



# INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE ÁLAMO TEMAPACHE

---

## TITULACIÓN

### TESIS PROFESIONAL

“Calidad del agua de un arroyo modificado como drenaje; influencia sobre estuario Tenechaco y propuesta para su rehabilitación”

## PARA OBTENER EL TITULO DE

Ingeniero(a) Ambiental

## PRESENTA

Ana Karen De La Cruz Hernández  
Gicel Martin Hernández Hernández  
Jesús Espinoza Cruz

## DIRECTOR DE TESIS

H.B Fernando Sotelo Giner

## CO- DIRECTOR DE TESIS

Dr. Ana Laura Lara Domínguez

---

La investigación fue realizada bajo el financiamiento de CONAFOR enmarcadas en el Proyecto “*Restauración de Manglares en el Golfo de México: Estrategias de restauración hidráulica y forestal en los manglares anexos a la barra costera de la Central Termoeléctrica Adolfo López Mateos, Laguna de Tampamachoco*” bajo supervisión en la Red de Ecología Funcional del Instituto de Ecología A.C.

---

## DEDICATORIA

*Ana Karen De La Cruz Hernández*

A Dios:

Por darme la oportunidad de vivir esta experiencia, porque todos los días me llena de bendiciones y me brinda la fortaleza que necesito para seguir y afrontar los problemas que se me presentan. Por darme a los mejores padres y hermano del mundo.

A mis padres, Eraclio y Teresa:

Porque sin importar el esfuerzo y los sacrificios que debían hacer siguieron apoyando mis sueños y me impulsaron a hacer lo necesario para cumplirlos. Gracias por estar conmigo siempre, por ser los mejores padres del mundo y cuidarme. Gracias por su inmenso amor y por enseñarme que las limitaciones solo están en nuestra cabeza. Los amo con todo mi corazón, los respeto y admiro.

A mi hermano, Jesús Emmanuel:

Gracias por ser más que mi hermano, por ser mi mejor amigo, por apoyarme en todo lo que fuera necesario; por regañarme y hacerme ver que siempre hay motivos y formas de solucionar los problemas. Gracias por estar conmigo siempre y gracias también por todos tus consejos y enseñanzas.

---

*Gicel Martin Hernández Hernández*

A ti DIOS que me diste la oportunidad de vivir y de regalarme una familia maravillosa.

Con mucho cariño principalmente a mis padres que me dieron la vida y han estado conmigo en todo momento, por darme una carrera para mi futuro y por creer en mí, aunque hemos pasado momentos difíciles siempre han estado apoyándome y brindándome todo su amor, los quiero con todo mi corazón y este trabajo que me llevó un año hacerlo es para ustedes, por ser el mayor de sus hijos aquí está lo que ustedes me brindaron, solamente les estoy devolviendo lo que ustedes me dieron en un principio.

A mi hermana Dayana gracias por estar conmigo y apoyarme siempre, te quiero mucho. A mi querida esposa Paola, muchas gracias por estar conmigo siempre y por todo el apoyo que me has dado para continuar y seguir con mi camino, gracias por estar conmigo y recuerda que eres muy importante para mí.

A todos mis primos, Sebastián, Israel, Eusebio, Diego Armando, Flavio cesar, Ismael, Emilio; muchas gracias por estar conmigo en todo este tiempo donde he vivido momentos felices y tristes, gracias por ser mis amigos y recuerden que siempre los llevaré en mi corazón.

Y a mis profesores por confiar en mí, por tenerme la paciencia necesaria, gracias por apoyarme en momentos difíciles. Agradezco el haber tenido unos profesores tan buenas personas como lo son ustedes. Nunca los olvidaré.

Y no me puedo ir sin antes decirles a ustedes Jesús Espinoza y Ana Karen De La Cruz que sin ustedes a mi lado no lo hubiera logrado, tantas desveladas sirvieron de algo y aquí está el fruto.

Les agradezco a todos ustedes con toda mi alma el haber llegado a mi vida y el compartir momentos agradables y momentos tristes, pero esos momentos son los que nos hacen crecer y valorar a las personas que nos rodean. Los quiero mucho y nunca los olvidaré.

---

*Jesús Espinoza Cruz*

Lleno de orgullo y alegría dedico este trabajo a todos mis seres queridos que fueron pilares importantes para seguir adelante

A mi padre Inocencio y madre María Angelica, que fueron una pieza importante en mi vida, motivándome y enseñándome a no rendirme.

A mis asesores de tesis M.C. Fernando Sotelo y Dra. Ana Laura, que me guiaron y aconsejaron en la realización de este trabajo, otorgándome su apoyo, muchas gracias.

A mis compañeros que me brindaron de su apoyo y conocimiento para desarrollar este gran trabajo, por su amistad.

A toda mi familia, abuelos y tíos que siempre creyeron en mí y me apoyaron en las buenas y malas.

A todos muchas gracias.

---

## AGRADECIMIENTOS

*Ana Karen De La Cruz Hernández*

Cada momento vivido durante estos años son simplemente únicos por cada oportunidad de aprender y crecer profesionalmente, pero esto no sería lo mismo si no fuera por esas personas que enriquecieron mi vida con su presencia, apoyo, sabiduría y amor incondicional durante estos años.

A Dios por guiar mi vida y ser mi fuente de fortaleza que nunca se termina.

A mi casa de estudios ITSAT por permitirme convertirme en un profesional en lo que tanto me apasiona y brindarme su calidez; gracias a mi jefe de carrera la M.C Esther Moreno y cada maestro que fue parte integral de este proceso de formación

A mi asesor la Dr. Ana Laura Lara Rodríguez y al H.B. Fernando Sotelo Giner por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico, así como también por su apoyo en el uso de equipos, haberme tenido toda la paciencia del mundo para guiarme durante todo el desarrollo del proyecto.

A mis compañeros Jesús Cruz y Gicel Martin Hernández aquellos que junto a mi caminaron en todo momento siendo mi apoyo y fortaleza, gracias a ustedes por demostrarme el verdadero sentimiento de la amistad.

A mis padres y hermano porque sin su apoyo jamás habría logrado realizar esta estancia; por siempre alentar mis sueños y por sus palabras en los momentos difíciles durante toda mi vida, por ser mi soporte incansable.

A mis apreciables amigos que representan mi segunda familia gracias por tenerme paciencia y compartirme de su cariño por ser parte de la conclusión de este camino y por haber estado presentes en mis malos ratos a Raúl Rubio, Emanuel Aguilera, Adriana Lara, , Marina Muñoz, Ángel Hernández, Cristina Jiménez y Samuel Villanueva

A los pequeños Mapi, Goku y Cocoa que iluminaron con su compañía y travesuras en cada muestreo.

Y principalmente quiero darme gracias, por este trabajo, por no rendirme, por alentarme cada día y no renunciar por más obstáculos que se presentaron.

*Los desafíos son los que hacen la vida interesante, y superarlos es lo que hace la vida significativa. -Joshua J.Marino*

---

*Gicel Martin Hernández Hernández*

Antes que nada, quiero empezar agradeciendo a mis padres, por darme la vida, por darme una infancia llena de felicidad, por la formación y educación que con mucho esfuerzo e ímpetu lograron enseñarme, por darme una hermana tan maravillosa y por darme la lección más grande de vida que es la vida misma.

Gracias a mi madre que siempre ha estado en el momento preciso para extenderme su mano, por convertir los malos pasos en momentos de reflexión, por escucharme y siempre tener algo que decirme, por prestarme su hombro para desahogarme en llanto, por ser mi cómplice en tantas travesuras, por prepararme mis platillos favoritos, y por consentirme.

A mi padre quien me enseñó a valorar los resultados de un gran esfuerzo, a conocer el precio de tener una gota de sudor en la frente, por ser “amigo” y darme palabras de aliento; a ser ejemplo, padre mío, ocupas un lugar muy especial en mi corazón.

A mis abuelos que fueron una parte esencial de mi formación, en mi educación y mis valores como persona.

A mi querida esposa Paola, gracias por dejarme compartir tu vida con la mía, por darme tu amor, por saber aguantarme y perdonar, por darme la confianza y no dejarme caer, muchas gracias por tu apoyo incondicional.

A mi jefa de carrera quien nos hizo ver las dimensiones de la vida corrigiendo y fortaleciendo nuestros principios, por qué nos demostró que los sueños se cumplen siempre y cuando luchemos por ellos.

---

Al Instituto Tecnológico Superior De Álamo Temapache por qué gracias a él descubrimos todoun mundo dentro de sus aulas, compartimos historias de vida, conocimos nuestras fuerzas y debilidades, por qué nos permitió hacer viajes y conocer a muchas personas que nos han marcado el corazón, por darnos cobijo, un temple, una formación y por darnos los conocimientos para afrontar esta vida y vivirla a plenitud.

A mis compañeros y amigos de la carrera Jesús Espinoza cruz y Ana Karen de la cruz Hernández, que estuvieron siempre apoyándome en todo momento, gracias se les aprecia compañeros, por el tiempo compartido a lo largo del curso, por su comprensión y paciencia para superar tantos momentos difíciles, pero en especial a mi amigo Jesús y Karen por haberme brindado su apoyo incondicional y dándome fuerzas para seguir adelante.

Gracias a todas aquellas personas que en algún momento de mi vida aparecieron como estrellas para iluminar mi camino, por los buenos o malos consejos que me dieron, por darme momentos inolvidables tanto felices como tristes, pero que al final son parte de todo; a todos ellos por compartir un poco de su tiempo, de su vida, sus molestias, sus sufrimientos, sus logros y que me enseñaron el verdadero concepto de “amistad”;

Y por último agradecer a Dios por prestarnos la vida, por llevarnos en el sendero del bien, por cuidar de nosotros y por otorgarme esta familia tan hermosa que tengo.

---

*Jesús Espinoza Cruz*

Esta tesis no hubiera sido posible sin la ayuda y motivación de varias personas e instituciones a las que quiero mostrar mi agradecimiento.

A mis padres Inocencio Espinoza Cruz y María Angelica Cruz Isidro por quererme, apoyarme y creer en mí. Por ser una motivación en mi vida, por educarme y guiarme en el camino. Por darme el apoyo y amor en esos malos momentos en los que sentí que me rendiría,

A mis asesores de tesis, M.C, Fernando Sotelo Giner y Dra Ana Laura Lara Rodríguez por ayudarme durante el desarrollo del proyecto, por sus valiosas enseñanzas, por permitirme formar parte de su trabajo, sin su apoyo, virtudes y enseñanzas esta tesis no se hubiese logrado.

A mis compañeros de tesis Ana Karen De la Cruz Hernández y Gicel Martin Hernández Hernández por tener la paciencia de soportarme, y el gran apoyo que me dieron cuando no encontraba solución alguna, por haber estado en los buenos y malos momentos, por nunca haber abandonado y estar hasta el final de este gran camino, por las risas y enojos dentro y fuera de la institución,

A mis docentes les debo mis conocimientos donde quiera que vaya, los llevaré conmigo en mi transitar profesional. Su semilla de conocimientos, germinó en el alma y el espíritu. Gracias por su paciencia, por compartir sus conocimientos de manera profesional e invaluable, por su dedicación perseverancia y tolerancia.

A las personas que ya no están conmigo solo puedo decir que desde el principio creyeron en mí, sin embargo, por circunstancias de la vida solo queda la memoria de ustedes: Roberto Cruz Isidro, Cornelio de la Cruz, Lucia Isidro

A mi institución por darme la oportunidad de entrar en sus aulas y formar parte de su equipo, por ofrecerme la virtud de ser un profesional, muchas gracias ITSAT.

---

## RESUMEN

La calidad del agua es aquellas condiciones que deben darse en el agua para que ésta mantenga un ecosistema equilibrado. El crecimiento exponencial de la zona urbana de Tuxpan, Veracruz sobrepasa las previsiones en los diseños de infraestructura de los servicios públicos de agua potable y saneamiento humano, provocando modificaciones no respetuosas en las fuentes hidrológicas de cuencas naturales preexistentes. Se presenta una evaluación de la afectación de la calidad de las aguas servidas sin tratamiento en distintas secciones del arroyo Lirio y estuario de Tenechaco. Se analizaron parámetros fisicoquímicos del agua en el arroyo Lirio y Estero de Tenechaco, se determinó la influencia de su descarga en el estero Tenechaco reduciendo así la información a una expresión más sencilla y entendible, así se propone una rehabilitación a esta fuente hídrica mediante reforestación con Mangle rojo (*Rhizophora mangle*), Lirio de Pantano (*Crinum americanum*) y Junco (*Schoenoplectus californicus*).

**Palabras clave:** Calidad, fisicoquímico, rehabilitación, reforestación, estero, arroyo modificado

---

## ABSTRACT

Water quality is those conditions that must be present in water in order for it to maintain a balanced ecosystem. The exponential growth of the urban area of Tuxpan, Veracruz exceeds the forecasts in the infrastructure designs of the public drinking water and human sanitation services, causing non-respectful modifications in the hydrological sources of pre-existing natural watersheds. An evaluation of the impact on the quality of untreated sewage in different sections of the Lirio stream and Tenechaco estuary is presented. Physicochemical parameters of the water in the Lirio stream and Tenechaco estuary were analyzed, the influence of its discharge in the Tenechaco estuary was determined, thus reducing the information to a simpler and more understandable expression, and a rehabilitation of this water source is proposed through reforestation with red mangrove (*Rhizophora mangle*), marsh lily (*Crinum americanum*) and reed (*Schoenoplectus californicus*).

**Keywords:** Quality, physicochemical, rehabilitation, reforestation, estuary, modified stream.

---

# ÍNDICE

DEDICATORIA .....	i
AGRADECIMIENTOS .....	iv
RESUMEN .....	viii
ABSTRACT.....	ix
ÍNDICE .....	x
ÍNDICE DE TABLAS .....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. ANTECEDENTES.....	3
2.2 Rehabilitación y restauración.....	3
2.2 El tratamiento de aguas residuales y sus técnicas de tratamiento .....	5
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	6
IV. JUSTIFICACIÓN .....	9
V. HIPÓTESIS.....	10
VI. OBJETIVOS .....	11
6.1 Objetivo General .....	11
6.2 Objetivos Específicos.....	11
VII. MARCO TEORICO .....	12
7.1. Agua .....	12
7. 2 Arroyos.....	12
7.2.1 Arroyos modificados. ....	13
7.3 Concepto y tipos de contaminación .....	13
7.4 Fuentes de aguas residuales .....	14
7.5 Contaminantes de importancia en el tratamiento del agua residual.....	14
7.6 Calidad del agua.....	16
7.7 Parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua residual.....	20
7.7.1 Temperatura ( $T^{\circ}$ ): .....	21

7.7.2 Potencial de hidrógeno (pH).....	22
7.7.3 Oxígeno disuelto (DO%): .....	22
7.7.4 Visibilidad:.....	23
7.7.5 Potencial de oxidación y reducción (ORP).....	24
7.7.6 Conductividad .....	24
7.7.7 Salinidad (S%): .....	25
7.7.8 TDS.....	25
7.8 Especies utilizadas en reforestación.....	26
7.8.1. Mangle rojo ( <i>Rhizophora mangle</i> ).....	26
7.8.2 Lirio de Pantano ( <i>Crinum americanum</i> ).....	33
7.8.3 Junco ( <i>Schoenoplectus californicus</i> ).....	35
VIII. METODOLOGÍA.....	39
8.1 Área de Estudio .....	39
8.2 Método .....	41
IX. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....	44
9.1 Análisis de resultados.....	44
9.1.1 Análisis de parámetros fisicoquímicos del agua.....	44
9.1.2 Siembra de plantas y estimación de área forestada .....	54
9.1.3 Discusión de Resultados .....	55
X. CONCLUSIONES .....	62
XI. RECOMENDACIONES .....	63
XII. FUENTES DE INFORMACIÓN .....	64
XIII. ANEXO .....	70
A. Datos de parámetros fisicoquímicos .....	70
B. Fotografías de monitoreo .....	75
C. Fotografías de cosecha de Lirio y Junco .....	77
D. Fotografías de siembras.....	79

---

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Límites permisibles.....	33
<b>Tabla 2</b> Límites permisibles para metales y cianuros.....	35
<b>Tabla 3</b> Cantidad de especies sembradas .....	72
<b>Tabla 4</b> Cantidad de sobrevivencia de especies sembradas .....	73

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Partes de Mangle colorado ( <i>Rhizophora mangle</i> ) .....	45
<b>Figura 2</b> <i>Crinum americanum</i> . a y b, habito; c, hoja, corte tansversal; d, infloescencia; e, flor; f, anteras; g, estigma; h, frutos jóvenes; i, ovario, corte longitudinal .....	50
<b>Figura 3</b> Junco ( <i>Schoenoplectus californicus</i> ) .....	53
<b>Figura 4</b> Puntos de muestreo de parámetros fisicoquímicos a lo largo de: Estero de Tenechaco Punto 1 (S1EN y F1EN) y Punto 3 (S3ES y F3ES); desembocadura de Arroyo Lirio a Estero Tenechaco Punto 2(S2EB y F2EB); Arroyo Lirio Punto 4(S4AIn), Punto 5(S5AP), Punto 6.....	57
<b>Figura 5</b> Mapa de microcuencas de Tuxpan .....	57
<b>Figura 6</b> Promedio total de ORP por muestra.....	62
<b>Figura 7</b> Promedio total de visibilidad por punto .....	63
<b>Figura 8</b> Promedio total de profundidad por punto.....	64
<b>Figura 9</b> Promedio total de OD% por muestra.....	66
<b>Figura 10</b> Promedio total de SDT por muestra .....	67
<b>Figura 11</b> Promedio total de conductividad por muestra .....	68
<b>Figura 12</b> Promedio total de Salinidad por muestra.....	69
<b>Figura 13</b> Promedio total de pH por muestra.....	70
<b>Figura 14</b> Promedio total de Temperatura por muestra .....	71
<b>Figura 15</b> Monitoreo fisicoquímico del 2 de agosto del 2021 .....	75
<b>Figura 16</b> Monitoreo fisicoquímico de 11 de octubre del 2021 .....	75
<b>Figura 17</b> Monitoreo fisicoquímico del 8 de noviembre del 2021.....	76
<b>Figura 18</b> Monitoreo fisicoquímico del 6 de diciembre del 2021 .....	76
<b>Figura 19</b> Muestreo fisicoquímico del 20 de diciembre del 2021.....	76
<b>Figura 20</b> Cosecha de Lirio ( <i>Crinum americanum</i> ) y Junco ( <i>Schoenoplectus californicus</i> ) del 19 de octubre del 2021 .....	77
<b>Figura 21</b> Cosecha Lirio Cosecha de Lirio ( <i>Crinum americanum</i> ) y Junco ( <i>Schoenoplectus californicus</i> ) del 5 de noviembre del 2021 .....	78
<b>Figura 22</b> Cosecha Lirio Cosecha de Lirio ( <i>Crinum americanum</i> ) y Junco ( <i>Schoenoplectus californicus</i> ) del 5 de noviembre del 2021 .....	78

---

<b>Figura 23</b> Siembra de semilla de Mangle ( <i>Rhizophora mangle</i> ) del 13 de agosto del 2021 .....	79
<b>Figura 24</b> Destrozos del mangle ( <i>Rhizophora mangle</i> ), por el Huracán Grace el 27 de agosto del 2021	79
<b>Figura 25</b> Siembra de semilla de mangle ( <i>Rhizophora mangle</i> ) del 27 de agosto del 2021 .....	80
<b>Figura 26</b> Siembra de semilla de mangle ( <i>Rhizophora mangle</i> ) 17 de septiembre del 2021 .....	80
<b>Figura 27</b> Siembra de Lirio ( <i>Crinum americanum</i> ) y Junco ( <i>Schoenoplectus californicus</i> ) del 27 de octubre del 2021 .....	80
<b>Figura 28</b> Siembra de Lirio ( <i>Crinum americanum</i> ) y Junco ( <i>Schoenoplectus californicus</i> ) del 9 de noviembre del 2021 .....	81
<b>Figura 29</b> Siembra de Lirio ( <i>Crinum americanum</i> ) y Junco ( <i>Schoenoplectus californicus</i> ) del 15 de diciembre del 2021 .....	82

---

## I. INTRODUCCIÓN

El agua es elemento fundamental, prácticamente fuente de toda vida, constituyendo parte integrante de todos los tejidos animales y vegetales, siendo necesaria como vehículo para el proceso de las funciones orgánicas, pero, además, es indispensable para toda una serie de usos humanos que proporcionan un mayor bienestar, desde la salud y la alimentación, hasta la industria y el esparcimiento. El agua se encuentra en la naturaleza en diversas formas y características, y cada una de ellas tiene su función dentro del gran ecosistema; el planeta Tierra, no obstante, el mayor problema del siglo XXI es la calidad y la gestión del recurso. (CONAGUA, 2015).

(Gomez, 2014) señala a las aguas residuales como el conjunto de aguas que llevan elementos extraños, bien por causas naturales, o bien provocadas de forma directa o indirecta por la actividad humana. Están compuestas por una combinación de líquidos de desagüe de viviendas, comercios, edificios de oficinas e instituciones, líquidos efluentes de establecimientos industriales, líquidos efluentes de instalaciones agrícolas y ganaderas, aguas subterráneas, superficiales y de lluvia que circulan por calles, espacios libres, tejados y azoteas de edificios que pueden ser admitidas y conducidas por las alcantarillas.

Las aguas residuales están formadas por 99% de agua y 1% de sólidos en suspensión y solución. Estos sólidos pueden clasificarse en orgánicos e inorgánicos. Los sólidos inorgánicos están formados principalmente por nitrógeno, fósforo, cloruros, sulfatos y, algunas sustancias tóxicas como arsénico, cianuro, cadmio, cromo. Los sólidos orgánicos se pueden clasificar en nitrogenados y no nitrogenados. (Hidalgo, 2008)

---

Uno de los principales cuerpos de agua que son afectados de manera inmediata por las aguas residuales son los arroyos intermitentes y los esteros ubicados dentro de zonas urbanas. Los arroyos intermitentes se encuentran entre los hábitats acuáticos más alterados por las actividades humanas. Durante el verano, incluso en condiciones sin flujo, las fuentes puntuales siguen activas, como los efluentes de aguas residuales. Los esteros son el sitio donde un río desemboca en el mar y las aguas fluviales se unen con las aguas marítimas. Las zonas costeras son de tremenda importancia para la vida en la tierra. Sin embargo, tienen ecosistemas frágiles y son susceptibles a la contaminación tal como la descarga incontrolada de aguas residuales. (Yepes, 2011)

Durante siglos, las bajas densidades poblacionales en las economías rurales prevalecientes, tenían como resultado niveles modestos de consumo de agua y la contaminación por aguas residuales era localizada. Adicionalmente, el medio ambiente natural era capaz de absorber esta pequeña carga de contaminación y por lo tanto las zonas costeras no estaban contaminadas. Hoy en día, el deterioro de la calidad del agua se ha convertido en motivo de preocupación a nivel mundial con el crecimiento de la población humana, “hoy en día el crecimiento de las zonas urbanas es motivo de preocupación ya que sobrepasa previsiones en diseños y planeamientos de servicios urbanos, alteraciones hidrológicas” (Yepes, 2011)

En el país son escasos los estudios de calidad de agua y la afectación negativa que provocan las aguas residuales en arroyos y esteros por lo que se considera relevante la valorización del mismo. Este es el mayor problema en la región, ya que las cargas orgánicas que se están depositando en los cuerpos de agua no son oxidadas y removidas, puesto que superan por mucho la capacidad de los sitios receptores, provocando eutrofización y anoxia de los sistemas, además de graves problemas de salud pública. (PAM, 2001)

---

Este estudio surge como una inquietud por recuperar los pequeños cuerpos de agua contaminados para que vuelvan a ser utilizados, ya que, como muchos otros cuerpos de agua, presenta un gran deterioro a causa de las actividades antropogénicas, y como consecuencia, afectaciones al medio ambiente, a las actividades productivas y a la calidad de vida de las personas, principalmente en las áreas que dependen de la disponibilidad del agua para el desarrollo de actividades primarias para autoconsumo es por eso que se propone evaluar con análisis y obtención de parámetros de la calidad del agua del arroyo modificado a drenaje Lirio y puntos dentro del Estero de Tenechaco, determinando la influencia sobre este último por las descargas de aguas residuales con el objeto de una propuesta para su rehabilitación.

---

## II. ANTECEDENTES

### 2.2 Rehabilitación y restauración

La rehabilitación pretende recuperar las funciones que desempeñaba el ecosistema degradado, sin que necesariamente se devuelva al estado original anterior a la degradación, es decir, el objetivo de la rehabilitación no es que el ecosistema vuelva a tener las mismas condiciones que tenía inicialmente, pero sí pretende que el sitio dañado recupere su estabilidad, que sea productivo y autosuficiente, que vuelva a desempeñar una función (aunque no sea la misma) y que se considere el uso futuro de la tierra. (EPA, 2006)

Por el contrario, en la restauración se busca devolver completamente las condiciones de los ecosistemas preexistentes a su estado original antes de haber sido afectados (Mas, 2011). Sin embargo, es difícil lograr una restauración total pues no es posible conocer las condiciones originales de un ecosistema por los cambios que sufren los suelos, la hidrología, las formas de relieve, etc., es por ello que la restauración es un objetivo aspiracional que no es totalmente alcanzable en la mayoría de los casos. (EPA, 2006)

Debido a lo anterior, el concepto utilizado para el presente estudio es el concepto de rehabilitación porque el cuerpo de agua seguirá siendo utilizado como drenaje; Restaurarlo no es aplicable pues implicaría que el origen del cuerpo de agua fuera natural para devolverlo a su estado inicial.

Asimismo, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, en el informe titulado “*Planeta muerto, planeta vivo - Diversidad biológica y restauración de ecosistemas para el desarrollo sostenible*”, señala que la reparación y rehabilitación de los ecosistemas no solo tiene beneficios ambientales, sino que también aporta beneficios sociales como proporcionar seguridad alimentaria, promoviendo el desarrollo económico, además de apoyar a los objetivos internacionales de reducir la pérdida de biodiversidad (UNEP, 2010)

---

La rehabilitación en cuerpos de agua como los arroyos según (FONSECA, 2017) contribuye a que estos reservorios de agua sigan proporcionando servicios ecosistémicos, alimento y refugio a especies faunísticas locales y migratorias, a la conservación de especies vegetales, a la recarga de mantos acuíferos y la conservación del suelo, además de brindar beneficios paisajísticos al generar ambientes agradables que embellecen el paisaje y hace posible la recreación y el desarrollo local. Es por ello que rehabilitar se vuelve una necesidad para aquellas comunidades que buscan recuperar cuerpos de agua contaminados que han perdido su funcionamiento, y que además representan un obstáculo económico y ambiental, el cual, si se atiende adecuadamente puede volver a albergar un sistema ecológico autosuficiente.

---

## 2.2 El tratamiento de aguas residuales y sus técnicas de tratamiento

En el tratamiento de aguas residuales se pretende eliminar los contaminantes hasta alcanzar los valores máximos permisibles de acuerdo a las normas y estándares nacionales o internacionales. En virtud de la diversidad de contaminantes que se pueden presentar en las aguas residuales, la forma de tratarlos es también muy amplia, y, por ende, las técnicas que se utilizan en estos procesos son diversas, éstas se clasifican según su operación, en convencionales y alternativas. En el caso de las técnicas convencionales se refieren aquellas aceptadas sin discusión al interior de un grupo social como si estuviera convenido o pactado y que se asume por costumbre, e incluso, llega a tomarse como la norma; en contraposición, lo alternativo, se refiere a todo aquello que se contrapone a lo convencional, pero que es capaz de alternar con las mismas o semejantes funciones y resultados. Bajo estas premisas, las tecnologías convencionales son aquellas usadas por la gran mayoría de la población, para atender las necesidades productivas y de la vida cotidiana, mientras que las alternativas surgen ante las insuficiencias de las tecnologías convencionales, hasta que algunas de ellas alcanzan a desplazar a las establecidas, en un proceso dialéctico de constante cambio. (Díaz-Cuenca, Alavarado-Granados, & Camacho-Calzada, 1, enero-junio, 2012)

Para esas condiciones, se han generado tecnologías alternativas que en esencia también limpian el agua de los compuestos orgánicos biodegradables a partir del manejo de humedales, pero in situ, del mismo lugar donde se generan y a escala reducida, con posibilidad de su reuso inmediato, para ofrecer cierto nivel de autosuficiencia, en condiciones que limitan el uso de sustancias químicas, las cuales pueden ser nocivas para el sistema microbiano, lo cual implica una cultura distinta en el uso del agua. (Díaz-Cuenca, Alavarado-Granados, & Camacho-Calzada, 1, enero-junio, 2012)

---

Ante dichas características se eligió tomar las tecnologías alternativas para el caso de estudio, debido a que se trata de descargas dispersas que no cuenta con un colector, por su ubicación topográfica; los recursos financieros de las colonias son escasos y, sobre todo, porque son respetuosas a la naturaleza, al considerar el aprovechamiento de ésta más que sacar ventajas de ella.

La técnica de rehabilitación de tramos de arroyos de (Brian Kronvang, 1997) nos da la idea de implementar la reforestación del arroyo Lirio comprende un método destinado a mejoras locales de tramos de arroyos a lo largo de las orillas para estabilizarlas y crear refugios para los peces, creando mejores hábitats para los animales y las plantas.

---

### **III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El deterioro de la calidad del agua se ha convertido en motivo de preocupación a nivel mundial, debido al crecimiento de la población humana, la expansión de la actividad industrial, agrícola y la amenaza del cambio climático como causa de importantes alteraciones en el ciclo hidrológico. Esto se traduce en muchos costos económicos: la degradación de los servicios de los ecosistemas, los costos relacionados con la salud, los impactos en las actividades económicas, el aumento de los costos de tratamiento de agua y la reducción de los valores de propiedad, entre otros. La crisis del agua no es un problema de escasez sino de gestión implica que los procesos de gestión no son solamente de almacenamiento y distribución, sino que también debe atenderse el cuidado de la calidad del recurso y su administración (BCN, 2016).

En México la gestión del agua aún no ha alcanzado los niveles deseados que permitan conseguir la sustentabilidad del recurso, ya que la falta de datos sistemáticos y el bajo conocimiento sobre los ecosistemas acuáticos limitan una evaluación exacta y detallada del alcance del problema y es un obstáculo serio a la gestión de los recursos hídricos en el país. La red de monitoreo existente es insuficiente para caracterizar adecuadamente nuestros recursos hídricos y en particular la calidad de dichas aguas (Martínez, 2009).

El estado de Veracruz se caracteriza por disponer de una gran cantidad de recursos hídricos en comparación con otras entidades de la república; 14 de los ríos más importantes registran niveles importantes de contaminación debido principalmente a las descargas industriales, agrícolas y municipales de aguas residuales sin tratamiento o con tratamiento deficiente (Consejo del sistema veracruzano del agua, 2006).

---

El desinterés de los Gobiernos Municipales y la falta de inversión futurista en materia sanitaria como plantas potabilizadoras sigue permitiendo que las descargas de aguas residuales desemboquen en arroyos cercanos como es el caso del arroyo Lirio que en su momento solo era intermitente con el paso del agua fluvial y ahora se vuelve continuo e inutilizable por la cantidad de heces fecales, orina y residuos sólidos de las viviendas de la ciudad y negocios que libremente conectan sus drenes sanitarios. Estas descargas desembocan en el Estero de Tenechaco y este a su vez en el río Tuxpan siendo un factor importante en el desequilibrio de la calidad del agua.

En la actualidad existe una preocupante falta de datos para apoyar la toma de decisiones de rehabilitación ecológica para el arroyo Lirio y el estero de Tenechaco y esto agrava la problemática para la flora y fauna de ese afluente y pone en grave riesgo a la salud de la población tuxpeña.

---

## IV. JUSTIFICACIÓN

La evaluación de la calidad del agua del arroyo Lirio es de suma importancia para proponer propuestas de rehabilitación el cual es un adelanto directamente orientado a mejorar las condiciones físicas y ecológicas en arroyos; Así mismo siendo su desembocadura en el estuario de Tenechaco se necesita conocer cuál y en qué medida es su influencia sobre este mismo.

Las aguas de desecho dispuestas en una corriente superficial sin ningún tratamiento, ocasionan graves inconvenientes de contaminación que afectan la flora, la fauna, así como la calidad de vida de los pobladores de Tuxpan. Estas aguas residuales, antes de ser vertidas en las masas receptoras, deben recibir un tratamiento adecuado, capaz de modificar sus condiciones físicas, químicas y microbiológicas, para evitar que su disposición cause los problemas antes mencionados.

Por consiguiente, es necesario evaluar y proponer acciones de rehabilitación para mejorar la calidad de las aguas que se vierten en el arroyo Lirio antes de descargar en el estuario de Tenechaco y con eso mejorar la calidad de sus habitantes más cercanos.

---

## **V. HIPÓTESIS**

Se logrará determinar la influencia del arroyo modificado a drenaje Lirio sobre el estero Tenechaco, analizando los parámetros fisicoquímicos del agua para determinar y aplicar tratamiento de biorehabilitación para mejorar la calidad del agua.

---

## **VI. OBJETIVOS**

### **6.1 Objetivo General**

Evaluar la afectación en la calidad del agua en distintas secciones del arroyo modificado como drenaje Lirio y el estuario de Tenechaco; A través de la medición de distintos parámetros fisicoquímicos del agua con la finalidad de establecer una propuesta de rehabilitación.

### **6.2 Objetivos Específicos**

- Cuantificar los parámetros fisicoquímicos del agua en siete puntos a lo largo del arroyo Lirio y parte del estuario de Tenechaco.
- Analizar la hidrología del arroyo Lirio y su conexión con el estuario de Tenechaco por medio de estadística básica y análisis multivariado.
- Colectar plantas de humedales salados propios de la región y reforestar bordes del arroyo lirio y estuario Tenechaco.
- Estimar la sobrevivencia de las plantas sembradas y estimar el área forestada.
- Establecer las opciones de remediación y restauración ecológica que se pudiesen aplicar a este tipo de sistema de drenajes urbano.

---

## VII. MARCO TEORICO

### 7.1 El agua

La sustancia que se compone por dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno (H<sub>2</sub>O) y se puede encontrar en estado sólido (hielo), gaseoso (vapor) y líquido (agua). Las propiedades físicas y químicas del agua son muy importantes para la supervivencia de los ecosistemas. (Naturales, 2015)

En el agua de los ríos, arroyos y lagos se disuelven una gran cantidad de elementos y compuestos químicos; también se mantienen en suspensión diversas sustancias sólidas insolubles y líquidos no miscibles, y albergan una multitud de especies de microorganismos. En condiciones naturales existen procesos físicos, químicos y biológicos que permiten mantener relativamente en equilibrio las concentraciones de dichas sustancias, partículas y microbiota. (S. Gómez, 2013)

### 7.2 Arroyos

Un arroyo se define como un caudal corto de agua, casi continuo. Riachuelo, arroyo y río, son los términos utilizados para diferenciar, en función del tamaño, las partes del caudal de una cuenca hidrográfica. (Valdivielso, 2011)

Al igual que los ríos, los arroyos puede desembocar en el mar, en los lagos o incluso en otro río, pero en este último caso se dice que el arroyo es una afluente del río. (Valdivielso, 2011)

---

### **7.2.1 Arroyos modificados.**

Los arroyos intermitentes se encuentran entre los hábitats acuáticos más alterados por las actividades humanas. Durante el verano, incluso en condiciones sin flujo, las fuentes puntuales siguen activas, como los efluentes de aguas residuales, lo que provoca la acumulación de nutrientes y contaminantes orgánicos en el sedimento. Los sedimentos operan como una contaminación del inventario y los contaminantes se mueven a la siguiente cuenca con el primer color. Su vulnerabilidad se ve intensificada por el conflicto entre la demanda de uso del agua y la conservación de los ecosistemas acuáticos. Su vulnerabilidad se intensifica por el conflicto entre la demanda de uso del agua y la conservación de los ecosistemas acuáticos. (EPA, 2022)

### **7.3 Concepto y tipos de contaminación**

Contaminación es la acción y efecto de introducir materias o formas de energía, o inducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica. (Gallego, 2005) Dado que el agua rara vez se encuentra en estado puro, la noción de contaminante del agua comprende cualquier organismo vivo, mineral o compuesto químico cuya concentración impida los usos benéficos del agua. (Sagardoy, 1994).

Las categorías de contaminación que impactan a los recursos hídricos se derivan de fuentes puntuales y no puntuales. Éstas afectan y alteran las características naturales de los recursos hídricos, ocasionalmente por actividades naturales, pero en su mayoría el mayor de los impactos es de carácter antropogénico. (Organización Mundial de la salud, 1993)

Dependiendo de su origen existen dos tipos de contaminación de las aguas:

- *Contaminación puntual:* es aquella que descarga sus aguas en un cauce natural, proviene de una fuente específica, como suele ser un tubo o dique. En este punto el agua puede

---

ser medida, tratada o controlada. Este tipo de contaminación está generalmente asociada a las industrias y las aguas negras municipales.

- *Contaminación difusa*: es el tipo de contaminación producida en un área abierta, sin ninguna fuente específica; este tipo de contaminación está generalmente asociada con actividades de uso de tierra tales como, la agricultura, urbanizaciones, pastoreo y prácticas forestales.

La contaminación puntual es fácil de eliminar, si se cuenta con los medios para almacenar el agua vertida, contaminada y tratarla. En el caso de la contaminación difusa, su control es más difícil debido a su naturaleza intermitente y su mayor cobertura. (Organización Mundial de la salud, 1993)

#### **7.4 Fuentes de aguas residuales**

Las AR están compuestas por las aguas usadas y los sólidos que por uno u otro medio se introducen en las tuberías y son transportadas mediante los sistemas de alcantarillado. En general, se consideran aguas residuales domésticas (ARD) los líquidos provenientes de las viviendas o residencias, edificios comerciales e institucionales, por su parte, las aguas residuales industriales (ARI) son provenientes de las descargas de industrias de manufactura. También se acostumbra denominar aguas negras a las AR provenientes de inodoros, es decir, aquellas que transportan excrementos humanos y orina, ricas en sólidos suspendidos, nitrógeno y coliformes fecales. Y aguas grises a las AR provenientes de tinas, duchas, lavamanos y lavadoras, aportantes de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Sólidos Suspendidos (SS), fósforo, grasas y coliformes fecales (Rojas, 1999)

---

## 7.5 Contaminantes de importancia en el tratamiento del agua residual

Las normas que regulan los tratamientos secundarios están basadas en las tasas de eliminación de la materia orgánica, sólidos en suspensión y patógenos presentes en el agua residual. Gran parte de las normas implantadas recientemente, más exigentes, incluyen el control de la eliminación de nutrientes y de los contaminantes prioritarios. Cuando se pretende reutilizar el agua residual, las exigencias normativas incluyen también la eliminación de compuestos orgánicos refractarios, metales pesados y, en algunos casos, sólidos inorgánicos disueltos. (Hidalgo, 2008)

- **Sólidos en suspensión:** Los sólidos en suspensión pueden dar lugar al desarrollo de depósitos de fango y de condiciones anaerobias cuando se vierte aguas residuales sin tratar al entorno acuático.
- **Materia orgánica biodegradable:** Compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos, grasas animales, la materia orgánica biodegradable, se mide en la mayoría de las ocasiones en función del DBO (Demanda bioquímica de oxígeno) y de la DQO (Demanda química de oxígeno). Si se descargan en entorno sin tratar su estabilización biológica puede llevar al agotamiento de los recursos naturales de oxígeno y al desarrollo de condiciones sépticas.
- **Patógenos:** Pueden transmitirse enfermedades contagiosas por medio de los organismos patógenos presentes en el agua residual.
- **Nutrientes:** Tanto el nitrógeno como el fósforo junto con el carbón son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando se vierten al entorno acuático estos nutrientes pueden favorecer el crecimiento de una vida acuática no deseada. Cuando se vierten al terreno en cantidades excesivas también pueden provocar la contaminación de las aguas subterráneas.

- 
- **Contaminantes prioritarios:** Son compuestos orgánicos o inorgánicos determinados en base a su carcinogenicidad, mutagenicidad, teratogenicidad o toxicidad aguda conocida o sospechada. Muchos de estos compuestos se hallan presentes en el agua residual.
  - **Materia orgánica refractaria:** Esta materia orgánica tiende a ser resistir los métodos convencionales de tratamiento. Ejemplos típicos son los agentes tensoactivos los fenoles y los pesticidas agrícolas.
  - **Metales pesados:** los metales pesados son frecuentemente, añadidos al agua residual en el curso de cierta actividad comercial e industriales, y puede ser necesario eliminarlos si se pretende reutilizar el agua residual
  - **Sólidos inorgánicos disueltos:** Los constituyentes inorgánicos tales como el calcio, sodio y los sulfatos se añaden al agua de suministro como consecuencia del uso del agua, y es posible que se deben eliminar si se sabe si se va a reutilizar el agua residual.

## 7.6 Calidad del agua.

La calidad del agua, de acuerdo a la Organización Mundial de la Salud y otros organismos internacionales, se puede resumir como las condiciones en que se encuentra el agua respecto a características físicas, químicas y biológicas, en su estado natural o después de ser alteradas por el accionar humano. La calidad del agua, en general, se determina comparando las características físicas y químicas de una muestra de agua con unas directrices de calidad del agua o estándares. Este concepto ha sido asociado principalmente al uso del agua para consumo humano, sin embargo, dependiendo de otros usos también se puede definir la calidad del agua en función de ello. (DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS, 2016)

La concentración de parámetros básicos como de contaminantes patógenos y parasitarios, metales y cianuros para las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, no debe exceder el valor indicado como límite permisible de acuerdo al tipo de cuerpo receptor en las Tablas 1 y 2

A continuación, se muestra los límites permisibles establecidos para Promedio Diario y Promedio Mensual en aguas residuales:

**Tabla 1** Límites permisibles

Parámetros (*) (miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	Ríos, arroyos, canales, drenes			Embalses, lagos y lagunas			Zonas marinas mexicanas			Suelo								
										Riego de áreas verdes			Infiltración y otros riegos			Cárstico		
	P.M	P.D.	V.I.	P.M	P.D.	V.I.	P.M	P.D.	V.I.	P.M	P.D.	V.I.	P.M	P.D.	V.I.	P.M	P.D.	V.I.
Temperatura (°C)	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Grasas y Aceites	15	18	21	15	18	21	15	18	21	15	18	21	15	18	21	15	18	21
Sólidos Suspendidos Totales	60	72	84	20	24	28	20	24	28	30	36	42	100	120	140	20	24	28
Demanda Química de Oxígeno	150	180	210	100	120	140	85	100	120	60	72	84	150	180	210	60	72	84
Carbono Orgánico Total*	38	45	53	25	30	35	21	25	30	15	18	21	38	45	53	15	18	21
Nitrógeno Total	25	30	35	15	25	30	25	30	35	NA	NA	NA	NA	NA	NA	15	25	30
Fósforo Total	15	18	21	5	10	15	15	18	21	NA	NA	NA	NA	NA	NA	5	10	15
Huevos de	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1								

Parámetros (*) (miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	Ríos, arroyos, canales, drenes			Embalses, lagos y lagunas			Zonas marinas mexicanas			Suelo								
										Riego de áreas verdes			Infiltración y otros riegos			Cárstico		
	P.M	P.D.	V.I.	P.M	P.D.	V.I.	P.M	P.D.	V.I.	P.M	P.D.	V.I.	P.M	P.D.	V.I.	P.M	P.D.	V.I.
Helminthos (huevos/litro)																		
<i>Escherichia coli</i> , (NMP/100 ml)	250	500	600	250	500	600	250	500	600	250	500	600	250	500	600	50	100	200
Enterococos fecales* (NMP/100 ml)	250	400	500	250	400	500	250	400	500	250	400	500	250	400	500	50	100	200
pH (UpH)	6 – 9																	
Color verdadero	Longitud de onda									Coeficiente de absorción espectral máximo								
	436 nm									7,0 m <sup>-1</sup>								
	525 nm									5,0 m <sup>-1</sup>								
	620 nm									3,0 m <sup>-1</sup>								
Toxicidad aguda (UT)	2 a los 15 minutos de exposición																	
N.A: No Aplica P.M: Promedio Mensual P.D: Promedio Diario V.I: Valor Instantáneo																		

Parámetros (*) (miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	Ríos, arroyos, canales, drenes			Embalses, lagos y lagunas			Zonas marinas mexicanas			Suelo								
										Riego de áreas verdes			Infiltración y otros riegos			Cárstico		
	P.M	P.D.	V.I.	P.M	P.D.	V.I.	P.M	P.D.	V.I.	P.M	P.D.	V.I.	P.M	P.D.	V.I.	P.M	P.D.	V.I.

NMP: Número más probable

UpH: Unidades de pH

UT: Unidades de Toxicidad

\* Si Cloruros es menor a 1000 mg/L se analiza y reporta DQO.

\* Si Cloruros es mayor o igual a 1000 mg/L se analiza y reporta COT.

\* Si la conductividad eléctrica menor a 3500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  se analiza y reporta *E. coli*.

\* Si la conductividad eléctrica es mayor o igual a 3500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  se analiza y reporta Enterococos fecales.

Las determinaciones de Conductividad eléctrica y de Cloruros no requieren la acreditación y aprobación de la entidad correspondiente.

**Fuente:** (SEMARTNAT, 2021)

**Tabla 2** Límites permisibles para metales y cianuros

(SEMARTNAT, 2021)	Ríos, arroyos, canales, drenes			Embalses, lagos y lagunas			Zonas marinas mexicanas			Suelo								
										Riego de áreas verdes			Infiltración y otros riegos			Cárstico		
	P.M	P.D.	V.I.	P.M	P.D.	V.I.	P.M	P.D.	V.I.	P.M	P.D.	V.I.	P.M	P.D.	V.I.	P.M	P.D.	V.I.
Arsénico	0,2	0,3	0,4	0,1	0,15	0,2	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4	0,1	0,15	0,2	0,1	0,15	0,2
Cadmio	0,2	0,3	0,4	0,1	0,15	0,2	0,2	0,3	0,4	0,05	0,075	0,1	0,1	0,15	0,2	0,05	0,075	0,1
Cianuro	1	2	3	1	1,5	2	2	2,50	3	2	2,5	3	1	1,50	2	1	1,5	2

(SEMART NAT, 2021)	Ríos, arroyos, canales, drenes			Embalses, lagos y lagunas			Zonas marinas mexicanas			Suelo								
										Riego de áreas verdes			Infiltración y otros riegos			Cárstico		
	P.M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.	P. M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.	P. M.	P.D.	V.I.
Cobre	4	5	6	4	5	6	4	5	6	4	5	6	4	5	6	4	5	6
Cromo	1	1,25	1,5	0,5	0,75	1	1	1,25	1,5	0,5	0,75	1	0,5	0,75	1	0,5	0,75	1
Mercurio	0,0 1	0,01 5	0,0 2	0,00 5	0,00 8	0,0 1	0,0 1	0,01 5	0,0 2	0,00 5	0,00 8	0 01	0,00 5	0,00 8	0,0 1	0,0 05	0,0 08	0,0 1
Níquel	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4
Plomo	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4	0,5	0,75	1	0,5	0,75	1	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4
Zinc	10	15	20	10	15	20	10	15	20	10	15	20	10	15	20	10	15	20
<b>Parámetros medidos de manera total</b>	<b>P.M: Promedio Mensual</b> <b>P.D: Promedio Diario</b> <b>V.I: Valor Instantáneo</b>																	

Fuente: (SEMARTNAT, 2021)

### 7.7 Parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua residual.

La composición, al igual que la cantidad de aguas residuales, sufre también variaciones respecto al tiempo. Varía en el transcurso de las distintas horas del día, en función de los días de la semana y se presentan variaciones estacionales.

Tres grupos de caracteres se pueden tener en cuenta para los diferentes componentes del agua:

- 
- Físicos
  - Químicos
  - Biológicos

A continuación, se describe brevemente la importancia relativa de cada uno de los parámetros utilizados en nuestro monitoreo:

### ***7.7.1 Temperatura ( $T^{\circ}$ ):***

La temperatura del agua es un factor muy importante debido a que influye en el desarrollo de la vida acuática, las reacciones químicas y la velocidad de reacción, así como también en el consumo del agua. A altas temperaturas la solubilidad del oxígeno disminuye mientras que las velocidades de reacción química aumentan, lo cual resulta es una disminución de la concentración de oxígeno disuelto en el agua y representa un problema para las formas de vida presentes. (Valdez, 2010)

El aumento de temperatura disminuye la solubilidad de gases (oxígeno) y aumenta, en general, la de las sales. La temperatura se mide con un termómetro, donde el resultado de la medición en  $^{\circ}\text{C}$  del agua residual puede ser semejante al del cuerpo receptor. (Haydee, 2007)

La temperatura de un agua se establece por la absorción de radiación en las capas superiores del líquido. Las variaciones de temperatura afectan a la solubilidad de sales y gases en agua y en general a todas sus propiedades, tanto químicas como microbiología. (Marin, 2000)

Este parámetro está directamente relacionado a la localización geográfica de determinada área de estudio, por ejemplo; el clima en Tuxpan, Veracruz se caracteriza por ser tropical y tener una temperatura promedio anual de  $24^{\circ}\text{C}$ , sin embargo, como valor representativo es posible decir que la temperatura media anual del agua residual varía entre  $10$  y  $21^{\circ}\text{C}$  con un promedio  $21$  de  $15.6^{\circ}\text{C}$ . (ARÉVALO, 2021)

---

La importancia de este parámetro radica en su influencia tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidad de reacción que se pueden presentar. Algunas de las consecuencias del incremento abrupto de la temperatura conducen a un fuerte aumento de la mortalidad de especies acuáticas y a una indeseada proliferación de plantas acuáticas y hongos. (ARÉVALO, 2021)

### ***7.7.2 Potencial de hidrógeno (pH):***

Este parámetro puede variar con las estaciones del año e incluso durante lapsos más cortos en el día. Usado para determinar la acidez o basicidad de una solución, el pH óptimo de las aguas superficiales debe estar entre 6.5 y 8.5, es decir, entre neutra y ligeramente alcalina. Las aguas de pH menor de 6.5 son corrosivas debido al anhídrido carbónico, ácidos o sales ácidas que tienen en disolución. El descenso de pH puede ser un indicador de lluvias ácidas, de escorrentía de suelos ácidos o contaminación por desechos ambientales. Cuando presenta valores mayores a 10 o menores a 4 son considerados letales para los peces y otros organismos (Soto, 2010)

Según la (NOM-002-ECOL-1996) El rango permisible de pH (potencial hidrógeno) en las descargas de aguas residuales es de 10 (diez) y 5.5 (cinco puntos cinco) unidades, determinado para cada una de las muestras simples. Las unidades de pH no deberán estar fuera del intervalo permisible, en ninguna de las muestras simples.

La medición del pH del agua es muy importante para muchos tipos de muestra. Los valores altos y bajos de pH son tóxicos para organismos acuáticos, ya sea directa o indirectamente. Es el parámetro más importante utilizado en la evaluación de las propiedades corrosivas de un medio ambiente acuático.

---

### **7.7.3 Oxígeno disuelto (DO%):**

La presencia de oxígeno en el agua es indispensable para la vida acuática y depende de las condiciones ambientales, ya que su cantidad aumenta al disminuir la temperatura o aumentar la presión. La presencia de materia orgánica requiere de agentes microbianos que la degraden. Estos microorganismos usan el oxígeno para su respiración, por lo tanto, a mayor cantidad de materia orgánica mayor es el número de microorganismos que elevan el consumo de oxígeno. La falta de oxígeno causa la muerte de peces y otros animales acuáticos. Por ello es importante que no se consuma totalmente por las sustancias orgánicas descargadas a un río. El análisis de oxígeno disuelto es una prueba clave en la determinación de la contaminación del agua (NMX-AA-012-SCFI-2001). El oxígeno (O<sub>2</sub>) procedente de la atmósfera se disuelve directamente en las aguas superficiales, o se genera mediante la fotosíntesis en las capas superiores iluminadas. Con el aumento de la profundidad, el O<sub>2</sub> disminuye, en parte, al ser consumido por la respiración de microorganismos y de otro lado, por la descomposición microbiana de los detritos orgánicos y por el fenómeno de absorción. Su índice de saturación en el agua de mar con una salinidad de 27.1 ‰, temperatura de 25°C y presión de 1 atmósfera, es de 7.08 mg/l (4.96 ml/l). La evaluación del oxígeno disuelto (OD) en todo sistema de agua natural, es de importancia fundamental para conocer la distribución de organismos en los océanos, para los estudios de descomposición de materia orgánica y para la de productividad de los mismos. (Instituto de Investigaciones marinas y costeras “José Benito Vives De Andrés” INVEMAR, 2003)

### **7.7.4 Visibilidad:**

Es la estimación de la penetración luminosa en el agua. A partir de esta variable se pueden conocer otros parámetros, como la profundidad de compensación (aproximadamente 2,5 veces la profundidad de visión del disco de Secchi), la turbidez del agua, la zona fótica o la extinción luminosa. Cuanto menor sea la visibilidad menos se verán los objetos que en condiciones óptimas nuestra vista alcanzaría a divisar. (Quijandria, 2022)

---

### **7.7.5 Potencial de oxidación y reducción (ORP):**

Es una medida electrónica, en milivoltios (mV), de la capacidad de una sustancia química para oxidar o reducir otra sustancia química. Tanto la oxidación como la reducción son procesos químicos que implican la transferencia de electrones entre moléculas (ganar o perder un electrón). Por lo tanto, el ORP mide el potencial de cuando ocurren estas reacciones en el medio. Por lo tanto, el ORP mide el potencial de cuando ocurren estas reacciones en el medio. (Technologies, 2022)

Muchas normas nacionales e internacionales establecen valores mínimos de potencial redox que debe tener el agua que regulan (en general, se considera que la desinfección es exitosa cuando el ORP es mayor a +600 mV) en agua potable, pero para aguas salinas es de 350 y 400 mV. La concentración de oxígeno disuelto influye tanto en el potencial redox mismo como en el tipo de reacciones biológicas que predominan en el agua residual, un electrodo para medir ORP constituye un buen medidor en línea para monitorear y asegurar que las reacciones deseadas ocurran en el reactor biológico; por ejemplo, la generación de sulfuro de hidrógeno ocurre en un intervalo de -250 a -50 mV, la formación de metano, de -400 a -175 mV y la degradación aerobia de desechos orgánicos a potenciales de +50 a +250 mV. (Technologies, 2022)

### **7.7.6 Conductividad**

La conductividad es una medida de la capacidad de una solución para conducir la corriente eléctrica y aumenta con la concentración iónica, por lo que se utiliza para estimar la mineralización global del agua. Crece junto con el aumento de los SDT y salinidad. Generalmente, se mide en micro siemens.cm<sup>2</sup> y es afectada por la temperatura. A temperaturas más altas, aumenta la conductividad del agua. Asimismo, la contaminación de los sistemas acuáticos superficiales por lo general está asociada a un incremento de los valores de conductividad. En nuestro país la conductividad suele estar directamente correlacionada con la

---

concentración de carbonato de calcio, medida que se obtiene a través de la alcalinidad. (Noticias por Aguas Urbanas Interdisciplinarias, 2022)

#### **7.7.7 Salinidad (S%):**

Cuando en el agua el constituyente principal es cloruro de sodio y la concentración es mayor de lo usual, se dice que el agua es salina. La salinidad se puede expresar como número de gramos por kilogramo de muestra; por ello se expresa en partes por mil  $^0/_{00}$ . (Rojas, 1999)

La medida de la salinidad supone que la muestra contiene agua de mar. Los métodos estándar la definen como los sólidos totales en el agua cuando todos los carbonatos han sido convertidos en óxidos, todos los bromuros y yoduros han sido reemplazados por una cantidad equivalente de cloruros y toda la materia orgánica ha sido oxidada. Numéricamente es menor que los sólidos disueltos, o residuo filtrable, y es un valor importante en aguas de mar y ciertos residuos industriales. (Rojas, 1999)

#### **7.7.8 TDS**

TDS es la abreviatura en inglés de “Total Dissolved Solids”, en español, «Total de Sólidos Disueltos» y lo que hacen los lectores de TDS es medir la concentración total de los sólidos disueltos en el agua. Los sólidos disueltos totales (SDT) comprenden las sales inorgánicas, también llamadas macroconstituyentes (principalmente de calcio, magnesio, potasio, sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y pequeñas cantidades de materia orgánica que están disueltas en el agua. La relevancia de los macroconstituyentes de un sistema acuático radica en su influencia sobre la presión osmótica interna de los organismos y en los equilibrios iónicos del medio externo. Las concentraciones de los macroconstituyentes se correlacionan con la conductividad del agua (Ramírez, 1997). Por tanto, un aumento de los sólidos disueltos totales indica un aumento de la conductividad del agua.

---

## 7.8 Especies utilizadas en reforestación

### 7.8.1. *Mangle rojo (Rhizophora mangle)*

**Nombres comunes en México.** Candelón (Ver., Col., Sin.) ; Mangle ; Mangle colorado ; Mangle dulce (B.C., Oax.) ; Mangle rojo ; Mangle tinto (Ver.) ; Tabché , Tapché , Xtabché (l. maya, Yuc.). Sinonimia. *Rhizophora americana* Nutt. ; *Rhizophora mangle* var. *samoensis* Hochr. ; *Rhizophora mangle* var. *racemosa* (G. Mey.) Engl. in C. Martius; *Rhizophora samoensis* (Hochr.) Salvoza. (CONABIO, 2019)

**Sexualidad.** Hermafrodita.

**Número cromosómico:**  $2n = 36$

**Distribución:** Especie con un amplio patrón de distribución. Se le encuentra a lo largo de las costas del Golfo, el Pacífico y el Caribe, en latitudes tan extremas como Isla San Esteban en Baja California o Huixtla, en el sur de Chiapas. En la vertiente del Golfo se presenta desde Tamaulipas hasta Yucatán y Quintana Roo y en la vertiente del Pacífico desde Baja California Sur, Sonora hasta Chiapas. Altitud: nivel del mar. (CONABIO, 2019)

### Descripción

- **Forma.** Arbol o arbusto perennifolio, halófito, de 1.5 a 15 m (hasta 30 m) de altura con un diámetro a la altura del pecho de hasta 50 cm.
- **Copa / Hojas.** Copa redondeada. Hojas opuestas, simples, pecioladas, elípticas a oblongas, aglomeradas en las puntas de las ramas, de 8 a 13 cm de largo por 4 a 5.5 cm de ancho, coriáceas, lisas, gruesas; verde oscuras en el haz y amarillentas con puntos negros en el envés.
- **Tronco / Ramas.** Tronco recto. Ramas apoyadas en numerosas raíces aéreas de origen

---

adventicio, simples o dicotómicamente ramificadas, con numerosas lenticelas.

- **Corteza.** Externa de color olivo pálido con manchas grises, pero si se raspa adquiere un color rojo, inolora, amarga, dura, de textura lisa a rugosa y apariencia fibrosa, se desprende fácilmente en escamas. Interna de color rojo intenso, granulosa (con alto contenido de fibras y esclereidas). La corteza forma lenticelas hipertrofiadas en las partes sumergidas de tallos y raíces. Grosor total: 20 a 30 mm.
- **Flor(es).** Inflorescencias simples, con 2 ó 3 flores, pedúnculos de 3 a 5 cm, flores actinomorfas; corola de 1.8 cm de diámetro; cáliz de 1.54 cm de diámetro; sépalos 4, persistentes, amarillos, coriáceos, gruesos, de 4.1 mm de ancho; pétalos 4 no persistentes, blancos o amarillentos en la base y moreno rojizos arriba, de 2.6 mm de ancho.
- **Fruto(s).** Baya de color pardo, coriácea, dura, piriforme, farinosa, de 2 a 3 cm de largo por 1.5 cm de ancho en la base, cáliz persistente. Se desarrolla una semilla, rara vez dos, por fruto.
- **Semilla(s).** Una sola semilla germina en el interior del fruto (viviparidad). Los propágulos son frecuentemente curvos, de color verde a pardo en la parte inferior y presentan numerosas lenticelas. Miden de 22 a 40 cm de largo por 1 a 2 cm de diámetro en su parte más ancha y pesan aproximadamente 50 g.
- **Raíz.** Raíces fulcreas, ramificadas, curvas y arqueadas. Destacan las modificaciones de sus raíces en prolongaciones aéreas del tallo como zancos o prolongaciones cortas que emergen del suelo llamadas neumatóforos. (CONABIO, 2019)

---

**Hábitat:** Especie característica de los litorales donde forma a menudo masas puras en las zonas intermareales de lagunas costeras y esteros con influencia de agua salada. Crece en ambientes de continuo movimiento de agua y salinidad variable (hipersalino a salobre). Su mejor desarrollo es en litorales someros, con poca pendiente donde la marea entra con mayor facilidad. Se desarrolla en los sitios protegidos contra la acción del oleaje fuerte. Los manglares más productivos se desarrollan en estuarios con lodo fino, compuesto de cieno, arcilla y alto porcentaje de materia orgánica. Los suelos en los manglares de *Rhizophora* contienen generalmente mayores porcentajes de materia orgánica comparado con los suelos de *Avicennia* reportándose cantidades promedios de  $49.26 \pm 8$  ppm. Suelos: sustrato lodoso, turba, negro-arenoso muy húmedo, negro-arcilloso, café claro, areno-arcilloso, zona pantanosa o inundada y roca coralina. Con un pH de 6.6 cuando está saturado de agua y de 2.2 a 3 al secarse. La especificidad de su hábitat hace a los manglares muy sensibles a la perturbación. (CONABIO, 2019)

**Importancia Ecológica:** Se trata de una especie halófila facultativa. Aun cuando presenta una amplia distribución y abundancia en el país, puede considerarse una especie rara debido a la distribución restringida de su hábitat (especie estenoica). Esta especie, junto con *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa* como elementos dominantes, forma asociaciones conocidas como manglares. Típicamente es la especie de mangle ubicada en la parte de mayor influencia salina (frente del manglar) y en la que el nivel de inundación es mayor, aunque se trata de una especie con buenas capacidades para explotar hábitats con condiciones particulares diversas, pudiendo habitar en sitios con baja disponibilidad de nutrientes y baja salinidad. En lo que respecta a su densidad y abundancia de individuos mayores o iguales a 1 cm de diámetro a la altura del pecho, se presenta una gran heterogeneidad entre sitios a lo largo de ambas costas. Los sitios de latitudes más norteñas (Bahía Kino, Sonora; Tamiahua, Veracruz) presentan una menor abundancia con respecto a sitios más sureños (Chantuto, Chiapas; Centla, Tabasco.): 120 a 270 individuos/hectárea versus 4,000 a 5,000 individuos. /hectárea. (CONABIO, 2019)

---

## Aspectos Fisiológicos

- 
- **Competencia.** Aunque son muy pocas las especies que pueden sobrevivir en condiciones de salinidad y fangosidad, durante la fase de plántula, el rápido desarrollo representa una fuerte competencia por espacio. Las reservas maternas de los hipocótilos pueden tener un efecto significativo en el crecimiento de la plántula y en su habilidad competitiva. Un incremento en el área basal de *Avicennia* y *Laguncularia* en sitios fértiles, con altos contenidos de nutrientes, pueden limitar el desarrollo de *R. mangle* debido a competencia por luz (CONABIO, 2019)
- **Adaptación.** Especie de fácil adaptación a sitios salinos y anegados. Una característica sobresaliente de la especie es su complejo sistema de raíces aéreas que parten del mismo tronco o de las ramas laterales (raíces pivotantes o zancos) y que bajan para anclarse y sostenerse en los suelos anegados y fangosos. Otra característica adaptativa es la presencia de estructuras para eliminar el exceso de sal, o estructuras para respirar (neumatóforos). Se adapta a un gradiente de luz que va desde alta insolación a sitios sombreados. (CONABIO, 2019)



**Figura 1** Partes de Mangle colorado (*Rhizophora mangle*)

**Fuente:** CONABIO

---

### **Efecto(s) restaurador(es).**

Entre los principales atributos funcionales que determinan la importancia ecológica de los manglares están los siguientes:

- **Recuperación de terrenos degradados.** Los suelos donde se desarrollan han sido considerados muy fértiles, ya que presentan una alta tasa de descomposición, con una relación carbono/nitrógeno muy alto. Biológicamente constituyen reservorios de carbono y sistemas importantes en el flujo de energía. Aportan materia orgánica y nutrientes al sistema y retienen sedimentos. El contenido de carbono en el suelo por lo general es muy alto y tienen gran capacidad de almacenamiento de carbono en el tejido vegetal.
- **Conservación de suelo / Control de la erosión.** Se consideran sistemas formadores y estabilizadores de suelos. Controlan la erosión por mareas. Representan un papel importante en la protección y estabilización de la línea costera, ante la acción erosiva del mar y fenómenos atmosféricos (huracanes y ciclones). Los manglares ayudan a extender la tierra firme porque sostienen el fango que se deposita desde la tierra, avanzando hacia el océano.
- Mantienen la calidad del agua. Funcionan como filtro de algunos contaminantes. Servicio(s).

### **Servicio al ambiente**

- **Sombra / Refugio.** El manglar opera como refugio de numerosas especies animales, terrestres y acuáticas, migratorias o locales. Fuente de nutrientes -vía detritus- de una gran diversidad de organismos de diferente nivel trófico (llegan a constituir hasta el 75 % del alimento de varios heterótrofos). Los manglares cubren las tres cuartas partes de las costas tropicales y son considerados como uno de los ecosistemas más productivos del planeta, en el cual desovan entre el 40 y 70 % del total de las especies marinas y habitan no menos de 1,200 especies de animales. Ofrecen una amplia zona de protección, alimentación y reproducción a especies pesqueras de reconocido valor económico como ostión y camarón. Entre la macrofauna béntica asociada al mangle rojo destacan 3 taxa: Polycygaeta

---

(22 familias, 43 especies), Mollusca (11 familias, 17 especies) y Crustácea (20 familias y 27 especies).

- **Barrera rompevientos.**
- **Ornamental.** Tiene alto valor escénico, lo que lo hace apto para la recreación y el ecoturismo.

Utilización del mangle (*Rhizophora mangle*) en remoción de nutrientes:

- En la Universidad Autónoma De México (UNAM) se realizó una investigación con el nombre de “Balance de nutrientes en un humedal utilizando mangles (*laguncularia racemosa* y *rhizophora mangle*) integrado a estanques con camarón (*litopenaeus vannamei*)” se evaluó la capacidad de asimilación de nutrientes de dos especies de mangle (*Rhizophora mangle* y *Laguncularia racemosa*) en estanques de cultivo con camarón (*Litopenaeus vannamei*). Los estanques se sembraron con R. mangle, L racemosa y sin plántulas (control). Cada estanque contenía 20 plataformas flotantes con 720 plántulas. El agua se bombeó del estuario hacia los estanques. Se analizó el contenido de nitrógeno total y fósforo total durante el llenado y recambio de agua en los estanques, en las plántulas de mangle, en las postlarvas y camarón cosechado, alimento balanceado, fertilizante y sedimento para determinar el balance de nutrientes. El balance de flujo de nutrientes en el humedal artificial mostró una disminución en la concentración de N-P a través de las diferentes rutas de salida. Se estima que el 80% del nitrógeno total que entró a los estanques con plántulas fue removido por los mangles. Las plántulas de mangle contribuyeron a mejorar la calidad del agua a través de la remoción de nutrientes, el cual fue un factor importante para el adecuado desarrollo y la supervivencia de los camarones. La carga de nutrientes medidos en los estanques con plántulas fue inferior a las que se encontraron en el estanque control (sin plántulas). (Carmona, 2014)

- 
- Un microcosmos de manglares de flujo subsuperficial intermitentes se construyó para investigar sus capacidades en el tratamiento de las aguas residuales municipales recogidas de un local de aguas residuales de obras para el tratamiento en Hong Kong y el efecto del tiempo de retención hidráulica (TRH). Los estudios se realizaron en un invernadero y sin ningún flujo de la marea o ciclo de las mareas, con la mitad de los tanques plantados con *Kandelia candel*, y la otra mitad sin ningún tipo de plantas. La eliminación porcentual de carbono orgánico disuelto (DOC), amoníaco-N, N-inorgánico y total de Kjeldahl nitrógeno en los sistemas plantados eran de 70,43-76,38%, 76,16-91,83%, 47,89-63,37% y 75,15-79,06%, respectivamente, significativamente mayor que en el sistema sin plantar durante 6 meses de periodo de tratamiento. Más de 97% orto-fosfato y 86,65 a 91,83% de fósforo totales fueron retirados por los microcosmos plantados. La terapia de reemplazo hormonal de diez días tuvo una mejor eliminación que la de 5 días, y el mejor rendimiento se obtuvo en el microcosmos plantado con 10 días de tiempo de retención. Durante el período experimental de 6 meses, las concentraciones de todas las formas de nitrógeno en el efluente tratado se encontraban dentro de las normas para efluentes evacuados en las aguas interiores del Grupo B y de las zonas costeras con aguas abiertas. En términos de fósforo, los efluentes cumplen los estándares para efluentes vertidos en el Grupo A las aguas continentales. Estos resultados sugieren que es factible utilizar el mangle construido humedal sin flujo de las mareas como un proceso de tratamiento secundario de aguas residuales municipales. (Y. Wu, 2008)

---

### 7.8.2 Lirio de Pantano (*Crinum americanum*).

#### Distribución.

Estados Unidos (Florida, Louisiana, Texas) y México (Campeche, Tabasco, Quintana Roo, Veracruz y Yucatán); (Serna, 2002)

#### Descripción

- **Hierbas** de 50-70 cm de alto, los bulbos fusiformes hacia la porción distal, ovoides hacia la porción apical, de hasta 12 cm de largo, 4.5-5 cm de diámetro, prolongándose en un cuello de hasta 6 cm de largo.
- **Hojas** linearlanceoladas, de 36-40 cm de largo, ca. 3 cm de ancho.
- **Inflorescencia** con 6- 7 flores erectas a divergentes, el escapo de hasta 60 cm de alto;
- **flores** blancas, levemente zigomorfas, sésiles, de 21-27 cm de largo,
- **el tubo** de 14-18 cm de largo, algo arqueado hacia la porción distal;
- **lóbulos** linear-oblongos, de 7-8.5 cm de largo, ca. 1 cm de ancho;
- **estambres** curvados hacia arriba, los filamentos de 6 cm de largo, las anteras de 1-1.4 cm de largo;
- **ovario** de 2.8-3.6 cm de largo, 1-1.3 cm de diámetro, el estigma pequeño, capitado.
- **Fruto ovoide**, de 4.5-5 cm de largo, 2-3 cm de diámetro. (Serna, 2002)
- 

#### Aspectos fisiológicos

- **Altitud.** 0-10 msnm.;
- **Tipos de vegetación.** Vegetación de dunas costeras y vegetación acuática. Floración. Septiembre-noviembre;
- **Resistencia:** semiduro, hasta -9°C;
- **Exposición:** soleado a sombra ligera;
- **Tipo de suelo:** suelo rico;

- **Acidez del suelo:** ligeramente ácido a ligeramente básico, neutro;
- **Humedad del suelo:** fresco;
- **Uso:** masiva, en maceta;
- **Plantación, replantación:** todo el año;
- **Método de propagación:** dividiendo bulbos, sembrando. (Serna, 2002)



**Figura 2** *Crium americanum*. *a* y *b*, habito; *c*, hoja, corte tansversal; *d*, infloescencia; *e*, flor; *f*, anteras; *g*, estigma; *h*, frutos jóvenes; *i*, ovario, corte longitudinal.  
*Ilustración:* por Edmundo Saavedra basada en el ejemplar M. Martínez & G. Serratos 17

---

Utilización del Lirio (*Crinum americanum*) en remoción de nutrientes:

Se estudió un sistema experimental de humedales de flujo horizontal subsuperficial, con y sin recirculación, utilizando el *macrófito crinum americano*, alimentado con efluente orgánico sintético por un período de 6 meses. Los resultados mostraron que el sistema sembrado obtuvo una buena eficiencia en la remoción de nutrientes - 83,01% para fósforo y 74,25% para nitrato, y remoción de materia orgánica igual a 47,1%. Ambos sistemas mostraron una reducción en la conductividad para el primer y segundo lote y un aumento en los dos siguientes, mostrando una disminución en la absorción de sal en los dos últimos análisis. Los principales cambios fisicoquímicos ocurrieron en el tiempo de retención hidráulica igual a 12h, caracterizando una mayor tasa de actividad microbiológica en este rango temporal. En cuanto a la macrófita se encontró que hubo una buena adaptación al sustrato y al medio, ya que logró desarrollarse en las diferentes estaciones del año.

Los valores de pH, turbidez y temperatura obtenidos del efluente tratado están de acuerdo con la Resolución Conama N° 357/2005 y 430/2011, respectivamente. Sin embargo, la concentración de fósforo no alcanzó el estándar de liberación en cuerpos de agua de clase 2.

Teniendo en cuenta lo anterior, concluimos que el sistema de humedales de flujo horizontal subsuperficial que utiliza el macrófito *Crinum americano* tiene el potencial de ser utilizado como una alternativa para la remoción de contaminantes de los efluentes orgánicos, principalmente nutrientes. (Ferreira, 2018)

---

### 7.8.3 Junco (*Schoenoplectus californicus*)

*Schoenoplectus californicus*, llamada junco o totora (del quechua t'utura), es una planta herbácea perenne acuática, de la familia de las ciperáceas, común en esteros y pantanos de América del Sur. Los mapuches la llamaban vathu, lo que se españolizó a batro en Chile. Su tallo mide entre uno y tres metros, según las variedades, y tiene usos en la construcción de techos y paredes para cobertizos y ranchos, y mobiliario. Es tradicional su empleo en la construcción de embarcaciones para navegar en el lago Titicaca y en algunas playas del Perú. (CONABIO, 2012)

#### Descripción

Esta es una hierba perenne, de escaso porte, fasciculada, con raíces fibrosas.

- **El tallo** es cespitoso, erecto, liso, trígono, terete (circular en la sección transversal) o acostillado, sin presentar tuberosidades en la base.
- **Las hojas** de la sección inferior presentan vainas foliares carentes de láminas; las superiores las desarrollan ocasionalmente.
- **La inflorescencia** es un agregado simple yseudolateral de espiguillas; tiene una bráctea erecta, que semeja una continuación del tallo.
- **Las espigüelas** son hermafroditas, abundantes, sésiles, ovoides u oblongas.
- **Presenta glumas** espiraladas, deciduas, ovadas, redondas en la parte posterior, con una nervadura media fuerte y una lateral inconspicua u obsoleta;
- **La raquilla** es persistente.
- **Las flores** son hermafroditas; el perianto tiene entre 2 y 6 escamas. Los estambres son tres, y los estilos dos.
- **Los frutos** son aquenios lenticulares, biconvexos o aplanadoconvexo, lisos o transversalmente rugosos.

---

## Uso

En el lago Titicaca se acostumbraba construir las casas sobre balsas de hojas de esta especie y se tejían esteras para el servicio de gobernadores y caciques. Según la leyenda de Manco Cápac también se confeccionaba con ella orejeras como adorno personal. También es sorprendente la construcción de un puente de esta especie sobre el río Desaguadero, cerca del lago Titicaca, que fue ordenado por Cápac Yupanqui para poder cruzar con su ejército; dicho puente debía repararse cada seis meses. Además de su utilidad práctica, en las provincias del Tahuantinsuyo, se empleaba para confeccionar la insignia o bastón de mando denominado «tiana», que empleaba el jefe que tenía a su cargo diez tributarios. Esta planta de forraje es el principal insumo utilizado por los pescadores de Huanchaco y Pimentel para construir sus balsas, llamadas caballitos de totora. (CONABIO, 2012)



**Figura 3** *Junco (Schoenoplectus californicus)*

**Fuente:** Wikipedia

---

Utilización del Junco en remoción de nutrientes:

- La investigación llamada “*Phragmites australis* y *Schoenoplectus californicus* en humedales construidos: desarrollo y absorción de nutrientes” de D. López, M. Sepúlveda y G. Vidal del Grupo de Ingeniería y Biotecnología Ambiental, Facultad y Centro de Ciencias Ambientales EULA–Chile, Universidad de Concepción. Tuvo el objetivo de evaluar el desarrollo y la absorción de nutrientes por *Phragmites australis* (Phr) y *Schoenoplectus californicus* (Sch) en humedales artificiales de flujo subterráneo horizontal (HSSF) diseñados para el tratamiento de aguas residuales. Cuatro sistemas HSSF con una superficie de 4,5 m<sup>2</sup> fueron sembrados con Phr y Sch. Las aguas residuales se alimentaron durante 3 años a 1,6 a 4,8 g N m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> y 0,2 a 0,6 g P m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>. Se evaluaron los nutrientes (nitrógeno total-TN y fósforo total-TP), materia orgánica (demanda química de oxígeno-DQO) y sólidos (sólidos suspendidos totales-TSS). (D. López, 2016). La absorción de nitrógeno y fósforo fue de 7,52 g N m<sup>-2</sup> y 0,83 g P m<sup>-2</sup> para HSSF-Schyde 11,39 g N m<sup>-2</sup> y 0,23 g P m<sup>-2</sup> para HSSF-Phr. Mostrando un desarrollo de biomasa de HSSF-Sch y HSSF-Phr fueron 1782 g DW m<sup>-2</sup> y 385 g DW m<sup>-2</sup>, respectivamente. Bajo estas condiciones, las eficiencias de remoción fueron 55-63% de DQO y 88-92% de SST para HSSF-Phr y 46-66% de DQO y 83-91% de SST para HSSF-Sch. La eliminación de TN fue del 23-24 % para HSSF-Phr y del 18-23 % para HSSF-Sch. Al mismo tiempo, la eliminación de TP fue de -1 a 4% para HSSF-Phr y para HSSF-Sch fue de 9-13%.
- Investigación llamada “Eficiencia de *Schoenoplectus Californicus* y *Nasturtion Officinale* como Purificadores de Agua en el Efluente Residual de la Granja Experimental de Porcinos” con el objetivo de evaluar la eficiencia de totora (*Schoenoplectus californicus*) y berros (*Nasturtion officinale*) como purificadores de agua en el efluente residual de la granja experimental de porcinos en la ciudad Universitaria de Paturpampa-Huancavelica, para lo cual se construyó dos pozas con medidas de 1.10 metros de ancho por 2.15 metros de largo y 0.60 metros de profundidad, en cada pozo se evaluaron los siguientes parámetros: Demanda Química de Oxígeno, Oxígeno Disuelto, Conductividad Eléctrica,

---

Temperatura y Potencial de Hidrogeno, para lo cual se utilizaron equipos tales como multiparámetro portátil Hach modelo HQ40, digestor DBR 200, colorímetro Hach-DR900 y ficha de registro. La muestra estuvo conformada de 0.16 m<sup>3</sup>/día de agua residual con muestreo de tipo aleatorio. El procesamiento de datos se realizó mediante el programa Statistical Analysis System (SAS, 9.4), el resultado fue analizadas mediante la estadística descriptiva e inferencial con un nivel de significancia de 95% de confiabilidad. Los resultados obtenidos muestran un comportamiento normal  $Pr < W$ , se obtuvo como resultados 0.09 de DQO, 0.78 de OD, 0.99 de CE, 0.77 de T, 0.78 de pH, todas las pruebas presentaron normalidad mediante la prueba de Shapiro Wilk. En conclusión, la mejor eficiencia de remediación de contaminantes en el efluente residual de la granja experimental porcina fue la Totorá (*Schoenoplectus californicus*) con 78.88% y Berros (*Nasturtium officinale*) con 78.91%. (Alfredo Puma Sarmiento, 2022)

---

## VIII. METODOLOGÍA

### 8.1 Área de Estudio

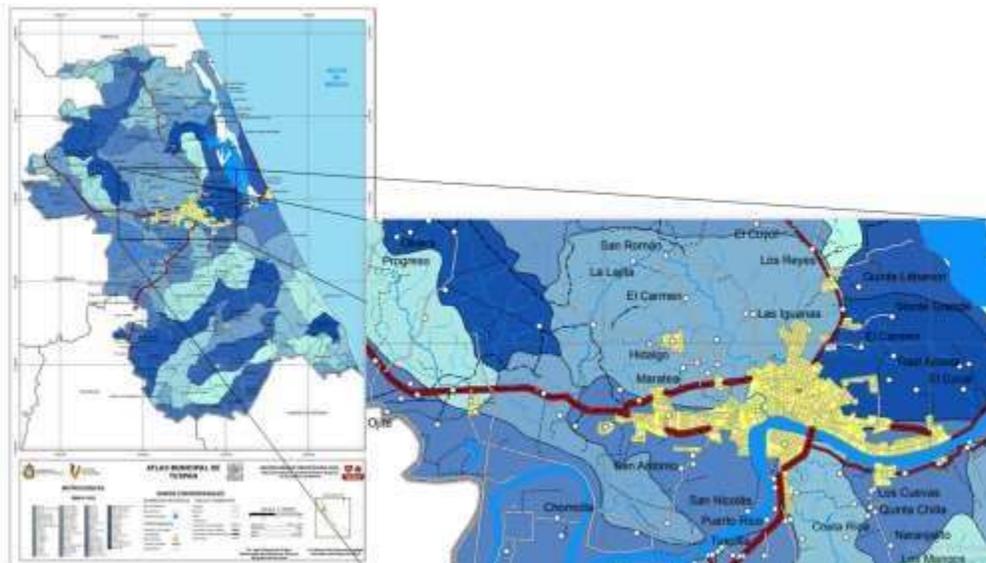
La ciudad de Tuxpan de Rodríguez Cano es un municipio del estado de Veracruz. Se localiza al norte del estado, en la región conocida como la Huasteca Baja. Esta ciudad y puerto se encuentra ubicado en el extremo norte de la entidad veracruzana a 270 km a la Ciudad de México, capital de la República Mexicana, sus coordenadas geográficas son: 20°57'46"N 97°24'01"O con altura de 10 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con Tamiahua y Naranjos, al este con el Golfo de México, al oeste con Álamo Temapache, al sur Tihuatlán y Poza Rica. Tiene una superficie de 1,051.89 km<sup>2</sup>, posee un clima tropical con una temperatura media anual de 21.1°C con lluvias en verano y a principios de otoño, presenta una precipitación media anual de 1,241 mm y ocupa el 6.º lugar de los municipios más poblados del estado teniendo tan solo en su cabecera a 84,750 habitantes. (INEGI, 2001).

El arroyo Lirio es un cuerpo de agua creciente dentro de esta zona urbana, este mismo inicia desde el fraccionamiento Petropolis pasando entre colonias como Luis Maldonado Colosio, Pisaflores, Jazmín, etc., hasta desembocar sobre en el estero Tenechaco y este a su vez desemboca en el río Tuxpan (Fig. 4).



**Figura 4** Puntos de muestreo de parámetros fisicoquímicos a lo largo de: Estero de Tenechaco Punto 1 (S1EN y F1EN) y Punto 3 (S3ES y F3ES); desembocadura de Arroyo Lirio a Estero Tenechaco Punto 2 (S2EB y F2EB); Arroyo Lirio Punto 4 (S4AI), Punto 5 (S5AP), Punto 6

A continuación, se muestra el mapa con ampliación de las microcuencas pertenecientes al municipio de Tuxpan, para identificar las dos microcuencas a las que pertenece el arroyo Lirio y estuario de Tenechaco:



**Figura 5** Mapa de microcuencas de Tuxpan

---

## 8.2 Método

La determinación de los parámetros físico-químicos del agua se realizó durante el período agosto 2021 a enero 2022. Se midió superficiales y de fondo en el Estero de Tenechaco y a media agua en el arroyo Lirio por la poca profundidad. En cada punto se realizaron mediciones de profundidad con flexómetro hasta la marca de agua. Para la medición de parámetros fisicoquímicos se determinaron las coordenadas geográficas de siete puntos de muestreo con el GPS marca Garmin.

A continuación, se presentan los puntos de muestreo (Fig.5):

- (1) Ubicado en el Estero de Tenechaco al norte de la descarga.

Punto 1	Muestra	Coordenadas
Superficial	S1EN	20°57.719N 097°25.094W
Fondo	F1EN	

- (2) Ubicado en el Estero de Tenechaco en su conexión con el arroyo Lirio.

Punto 2	Muestra	Coordenadas
Superficial	S2EB	20°57.473N 097°25.127W
Fondo	F2EB	

- (3) Ubicado en el Estero Tenechaco al sur de la descarga.

Punto 3	Muestra	Coordenadas
Superficial	S3ES	20°57.536N 097°25.010W
Fondo	F3ES	

- (4) Ubicado en el Arroyo Lirio a la altura de las casas habitación de la colonia Rosa María.

Punto 4	Muestra	Coordenadas
Media agua	S4AIn	20°57.448N 097°25.176W

(5) Ubicado en el Arroyo Lirio a la altura del puente Anastasio Bustamante de la colonia Rosa María

Punto 5	Muestra	Coordenadas
Media agua	S5AP	20°57.421N 097°25.231W

(6) Ubicado en Arroyo Lirio a la altura de la escuela primaria Josefa Ortiz de Domínguez

Punto 6	Muestra	Coordenadas
Media agua	S6AOx	20°57.303N 097°25.309W

(7) Ubicado en Arroyo Lirio entre el cruce de las calles B. Juárez y Emiliano Zapata.

Punto 7	Muestra	Coordenadas
Media agua	S7APet	20°57.247N 097°25.991W

Por medio de la sonda HI98194 previamente calibrado, se cuantifico *in situ* los siguientes parámetros físico-químicos: el potencial hidrógeno (Ph), el potencial de óxido reducción (ORP), el oxígeno disuelto (OD%), los sólidos disueltos totales (SDT), la salinidad y la temperatura (T°). Con el disco de Secchi se midió la visibilidad que proporciona una estimación de la penetración luminosa en el agua.

Se tomaron datos obtenidos para analizar los datos se utilizó estadística descriptiva utilizando el software Excel y estadística multivariada utilizando el software Minitab.

Así mismo, para la siembra se hizo la recolección de las plantas Lirio (*Crinum americanum*) y Junco (*Schoenoplectus californicus*) utilizando viveros naturales en el río Tuxpan, trasladándonos en una embarcación de tres metros de eslora con motor fuera de borda de seis caballos de fuerza marca Suzuki. Se realizaron tres viajes en donde aproximadamente se recolectaron entre 60 a 100 plantas de Lirio de pantano (*Crinum americanum*) y Junco (*Schoenoplectus californicus*) en cada

---

viaje. Para la recolección de semilla de mangle se utilizaron viveros *insitu* de mangle rojo (*Rhizophora mangle*) en el Estero Tenechaco, realizando 4 viajes recolectando así entre 50 a 100 semillas por viaje, estas mismas fueron sembradas a orillas del Arroyo Lirio y estero Tenechaco.

Se contabilizo la sobrevivencia de las plantas Lirio (*Crinum americanum*), Junco (*Schoenoplectus californicus*) y manglar rojo (*Rhizophora mangle*) para obtener el área reforestada.

---

## IX. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

### 9.1 Análisis de resultados

#### 9.1.1 Análisis de parámetros fisicoquímicos del agua

##### 9.1.1.1 Potencial de oxido reducción (ORP)

Promedio total de ORP por muestra:

Los valores de ORP con respecto a las muestras tomadas a lo largo de los siete puntos presentan una media de  $-75.73\text{mV}$  con un máximo de  $59.23\text{ mV}$  en la muestra (S1EN) siendo esta superficial en la parte norte del estero y una mínima de  $-211.30\text{ mV}$  en la muestra (M4AIn) siendo esta dentro de arroyo Lirio y desembocadura final de las aguas residuales de las colonias aledañas. Existe diferencias significativas en el ORP con respecto a las muestras, ANOVA ( $F=43.84$ ,  $p=0.000$ ), donde Tukey arroja seis grupos entre los distintos puntos, en el grupo A se encuentra la muestra (S1EN) con un ORP positivo. Sin embargo, la medida de estas aguas sugiere que no es apta para uso por sus valores reductivos debido a que el valor promedio para aguas con influencia salada según la OMS en 1971 es de 350 y 400 mV; la muestra (F1EN) representa el grupo AB con un valor negativo siendo está tomada de la parte norte del estero Tenechaco; las muestras (S2ECA), (F2ECA) y (S3ES), (F3ES) se encuentran en el grupo B con valores negativos iniciando a ser clasificada como aguas sulfato reductivas localizadas entre la conexión de arroyo Lirio y estero Tenechaco; en la muestra (M6AOx) representa el grupo C con un valor negativo siendo este dentro del arroyo Lirio, el grupo CD se encuentra la muestra (M7APet) con un valor negativo y el grupo D está conformado por las muestras (M5AP) y (M4AIn) con valores negativos, todas estas muestras fueron tomadas dentro del arroyo Lirio, estos dos últimos son los más negativos en comparación a los demás clasificándolos como anaeróbicos produciendo gases como metano. Los valores negativos son causados por la introducción de aguas residuales domésticas e industriales con gran carga orgánica de la zona al efluente, así como, factores como el pH y la temperatura. (Fig. 6)



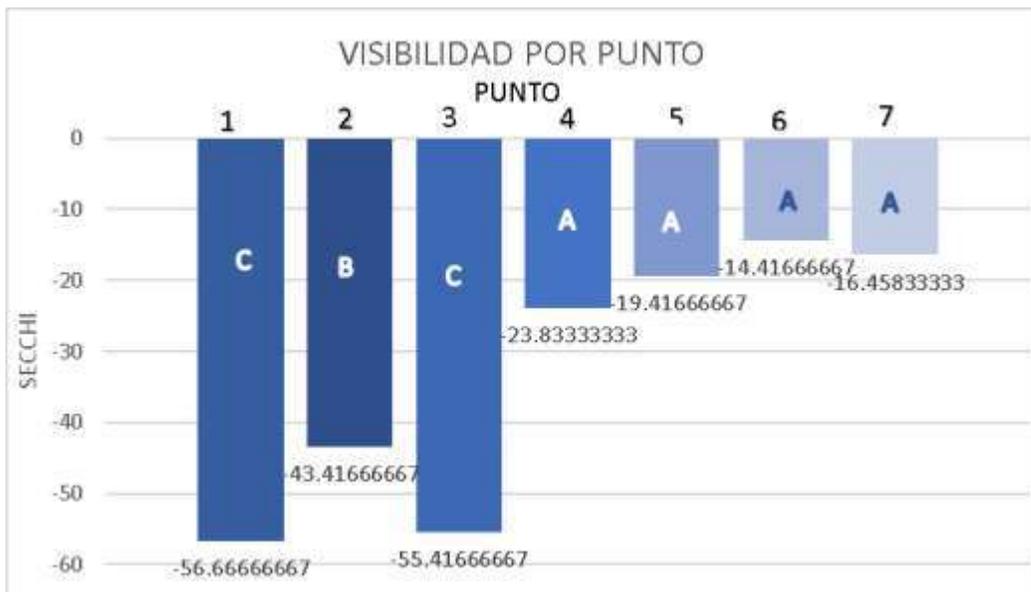
*Figura 6 Promedio total de ORP por muestra*

---

### 9.1.1.2 Disco de Secchi (Visibilidad)

Promedio total de visibilidad por punto:

Los valores de visibilidad con respecto a los siete puntos presentan una media de -32.803cm con un máximo de -56.67cm en el punto uno perteneciente a la parte norte del estero y una mínima de -14.42cm en el punto 6 siendo esta dentro del arroyo Lirio y tomando en cuenta que la medida se realizó a media agua por su bajo nivel. Existe diferencias significativas en la visibilidad del agua con respecto al punto de muestreo, ANOVA ( $F= 51.37$ ,  $p=0.000$ ), a través de Tukey se observan tres grupos distintos en el grupo A se encuentran el punto cuatro, cinco, seis y siete siendo estas pertenecientes al arroyo Lirio y tomadas a media agua por su baja profundidad, estas mantienen una visibilidad baja; en el grupo B se encuentra el punto dos tomada entre la conexión del estero y arroyo Lirio, en el grupo C se encuentra los puntos uno y tres estos siendo del estero Tenechaco y siendo las más visibles. La coloración grisácea evidencia que esta transparencia se debe a los coloides provenientes de las aguas residuales que ingresan al afluente a mayor carga de esta menos visibilidad. (Fig. 7)



**Figura 7** Promedio total de visibilidad por punto

### 9.1.1.3 Profundidad

Promedio total de profundidad por punto:

Los valores de profundidad con respecto a los siete puntos presentan una media de -1.08m con un máximo de -2.45m en el punto uno siendo este de la parte norte del estero Tenechaco y una mínima de -0.23m en el punto siete dentro del arroyo Lirio. Existe diferencias significativas en la profundidad con respecto a los puntos. ANOVA ( $F= 352.59$ ,  $p=0.000$ ), donde Tukey arroja cinco grupos, en el grupo A se encuentran el punto uno y tres con una profundidad mayor por ser dentro del estero Tenechaco, mientras que en el grupo B lo compone el punto dos siendo la conexión entre estero y arroyo presentando una disminución en su profundidad por sedimentos acumulados; en el grupo C se encuentra el punto cuatro localizado en la desembocadura del arroyo Lirio; estos punto presenta influencia en sus niveles por la entrada de mareas; en el grupo CD se encuentran los puntos cinco y seis en la parte media del arroyo Lirio, en el grupo D se encuentra el punto siete este en el principio del arroyo Lirio y el más bajo , estos grupos se encuentran en una profundidad por debajo de medio metro, pero significativamente diferentes debido a la elevación del relieve del arroyo Lirio. (Fig.8)



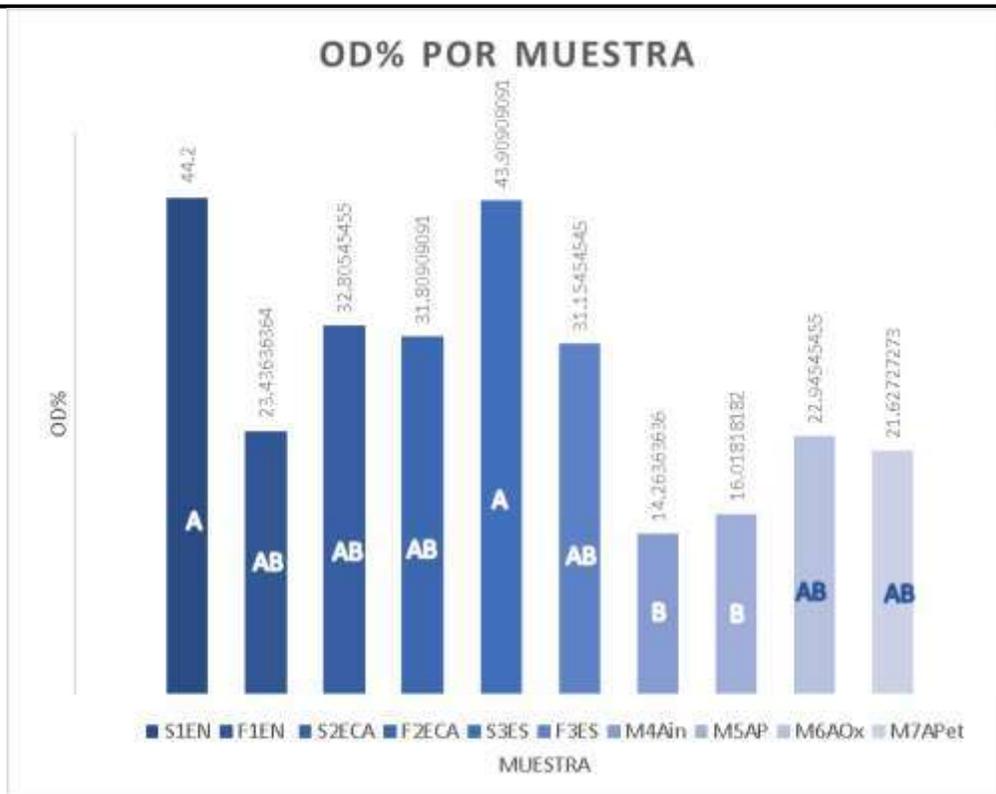
**Figura 8** Promedio total de profundidad por punto

---

#### 9.1.1.4 Porcentaje de Oxígeno disuelto (OD%)

Promedio total de OD% por muestra:

Los valores de OD% con respecto a las muestras tomadas a lo largo de los siete puntos presentan una media de 28.21% con un máximo de 44.20% en la muestra (S1EN) siendo esta perteneciente a la parte norte del estero Tenechaco y una mínima de 14.26% en la muestra (M4AIn) perteneciente al arroyo Lirio y tomada a media agua por su bajo nivel. Existe diferencias significativas en el OD% con respecto a las muestras, ANOVA ( $F=3.30$ ,  $p=0.001$ ), donde Tukey arroja tres grupos, en el grupo A las muestras (S1EN) y (S3ES) tomadas dentro del estero Tenechaco teniendo las mayores concentraciones de OD% debido a la re-aireación por turbulencia en el agua superficial; en el grupo AB se encuentran las muestras (F1EN), (F2ECA), (F3ES) dentro del estero Tenechaco, (S2ECA) conexión de arroyo y estero, (M6AOx) y (M7APet) dentro del arroyo Lirio, este grupo presenta una disminución de oxígeno, en general por ser fondo donde la posibilidad de una re-aireación y disolución de oxígeno es precaria a menos de provenir de corrientes marinas de fondo; las pertenecientes a el arroyo Lirio siendo tomadas a media agua presentarían esta disminución por el lento escurrimiento de sus aguas y factores biológicos; en el grupo B se encuentran las muestras (M5AP) y (M4AIn) siendo estas tomadas dentro del a arroyo Lirio estos datos según (Lynch, 1979) clasifican a estas aguas en el rango de contaminadas por sus niveles tan bajos de saturación de oxígeno, tomando en cuenta factores como temperatura y la influencia de la salinidad en estas muestras. (Fig. 9)



**Figura 9** Promedio total de OD% por muestra

#### 9.1.1.5 Sólidos disueltos totales (SDT)

Promedio total de SDT por muestra:

Los valores de SDT con respecto a las muestras tomadas a lo largo de los siete puntos presentan una media de 2083.8 con un máximo de 3294 en la muestra (S2ECA) perteneciente a la conexión entre arroyo y estero, y una mínima de 421 en la muestra (M6AO) perteneciente al arroyo Lirio. No existe diferencias significativas en SDT con respecto a las muestras, ANOVA ( $F=1.70$ ,  $p=0.097$ ).

(Fig.10)



**Figura 10** Promedio total de SDT por muestra

#### 9.1.1.6 Conductividad

Promedio total de conductividad por muestra:

Los valores de conductividad con respecto a las muestras tomadas a lo largo de los siete puntos presentan una media 1786.6MΩ.cm con un máximo de 2997MΩ.cm en la muestra (F2ECA) perteneciente a la conexión de estero Tenechaco y arroyo Lirio y una mínima de 939 en la muestra (M6AOx) ubicada dentro del arroyo Lirio. No existe diferencias significativas en la conductividad con respecto a las muestras, ANOVA (F=1.10, p=0.368). (Fig.11)



*Figura 11 Promedio total de conductividad por muestra*

### 9.1.1.1 Salinidad

Promedio total de Salinidad por muestra:

Los valores de Salinidad con respecto a las muestras tomadas a lo largo de los siete puntos presentan una media de 5.09PSU con un máximo de 10.13PSU en la muestra (F1EN) que se encuentra en fondo norte del estero Tenechaco y una mínima de 0.41PSU en la muestra (M6AOx) que se encuentra en el arroyo Lirio. Existe diferencias significativas en la salinidad con respecto a las muestras, ANOVA ( $F=4.62$ ,  $p=0.000$ ), donde Tukey nos arroja tres distintos grupos: En el grupo A se encuentra la muestra (F1EN) y (F3ES) con un índice de salinidad mayor de 9PSU por el ingreso de agua marina dentro del estero Tenechaco; las muestras (F2ECA), (S1EN), (S2ECA), (S3ES) y (M4AIn) conforman el grupo AB con una salinidad cercana a 7 PSU estas influenciadas por la entrada de agua marina y el grupo B conformado por la muestra (M5AP), (M7APet) y (M6AOx) con el valor entre 1 y 0 PSU estos resultados se debe a que no tienen influencia de agua marina debido a la gravedad y

el relieve del afluente. (Fig.12)



*Figura 12 Promedio total de Salinidad por muestra*

#### 9.1.1.7 Potencial de hidrogeno (pH)

Promedio total pH por muestra:

Los valores de pH con respecto a las muestras tomadas a lo largo de los siete puntos presentan una media de 7.24 con un máximo de 7.49 en la muestra (F3ES) ubicado en el fondo sur del estero Tenechaco y una mínima de 7 en la muestra (M6AOx) ubicada dentro del arroyo Lirio. Existe diferencias significativas en el pH con respecto a las muestras, ANOVA ( $F=3.32$ ,  $p=0.001$ ), donde Tukey muestra cinco grupos distintos, el grupo A es representado por la muestra (F3ES) con un pH cercano a 7.49 ubicada dentro del estero; grupo B en la muestra (F2ECA) con un pH cercano a 7.4 situado entre la conexión de estero y arroyo; en el grupo ABC se encuentran las muestras (F1EN), (S2ECA), (S3ES) pertenecientes al estero y (M4AIn), (M5AP), (M7APet) ubicadas dentro del arroyo Lirio con un pH cercano 7.3; en el grupo BC se encuentra la muestra

(S1EN) con un pH 7.08 localizada dentro del estero; en el grupo C se encuentran la muestra (M6AOx) con un pH 7.003 siendo el más bajo situado en el arroyo Lirio, los resultados obtenidos entran en los límites permisibles para aguas residuales según la NOM-250-SSA1-2014 (6.5, 8.5). No se encontraron causas de estas variaciones. (Fig.13)



**Figura 13** Promedio total de pH por muestra

### 9.1.1.8 Temperatura (T°)

Promedio total de Temperatura por muestra:

Los valores de T° con respecto a las muestras tomadas a lo largo de los siete puntos presentan una media de 27.4218C° con un máximo de 27.986 C° en la muestra F1EN y una mínima de 26.725 C° en la muestra M4AIn. No existe diferencias significativas en la temperatura con respecto a las muestras, ANOVA (F=0.24, p=0.988). (Fig.14) Pero estos resultados se encuentran entre los límites permisibles por la (NOM-001-SEMARNAT-2021)



Figura 14 Promedio total de Temperatura por muestra

---

### 9.1.1.9 Regresiones lineales

No se encontraron relaciones lineales entre las variables y parámetros. Siendo el más alto con un valor de ( $R^2$ . 0.3%)

### 9.1.2 Siembra de plantas y estimación de área forestada

A continuación, se muestra la contabilidad total de sobrevivencia de las especies sembradas a lo largo del arroyo Lirio y estero Tenechaco en el período agosto 2021 a enero 2022:

El huracán Grace tocó tierra el viernes 21 de agosto del 2021, al norte de Tecolutla Veracruz, teniendo afectaciones en el municipio de Tuxpan, Veracruz con fuertes lluvias y vientos máximos sostenidos de 140 km/h y rachas de viento de 165 km/h, causando así disturbios en la siembra de mangle del día 13 de agosto donde se sembraron la cantidad 99 semillas, dejando así solo la cantidad de 15 semillas de mangle sembradas dentro del Arroyo Lirio. A partir de ahí se realizaron tres viajes más por semilla con fechas 27 de agosto, 10 de septiembre y 17 de septiembre del 2021 en el estero Tenechaco, además de tres viajes más al río Pantepec (Tuxpan) por Lirio de pantano (*Crinum americanum*) y Junco (*Schoenoplectus californicus*) con fechas de 19 de octubre, 5 de noviembre, 14 de diciembre del 2021.

**Tabla 3** Cantidad de especies sembradas

Especie	Mangle rojo ( <i>Rhizophora mangle</i> )		Lirio de pantano ( <i>Crinum americanum</i> )	Junco ( <i>Schoenoplectus californicus</i> )
Lugar	Arroyo	Estero	Arroyo	Arroyo
Cantidad	237	89	212	59

**Tabla 4** Cantidad de sobrevivencia de especies sembradas

Especie	Mangle rojo ( <i>Rhizophora mangle</i> )		Lirio de pantano ( <i>Crinum americanum</i> )	Junco ( <i>Schoenoplectus californicus</i> )
Lugar	Arroyo	Estero	Arroyo	Arroyo
Cantidad	55	41	162	15
Promedio de supervivencia final:	32.51%		76.41%	25.42%

Así mismo, se calculó un total de 35.25 m<sup>2</sup> de área forestada a lo largo del arroyo Lirio y 7 m<sup>2</sup> de área forestada a lo largo del estero Tenechaco, sembrando estas tres especies

### 9.1.3 Discusión de Resultados

Según (Jonhson, Berbellon, & Sagardoy, 1994) toda agua rara vez se encuentra en estado puro; además de describir que la noción de contaminante del agua comprende cualquier organismo vivo, mineral o compuesto químico cuya concentración impida los usos benéficos del agua.

El 90% de la contaminación por aguas residuales vertidas a las zonas costeras es la de los ríos y arroyos que desembocan al mar. Esto hace que los estudios de cuenca hidrográfica en el manejo de la zona costera sean prioritarios, por un lado, pero las soluciones se implementan a nivel municipal, por lo que este nivel de gobierno debe ser relacionado al manejo de las aguas residuales de las cuencas donde se localizan los municipios. (PNUMA, 2001)

La ciudad de Tuxpan que es una de las ciudades más interconectada en sus cauces iniciando por arroyos hasta terminar en el Golfo de México. Entre los arroyos de Tuxpan se encuentra también los intermitentes, que están entre los hábitats acuáticos más alterados por las actividades humanas debido a su cercanía a la zona urbana como el caso del arroyo Lirio que incluso en condiciones sin flujo, la fuente puntual sigue activa como afluente de aguas residuales de colonias aledañas, lo que provoca la acumulación de nutrientes y contaminantes orgánicos en el sedimento como lo muestra los resultados de monitoreo de los siguientes parámetros:

---

La visibilidad con el disco de Secchi muestra una transparencia máxima a una distancia de - 56.67cm en el punto 1 localizado en la parte norte del Estero Tenechaco y una mínima de - 14.42cm en el punto 7 dentro del arroyo Lirio se anexa también que al observar este cuerpo de agua tenía un color grisáceo y mal olor (metano) por los coloides que se presentaban en el agua denotando la presencia de materia orgánica e inorgánica en ella, los resultados obtenidos van de acuerdo a la ubicación de los puntos donde los más visibles se encuentran dentro del estero Tenechaco y los menos visibles dentro del arroyo Lirio denotando una concentración y transporte mayor de estos coloides en el afluente Lirio hasta desembocar al estero Tenechaco influyendo uno hacia el otro por su conexión.

En la profundidad se muestra un máximo de -2.45m en el punto 1 siendo este de la parte norte del estero Tenechaco y una mínima de -0.23m en el punto 7 dentro del arroyo Lirio estas variaciones de profundidad van de acuerdo con los cuerpos de agua, su relieve, influencia de mareas y sedimentos acumulados, donde el estero tiene una profundidad mayor en los puntos (1 y 3) ubicados al norte y al sur del estero Tenechaco, estos son influidos directamente por la entrada de marea y corrientes marinas las cuales no solo influyen dentro del estero sino también en los puntos (2, 4, 5) ascendiendo y descendiendo sus profundidades; además que a lo largo de los años los sedimentos orgánicos han decantado al fondo provocando una disminución de su profundidad como lo muestra el punto 2 en la conexión de arroyo y estero donde su profundidad es de -1.38m; en los puntos sobrantes (6 y 7) se encuentran dentro de la zona urbana del arroyo y debido a la gravedad, relieve del zona y cantidad neta de las aguas residuales, su profundidad es menor.

Los sólidos disueltos totales tienen un máximo de 3294 en la muestra (S2ECA) perteneciente a la conexión entre arroyo y estero; y una mínima de 421 en la muestra (M6AO) perteneciente al arroyo Lirio. No existe diferencias significativas en SDT con respecto a las muestras, pero si se puede observar que estos valores sobrepasan a los límites permisibles de 1000 ppm que establece la (salud, 1994), al igual lo hace la OMS clasificando de 1200 ppm a más como inaceptable para agua potable con inherente contaminación; así mismo; la ubicación del valor máximo de sólidos

---

disueltos totales se encuentra en la conexión del arroyo Lirio y estero Tenechaco lo que reafirma la influencia que este ejerce como salida de estos sólidos disueltos.

La conductividad tiene un máximo de 2997MΩ.cm en la muestra (F2ECA) perteneciente a la conexión de estero Tenechaco y arroyo Lirio y una mínima de 939 en la muestra (M6AOx) ubicada dentro del arroyo Lirio. No existe diferencias significativas en la conductividad con respecto a las muestras, pero se puede observar que estos valores son influidos por las sales proveniente de la entrada de agua marina, además de otros minerales provenientes del arroyo Lirio.

La salinidad tiene un máximo de 10.13PSU en la muestra F1EN que se encuentra en fondo norte del estero Tenechaco y una mínima de 0.41PSU en la muestra M6AOx que se encuentra en el arroyo Lirio. Existe diferencias significativas en la salinidad con respecto a las muestras (S1EN), (F1EN), (S2ECA), (F2ECA), (S3ES), (F3ES), (M4Ain), (M5AP) que son influidos por las sales proveniente de la entrada de agua marina, además de otros minerales provenientes del arroyo Lirio; pues la mínima se encuentra en un punto más alejado del arroyo Lirio que por su relieve y gravedad no se genera la mezcla de agua salada y dulce.

La temperatura (C°) en las muestras presentan una media 27.4218C° con un máximo de 27.986 C° en la muestra F1EN que pertenece al fondo norte del estero tenechaco y una mínima de 26.725 C° en la muestra M4AIn perteneciente al arroyo Lirio. No existe diferencias significativas en la temperatura con respecto a las muestras y estas se encuentran entre los límites permitidos y acordes a la temporada, pero se observa que estos resultados van influidos a la exposición directa de luz solar pues la mínima se encuentra entre puntos con sombra por follaje de árboles a la orilla del afluyente y de la entrada de agua marina con otra temperatura.

---

El pH tiene una media de 7.24 con un máximo de 7.49 en la muestra (F3ES) ubicado en el fondo sur del estero Tenechaco y una mínima de 7 en la muestra M6AOx ubicada dentro del arroyo Lirio. Existe diferencias significativas en el pH con respecto a las muestras, los resultados obtenidos entran en los límites permisibles para aguas residuales según la NOM-250-SSA1-2014 (6.5, 8.5). No se encontraron causas de estas variaciones.

El porcentaje de oxígeno disuelto tiene un máximo de 44.20% en la muestra (S1EN) siendo esta perteneciente a la parte norte del estero Tenechaco y una mínima de 14.26% en la muestra (M4AIn) perteneciente al arroyo Lirio y tomada a media agua por su bajo nivel. Existe diferencias significativas en el OD% con respecto a las muestras. En estos resultados tienen concordancia con el punto donde se tomó la muestra y la toma (superficial, fondo o a media agua), mostrando que el estero cuenta con mejor oxigenación en superficie por la entrada de agua marina, flujo y la re-aireación y en fondo estero presenta una disminución de oxígeno, en general por ser fondo donde la posibilidad de una re-aireación y disolución de oxígeno es precaria a menos de provenir de corrientes marinas de fondo; los valores mínimos se encuentran en el arroyo Lirio por el lento escurrimiento de sus aguas y factores biológicos; según (Lynch, 1979) clasifican a estas aguas en el rango de contaminadas por sus niveles tan bajos de saturación de oxígeno, tomando en cuenta factores como temperatura y la influencia de la salinidad en estas muestras con El ORP con valores (-) por encima de los valores aceptados para aguas salada.

Demostrando una acumulación excesiva de residuos orgánicos dentro de las muestras, provocando según (Farley, ORP and the reet aquarium, 2008) la disminución de la capacidad para tratar o procesar la disolución de materiales biológicos de desechos, disminuyendo el oxígeno, afectando a las especies endémicas del arroyo y estero siendo que los dos están interconectadas compartiendo el sistema estuarino con fauna y flora.

---

El deterioro de estos sistemas dan paso a enfermedades, crecimiento tardío o muerte a especies como: *Atractosteus spatula* Lacepède, carpa veracruzana (*Tampichthys ipni*), sardina de río (*Astyanax mexicanus*), *Ariopsis 59eliz*, lisa de río (*Agonostomus monticola*), *Cyprinodon variegatus variegatus* Lacepèd, guatopote lisado (*Heterandria jonesii*), cojinúa *Caranx crysos*, Bagre de canal (*Ictalurus punctatus*), cangrejo azul (*Callinectes sapidus*), camarón de río (*Macrobrachium acanthurus*) (Gándara, 2012). Entre muchas más, sin considerar las especies terrestres como la iguana verde (*Iguana iguana*) que según la (SEMARNAT, 2010, 21 de Junio) es una especie protegida por estar en riesgo; sapos, lagartijas, serpientes, aves de gran variedad como: *Geothlypis flaveolata*, *Amazona oratrix*, *Amazona viridigenalis* *Coragyps atratus*; mencionadas en (SEMARNAT, 2010, 21 de Junio) como en peligro de extinción, además de ser destino de aves migratorias rapaces y acuáticas; armadillos (*Dasypodidae*) etc. Muchas de estas y más especies son parte de la biodiversidad, aunque son desplazadas por los habitantes en esta zona, tomando como refugio los árboles a orilla del arroyo Lirio y estero Tenechaco.

La importancia de proponer una opción de rehabilitación en este arroyo será en beneficio de las especies de flora y fauna que predomina, pues se prueba que las cargas orgánicas que se están depositando en los cuerpos de agua no son oxidadas y removidas, puesto que superan por mucho la capacidad de los cuerpos de agua receptores, provocando eutrofización y anoxia de los sistemas, además de graves problemas de salud pública. (PNUMA, 2001)

Es así que se propone la forestación pues las plantas actúan como bombas extractoras de bajo costo para descontaminar las aguas residuales escogiendo el mangle rojo (*Rhizophora mangle*), por sus resultados en depuración de agua obtenidos en la investigación de la UNAM con el nombre de “Balance de nutrientes en un humedal utilizando mangles (*Laguncularia racemosa* y *Rhizophora mangle*) integrado a estanques con camarón (*Litopenaeus vannamei*)” donde se evaluó la capacidad de asimilación de nutrientes de dos especies de mangle (*Rhizophora mangle* y *Laguncularia racemosa*) en estanques de cultivo con camarón (*Litopenaeus vannamei*). Donde se estima que el 80% del nitrógeno total que entró a los estanques con plántulas fue removido por los mangles. Las plántulas de mangle contribuyeron a mejorar la calidad del agua a través de

---

la remoción de nutrientes, el cual fue un factor importante para el adecuado desarrollo y la supervivencia de los camarones (Rojo, Verdugo, & Carmona, 2014) ; Lirio de pantano (*Crinum americanum*) por sus resultados en depuración en la investigación de Universidad Federal de la PAMPA donde se estudió un sistema experimental de humedales de flujo horizontal subsuperficial, con y sin recirculación, utilizando el macrófito *Crinum americanum*, alimentado con efluente orgánico sintético por un período de 6 meses. Los resultados mostraron que el sistema sembrado obtuvo una buena eficiencia en la remoción de nutrientes 83,01% para fósforo y 74,25% para nitrato, y remoción de materia orgánica igual a 47,1% (Ferreira, Evaluación del sistema humedales construido en el tratamiento de efluentes utilizando la macrófito *Crinum americano*, 2018); Junco (*Schoenoplectus californicus*) por sus resultados en la investigación llamada “Eficiencia de *Schoenoplectus californicus* y *Nasturtion officinale* como Purificadores de Agua en el Efluente Residual de la Granja Experimental de Porcinos” donde su objetivo fue evaluar la eficiencia de totora (*Schoenoplectus californicus*) y berros (*Nasturtion officinale*) como purificadores de agua en el efluente residual de la granja experimental de porcinos los resultados fueron analizados mediante la estadística descriptiva e inferencial con un nivel de significancia de 95% de confiabilidad. Los resultados obtenidos muestran un comportamiento normal  $Pr < W$ , se obtuvo como resultados 0.09 de DQO, 0.78 de OD, 0.99 de CE, 0.77 de T, 7.8 de pH, todas las pruebas presentaron normalidad mediante la prueba de Shapiro Wilks. Donde la mejor eficiencia de remediación de contaminantes en el efluente residual de la granja experimental porcina fue la Totora (*Schoenoplectus californicus*) con 78.88% y Berros (*Nasturtion officinale*) con 78.91% (Sarmiento, Huamán, Huacho, & Contreras, 2018). Además, que estas especies coinciden con ser de la zona, evitando que sean especies introducidas que puedan inducir algún desequilibrio; como lo afirma (Burghardt, Tallamy, & Shriver, 2008) “La abundancia, diversidad, riqueza y biomasa de las aves de interés fueron más abundantes con la forestación de especies nativas de su región a largo plazo en la zona afectada.”.

---

Estas mismas se adaptan a las condiciones de estrés presentes en la zona de rehabilitación pues se desarrollan sobre sedimentos anóxicos de textura arcillo-limoso o limosa y con alto contenido de materia orgánica, estos actuaran como biofiltros de aguas de desecho y amortiguan los efectos de los ciclones y tormentas tropicales; almacenan carbono, nutrientes y sedimentos; ayudan a controlar la erosión y alberga una gran diversidad de aves, reptiles, mamíferos, insectos, plantas epífitas, líquenes, hongos y bacterias, muchas de ellos poco conocidos o desconocidos del todo.

La siembra de estas tres especies en el periodo agosto 2021 a diciembre 2021 tuvo una contabilización final el día 18 de enero del 2022 con el cual, se obtuvieron los siguientes promedios de sobrevivencia: Mangle rojo (*Rhizophora mangle*): 32.51%, Lirio de pantano (*Crinum americanum*): 76.41% y Junco (*Schoenoplectus californicus*); 25.42%, al igual que se obtuvo el área forestada con un total de 35.25 m<sup>2</sup> a lo largo del arroyo Lirio y 7 m<sup>2</sup> a lo largo del estero Tenechaco. Estos resultados fueron causados por pérdidas de estas especies por factores como el tránsito de la fauna, mareas altas, mal sembrado, huracanes y tormentas.

---

## X. CONCLUSIONES

- Los parámetros fisicoquímicos obtenidos del arroyo Lirio y estero Tenechaco, mostraron índicesaltos de materia orgánica e inorgánica, y coloides como se observa en los valores del potencial de oxidación-reducción con valores (-) muy bajos tanto en el arroyo Lirio hasta una distancia de 235m dentro de la parte sur del estero Tenechaco donde se tomó una de las muestras; los valores de Secchi con poca transparencia y cambio de color en las aguas en el arroyo Lirio muestran una gran cantidad de coloides proveniente de él; el cambio en las profundidades en el punto de intersección por incremento de sedimentos en el arroyo Lirio, es así que se comprueba su conectividad e influencia del arroyo Lirio al estero Tenechaco.
- Se utilizó la biorehabilitación con plantas nativas de la zona mangle rojo (*Rhizophora mangle*), Lirio de pantano (*Crinum americanum*) y Junco (*Schoenoplectus californicus*) pues se pueden utilizar los recursos como el agua y la biomasa para alimentarlos y a su vez para el proceso de depuración del agua sin desestabilizar el ecosistema de fauna y flora preexistente en la zona, aunque para llegar a su potencial máximo tomará tiempo.
- La siembra de estas tres especies en el periodo agosto 2021 a diciembre 2021 obtuvieron los siguientes promedios de sobrevivencia: Mangle rojo (*Rhizophora mangle*): 32.51%, Lirio de pantano (*Crinum americanum*): 76.41% y Junco (*Schoenoplectus californicus*): 25.42%, al igual que se obtuvo el área forestada con un total de 35.25 m<sup>2</sup> a lo largo del arroyo Lirio y 7 m<sup>2</sup> a lo largo del estero Tenechaco. Estos resultados fueron causados por pérdidas de estas especies por factores como el tránsito de la fauna, mareas altas, mal sembrado, huracanes y tormentas.

---

## VIII. RECOMENDACIONES

- Existe una escasa información, en lo que se refiere a trabajos que evalúan la afectación en la calidad del agua arroyo Lirio y el estero de Tenechaco es por eso que se recomienda hacer estudios de largo plazo, esto para visualizar los cambios y los beneficios obtenidos por este proyecto.
- Finalmente, los estudios pueden llevarse a cabo con distintas metodologías, esto con el fin de obtener valores más precisos respecto al Índice de Calidad del Agua y con esto proponer otros planes de rehabilitación para el recurso hídrico.

## XI. FUENTES DE INFORMACIÓN

- Alfredo Puma Sarmiento, T. J. (2022). Eficiencia de *Schoenoplectus Californicus* y *Nasturtion Officinale* como Purificadores de Agua en el Efluente Residual de la Granja Experimental de Porcinos. *Polo del conocimiento*, 190-202.
- ARÉVALO, L. X. (2021). *EVALUACIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE DE LA QUEBRADA GARZÓN POR LA DESCARGA DIRECTA DE AGUAS RESIDUALES DE LA RED DE ALCANTARILLADO DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE GARZÓN*. Bogotá D.C.
- BCN. (2016). Calidad del Agua . *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*, 1.
- Brian Kronvang, B. L. (1997). *Sistema de clasificación para la rehabilitación de ríos y arroyos*. Provincia de Sønderjylland: Ministerio del Medio Ambiente y de la Energía.
- Burghardt, T. K., Tallamy, W. D., & Shriver, W. G. (2008). *Impact of Native Plants on Bird and Butterfly Biodiversity in Suburban Landscape*. U.S.A: Department of Entomology and Wildlife Ecology.
- Carmona, M. &. (2014). *ALANCE DE NUTRIENTE EN UN HUMEDAL UTILIZANDO MANGLES( laguncularia racemosa y rhizophora mangle) INTEGRADO A ESTANQUES CON CAMARON(litopenaeus vannamei)*. Mexico: Universidad nacional autonoma de mexico.
- CONABIO. (3 de Noviembre de 2012). Junco espadaña "*Schoenoplectus californicus*". Parques del Pedregal, Del. Tlalpan, México, México.
- CONABIO. (2019). *Rhizophora mangle* L. En CONABIO, *CONABIO* (págs. 219-223). CONABIO.
- CONAGUA. (2015). *Situación del Subsector Agua Potable, Drenaje y Saneamiento*. México: CONAGUA.
- Consejo del sistema veracruzano del agua. (2006). El agua en Veracruz. *CONAGUA*, 3.
- D. López, M. S. (2016). *Phragmites australis y Schoenoplectus californicus en humedales construidos: desarrollo y absorción de nutrientes*. Concepción, Concepción, Chile: Revista de ciencia del suelo y nutrición vegetal.

- DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS, E. Y. (2016). Calidad del Agua. *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*, 1.
- Díaz-Cuenca, E., Alavarado-Granados, A. R., & Camacho-Calzada, K. E. (1, enero-junio, 2012). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del. *Quivera*, 78-97 .
- EPA. (2006). *Guidance for the Assessment of Environmental Factors*. Australia: Environmental Protection Authority.
- EPA. (20 de Enero de 2022). *Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos*. Obtenido de Wikimedia: <https://espanol.epa.gov/espanol/terminos>
- Farley, R. H. (2008). ORP and the reet aquarium. *Reefkeeping*.
- Farley, R. H. (2008). *ORP and the reet aquarium*. Recuperado el 4 de Febrero de 2022, de Reefkeeping: <http://reefkeeping.com/issues/2003-12/rhf/feature/index.htm>
- Ferreira, C. L. (2018). Evaluación del sistema humedales construido en el tratamiento de efluentes utilizando la macrófita Crinum americano. (*Tesis de licenciatura*). Universidad Federal de la Pampa, Caçapava do Sul.
- Ferreira, C. L. (2018). *EVALUACIÓN DEL SISTEMA HUMEDALES CONSTRUIDO EN EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES UTILIZANDO LA MACRÓFITACRINUM AMERICANO*. Caçapava do Sul - RS: UNIVERSIDAD FEDERAL DE LA PAMPA.
- FONSECA, N. I. (2017). *“PROPUESTA DE REHABILITACIÓN DEL BORDO SANTA RITA EN EL EJIDO DE SAN LORENZO CUAUHTENCO ESTADO DE MÉXICO*. Toluca de Lerdo, Estado de México: Universidad Autonoma del Estado de México.
- Gallego, M. (2005). El agua; vehiculo de contaminación. Turrialba, Costa Rica, Costa Rica.
- Gándara, C. G. (2012). Lista de los peces de Tuxpan, Veracruz, México. *UDO Agrícola*, 12(3), 675-689. Recuperado el 17 de Abril de 2022, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4690112>
- Gomez, H. (2014). *Fiscalización ambiental para el cambio*. Perú.
- Haydee, S. (2007). *Diseño del proceso e implementacion de una planta de tratamiento de aguas residuales a nivel labotratorio, proveniente de la linea de produccion quimico para la lavanderia de una planta industrial*. Guatemala: Universidad de san carlos de Guatemala.

- Hidalgo, R. (2008). *Caracterización y tratamiento de aguas residuales*. Pachuca: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- INEGI. (2001). *Cuaderno Estadístico Municipal Tuxpan*. México: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. .
- Instituto de Investigaciones marinas y costeras “José Benito Vives De Andrés” INVEMAR. (2003). *Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos (agua, sedimentos y organismos)*. Santa Marta, DTCH: Precolombi.
- Jonhson, S., Berbellon, D., & Sagardoy, J. (1994). *Irrigation management transfer, selected paper*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- KARIN T. BURGHARDT, D. W. (2008). *Impact of Native Plants on Bird and Butterfly Biodiversity in Suburban Landscape*. U.S.A: Department of Entomology and Wildlife Ecology, University of Delaware, Newark,.
- Lynch, J. M. (1979). *Microbial ecology: A conceptual approach*. New York, USA: John Wiley & Sons.
- Marin, G. (5 de Diciembre de 2000). *API*. Obtenido de Características físicas, químicas y biológicas de las aguas: <http://api.eoi.es/api>
- Martínez, M. G. (2009). *Escenario del agua en México*. Mexico: Culcyt.
- Mas, F. M. (2011). Principios y técnicas de restauración fluvial. En F. M. Mas, *Recomendaciones y principios básicos de la restauración de ríos y riberas* (pág. 1). España, España, España: CEDEX.
- Naturales, S. d. (07 de Diciembre de 2015). *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. Obtenido de Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales: <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/glosario-de-educacion-ambiental>
- NMX-AA-012-SCFI-2001. (2001). *Análisis de agua - Determinación de Oxígeno*. México: Secretaria de economía DGN.
- NOM-002-ECOL-1996. (1996). *Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado*

*urbano o municipal*. Ciudad de México: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Noticias por Aguas Urbanas Interdisciplinarias. (2022). Monitoreo de variables físico-químicas de agua. *Noticias por Aguas Urbanas*, 1.

Organizacion Mundial de la salud. (1993). Consideraciones sobre el programa medio Ambiente y salud enb el ITSMO Centroamericano. En O. M. salud, *Consieraciones sobre el programa medio Ambiente y salud enb el Itsmo Centroamericano* (pág. 50p.). San Jose.

PAM, P. d. (2001). *Las aguas residuales municipales como fuentes terrestres de contaminacion de la zona marino-costera en la region de america latina y el caribe*. México D.F., México: Programa de las Naciones Unidas para el Medio.

PNUMA. (2001). *Las aguas residuales municipales como fuentes terrestres de contaminación de la zona marino-costera en la región de America latina y el Caribe*. Distrito Federal: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Recuperado el 17 de Noviembre de 2021, de <https://funcagua.org.gt/wp-content/uploads/2020/04/2001.-Las-aguas-residuales-municipales-como-fuentes-terrestres-de-contaminaci%C3%B3n-de-la-zona-marino-costera-en-la-regi%C3%B3n-de-Am%C3%A9rica-Latina-y-el-Caribe.-PNUMA.pdf>

Quijandria, Q. S. (14 de Enero de 2022). *R CHEMICAL S.A*. Obtenido de R CHEMICAL S.A.: <http://www.r-chemical.com/correlacion-entre-el-disco-de-secchi-y-la-turbidimetria/>

Ramírez, A. R. (1997). Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulación y aplicación. *Ciencia, Tecnología y Futuro*, 135-153.

Rojas, J. R. (1999). *Tratamiento de aguas residuales*. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Rojo, L. M., Verdugo, F. F., & Carmona, G. H. (2014). Balance de nutriente en un humedal utlizando Mangles( *Laguncularia Racemosa* y *Rhizophora Mangle*) Integrado a estanques con camaron (*Litopenaeus vannamei*). *Juyyaania*, 2(1). Recuperado el 17 de Marzo de 2022, de <https://link.gale.com/apps/doc/A396138283/IFME?u=anon~3a2dabe&sid=googleScholar&xid=976545b5>

- S. Gómez, L. P.-D. (2013). *Comportamiento de los sólidos en suspensión y sedimentales en cuerpos de agua: búsqueda de métodos aplicables al monitoreo comunitario*. México: UNAM, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental 1.
- Sagardoy, J. (1994). Irrigation management transfer, selected paper. En J. Sagardoy, *Irrigation management transfer, selected paper*. (pág. 499p.). Roma.
- salud, S. d. (1994). *NOM-127-SSA1-1994*. Ciudad de Mexico: Secretaria de Salud.
- Sarmiento, A. P., Huamán, T. J., Huacho, R. Y., & Contreras, W. H. (2018). Eficiencia de *Schoenoplectus Californicus* y *Nasturtion Officinale* como Purificadores de Agua en el Efluente Residual de la Granja Experimental de Porcinos. *Polo del conocimiento*, 13(6). doi:10.23857/pc.v7i3.3725
- SEMARNAT. (2010). *NOM-059-SEMARNAT-2010*. Ciudad de Mexico: Normas Mexicanas.
- SEMARNAT. (2010, 21 de Junio). *NOM-059-SEMARNAT-2010*. Documento Oficial de la Federacion. Obtenido de <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4254/semarnat/semarnat.htm>
- SEMARNAT. (2021, 25 de febrero). *NOM-001-SEMARNAT-2021*. Diario Oficial de la Federación. Obtenido de [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022#gsc.tab=0)
- SEMARTNAT. (2021). *NOM-001-SEMARNAT-2021*. *NOM-001-SEMARNAT-2021*.
- Serna, A. R. (2002). *Flora de Veracruz*. AMARYLLIACEAE.
- Soto, N. G. (2010). pH. En U. Veracruzana, *Diagnóstico de la calidad del agua del río Pixquiac en la congregación Zoncuantla, Municipio de Coatepec Veracruz* (pág. 11). Xalapa: Universidad Veracruzana.
- Technologies, O. (21 de Marzo de 2022). *Orenda Technologies*. Obtenido de Orenda Technologies: <https://blog.orendatech.com/blog-espanol/entendiendo-orp#:~:text=El%20ORP%20es%20una%20medida,ganar%20o%20perder%20un%20electr%C3%B3n>.
- UNEP. (2010). *La rehabilitación de los bienes naturales genera empleos, riqueza y restauración de servicios valuados en billones de dólares*. U.S.A: United Nations Environment Programme.

- Valdez, P. (2010). *Efecto de la concentracion de la biomasa y la precencia*. QUITO: UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO .
- Valdivielso, A. (2011). *iagua*. Obtenido de iagua: <https://www.iagua.es>
- Y. Wu, A. C. (2008). Constructed mangrove wetland as secondary treatment. Ecological. En A. C. Y. Wu, Y. Wu, A. C. (págs. , 137-146.).
- Yepes, L. F. (2011). *Revision bibliografica de los sistemas urbanos de drenaje sostenible*. Bogota C.D: Universidad de los Andes.
- Yossy Faviola, P. L. (2018). *Diseño de un Humedal Artificial con la Especie “Schoenoplectus Californicus” en el tratamiento de aguas residuales, en el distrito de Ahuac, Junín -2018*. distrito de Ahuac, Junín: Universidad Cesar Vallejo.

## IX. ANEXO

### A. Datos de parámetros fisicoquímicos

PUNTO	FECHA	MUESTRA	HORA	GPS "N"	GPS "W"	PH	ORP	OD%	OD VG/L	COND	SDT	S%	T°C	SECCHI	PROFUNDIDAD
1	02-ago-21	S1EN	12:45	20°57.719	097°25.094	7.84	43.1	105.4	7.81	10.35	4513	4.96	32.93	45	0
2	02-ago-21	F1EN	12:50	20°57.719	097°25.094	7.45	-4.03	0	0	11.16	4965	5.56	31.34	45	2.5
3	02-ago-21	S2EB	13:38	20°57.473	097°25.127	8.03	-66.8	22.4	2.6	87.23	3870	4.26	32.5	40	0
4	02-ago-21	F2EB	13:46	20°57.473	097°25.127	7.55	-50.1	77.6	5.85	9223	3967	4.4	32.78	40	1.5
5	02-ago-21	S3ES	14:48	20°57.536	097°25.010	7.68	-14.7	67.4	4.38	10.31	4535	5.02	32.32	57	0
6	02-ago-21	F3ES	14:56	20°57.536	097°25.010	7.7	-9.2	54.9	4.15	10.44	4620	5.12	32.2	57	2.5
7	02-ago-21	S4AIn	14:02	20°57.448	097°25.176	7.34	-225.5	0	0	1376	773	0.77	31.27	25	0.5
8	02-ago-21	S5AP	14:16	20°57.421	097°25.231	7.35	-229.8	0	0	1074	479	0.47	31.55	20	0.5
9	02-ago-21	S6AOx	15:56	20°57.303	097°25.309	6.85	-128.2	9.3	0.52	829	364	0.35	32.29	20	0.25
10	02-ago-21	S7APet	15:34	20°57.247	097°25.991	6.84	-220.8	7.2	0.35	9.88	4.49	0.44	30.23	15	0.25
1	16-ago-21	S1EN	10:28	20°57.719	097°25.094	7.63	-35	32.2	2.27	6724	3018	3.25	30.8	54	0
2	16-ago-21	F1EN	10:32	20°57.719	097°25.094	7.35	-83.9	0	0	10.3	4537	5.03	31.6	54	2.5
3	16-ago-21	S2EB	11:02	20°57.473	097°25.127	7.16	-168.1	10.06	0.19	3252	1483	1.59	29.66	40	0
4	16-ago-21	F2EB	11:09	20°57.473	097°25.127	7.23	-195.7	12.7	1.04	6060	2750	2.94	30.24	40	1.5
5	16-ago-21	S3ES	11:49	20°57.536	097°25.010	7.38	-47.8	55.6	3.71	6428	3002	3.32	31.4	50	0
6	16-ago-21	F3ES	11:57	20°57.536	097°25.010	7.49	-56.2	23.5	1.7	7639	3423	3.72	31.06	50	2
7	16-ago-21	S4AIn	11:27	20°57.448	097°25.176	7.05	-227.3	6.3	0.28	1545	716	0.71	29.13	27	0.5
8	16-ago-21	S5AP	11:41	20°57.421	097°25.231	7.14	-196.2	14.1	0.99	914	427	0.42	29.4	18	0.5
9	16-ago-21	S6AOx	12:36	20°57.303	097°25.309	7.22	-102.9	25.6	1.69	754	340	0.33	30.72	20	0.25
10	16-ago-21	S7APet	12:22	20°57.247	097°25.991	7.31	-210.1	21.4	1.32	1174	531	0.52	30.62	15	0.25
1	30-ago-21	S1EN	10:53	20°57.719	097°25.094	6.6	86.2	18.2	1.31	3763	1726	1.79	30.09	60	0
2	30-ago-21	F1EN	10:56	20°57.719	097°25.094	7.18	71.2	9	0.61	3869	1766	1.84	30.02	60	2.5
3	30-ago-21	S2EB	11:32	20°57.473	097°25.127	6.79	56	27	1.9	3706	1688	1.75	30.18	50	0
4	30-ago-21	F2EB	11:38	20°57.473	097°25.127	7.26	-182.3	5	0.34	3477	1583	1.54	29.83	50	1.5

5	30-ago-21	S3ES	12:34	20°57.536	097°25.010	6.7	-12.5	13.7	0.93	3569	1636	1.7	30.13	53	0
6	30-ago-21	F3ES	12:42	20°57.536	097°25.010	7.15	-16.4	5.4	0.37	3620	1649	1.71	30.09	53	2.5
7	30-ago-21	S4AIn	11:56	20°57.448	097°25.176	7.15	-200.8	18.7	1.38	1264	591	0.58	28.71	20	0.5
8	30-ago-21	S5AP	12:10	20°57.421	097°25.231	7.25	-227.1	14.5	1	1218	569	0.56	28.53	20	0.5
9	30-ago-21	S6AOx	13:29	20°57.303	097°25.309	7.14	-154.3	21.4	1.6	975	457	0.45	28.59	18	0.25
10	30-ago-21	S7APet	13:16	20°57.247	097°25.991	7.11	-244.1	13.8	1	1602	755	0.75	28.28	24	0.25
1	13-sep-21	S1EN	11:07	20°57.719	097°25.094	7.27	61.3	27.4	2.13	2612	1192	1.22	29.52	58	0
2	13-sep-21	F1EN	11:13	20°57.719	097°25.094	7.34	-57.1	15	1.12	2599	1207	1.27	29.08	58	2.5
3	13-sep-21	S2EB	11:28	20°57.473	097°25.127	6.69	30.8	37.8	2.8	2599	1176	1.2	30.33	52	0
4	13-sep-21	F2EB	11:33	20°57.473	097°25.127	7.3	27.7	34.2	2.62	2605	1182	1.2	30.38	52	1.5
5	13-sep-21	S3ES	12:36	20°57.536	097°25.010	6.83	25.6	36.4	2.81	2594	1179	1.2	30.14	47	0
6	13-sep-21	F3ES	12:41	20°57.536	097°25.010	7.29	20.5	27.1	2.07	2581	1183	1.2	29.79	47	2.5
7	13-sep-21	S4AIn	11:46	20°57.448	097°25.176	7.14	-154.8	8.6	0.67	1174	557	0.55	27.87	28	0.5
8	13-sep-21	S5AP	11:55	20°57.421	097°25.231	7.35	-110.6	19.8	1.53	1196	562	0.55	28.55	28	0.5
9	13-sep-21	S6AOx	13:22	20°57.303	097°25.309	7.1	-42.9	17.5	1.3	1190	542	0.53	30.04	18	0.25
10	13-sep-21	S7APet	13:07	20°57.247	097°25.991	7.05	-84.1	22.8	1.5	1479	692	0.69	28.63	12	0.25
1	27-sep-21	S1EN	10:24	20°57.719	097°25.094	6.98	63.1	16.6	1.37	2120	982	0.99	29.9	52	0
2	27-sep-21	F1EN	10:27	20°57.719	097°25.094	7.18	68.2	10.2	0.76	2481	1154	1.17	28.71	52	2.5
3	27-sep-21	S2EB	10:43	20°57.473	097°25.127	6.4	83.4	31.3	2.41	2410	1122	1.14	29.09	44	0
4	27-sep-21	F2EB	10:45	20°57.473	097°25.127	6.97	38.2	22.9	1.73	2335	1087	1.1	28.85	44	1.5
5	27-sep-21	S3ES	11:30	20°57.536	097°25.010	6.7	11.6	32.3	2.6	2393	1108	1.12	29.45	50	0
6	27-sep-21	F3ES	11:34	20°57.536	097°25.010	7.21	13	15.3	1.12	2498	1164	1.19	28	50	2.5
7	27-sep-21	S4AIn	10:56	20°57.448	097°25.176	6.93	-156	12.2	0.92	1065	511	0.5	27.27	22	0.5
8	27-sep-21	S5AP	11:04	20°57.421	097°25.231	7.4	-154.9	12.5	0.96	1001	477	0.47	27.92	19	0.5
9	27-sep-21	S6AOx	12:18	20°57.303	097°25.309	6.77	-129.6	15.2	1.15	973	455	0.44	28.62	18	0.25
10	27-sep-21	S7APet	12:10	20°57.247	097°25.991	7.35	-218.5	6.2	0.42	1315	617	0.61	28.5	15	0.25
1	11-oct-21	S1EN	10:24	20°57.719	097°25.094	6.85	33.6	31	2.34	2544	1183	1.21	28	54	0
2	11-oct-21	F1EN	10:27	20°57.719	097°25.094	7.25	32.9	23.8	1.86	3746	1782	1.87	27.79	54	3
3	11-oct-21	S2EB	10:42	20°57.473	097°25.127	7.14	3.07	27	2.03	2800	1295	1.33	29.18	32	0

4	11-oct-21	F2EB	10:46	20°57.473	097°25.127	7.48	7.4	21.5	1.62	2826	1317	1.35	28.69	32	1.1
5	11-oct-21	S3ES	11:21	20°57.536	097°25.010	7.32	-21.6	17	1.24	2844	1314	1.35	29.09	50	0
6	11-oct-21	F3ES	11:27	20°57.536	097°25.010	7.47	-19	17.7	1.35	3117	1454	1.5	28.46	50	3
7	11-oct-21	S4AIn	10:52	20°57.448	097°25.176	7.22	-194	11.2	0.86	1906	535	0.53	27.72	24	0.5
8	11-oct-21	S5AP	11:00	20°57.421	097°25.231	7.23	-166.8	13.8	0.98	937	443	0.47	28	20	0.5
9	11-oct-21	S6AOx	12:47	20°57.303	097°25.309	7.14	-159.2	16.6	1.24	918	425	0.41	29.13	22	0.25
10	11-oct-21	S7APet	12:36	20°57.247	097°25.991	6.82	-141.5	24.4	1.91	1435	674	0.67	28.23	13	0.25
1	25-oct-21	S1EN	10:46	20°57.719	097°25.094	7.7	53.7	23.5	1.77	8991	4204	4.65	28.54	51	0
2	25-oct-21	F1EN	10:48	20°57.719	097°25.094	7.34	53	84.8	6.14	10.54	4964	5.56	28.42	51	2.5
3	25-oct-21	S2EB	11:27	20°57.473	097°25.127	7.45	-92.2	39.6	3.02	9079	4191	4.7	29.31	43	0
4	25-oct-21	F2EB	11:29	20°57.473	097°25.127	7.73	-86.5	25.7	1.96	9333	4373	4.85	28.56	43	1.5
5	25-oct-21	S3ES	12:16	20°57.536	097°25.010	7.8	32.6	30.1	2.22	9405	4372	4.84	28.93	43	0
6	25-oct-21	F3ES	12:18	20°57.536	097°25.010	7.46	27.6	17.6	1.3	9429	4418	4.9	28.57	43	2.5
7	25-oct-21	S4AIn	11:36	20°57.448	097°25.176	7.26	-205.9	1.5	0.03	3401	1622	1.69	27.55	19	0.5
8	25-oct-21	S5AP	11:46	20°57.421	097°25.231	7.31	-194.6	1.2	0.01	1577	749	0.75	27.79	20	0.5
9	25-oct-21	S6AOx	12:58	20°57.303	097°25.309	7.19	-208.8	0	0	1774	506	0.5	28.29	12	0.25
10	25-oct-21	S7APet	12:46	20°57.247	097°25.991	6.84	-150.6	6.4	0.35	1468	698	0.69	27.68	12	0.25
1	08-nov-21	S1EN	10:32	20°57.719	097°25.094	6.92	86.5	46.5	3.54	19.8	19.32	11.29	26.57	40	0
2	08-nov-21	F1EN	10:36	20°57.719	097°25.094	7.59	-29.7	40.5	2.86	37.82	17.97	22.59	27.81	40	2.5
3	08-nov-21	S2EB	10:51	20°57.473	097°25.127	6.6	-19.3	68.7	5.25	20.59	9779	11.84	27.01	30	0
4	08-nov-21	F2EB	10:54	20°57.473	097°25.127	7.47	-33.7	57.8	4.52	21.5	10.39	12.4	26.82	30	1.5
5	08-nov-21	S3ES	11:50	20°57.536	097°25.010	7.68	-7.9	66.7	4.98	21.35	10.19	12.2	27.48	39	0
6	08-nov-21	F3ES	11:54	20°57.536	097°25.010	7.79	-0.2	50.2	3.55	34.56	16.39	20.44	27.61	39	2
7	08-nov-21	S4AIn	11:03	20°57.448	097°25.176	7.08	-247.7	44.2	3.45	10.31	6784	7.83	26.38	26	0.45
8	08-nov-21	S5AP	11:10	20°57.421	097°25.231	7.28	-192	36.3	2.95	1674	791	0.8	26.36	20	0.43
9	08-nov-21	S6AOx	12:34	20°57.303	097°25.309	6.68	-97.2	34.8	2.8	768	377	0.37	26.68	12	0.21
10	08-nov-21	S7APet	12:00	20°57.247	097°25.991	6.8	-166.6	38.7	3.09	1164	558	0.55	27.16	15	0.19
1	23-nov-21	S1EN	12:58	20°57.719	097°25.094	6.82	75.2			17.52	87.17	10.28	25.31	60	0
2	23-nov-21	F1EN	01:00	20°57.719	097°25.094	7.26	0.1			24.75	12.37	14.48	26.29	60	2.5

3	23-nov-21	S2EB	01:18	20°57.473	097°25.127	6.79	41.1			11.49	5901	6.7	24.59	44	0
4	23-nov-21	F2EB	01:20	20°57.473	097°25.127	7.43	-12.2			12.55	6040	6.91	24.62	44	1.5
5	23-nov-21	S3ES	01:57	20°57.536	097°25.010	7.34	-6.6			10.64	5305	6.01	24.21	57	0
6	23-nov-21	F3ES	01:58	20°57.536	097°25.010	7.35	-3.9			25	12.49	15.14	15.14	57	2.5
7	23-nov-21	S4AIn	01:28	20°57.448	097°25.176	7.22	-182.5			12.47	6054	7.68	25.05	22	0.5
8	23-nov-21	S5AP	01:38	20°57.421	097°25.231	7.15	-190.2			10.22	5573	6.11	25.29	16	0.48
9	23-nov-21	S6AOx	02:42	20°57.303	097°25.309	6.87	-156.9			1005	503	0.49	24.79	13	0.28
10	23-nov-21	S7APet	02:26	20°57.247	097°25.991	7.7	-174.6			1661	830	0.83	25.13	15	0.23
1	06-dic-21	S1EN	10:43	20°57.719	097°25.094	6.75	44.4	65.1	5.06	16.85	8416	9.87	25.12	47	0
2	06-dic-21	F1EN	10:45	20°57.719	097°25.094	7.24	23.5	30.1	2.23	27	13.4	16.67	25.07	47	2
3	06-dic-21	S2EB	11:01	20°57.473	097°25.127	7.29	-43.9	51.6	4.09	17.78	8996	10.59	25.4	35	0
4	06-dic-21	F2EB	11:03	20°57.473	097°25.127	7.6	-50.8	53.9	4.15	18.71	9341	11.06	25.17	35	1
5	06-dic-21	S3ES	12:01	20°57.536	097°25.010	6.91	-23.5	63.7	4.85	18.25	8938	10.51	26.21	45	0
6	06-dic-21	F3ES	12:03	20°57.536	097°25.010	7.56	-27.7	52.7	4.06	18.96	9415	11.15	25.4	45	2
7	06-dic-21	S4AIn	11:18	20°57.448	097°25.176	7.33	-241.9	17.2	1.32	1982	946	0.92	25.28	16	0.3
8	06-dic-21	S5AP	11:30	20°57.270	097°25.120	7.2	-214.6	18.2	1.3	1399	700	0.68	25.6	14	0.15
9	06-dic-21	S6AOx	12:47	20°57.303	097°25.309	6.62	-119.4	32.8	2.53	787	389	0.38	25.86	15	0.26
10	06-dic-21	S7APet	12:35	20°57.247	097°25.991	6.81	-162.2	27.3	2.8	1163	567	0.56	26.32	14	0.21
1	20-dic-21	S1EN	10:33	20°57.719	097°25.094	6.94	82.1	66	5.02	22.4	11.98	14.01	23.37	85	0
2	20-dic-21	F1EN	10:37	20°57.719	097°25.094	7.49	14.2	26.2	1.9	34.32	17.4	22.31	25	85	2
3	20-dic-21	S2EB	11:00	20°57.473	097°25.127	7.6	-102.2	21.3	1.62	26.81	13.65	16.71	24.03	55	0
4	20-dic-21	F2EB	11:04	20°57.473	097°25.127	7.59	-94.5	18.4	1.41	27.79	14.09	17.34	24.21	55	1
5	20-dic-21	S3ES	11:39	20°57.536	097°25.010	7.45	-36.4	76.6	6.04	21.15	10.94	13.22	23.93	74	0
6	20-dic-21	F3ES	11:42	20°57.536	097°25.010	7.63	-56.6	59.1	4.4	26.86	13.68	16.8	24.2	74	2
7	20-dic-21	S4AIn	11:11	20°57.448	097°25.176	7.53	-244.6	21.5	1.66	4967	3361	2.36	22.67	24	0.36
8	20-dic-21	S5AP	11:19	20°57.270	097°25.120	7.41	-235.6	30	2.5	2642	1480	1.59	22.03	22	0.13
9	20-dic-21	S6AOx	12:21	20°57.303	097°25.309	6.97	-105.2	54.6	4.66	579	304	0.3	22.48	16.5	0.3
10	20-dic-21	S7APet	12:08	20°57.247	097°25.991	7.45	-211.4	57.5	4.82	1035	533	0.53	23.66	13	0.2
1	11-ene-22	S1EN	10:25	20°57.719	097°25.094	6.75	116.6	54.3	4.44	16.97	9203	10.97	20.46	74	0

2	11-ene-22	F1EN	10:29	20°57.719	097°25.094	7.48	-134.5	18.2	1.22	35.29	17.9	23.25	24.7	74	2.5
3	11-ene-22	S2EB	10:42	20°57.473	097°25.127	7.5	-14.3	24.1	1.96	14.26	10.33	12.42	21.97	56	0
4	11-ene-22	F2EB	10:45	20°57.473	097°25.127	7.65	49.3	20.2	1.52	29.82	15.25	19.02	23.63	56	1.5
5	11-ene-22	S3ES	11:47	20°57.536	097°25.010	7.28	7.03	23.5	2.02	19.46	10.28	12.32	22.16	100	0
6	11-ene-22	F3ES	11:49	20°57.536	097°25.010	7.88	-6.4	19.2	1.36	47.11	23.88	31.11	24.34	100	2.5
7	11-ene-22	S4AIn	11:08	20°57.448	097°25.176	7.46	-254.6	15.5	1.29	17.43	9332	11.05	21.8	33	0.5
8	11-ene-22	S5AP	11:21	20°57.270	097°25.120	7.32	-286.5	15.8	1.3	16.68	8861	10.31	22.54	16	0.5
9	11-ene-22	S6AOx	12:34	20°57.303	097°25.309	7.49	-127.1	24.6	2.27	713	393	0.39	19.99	13	0.25
10	11-ene-22	S7APet	12:22	20°57.247	097°25.991	7.7	-197.3	12.2	1.1	1121	612	0.61	20.65	10	0.25

## B. Fotografías de monitoreo



*Figura 15 Monitoreo fisicoquímico del 2 de agosto del 2021*



*Figura 16 Monitoreo fisicoquímico de 11 de octubre del 2021*



*Figura 17 Monitoreo fisicoquímico del 8 de noviembre del 2021*



*Figura 18 Monitoreo fisicoquímico del 6 de diciembre del 2021*

No pudimos llegar hasta el sexto punto por el nivel del agua tan bajo, tomando la prueba hasta el punto más cercano.



*Figura 19 Muestreo fisicoquímico del 20 de diciembre del 2021*

### C. Fotografías de cosecha de Lirio y Junco



*Figura 20 Cosecha de Lirio (Crinum americanum) y Junco (Schoenoplectus californicus) del 19 de octubre del 2021*



**Figura 21** Cosecha Lirio Cosecha de Lirio (*Crinum americanum*) y Junco (*Schoenoplectus californicus*) del 5 de noviembre del 2021



**Figura 22** Cosecha Lirio Cosecha de Lirio (*Crinum americanum*) y Junco (*Schoenoplectus californicus*) del 5 de noviembre del 2021

#### D. Fotografías de siembras



*Figura 23 Siembra de semilla de Mangle (*Rhizophora mangle*) del 13 de agosto del 2021*



*Figura 24 Destrozos del mangle (*Rhizophora mangle*), por el Huracán Grace el 27 de agosto del 2021*



**Figura 25** Siembra de semilla de mangle (*Rhizophora mangle*) del 27 de agosto del 2021



**Figura 26** Siembra de semilla de mangle (*Rhizophora mangle*) 17 se septiembre del 2021



**Figura 27** Siembra de Lirio (*Crinum americanum*) y Junco (*Schoenoplectus californicus*) del 27 de octubre del 2021



**Figura 28** Siembra de Lirio (*Crinum americanum*) y Junco (*Schoenoplectus californicus*) del 9 de noviembre del 2021





**Figura 29** Siembra de Lirio (*Crinum americanum*) y Junco (*Schoenoplectus californicus*) del 15 de diciembre del 2021