de NO3 son las mismas entre las categorías de TRATAMIENTO.	Prueba de la mediana para muestras independientes	,206 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.
11	Las medianas de PO4 son las mismas entre las categorías de TRATAMIENTO.	Prueba de la mediana para muestras independientes	1,000 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.

Prueba estadística de Normalidad (Shapiro-Wilk <0,05) para los datos de ingreso de *T. latifolia* vs datos de salida de *T. latifolia*

	TRATAMIENTO	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
pH	1,00	,809	5	,096
	2,00	,822	5	,121
Conductividad	1,00	,916	5	,504
	2,00	,928	5	,582
STD	1,00	,901	5	,417
	2,00	,981	5	,940
Temperatura	1,00	,943	5	,685
	2,00	,828	5	,135
OD	1,00	,974	5	,902
	2,00	,915	5	,495
%OD	1,00	,948	5	,726
	2,00	,920	5	,532
Turbiedad	1,00	,851	5	,198
	2,00	,943	5	,685
DQO	1,00	,871	5	,272
	2,00	,970	5	,873
NO ₂	1,00	,888	5	,346
	2,00	,866	5	,251
NO ₃	1,00	,937	5	,646
	2,00	,942	5	,681
PO ₄	1,00	,903	5	,425
	2,00	,879	5	,303

Prueba estadística (U Mann Whitney <0,05) para los datos de ingreso de *T. latifolia* vs datos de salida de *T. latifolia*.

Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	Las medianas de pH son las mismas entre las categorías de TRATAMIENTO .	Prueba de la mediana para muestras independientes	1,000 ^{1.2}	Retener la hipótesis nula.
2	Las medianas de Conductividad son las mismas entre las categorías de TRATAMIENTO .	Prueba de la mediana para muestras independientes	1,000 ^{1.2}	Retener la hipótesis nula.
3	Las medianas de STD son las mismas entre las categorías de TRATAMIENTO .	Prueba de la mediana para muestras independientes	1,000 ^{1.2}	Retener la hipótesis nula.
4	Las medianas de Temperatura son las mismas entre las categorías de TRATAMIENTO .	Prueba de la mediana para muestras independientes	1,000 ^{1.2}	Retener la hipótesis nula.
5	Las medianas de OD son las mismas entre las categorías de TRATAMIENTO .	Prueba de la mediana para muestras independientes	1,000 ^{1.2}	Retener la hipótesis nula.
6	Las medianas de %OD son las mismas entre las categorías de TRATAMIENTO .	Prueba de la mediana para muestras independientes	1,000 ^{1.2}	Retener la hipótesis nula.
7	Las medianas de Turbiedad son las mismas entre las categorías de TRATAMIENTO .	Prueba de la mediana para muestras independientes	,008 ^{1.2}	Rechazar la hipótesis nula.
8	Las medianas de DQO son las mismas entre las categorías de TRATAMIENTO .	Prueba de la mediana para muestras independientes	,008 ^{1.2}	Rechazar la hipótesis nula.
9	Las medianas de NO ₂ son las mismas entre las categorías de TRATAMIENTO .	Prueba de la mediana para muestras independientes	1,000 ^{1.2}	Retener la hipótesis nula.
10	Las medianas de NO ₃ son las mismas entre las categorías de TRATAMIENTO .	Prueba de la mediana para muestras independientes	,206 ^{1.2}	Retener la hipótesis nula.
11	Las medianas de PO ₄ son las mismas entre las categorías de TRATAMIENTO .	Prueba de la mediana para muestras independientes	1,000 ^{1.2}	Retener la hipótesis nula.

Prueba estadística de Normalidad (Shapiro-Wilk <0,05) para los datos de salida de *T. latifolia* vs datos de salida de *P. stratiotes*.

	TRATAMIENTO	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
pH	1,00	,822	5	,121
	2,00	,919	5	,521
Conductividad	1,00	,928	5	,582
	2,00	,819	5	,114
STD	1,00	,981	5	,940
	2,00	,815	5	,107
Temperatura	1,00	,828	5	,135
	2,00	,854	5	,206
OD	1,00	,915	5	,495
	2,00	,653	5	,003
%OD	1,00	,920	5	,532
	2,00	,883	5	,321
Turbiedad	1,00	,943	5	,685
	2,00	,771	5	,046
DQO	1,00	,970	5	,873
	2,00	,918	5	,515
NO ₂	1,00	,866	5	,251
	2,00	,718	5	,015
NO ₃	1,00	,942	5	,681
	2,00	,607	5	,001
PO ₄	1,00	,879	5	,303
	2,00	,898	5	,397

Prueba estadística (U Mann Whitney $<0,05$) para los datos de salida de *T. latifolia* vs datos de salida de *P. stratiotes*.

Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	Las medianas de pH son las mismas entre las categorías de TRATAMIENTO .	Prueba de la mediana para muestras independientes	1,000 ^{1.2}	Retener la hipótesis nula.
2	Las medianas de Conductividad son las mismas entre las categorías de TRATAMIENTO .	Prueba de la mediana para muestras independientes	1,000 ^{1.2}	Retener la hipótesis nula.
3	Las medianas de STD son las mismas entre las categorías de TRATAMIENTO .	Prueba de la mediana para muestras independientes	1,000 ^{1.2}	Retener la hipótesis nula.
4	Las medianas de Temperatura son las mismas entre las categorías de TRATAMIENTO .	Prueba de la mediana para muestras independientes	1,000 ^{1.2}	Retener la hipótesis nula.
5	Las medianas de OD son las mismas entre las categorías de TRATAMIENTO .	Prueba de la mediana para muestras independientes	1,000 ^{1.2}	Retener la hipótesis nula.
6	Las medianas de %OD son las mismas entre las categorías de TRATAMIENTO .	Prueba de la mediana para muestras independientes	1,000 ^{1.2}	Retener la hipótesis nula.
7	Las medianas de Turbiedad son las mismas entre las categorías de TRATAMIENTO .	Prueba de la mediana para muestras independientes	1,000 ^{1.2}	Retener la hipótesis nula.
8	Las medianas de DQO son las mismas entre las categorías de TRATAMIENTO .	Prueba de la mediana para muestras independientes	1,000 ^{1.2}	Retener la hipótesis nula.
9	Las medianas de NO ₂ son las mismas entre las categorías de TRATAMIENTO .	Prueba de la mediana para muestras independientes	1,000 ^{1.2}	Retener la hipótesis nula.
10	Las medianas de NO ₃ son las mismas entre las categorías de TRATAMIENTO .	Prueba de la mediana para muestras independientes	1,000 ^{1.2}	Retener la hipótesis nula.
11	Las medianas de PO ₄ son las mismas entre las categorías de TRATAMIENTO .	Prueba de la mediana para muestras independientes	1,000 ^{1.2}	Retener la hipótesis nula.

Anexo 3. Reporte de análisis de laboratorio



GAD PROVINCIAL
DE IMBABURA

Gobierno Provincial de Imbabura

Dirección General de Ambiente
Jefatura de Calidad Ambiental

INFORME DE CALIDAD DE AGUA

Número Informe:	ICA-DGAM-JCA-2019-015	
Proyecto:	PTAR de Gonzalez Suarez	
Solicitante:	Srta. Karla Vasquez	
Dirección del Proyecto	PTAR de Gonzalez Suarez (salida Mixto)	
Coordenadas:	X=811371	Y=20075
Fecha de Muestreo	2 de septiembre de 2019	
Responsable del Muestreo	Ing. Jorge Arturo Castro	
Fecha de análisis	5 de septiembre de 2019	
Fecha informe	24 de septiembre de 2019	

PARÁMETRO ANALIZADO	UNIDAD	EXPRESADO EN	VALOR	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE*	CRITERIO
pH	n/a	pH	8,6	6,5 - 9	CUMPLE
Conductividad	µS/cm	Cond.	469	n/a	n/a
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	STD	270	n/a	n/a
Temperatura	°C	Temp.	17,5	n/a	n/a
Oxígeno disuelto	mg/l	OD	7,15	n/a	n/a
% Saturación Oxígeno disuelto	%	%Sat.	101,0%	80	CUMPLE
Turbiedad	NTU	Turb.	5,64	n/a	n/a
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	DQO	22	40	CUMPLE
Nitritos	mg/l	(NO ₂) ⁻	0,035	0,2	CUMPLE
Nitratos	mg/l	(NO ₃) ⁻	4,7	13	CUMPLE
Cloro Libre	mg/l	Cl ₂	-	0,01	n/a
Sulfatos	mg/l	(SO ₄) ⁻²	0	n/a	n/a
Fósforos	mg/l	(PO ₄) ⁻³	7,2	n/a	n/a
Hierro	mg/l	Fe	-	0,3	CUMPLE
Cromo Hexavalente	mg/l	(Cr) ⁺⁶	-	n/a	n/a
Silicato	mg/l	SiO ₂	-	n/a	n/a
Aluminio	mg/l	(Al) ⁺³	-	0,1	n/a

* Acuerdo Ministerial 097-A ANEXO 1 DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL


Responsable del Análisis


Jefe de Calidad Ambiental





GAD PROVINCIAL
DE IMBABURA

Gobierno Provincial de Imbabura

Dirección General de Ambiente
Jefatura de Calidad Ambiental

INFORME DE CALIDAD DE AGUA

Número Informe:	ICA-DGAM-JCA-2019-014
Proyecto:	PTAR de Gonzalez Suarez
Solicitante:	Srta. Karla Vasquez
Dirección del Proyecto	PTAR de Gonzalez Suarez (salida Thypha)
Coordenadas:	X=811371 Y=20075
Fecha de Muestreo	2 de septiembre de 2019
Responsable del Muestreo	Ing. Jorge Arturo Castro
Fecha de análisis	5 de septiembre de 2019
Fecha informe	24 de septiembre de 2019

PARÁMETRO ANALIZADO	UNIDAD	EXPRESADO EN	VALOR	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE*	CRITERIO
pH	n/a	pH	7,09	6,5 - 9	CUMPLE
Conductividad	µS/cm	Cond.	484	n/a	n/a
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	STD	276	n/a	n/a
Temperatura	°C	Temp.	16,8	n/a	n/a
Oxígeno disuelto	mg/l	OD	4,67	n/a	n/a
% Saturación Oxígeno disuelto	%	%Sat.	65,0%	80	NO CUMPLE
Turbiedad	NTU	Turb.	5,63	n/a	n/a
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	DQO	47	40	NO CUMPLE
Nitritos	mg/l	(NO ₂) ⁻	0,164	0,2	CUMPLE
Nitratos	mg/l	(NO ₃) ⁻	2,6	13	CUMPLE
Cloro Libre	mg/l	Cl ₂	-	0,01	n/a
Sulfatos	mg/l	(SO ₄) ⁻²	0	n/a	n/a
Fósforos	mg/l	(PO ₄) ⁻³	4,4	n/a	n/a
Hierro	mg/l	Fe	-	0,3	CUMPLE
Cromo Hexavalente	mg/l	(Cr) ⁺⁶	-	n/a	n/a
Silicato	mg/l	SiO ₂	-	n/a	n/a
Aluminio	mg/l	(Al) ⁺³	-	0,1	n/a

* Acuerdo Ministerial 097-A ANEXO 1 DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL


Responsable del Análisis


Jefe de Calidad Ambiental





GAD PROVINCIAL
DE IMBABURA

Gobierno Provincial de Imbabura

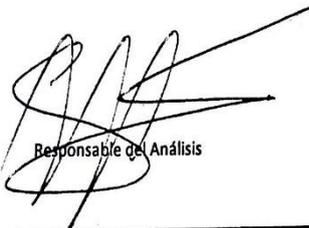
Dirección General de Ambiente
Jefatura de Calidad Ambiental

INFORME DE CALIDAD DE AGUA

Número Informe:	ICA-DGAM-JCA-2019-016
Proyecto:	PTAR de Gonzalez Suarez
Solicitante:	Srta. Karla Vasquez
Dirección del Proyecto	PTAR de Gonzalez Suarez (salida Pistia)
Coordenadas:	X=811371 Y=20075
Fecha de Muestreo	2 de septiembre de 2019
Responsable del Muestreo	Ing. Jorge Arturo Castro
Fecha de análisis	5 de septiembre de 2019
Fecha informe	24 de septiembre de 2019

PARÁMETRO ANALIZADO	UNIDAD	EXPRESADO EN	VALOR	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE*	CRITERIO
pH	n/a	pH	8,67	6,5 - 9	CUMPLE
Conductividad	µS/cm	Cond.	488	n/a	n/a
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	STD	279	n/a	n/a
Temperatura	°C	Temp.	18,5	n/a	n/a
Oxígeno disuelto	mg/l	OD	3,33	n/a	n/a
% Saturación Oxígeno disuelto	%	%Sat.	47,6%	80	NO CUMPLE
Turbiedad	NTU	Turb.	11,51	n/a	n/a
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	DQO	85	40	CUMPLE
Nitritos	mg/l	(NO ₂) ⁻	0,338	0,2	CUMPLE
Nitratos	mg/l	(NO ₃) ⁻	0,7	13	CUMPLE
Cloro Libre	mg/l	Cl ₂	-	0,01	n/a
Sulfatos	mg/l	(SO ₄) ⁻²	0	n/a	n/a
Fósforos	mg/l	(PO ₄) ⁻³	5,5	n/a	n/a
Hierro	mg/l	Fe	-	0,3	CUMPLE
Cromo Hexavalente	mg/l	(Cr) ⁺⁶	-	n/a	n/a
Silicato	mg/l	SiO ₂	-	n/a	n/a
Aluminio	mg/l	(Al) ⁺³	-	0,1	n/a

* Acuerdo Ministerial 097-A ANEXO 1 DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL


Responsable del Análisis


Jefe de Calidad Ambiental





GAD PROVINCIAL
DE IMBABURA

Gobierno Provincial de Imbabura

Dirección General de Ambiente
Jefatura de Calidad Ambiental

INFORME DE CALIDAD DE AGUA

Número Informe:	ICA-DGAM-JCA-2019-013
Proyecto:	PTAR de Gonzalez Suarez
Solicitante:	Srta. Karla Vasquez
Dirección del Proyecto	PTAR de Gonzalez Suarez (entrada Thypha)
Coordenadas:	X=811371 Y=20075
Fecha de Muestreo	2 de septiembre de 2019
Responsable del Muestreo	Ing. Jorge Arturo Castro
Fecha de análisis	5 de septiembre de 2019
Fecha informe	24 de septiembre de 2019

PARÁMETRO ANALIZADO	UNIDAD	EXPRESADO EN	VALOR	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE*	CRITERIO
pH	n/a	pH	7,57	6,5 - 9	CUMPLE
Conductividad	µS/cm	Cond.	486	n/a	n/a
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	STD	282	n/a	n/a
Temperatura	°C	Temp.	22,1	n/a	n/a
Oxígeno disuelto	mg/l	OD	1,1	n/a	n/a
% Saturación Oxígeno disuelto	%	%Sat.	15,6%	80	NO CUMPLE
Turbiedad	NTU	Turb.	64,9	n/a	n/a
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	DQO	486	40	NO CUMPLE
Nitritos	mg/l	(NO ₂) ⁻	0,028	0,2	CUMPLE
Nitratos	mg/l	(NO ₃) ⁻	6,9	13	CUMPLE
Cloro Libre	mg/l	Cl ₂	-	0,01	n/a
Sulfatos	mg/l	(SO ₄) ²⁻	0	n/a	n/a
Fósforos	mg/l	(PO ₄) ³⁻	0,3	n/a	n/a
Hierro	mg/l	Fe	-	0,3	CUMPLE
Cromo Hexavalente	mg/l	(Cr) ⁶⁺	-	n/a	n/a
Silicato	mg/l	SiO ₂	-	n/a	n/a
Aluminio	mg/l	(Al) ³⁺	-	0,1	n/a

* Acuerdo Ministerial 097-A ANEXO 1 DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL


Responsable del Análisis


Jefe de Calidad Ambiental



Anexo 4. Manual de estrategias de manejo de las especies *Typha latifolia* y *Pistia stratiotes* para su aprovechamiento después de culminado el proceso de fitorremediación.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



MANUAL
DE ESTRATEGÍAS DE MANEJO PARA
LAS ESPECIES MACROFITAS

Typha latifolia y Pistia stratiotes

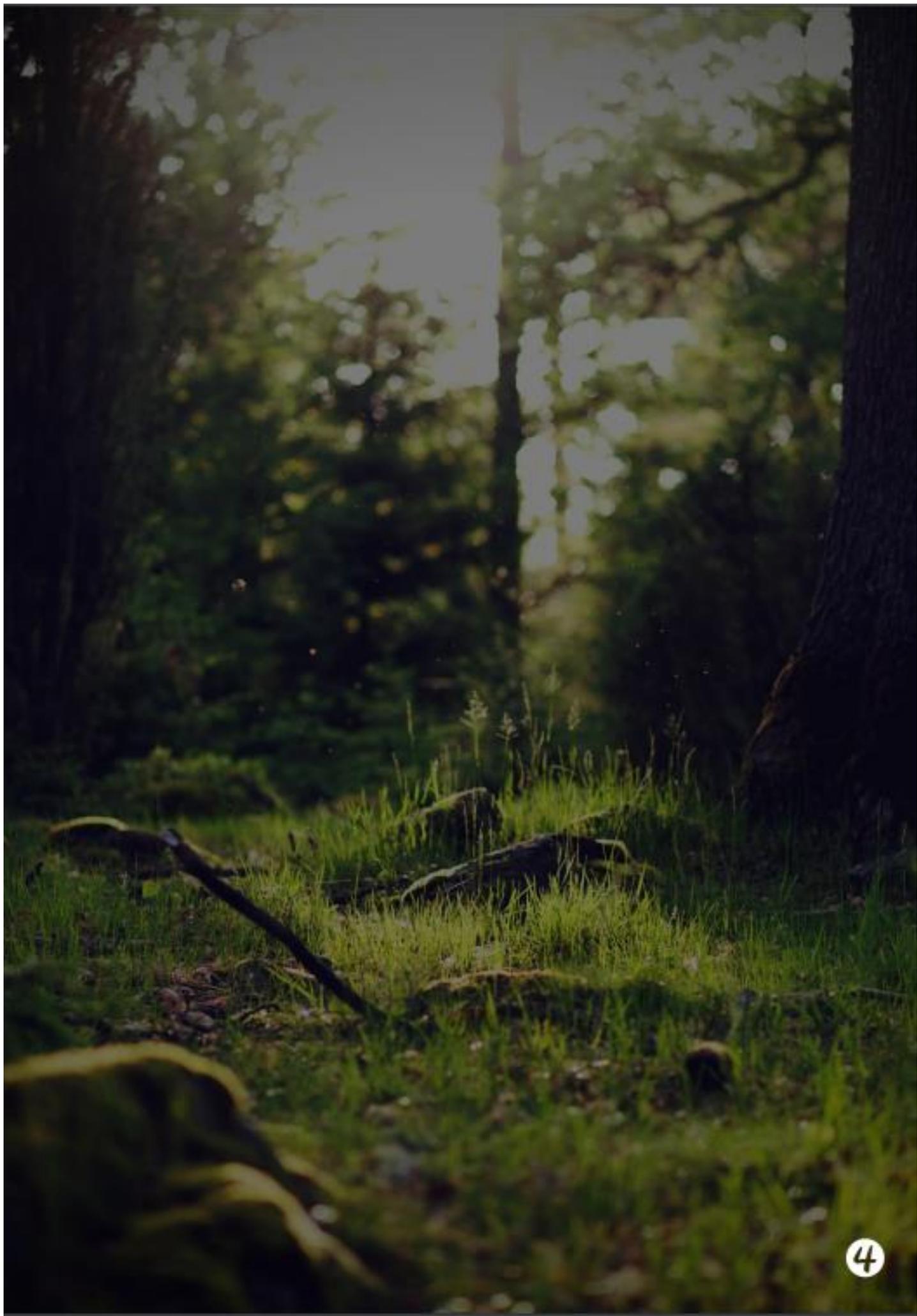
AUTORAS: SUÁREZ MESA VERÓNICA YECENIA
VÁSQUEZ VILLACRESES KARLA DANIELA

INTRODUCCIÓN



El planeta tierra se encuentra cubierto por un 71% de agua, un volumen estimado de 14000 millones de km³, el 95.5% de agua dulce se encuentra concentrado en los glaciares y casquetes polares, 1.74 se encuentra en acuíferos subterráneos, 1.72 permafrost y glaciares continentales y el solo el 0.04% a lo largo de lagos, humedales, atmósfera, embalses y ríos (Ramírez, 2014). El agua es un recurso natural esencial que se encuentra estrechamente relacionado a las actividades diarias de los seres humanos.

En la actualidad la importancia de conservar el recurso hídrico, ha tomado fuerza, es por esto que preocupa la contaminación por aguas residuales domésticas que se generan. Sin embargo de acuerdo a (Rosero 2017), los sistemas lacustres son los que sufren mayor contaminación y está entrando en un proceso de eutrofización afectando principalmente la biodiversidad acuática presente en este ecosistema e incurriendo en loa economía local como es el comercio y turismo. A pesar de los esfuerzo con las plantas de tratamiento que se encargan de la limpieza de aguas residuales, a través de sus tratamientos primario, secundario y terciarios las descargas son una problemática en la pérdida de calidad del agua (Moscoso, 2015).





**MANUAL
DE ESTRATEGÍAS DE MANEJO
PARA LAS ESPECIES
MACRÓFITAS**

UNA SOLUCIÓN BASADA EN LA NATURALEZA



Los humedales artificiales o humedales construidos según Fernández (1998), son apreciados como sistemas de tratamientos de tipo natural generalmente son desarrollados con vegetación adaptada a sistemas acuáticos dispuestas en monocultivo o policultivo que habitualmente se implementan en canales, lagunas, estanques. Su funcionamiento está basado en la actividad microbiana, la oxigenación de las raíces de las plantas y las enzimas que libera, materia orgánica disponible además de los procesos físicos, químicos y biológicos del medio ayudan a mejorar la calidad del agua residual que circula dentro de estos (Zárate y Durán, 2008).

BENEFICIOS QUE BRINDAN LOS HUMEDALES ARTIFICIALES

Los humedales son necesarios para la descomposición de materia orgánica presente en cuerpos de agua, además de brindar beneficios ecológicos a diferentes especies que habitan los mismos lugares donde se localizan, aportando diferentes beneficios en su implementación tales como:

- Oxigenación
- Filtración
- Regulación de temperatura
- Control de plagas
- Formación de hábitats

FIORREMEDIACIÓN



La fitorremediación, es una tecnología empleada para sanear ambientes contaminados en la cual se emplea plantas y organismos asociados a ellas para remover, transferir, degradar, estabilizar concentrar o destruir concentraciones orgánicas e inorgánicas procedentes de actividades antropogénicas y su aplicación puede ser tanto ex-situ e in-situ (Agudelo, Macías, Suárez, 2005). Los mecanismos que utiliza la fitorremediación incluyen rizo-degradación, fito-extracción, fito-degradación y fito-estabilización (Cubillos, Pulgarín, Gutiérrez y Paredes 2013).



MACRÓFITAS IMPORTANCIA EN LOS ECOSISTEMAS

Conocidos también como macrófitos o hidrófitos son originarias de ecosistemas acuáticos que se desarrollan su ciclo biológico sumergidas o flotando en la superficie del agua (García, Fernández y Cirujano; 2009). Habitan lagos, lagunas, arroyos, ríos, humedales e incluso el mar. Son consideradas bioindicadores de la calidad ambiental y el estado ecosistémico acuático de debido a que son plantas sensibles a cambios dentro de su medio (Cirujano, y Mediano, 2002)

Las macrófitas desempeñan funciones vitales como el reciclaje de nutrientes, la limpieza natural por acciones de filtración, estabilización y sedimentación. Los macrófitos presentan características especiales que facilita su adaptación a diversos medios, están provistos de un tejido esponjoso con cámaras de aire denominado aerénquima presentes en tallos y hojas propio de plantas acuáticas, esto facilita la aireación de los órganos de la planta y su hábitat además de facilitar la flotación, sus tallos son herbáceos y huecos.



ESPECIES PARA LA FITOREMEDIACIÓN



Pistia stratiotes

Reino:	●	Plantae
Phylum	●	Magnoliophyta
Clase	●	Liopsida
Orden	●	Alismatales
Familia	●	Araceae
Género	●	Pistia
Nombre Científico	●	<i>Pistia stratiotes</i> L
Nombre Común	●	Repollo de agua

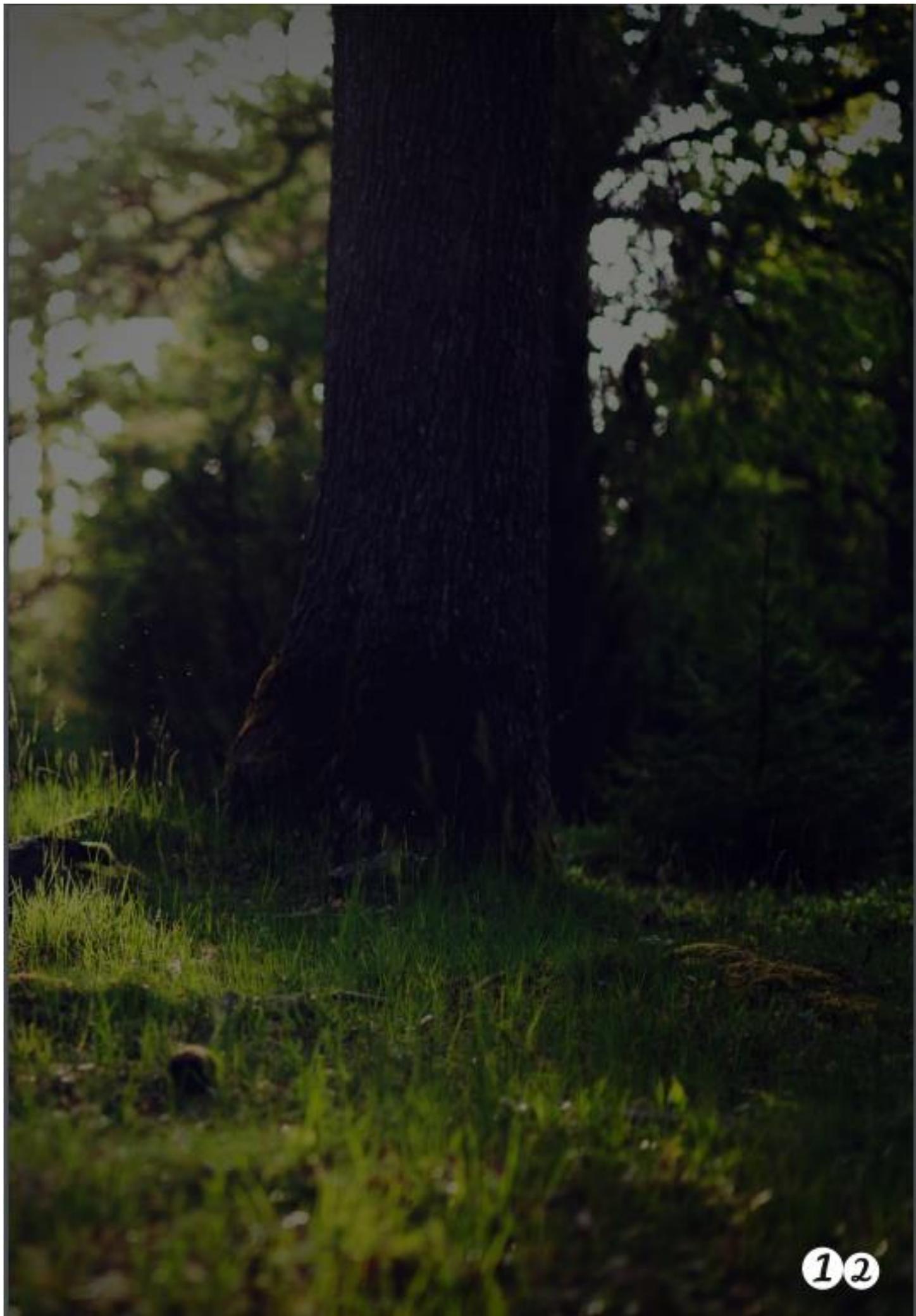
P. stratiotes es una planta herbácea, acuática flotante de raíces fibrosas, conocida como mala hierba en países como Estados Unidos. Presenta hojas esponjosas con pubescencia dispuestas en roseta de color verde grisáceo intenso, estas son ovadas oblongas de ápice redondeado. Alcanza hasta 15cm de longitud por 6 cm de ancho. Su reproducción habitualmente es vegetativa por estolones. Su temperatura mínima de crecimiento óptimo es de 22 a 30 °C y tolera ambientes con un pH entre 4,5 y 7,5 Cueva, (2016).

Typha latifolia



Reino:	●	Plantae
Phylum	●	Magnoliophyta
Clase	●	Liopsida
Orden	●	Poales
Familia	●	Araceae
Género	●	Typhaceae
Nombre Científico	●	T. latifolia.
Nombre Común	●	Espadaña enea

T. latifolia es una planta herbácea robusta perenne, rizomatosa, emergente de tallos erectos y simples, conocida como enea o espadaña. Presenta un desarrollo anual de biomasa puede alcanzar de 1 a 3 m de altura posee un sistema radicular arraigado. Sus hojas son esponjosas plana gladiadas con una vaina envolvente. Su reproducción es por rizomas y por la aspersión de semillas de la inflorescencia. Su temperatura mínima de crecimiento está entre los 10 a 30°C (Urrutia, Marticorena y Sánchez, 2017).





MÉTODOS DE PROPAGACIÓN

PARA EL PROCESO DE PROPAGACIÓN DE MACRÓFITAS EXISTEN DOS MÉTODOS QUE CONSISTEN EN LA PROPAGACIÓN SEXUAL (SEMILLAS) Y LA PROPAGACIÓN ASEXUAL (POR PARTES VEGETATIVAS).

PROPAGACIÓN SEXUAL

Typha latifolia

Consiste en reproducir nuevas plantas por medio de semillas. Es un método que ayuda a mantener la diversidad genética y en muchas plantas de humedal la propagación por semillas es una de los mejores y más rápidos métodos. La especie *Typha latifolia* se adapta fácilmente a este tipo de reproducción ya que cuando esta se encuentra madura contiene sus semillas en la inflorescencia.

Pistia stratiotes

Para la especie *P. stratiotes* este tipo de reproducción no es recomendable sin embargo es posible recolectar las semillas cuando estas están completamente en su madurez.

Protocolo de recolección

- Características de la semilla
- Recolección de semillas y frutos
- Obtención de semillas
- Germinación
- Siembra de la semilla

PROPAGACIÓN ASEXUAL

Typha latifolia

Consiste en generar plantas independientes a partir de la separación de órganos vegetativo o fragmentos de plantas, brotes de tallos o raíces. *T. latifolia* es eficiente en la reproducción asexual debido a su alta tasa de supervivencia es por esto que se recomienda la recolección de rizomas y colocarse en un ambiente húmedo no muy soleado hasta su plantación dentro del humedal.

Procedimiento de Recolección

- Se busca plantas en buen estado que no contengan plagas, que contengan de 3 a 5 rizomas con hojas de coloración verde que posea un amplio sistema radicular.
- Escoger los rizomas con una altura entre 40 a 50 cm
- Con ayuda de una pala sacar las plantas del sustrato.
- Fraccionar los rizomas de la planta madre con la ayuda de una tijera previamente esterilizada
- Lava la raíz y parte del tallo con abundante agua para limpiar el sustrato del que provienen.
- Colocar los esquejes en un ambiente húmedo no muy soleado hasta su posterior siembra

PROPAGACIÓN ASEXUAL

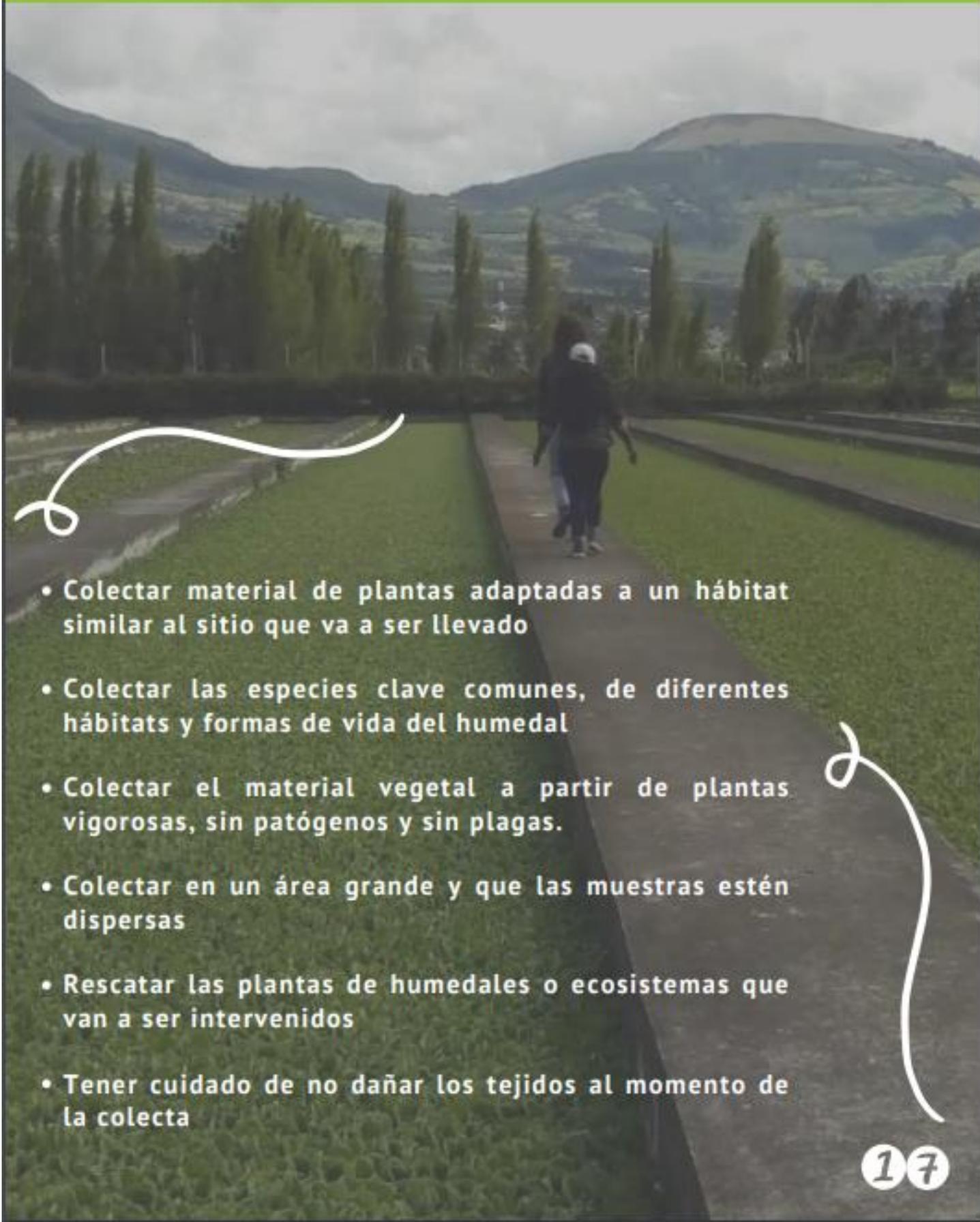
Pistia stratiotes

P. stratiotes es eficiente en este tipo de propagación, su reproducción es por estolones o tallos que se desprenden de una planta madre y forman nuevas plántulas o hijas con las mismas características

Procedimiento de Recolección

- Se busca plantas grandes maduras de 20cm que contengan de 3 a 4 estolones con buena pigmentación y sin plagas.
- Recolectar los estolones o plantas nuevas de una altura entre 5 a 7 cm con un amplio sistema radicular
- Colocarse guates y fraccionar los estolones con la ayuda de una tijera
- Lavar con abundante agua la raíz
- Colocarlas en un ambiente húmedo no soleado antes de su plantación.
- Transportar hasta el medio en donde va a ser implantadas

RECOMENDACIONES PARA UNA ADECUADA PROPAGACIÓN

- 
- Colectar material de plantas adaptadas a un hábitat similar al sitio que va a ser llevado
 - Colectar las especies clave comunes, de diferentes hábitats y formas de vida del humedal
 - Colectar el material vegetal a partir de plantas vigorosas, sin patógenos y sin plagas.
 - Colectar en un área grande y que las muestras estén dispersas
 - Rescatar las plantas de humedales o ecosistemas que van a ser intervenidos
 - Tener cuidado de no dañar los tejidos al momento de la colecta

CÓMO TRASPLANTAR MACRÓFITAS



Para la especie de *T. latifolia* se requiere un soporte para mantener un agarre de manera que se asemeje a su medio natural. En un recipiente de base abierta introducir las plántulas de manera que la raíz sobresalga y colocar 4kg de las mezclas de sustrato (turba + fibra de coco) y presionar hasta que quede firme. Mantener la humedad con riego cada 2 días hasta su implementación en el humedal artificial. Una vez en el humedal artificial plantar a una distancia de 50cm de largo y 45cm de ancho, esto debido que a medida que la planta crece su base se agranda. Mantener sumergido la raíz mientras que el rizoma se mantenga en el sustrato para mejor adaptación. Por último vigilar la especie durante un mes hasta su adaptación y para empezar a ver cambios en su desarrollo y aumento de biomasa.



CÓMO TRASPLANTAR MACRÓFITAS



En la especie *P. stratiotes* su implementación resulta más fácil ya que estas son flotantes no requieren de un medio de soporte. Transportar las plántulas en un ambiente húmedo hasta el medio de implementación o al humedal artificial. Colocarlas directamente al estanque artificial.



COMO COSECHAR

1

La especie *T. latifolia* al ser una especie anual requiere una cosecha al menos una vez al año sin embargo es recomendable realizar una poda cada 6 meses y que presenten una altura de 1.70 m a 2m

La poda se realiza de manera manual con la ayuda de un machete u hoz realizando el corte a 10 o 15 cm de la base de tallo esto para que las plantas vuelvan a retoñar y pueda mantener la productividad dentro del humedal.

2

3

La especie *P. stratiotes* requiere de dos cosechas cada seis meses sin embargo para mantener la efectividad del sistema lo recomendable es realizar la limpieza del material vegetal cada 4 meses.

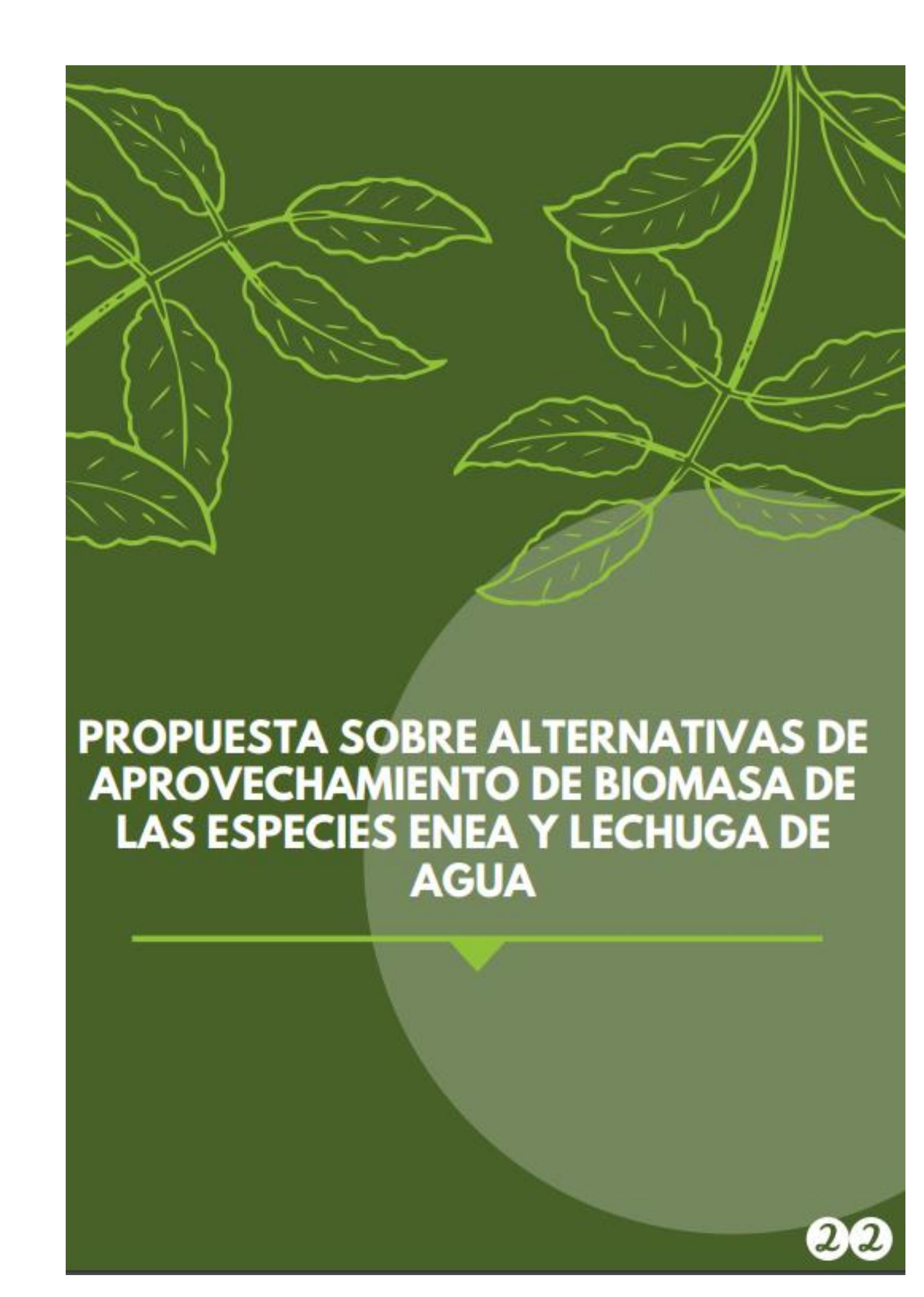
La cosecha se realiza con la ayuda de una carretilla y un rastrillo de hojas Una vez realizada la limpieza se deposita el material en un área para su escurrimiento de manera que reduzca la humedad del material vegetal.

4

20

PROCESO DE MANEJO DE LAS ESPECIES MACRÓFITAS HASTA LA DISPOSICIÓN FINAL





**PROPUESTA SOBRE ALTERNATIVAS DE
APROVECHAMIENTO DE BIOMASA DE
LAS ESPECIES ENEA Y LECHUGA DE
AGUA**

Posteriormente al proceso de fitorremediación con las dos especies y de acuerdo con las necesidades sociales económicas y ambientales se propone realizar un uso y manejo sustentable de la materia prima como un recurso en el área industrial o artesanal buscando que esta especie dentro del ecosistema sea considerado como un potencial de recurso natural para la elaboración de otros productos. El aprovechamiento que se puede de la materia prima de las especies *T. latifolia* y *P. stratiotes* obtenida después de la fitorremediación son los siguientes:

- Fuente de producción de biogás (eneas y lechuga de agua)
- Fuente de materia prima para la elaboración de compost (eneas y lechuga de agua)
- Producción de celulosa para la elaboración de papel (enea)
- Fuentes de combustible (enea)
- Materia prima para artesanías (enea)



FUENTE DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS MEDIANTE UN BIODIGESTOR

La producción de biogás es una fuente energética de gas que se puede obtener a partir de la biodegradación de cualquier residuo excretas de animales, desechos orgánicos (restos de alimentos o plantas) en un medio anaeróbico Campos, Del Razo, Almaraz, Ramírez, Soriano, Salinas, Árias y González (2018) .El biodigestor es el medio ideal para la existencia de microorganismos anaerobios que actúan o están presentes sobre los desechos orgánicos de origen animal o vegetal la descomposición de estos restos y la mezcla de estos gases producen gases con alto contenido de metano conocido como el biogás Montenegro, Rojas, Cabeza, Hernández (2016).

FUENTE DE MATERIA PRIMA PARA LA ELABORACIÓN DE COMPOST

Las macrófitas han demostrado tener gran potencial para la producción de bioabonos con alta calidad y de bajo costo su contenido de nitrógeno Fosforo y potasio lo hace atractivo a las necesidades de la industria y a las exigencia del sector agrícola. La disponibilidad de la materia prima y la alta productividad de estas especies es un recurso natural para potenciarlo Torres (2014).

El compostaje es un proceso aeróbico, de descomposición y fermentación en el cual la materia orgánica entra en proceso de descomposición por la fermentación de diferentes materiales orgánicos (excrementos, cosechas y otros residuos) y tiene dependencia de condiciones ambientales como humedad aireación y temperatura para que el producto sea excelente para ser utilizado Damiani (2016).

**DE ACUERDO A LA INVESTIGACIÓN
REALIZADA POR DAMIANI (2016)
EL PROCESO PARA OBTENER
COMPOST PARA LOS MACRÓFITOS
ES LA SIGUIENTE:**

Materiales

- Desechos vegetales (Typha y Pistia)
- Desechos animales
- Piedra caliza o cal
- Cenizas de madera
- Agua
- Adecuar el sitio dentro de una zona protegido del viento y lluvia lo adecuado es bajo la sombra de un árbol que no mantenga sol durante la mayor parte del día.
- Limpiar la zona de piedras y malas hierbas y elaborar camas de 1 metro de altura.
- Iniciar con una capa base de material vegetal seco como paja tallos, hojas viejas cobertura de jardines de una altura entre 15 a 25 cm y esparza un poco de agua.
- Sucesivo agrega una capa de material fresco como biomasa de pistia troceada en una altura de 10 a 15 cm.
- Después vuelva a agregar material seco de 10 a 15cm.
- Agregue 10 a 15 cm de tierra.
- Agregue estiércol y el polvo de cenizas y mezclar con el material vegetal seco.
- Para mayor efectividad se puede utilizar lombrices y mejorar el tiempo de descomposición.
- La mezcla estará lista a los 4 meses.

PRODUCCIÓN DE CELULOSA PARA LA ELABORACIÓN DE PAPEL (TYPHA)

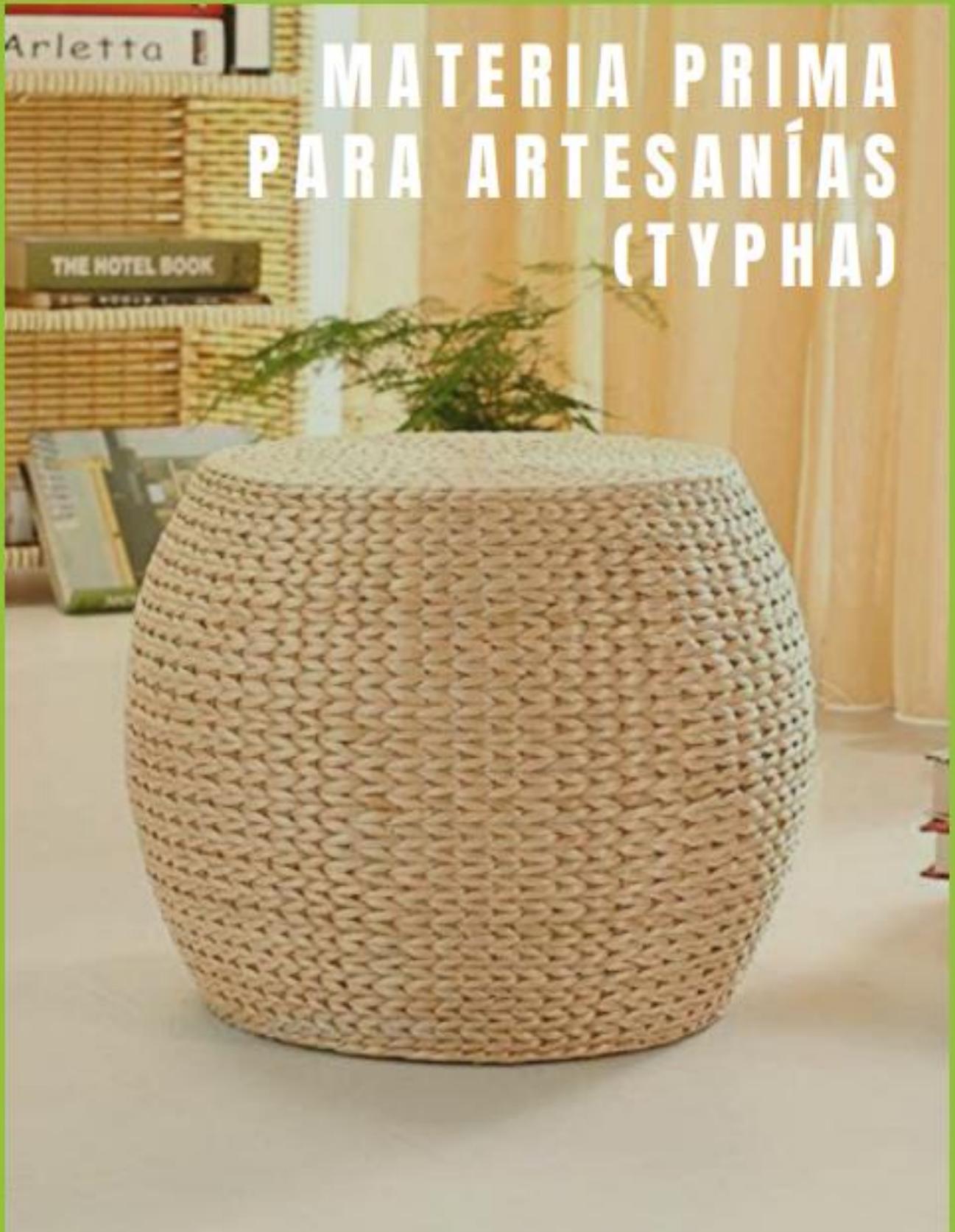
- Seleccionar las hojas de eneas en campo y secarlas
- En un recipiente vaciar un litro de agua
- Verter hidróxido de sodio
- Colocar las hojas de eneas y dejar reposar por 4 días.
- Sacar hilachas y licuar poco a poco hasta tener una mezcla homogénea.
- Vaciar la pulpa en un recipiente grande e introducir el bastidor
- Usar el prensador y aplastar.
- Agregar agua oxigenada y goma y dejar secar

FUENTES DE COMBUSTIBLE (TYPHA)

Emprendimientos en Senegal han convertido a esta especie en una fuente de combustible parecida al carbón de esta manera reducen la deforestación, aumentan la actividad económica, ayudan a la generación de empleo y mejoran las condiciones de vida.



MATERIA PRIMA PARA ARTESANÍAS (TYPHA)



Esta especie al igual que la totora posee la capacidad de generar fibras utilizadas para la fabricación de artesanías, este tejido es realizado de manera manual por artesanos que entrecruzan o anudan una o varias fibras en un molde o soporte que permita conservar el producto.

The background of the entire page is a dense, repeating pattern of stylized tropical leaves in various shades of green. The leaves include monstera-like leaves with holes, palm fronds, and other broad-leafed plants. The pattern is set against a dark green background.

100%
POR EL PLANETA