

**UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE  
INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL**



**TRABAJO DE GRADUACIÓN  
EVALUACIÓN DEL PROCESO DE RESTAURACIÓN EN EL ECOSISTEMA  
MANGLAR DEL ÁREA DE USOS MÚLTIPLES HAWAII, SANTA ROSA,  
CHIQUIMULILLA.**

Por:

Mynor Ottoniel Ixtetelá de León

Carné: 201440940

Cui: 2615 72962 1013

Mynordleon.10@gmail.com

Mazatenango, Suchitepéquez, abril de 2025

**UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE  
INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL**



**TRABAJO DE GRADUACIÓN  
EVALUACIÓN DEL PROCESO DE RESTAURACIÓN EN EL ECOSISTEMA  
MANGLAR DEL ÁREA DE USOS MÚLTIPLES HAWAII, SANTA ROSA,  
CHIQUIMULILLA.**

**POR:**

Mynor Ottoniel Ixtetelá de León

201440940

**ASESOR:**

MSc. Eysen Rodrigo Enríquez Ochoa

**REVISOR:**

Inga. Mirna Lucrecia Vela Armas

Presentado ante las autoridades del Centro Universitario de Suroccidente  
-CUNSUROC-, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, previo a conferírsele el  
título que le acredita como Ingeniero en Gestión Ambiental Local en el grado académico  
de Licenciado.

Mazatenango, Suchitepéquez, abril de 2025.

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE**

M.A. Walter Ramiro Mazariegos Biolis

Rector

Lic. Luis Fernando Cordón Lucero

Secretario General

**MIEMBROS DEL CONSEJO DIRECTIVO DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE  
SUROCCIDENTE**

M.A. Luis Carlos Muñoz López

Director en Funciones

**REPRESENTANTE DE PROFESORES**

MSc. Edgar Roberto del Cid Chacón

Vocal

**REPRESENTANTE GRADUADO DEL CUNSUROC**

Lic. Vílser Josvin Ramírez Robles

Vocal

**REPRESENTANTES ESTUDIANTILES**

TPA. Angélica Magaly Domínguez Curiel

Vocal

PEM y TAE. Rony Roderico Alonzo Solís

Vocal

## **COORDINACIÓN ACADÉMICA**

MSc. Bernardino Alfonso Hernández Escobar  
**Coordinador Académico**

Dr. Álvaro Estuardo Gutierrez Gamboa  
**Coordinador Carrera Licenciatura en Administración de Empresas**

M.A. Rita Elena Rodríguez Rodríguez  
**Coordinador Carrera de Licenciatura en Trabajo Social**

Dr. Nery Edgar Saquimux Canastuj  
**Coordinador de las Carreras de Pedagogía**

MSc. Víctor Manuel Nájera Toledo  
**Coordinador Carrera Ingeniería en Alimentos**

MSc. Martín Salvador Sánchez Cruz  
**Coordinador Carrera Ingeniería Agronomía Tropical**

MSc. Karen Rebeca Pérez Cifuentes  
**Coordinadora Carrera Ingeniería en Gestión Ambiental Local**

MSc. Tania María Cabrera Ovalle  
**Coordinadora Carrera de Licenciatura en Ciencias Jurídicas y Sociales  
Abogacía y Notariado**

Lic. José Felipe Martínez Domínguez  
**Coordinador de Área**

## **CARRERAS PLAN FIN DE SEMANA**

Lic. Néstor Fridel Orozco Ramos  
**Coordinador de las carreras de Pedagogía**

M.A. Juan Pablo Ángeles Lam  
**Coordinador Carrera Periodista Profesional y  
Licenciatura en Ciencias de la Comunicación**

## **DEDICATORIA**

### **A DIOS**

Por guiarme en el camino correcto, porque su gracia y misericordia nunca me han dejado solo, por permitirme alcanzar una de mis metas personales propuestas en la vida.

### **A MIS PADRES**

A mi padre Carlos Enrique Ixtetelá Tale, quien desde el cielo sigue siendo mi guía y mi inspiración, y a mi madre Myra Dalila de León Pons, cuyo amor incondicional, fortaleza y apoyo han sido fundamentales para alcanzar este logro. Gracias por enseñarme con su ejemplo el valor del esfuerzo, la perseverancia y la familia.

### **A MIS HERMANOS**

Carlos, Ana y Hillary, por el cariño y apoyo constante y por creer siempre en mí.

### **A MIS AMIGOS**

Quienes estuvieron siempre para mi apoyándome incondicionalmente, en especial a Julieta, Katy, Isa, Clarissa, Jacqueline, Pame y Jorge.

## **AGRADECIMIENTOS**

- A:** Universidad de San Carlos de Guatemala, específicamente a la carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local, por brindar los conocimientos necesarios para mi formación como profesional.
  
- A:** Asociación Rescate y conservación de Vida Silvestre (ARCAS) y al Instituto Nacional de Bosques (INAB), que permitió la realización de la presente investigación.
  
- A:** Sofia Méndez y Mynor Sandoval, directora y subdirector del parque Hawaii por su valiosa asesoría y consejos durante el desarrollo del Ejercicio Profesional Supervisado.
  
- A:** MSc. Eysen Enríquez, Por su asesoría y supervisión en las diferentes fases del Ejercicio Profesional Supervisado.
  
- A:** Inga. Agra. Lucrecia Vela Armas por su asesoría en la realización de esta investigación y en el transcurso de la carrera.
  
- A:** Personal docente de Ingeniería en Gestión Ambiental Local por contribuir a formarme profesionalmente.

## Índice

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
I. Introducción.....	1
II. Objetivos .....	3
2.1. Objetivo general.....	3
2.2. Objetivos específicos .....	3
III. Revisión de literatura.....	4
3.1. Marco referencial .....	4
3.1.1. Esfuerzos de restauración en Guatemala.....	6
3.1.2. Estrategia de conservación del manglar .....	6
3.1.3. Trabajos realizados en Guatemala sobre el ecosistema manglar.....	7
3.1.4. Técnicas de restauración utilizadas dentro del Área de Usos Múltiples Hawaii (AUMH) .....	8
3.1.5. Esfuerzos de restauración del ecosistema manglar en el Área de Usos Múltiples Hawaii.....	9
3.2. Marco teórico .....	10
3.2.1. Humedales .....	10
3.2.2. Manglares.....	11
3.2.3. Especies de mangle en Guatemala .....	12
3.2.4. Agua intersticial .....	15
3.2.5. Variables fisicoquímicas del agua intersticial.....	16
3.2.6. Medición de parámetros fisicoquímicos.....	19
3.2.7. Porcentaje de supervivencia .....	21
IV. Materiales y métodos .....	22
4.1. Materiales.....	22

4.2. Métodos .....	23
4.2.1. Ubicación del área de estudio .....	23
4.2.2. Estimación del tamaño de la muestra .....	24
4.2.2.1. Universo de la población .....	24
4.2.2.2. Unidad de muestreo .....	24
4.2.2.3. Selección de la muestra .....	24
4.2.2.4. Cálculo de la muestra.....	24
4.2.3. Temporalidad .....	25
4.2.4. Variables de estudio fisicoquímicos del agua intersticial.....	25
4.2.5. Análisis de la información .....	26
4.2.5.1. Comportamiento de datos .....	26
4.2.5.2. Porcentaje de sobrevivencia .....	27
4.2.5.3. Comparación de proporciones de dos poblaciones.....	27
4.2.5.4. Coeficiente de correlación de Pearson .....	28
V. Resultado y discusión .....	30
5.1. Determinación de parámetros físico-químicos del agua intersticial de las áreas de restauración en el AUMH.....	30
5.2. Resumen de áreas restauradas .....	33
5.3. Porcentaje de sobrevivencia de las plántulas de mangle .....	34
5.4. Comparación de proporciones de sobrevivencia del mangle sembrados en las chinampas .....	35
VI. Conclusiones.....	39
VII. Recomendaciones.....	40
VIII. Referencias bibliográficas .....	41
IX. Anexos.....	46

## Índice de figuras

<b>Figura</b>	<b>Pág.</b>
1 Mapa de ubicación del Área de Usos Múltiples Hawaii.....	4
2 Ilustración de las técnicas de chinampas (A) y Riley (B).....	9
3 Mapa de ubicación de áreas de restauración.....	23
4 Comportamiento del potencial de hidrogeno (pH), del agua intersticial en las chinampas del área de restauración El Papaturre.....	50
5 Comportamiento del potencial de hidrogeno (pH), del agua intersticial en las chinampas del área de restauración El Salado. ....	50
6 Comportamiento del potencial de hidrogeno (pH) del agua intersticial en los Riley del área de restauración El Salado.....	51
7 Comportamiento de la conductividad, del agua intersticial en las chinampas del área de restauración El Papaturre. ....	51
8 Comportamiento de la conductividad, del agua intersticial en las chinampas del área de restauración El Salado.....	52
9 Comportamiento de la conductividad, del agua intersticial en los Riley del área de restauración El Salado. ....	52
10 Comportamiento de los sólidos disueltos totales, del agua intersticial en las chinampas del área de restauración El Papaturre.....	53
11 Comportamiento de los sólidos totales disueltos, del agua intersticial en las chinampas del área de restauración El Salado. ....	53
12 Comportamiento de los sólidos totales disueltos, del agua intersticial de los Riley del área de restauración El Salado.....	54
13 Comportamiento de la temperatura, del agua intersticial de las chinampas del área de restauración El Papaturre. ....	54
14 Comportamiento de la temperatura, del agua intersticial de las chinampas del área de restauración El Salado.....	55
15 Comportamiento de la temperatura, del agua intersticial de los Riley del área de restauración El Salado.....	55
16 Porcentaje de sobrevivencia en las áreas de restauración.....	57

<b>17</b>	Sonda multiparamétrica Hanna, modelo HI 9811-5.....	57
<b>18</b>	Chinampas del área de restauración El Papaturre.....	58
<b>19</b>	Toma de datos fisicoquímicos en Riley. ....	58
<b>20</b>	Toma de datos fisicoquímicos en chinampas El Papaturre.....	59
<b>21</b>	Colocación de piezómetro para medir datos fisicoquímicos del agua intersticial. ...	59
<b>22</b>	Piezómetro para tomar muestra del agua intersticial. ....	60
<b>23</b>	Enumeración de chinampas.....	60
<b>24</b>	Toma de datos fisicoquímicos en chinampas en El Salado. ....	61
<b>25</b>	Calibración de sonda multiparamétrica.....	61
<b>26</b>	Toma de datos fisicoquímicos en chinampas. ....	62
<b>27</b>	Conteo de plántulas vivas en Riley en El Salado .....	62
<b>28</b>	Conteo de plántulas vivas en chinampas El Salado.....	63

## Índice de tablas

<b>Tabla</b>	<b>Pág.</b>
1 Escala de potencial de hidrogeno (pH).....	17
2 Escala de conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y dureza .....	19
3 Categoría para la evaluación de supervivencia de las plantas .....	21
4 Materiales y costos de investigación .....	22
5 Cuadro Resumen de las áreas de restauración .....	33
6 Correlación de Pearson del área El Papaturro .....	36
7 Correlación de Pearson del área El Salado.....	36
8 Coordenadas Geográficas del Área de Usos Múltiples Hawaii .....	46
9 Boleta de toma de datos para áreas de restauración.....	47

## RESUMEN

El Área de Usos Múltiples Hawaii (AUMH) pertenece al municipio de Chiquimulilla, se encuentra ubicada entre el Canal de Chiquimulilla y el Océano Pacífico a una elevación media de dos metros sobre el nivel del mar (m s. n. m.), con una temperatura media anual de 27 grados Celsius (C°) y precipitación anual media de 1,805.5 milímetros. Posee cinco especies de mangle.

Esta investigación se realizó durante los meses de septiembre a octubre de 2021, con el apoyo del Instituto Nacional de Bosques (INAB) y la Asociación de Rescate y Conservación de Vida Silvestre (ARCAS).

En el AUMH se han ejecutado proyectos de restauración del manglar sin evaluación de los resultados, por lo que el objetivo fue evaluar los procesos de restauración realizados en el área. La información de sobrevivencia de las plantas de mangle en las áreas restauradas, se obtuvo utilizando el muestreo aleatorio simple y la correlación de Pearson. Además, se analizaron los parámetros físico-químicos del agua intersticial (temperatura, conductividad eléctrica, potencial de hidrogeno, solidos disueltos totales).

Se estimó el porcentaje de sobrevivencia de las plántulas bajo cada una de las técnicas (técnica de chinampas y Riley) de restauración utilizados en las áreas de El Salado y El Papaturo dando como resultado que la sobrevivencia de las plantas de mangle rojo en las chinampas de El Papaturo fue de 26 %, en las chinampas de El Salado se tuvo el 42 % y con los Riley de El Salado 71 % siendo la segunda técnica la que presentó mejores resultados.

En este estudio, se encontró que los parámetros fisicoquímicos, no tienen influencia sobre el porcentaje de sobrevivencia en las plantas de mangle rojo en las áreas de restauración.

## ABSTRACT

The Hawaii Multiple Use Area (HMUA) belongs to the urban community of Chiquimulilla. It is located between the Chiquimulilla Canal and the Pacific Ocean at an average elevation of two meters above sea level, with an average annual temperature of 27 degrees Celsius (°C) and an average annual precipitation of 1,805.5 millimeters. It features five species of mangrove.

This research was conducted in the period of September to October 2021, with the support of the National Forestry Institute (INAB) and the Wildlife Rescue and Conservation Association (ARCAS).

Mangrove restoration projects have been carried out in the AUMH without an evaluation of their results. Therefore, the objective was to assess the restoration processes implemented in the area. Data on the survival of mangrove plants in the restored areas were obtained using simple random sampling and Pearson correlation. Additionally, the physicochemical parameters of interstitial water (temperature, electrical conductivity, hydrogen potential, and total dissolved solids) were analyzed.

The survival rate of seedlings under each restoration technique (chinampas technique and Riley) used in the El Salado and El Papaturro areas was estimated, with results showing that the survival of red mangrove plants in the chinampas of El Papaturro was 26%, in the chinampas of El Salado was 42%, and with the Riley in El Salado was 71%, with the latter technique showing the best results. This study found that the physicochemical parameters do not influence the survival rate of red mangrove plants in the restoration areas.

## I. Introducción

El Área de Usos Múltiples Hawaii (AUMH), se encuentra ubicado en el municipio de Chiquimulilla, departamento de Santa Rosa en el Bosque seco Subtropical (bs-S), entre la franja norte del bosque manglar del Canal de Chiquimulilla y el Océano Pacífico; a 13° 52' 14.412" latitud norte y 90° 25' 5.361" longitud oeste y se encuentra a una elevación media de dos metros sobre el nivel del mar (m s. n. m.) (ARCAS, 2001, p. 6)

El área en su mayoría está ocupada por cinco especies de mangles: rojo (*Rhizophora mangle* L. y *Rhizophora racemosa* L.), blanco (*Laguncularia racemosa* (L.) C.F. Gaertn.), madre sal (*Avicennia germinans* (L.) L.) y botoncillo (*Conocarpus erectus* L.), predominando el mangle rojo. (CONAP, 2009, p. 63).

Las especies de mangle se encuentran en la lista roja del Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), la cual contiene las especies amenazadas o en peligro de extinción. La principal razón es la constante amenaza provocada por las actividades antropogénicas, de las cuales, la tala excesiva constituye la problemática más grave que afronta el ecosistema manglar de Hawaii, también las alteraciones hidrológicas y el avance de la frontera agrícola han contribuido a la disminución de la densidad de las especies de mangle.

En el año 2019 la Asociación de Rescate y Conservación de Vida Silvestre (ARCAS) realizó una reforestación asistida de mangle rojo utilizando dos técnicas de restauración (Riley y chinampas) en la cual, se establecieron 90 Riley con dos plantas (propágulos), en un área de 85 m<sup>2</sup> y 12 chinampas con seis plantas, en 150 m<sup>2</sup>.

Esta investigación se realizó con el objetivo de evaluar el proceso de restauración en el ecosistema manglar del AUMH. Para la recolección de la información se utilizó el muestreo aleatorio simple, correlación de Pearson y el análisis de los parámetros físico-químicos del agua intersticial, la evaluación de los parámetros físicoquímicos del agua intersticial en la restauración de manglares es esencial para comprender y mantener las

condiciones adecuadas para el crecimiento y la supervivencia de las plantas y los organismos asociados. Los resultados serán útiles para la toma de decisiones, en relación a futuras restauraciones de esta área.

## II. Objetivos

### 2.1. Objetivo general

- Evaluar los procesos de restauración, en el ecosistema manglar dentro del Área de Usos Múltiples Hawaii, Chiquimulilla, Santa Rosa.

### 2.2. Objetivos específicos

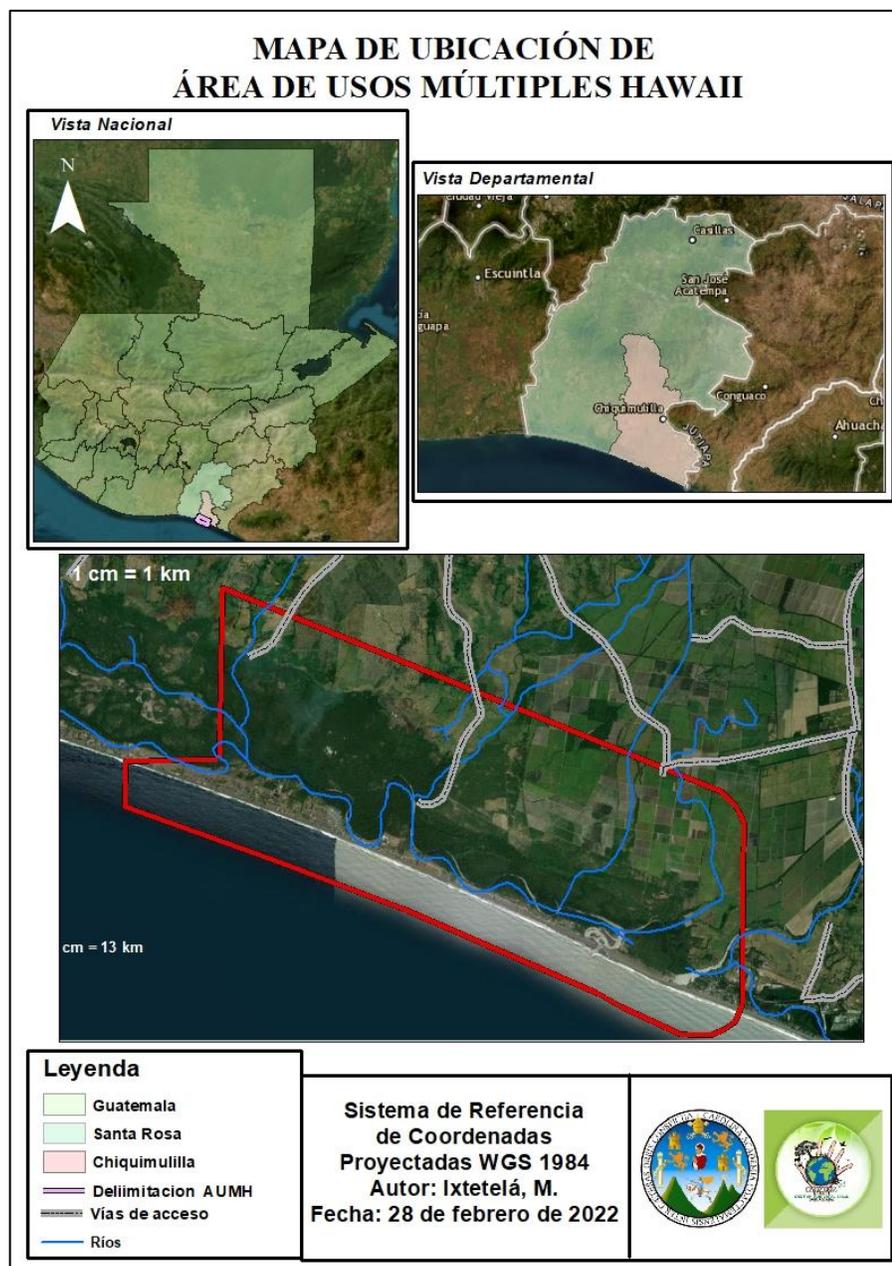
- Determinar los parámetros físico-químicos del agua intersticial de las áreas de restauración en el AUMH.
- Establecer el porcentaje de sobrevivencia de las plántulas de mangle, sembradas en las áreas de estudio.
- Comparar la proporción de sobrevivencia de mangle sembrado en chinampas.

### III. Revisión de literatura

#### 3.1. Marco referencial

El Área de Usos Múltiples Hawaii (Figura 1), pertenece al municipio de Chiquimulilla, departamento de Santa Rosa, se encuentra a una distancia de 135 kilómetros de la ciudad capital y a 27 kilómetros de la cabecera municipal. (ARCAS, 2001, p. 6)

Figura 1



**Nota:** Elaborado en base a shapes proporcionados por el MAGA, 2006

La vía de acceso más utilizada hacia el Área de Usos Múltiples Hawaii (AUMH) es por el puerto Iztapa, esta ruta tiene una extensión de 135 kilómetros, se encuentra en la zona de vida Bosque seco Subtropical (bs-S) (De La Cruz , 1982), entre la franja norte del bosque manglar del Canal de Chiquimulilla y el Océano Pacífico; a 13° 52' 14.412" latitud norte y 90° 25' 5.361" longitud oeste y se encuentra a una elevación media de dos m s. n. m, con una temperatura media anual de 27 grados centígrados (°C) y precipitación media anual de 1,805.5 mm. (ARCAS, 2001, p. 6)

La propuesta de declaración del área de usos múltiples, se basa totalmente en acciones de conservación y uso sostenible que se desarrollan desde los años 70, el área es hogar de especies en vías de extinción, especialmente para las tortugas marinas parlama (*Lepidochelys olivacea*), baule (*Dermochelys coriácea*) y el mangle rojo (*Rizophora mangle*). (ARCAS Y CONAP, 2010, p. 9)

Se han llevado a cabo actividades de conservación y protección de fauna silvestre desde la década de los setenta, en especial se han hecho actividades para la conservación de la tortuga marina, estas actividades han sido por parte de diversas instituciones, tales como el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) que inició labores de conservación en 1972, a través del Instituto Nacional Forestal (INAFOR) y después la Dirección General de Bosques (DIGEBOS) en la aldea el Hawaii, así como en otras aldeas y caseríos vecinos. (ARCAS Y CONAP, 2010, p. 10)

Según ARCAS, Estudio técnico AUMH. (2001, P. 13) el área total protegida es de 4,105.22 hectáreas (ha), con una zona de amortiguamiento de 6,417.80 ha y un perímetro de 38 kilómetros. (Ver figura No. 1, pág. 4)

En la zona de estudio se encuentran cinco especies de mangle: rojo (*Rhizophora mangle* L. y *Rhizophora racemosa* L.), blanco (*Laguncularia racemosa* (L.) C.F. Gaertn.), madre sal (*Avicennia germinans* (L.) L.) y botoncillo (*Conocarpus erectus* L.). El área se localiza en las zonas de vida Bosque seco Subtropical (bs-S), compuesto por la flora representativa madre cacao (*Gliricidia sepium*) y guachimol (*Pithecellobium dulce*). La zona de vida abarca una franja angosta de unos tres a cinco kilómetros en el Litoral del Pacífico, la cual viene desde la frontera con México hasta las cercanías de Las Lisas, en el Canal de Chiquimulilla (De La Cruz , 1982).

### **3.1.1. Esfuerzos de restauración en Guatemala**

En Guatemala se tienen antecedentes de varios esfuerzos para la recuperación de áreas de manglar, pero limitado a la reforestación y no a la restauración. Estos esfuerzos surgieron considerando el alto consumo de productos del mangle, que no permite la regeneración natural del bosque aunado al acelerado cambio de uso de la tierra. Unos de los primeros ensayos reportados en reforestación se llevaron a cabo en Tilapa Ocós, en el departamento de San Marcos en 1984, en ese entonces como iniciativa del personal local del instituto Nacional Forestal (INAFOR) y pobladores de la región. Otro esfuerzo que data de 1985 fue realizado en la localidad San José Churirín de Mazatenango, también como iniciativa del INAFOR y las comunidades locales. (Ammour , Imbach, Suman , & Windevoxhel, 1999, pp. 90-95)

### **3.1.2. Estrategia de conservación del manglar**

Los esfuerzos por regular el aprovechamiento y el buen uso del mangle datan desde el año 1990. Ese mismo año la Dirección General de Bosques, inicio el consenso para regular el aprovechamiento de mangle. En 1991, se continuó coordinando con instituciones y actores clave de las comunidades aledañas al canal de Chiquimulilla, comunidades de Escuintla, Santa Rosa y Jutiapa, para el uso adecuado del manglar. (López-López, Morales, Soberanis, & Ramírez, 2016, p. 11)

Guatemala hoy en día cuenta con una ley de incentivos forestales que entró en vigencia (Ley Probosque), la cual busca promover la conservación, recuperación y uso sostenible de los recursos forestales del país dicha ley tiene entre sus modalidades, incentivos por protección, restauración, sistemas agroforestales, entre otros, incluyendo el ecosistema manglar. (López-López, Morales, Soberanis, & Ramírez, 2016, p. 11)

### **3.1.3. Trabajos realizados en Guatemala sobre el ecosistema manglar**

Investigaciones sobre las evaluaciones de las áreas de restauración específicamente no existe, pero si hay respecto a la biología y ecología de los manglares de Guatemala, la mayoría de estudios se han enfocado en su conservación en las zonas marino-costeras del Pacífico del país.

Entre las investigaciones relacionadas con el mangle están la tesis de licenciatura de Godoy, (1980), quien realizó su investigación de la distribución, composición florística y análisis estructural del manglar en Las Lisas, en la que se reportan siete especies de mangle, concluyendo que la distribución de los mismos es influenciada por las condiciones ambientales del área, además que algunas de estas variaciones pueden deberse al grado de intervención humana.

Otra de las investigaciones relacionadas, se encuentra la tesis de licenciatura de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de Sáenz, (1984) quien estudio la relación entre algunos parámetros físico-químicos del ecosistema estuarino y su relación con el desarrollo de *Rhizophora mangle* L. en el manglar de Las Lisas en el Pacífico de Guatemala. Reportó que la salinidad es bastante homogénea y está en mayor grado influenciada por las mareas, existe una estabilidad térmica entre los dos niveles de profundidad y a lo largo del canal, los valores elevados de conductividad eléctrica revelan gran cantidad de iones disueltos, el pH es alcalino debido a la gran cantidad de sales presentes; en cuanto a los suelos, son franco arcillosos, con un contenido de materia orgánica de bajo a medianamente alto, con grandes cantidades de azufre y boro, las características del suelo son el resultado de procesos combinados de salinización y

acumulación de sodio, y su conductividad eléctrica refleja gran cantidad de partículas ionizadas.

También otro de los estudios realizados en mangle, es el de Méndez-Ortiz, (2014) quien realizó una asociación de los parámetros físico-químicos del agua con la estructura y composición de los ensambles de manglar en la Bahía La Graciosa, Refugio de Vida Silvestre ubicado en Puerto Barrios, Izabal. Confirmando así, que existe un patrón espacial de las densidades de las especies en la Bahía La Graciosa que no es explicado con los parámetros analizados. Este patrón podría ser explicado por otros parámetros que no fueron medidos en este estudio tales como la textura y los nutrientes del sedimento, así como las concentraciones de nitratos y fosfatos del agua.

#### **3.1.4. Técnicas de restauración utilizadas dentro del Área de Usos Múltiples Hawaii (AUMH)**

Dentro del Área de usos Múltiples Hawaii, se han utilizado dos técnicas de restauración, las cuales se ilustran en la figura No. 2, pág. 9 y se describen a continuación:

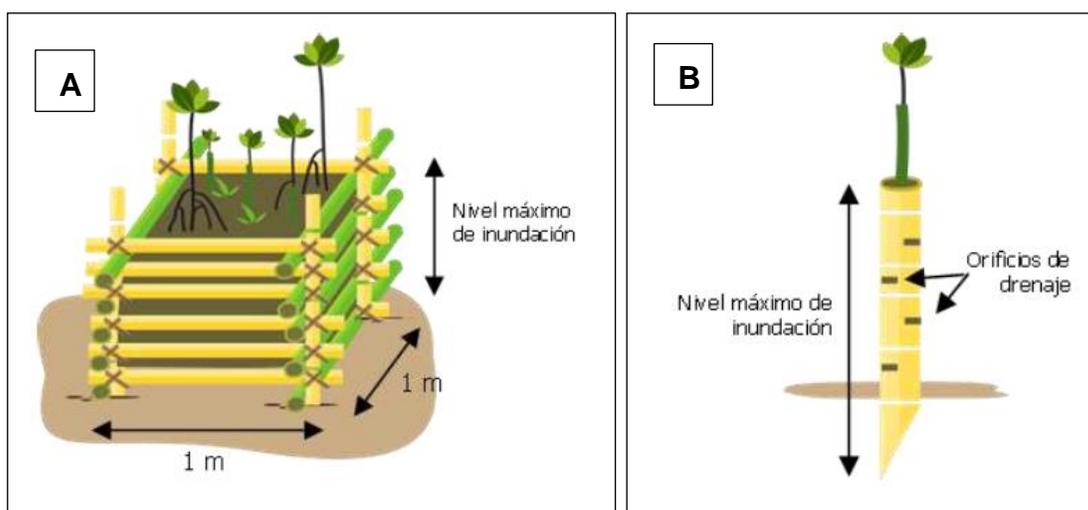
- **Chinampas:** La técnica de chinampas consiste en construcciones rectangulares de 1 x 1 m, realizadas con bambú o madera seca, se construyen a una altura correspondiente al nivel máximo de inundación, que se rellenan de lodo y material vegetal degradado. López-López, et al., (2016, p. 22). Según Armillas, (1971, p. 54) Las chinampas se forman mediante la acumulación de capas de vegetación, lodo, y tierra, creando un espacio fértil para el cultivo.
- **Riley:** Esta técnica consiste en tubos PVC o trozos de bambú de cuatro a cinco pulgadas de diámetro con los entrenudos perforados internamente con ranuras de drenaje y corte en bisel en un extremo y con una longitud que permita sobresalir 10 cm sobre el nivel máximo de inundación al ser enterrados. (López-López, et al., p. 22)

Se rellenan completamente con lodo procurando no dejar espacios o bolsas de aire, pues esto limita el flujo de agua a la planta durante la época seca.

Finalmente, se colocan en grupos de cinco a una distancia mínima de cinco m en donde fluya el agua, así también ayuda a que las especies invasoras como pastos y el tul no volteen los propágulos cuando hay vientos y también ayuda a evitar competencia.

La técnica de Riley se enfoca en la regulación del agua en el suelo para prevenir el encharcamiento excesivo, que puede ser perjudicial para los cultivos. Esto se logra mediante la implementación de sistemas de drenaje y el control del nivel de agua en el suelo. (Riley, 1984, p. 489)

**Figura 2 Ilustración de las técnicas de chinampas (A) y Riley (B).**



*Fuente: (López-López, et al., 2016, p. 22)*

### 3.1.5. Esfuerzos de restauración del ecosistema manglar en el Área de Usos Múltiples Hawaii

Se han llevado a cabo varios esfuerzos, para la reforestación de áreas degradadas a lo largo de toda la costa del Pacífico de Guatemala, los mismos han involucrado acciones de instituciones, estudiantes, pobladores y voluntarios de otras regiones y países.

En el caso del AUMH, se llevó a cabo una reforestación asistida en el año 2019, dirigida por ARCAS Hawaii bajo la supervisión del biólogo Alan Marroquín. Esta iniciativa utilizó dos técnicas de restauración: Riley y chinampas.

En la primera técnica de restauración se establecieron 90 Riley, el cual consiste en tubos de PVC o bambú con el objetivo de sobresalir 10 cm sobre el nivel máximo de inundación al ser enterrados, con dos propágulos en un área aproximada de 85 metros cuadrados (m<sup>2</sup>) y en el segundo se establecieron 12 chinampas, estas consisten en plataformas rectangulares rellenas de lodo y materiales vegetal degradado, con 6 plántulas en un área aproximada de 150 m<sup>2</sup>. (Topo SIG, 2020, p. 5)

En el año 2020, se instalaron un total de 36 chinampas en dos sitios de restauración de manglares: 12 en el proyecto de restauración El Salado (RES) y 24 en el proyecto de restauración El Papaturre (REP). En cada una de estas estructuras, se plantaron seis plántulas de mangle rojo (*Rhizophora mangle*) de aproximadamente 50 cm de altura.

Sin embargo, estas acciones no fueron evaluadas posteriormente, por lo tanto, la información es insuficiente para determinar la situación actual en las que se encuentran.

### **3.2. Marco teórico**

Este estudio aborda los aspectos esenciales relacionados con la restauración de manglares en Guatemala, un ecosistema vital para la biodiversidad, la protección de costas y la mitigación del cambio climático. Se exploran las especies de mangle predominantes en el país y su adaptación a condiciones específicas como la conductividad, pH, y otros parámetros fisicoquímicos.

#### **3.2.1. Humedales**

El término humedal abarca una gran variedad de ecosistemas según Claudio Méndez, (2001, p. 1) los humedales en general son sistemas cuyas características están determinadas por la presencia de agua dulce, salobre o salada. Es decir, ríos, lagos,

lagunas, pantanos, sistemas costeros como los ecosistemas de manglar, sistemas hídricos subterráneos, arrecifes coralinos, estuarios, arroyos, turberas y manantiales.

De acuerdo al convenio de RAMSAR, llamado así porque fue firmado en la ciudad iraní de Ramsar, el cual cuyo objetivo principal es la conservación y el uso sostenible de los humedales, indica que son una amplia variedad de hábitat, como pantanos, turberas, llanuras de inundación, ríos y lagos, y áreas costeras como marismas, manglares y praderas de pastos marinos, pero también arrecifes de coral y otras áreas marinas cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros. (Ramsar, 2013, p. 1)

Según Patricia Moreno-Casasola, (2016, p. 15) deben tener una o más de las siguientes características:

- a) los suelos son hidromorfos, es decir, están saturados de agua durante parte del año o bien todo el año, lo que les da una coloración con diferentes tonos de gris.
- b) debe presentar una lámina de agua con escasa profundidad o bien agua subterránea próxima a la superficie del terreno, ya sea permanente o temporal, y al menos periódicamente, el terreno debe mantener una vegetación acuática.

En esta investigación solamente se describe sobre los humedales marinos y estuarinos por estar representados en el Área de Usos Múltiples Hawaii.

Los humedales marinos y estuarinos se sitúan sobre la zona costera, con acceso al mar de forma permanente o esporádica (por ejemplo, por la presencia de una barra arenosa que se forma anualmente), y por lo menos ocasionalmente reciben escurrimientos de agua dulce. Ejemplo de ello son las praderas de pastos marinos, los estuarios, los manglares y las marismas. (Méndez-Ortiz , 2014, p. 6)

### **3.2.2. Manglares**

La palabra “mangle” se deriva de un vocablo guaraní que significa árbol torcido. Los manglares pertenecen a la vegetación arbórea de la zona de mareas que pertenecen al

ecotono entre los ambientes terrestres y marinos Agraz-Hernández, et al., (2006, p. 2). Aunque Ellison & Stoddart, (1991, p. 151) define a los manglares como un grupo taxonómicamente diverso de árboles que soportan la salinidad y que se desarrolla principalmente en regiones tropicales y subtropicales.

El mangle en general tiene raíces modificadas para absorber aire y agua, la mayoría excreta sales por las hojas y sus frutos germinan en el árbol antes de caer, constituyen ecosistemas que pasan la mayor parte del año inundados por agua salina, ya que están asociados a las mareas y se clasifican como humedales estuarinos. Los manglares son un bosque que mantiene sus hojas todo el año, denso y compuesto por un grupo pequeño de árboles (mangles) que marcan su transición entre el mar y la tierra. (Moreno-Casasola & Infante Mata , 2016, p. 33)

La estructura de los manglares, según Flores-Verdugo, (1989, p. 21) está definida por la salinidad, flujos de mareas, frecuencia y periodos de inundación, clima, características físicas del sedimento, características físicas y químicas del agua, frecuencia de huracanes, parásitos y enfermedades, energía del oleaje, edad del bosque, contaminante y otras actividades antropogénicas.

### **3.2.3. Especies de mangle en Guatemala**

Según Zacarías-Coxic, Sánchez Cruz, & Cifuentes Barrientos, (2019, p. 8) En el país se cuentan con seis especies arbóreas de mangle, a continuación, se describen:

#### **a) Madre Sal (*Avicennia bicolor Standl*)**

Pertenece a la familia Acanthaceae, alcanza alturas de 13 m y 30 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP), ramas jóvenes glabras; hojas sobre pecíolos erectos de cuatro a 15 mm de largo, los limbos enteros, anchamente elípticos a ovados, de cinco a 13 cm de largo, de tres a siete cm de ancho, redondos u obtusos en el ápice con semillas péndulas,

sin endospermo, usualmente germinando en la cápsula. Se ubica en los municipios de Moyuta y Pasaco en los departamentos de Jutiapa y Santa Rosa.

**b) Mangle Negro (*Avicennia germinans* (L.) L.)**

Pertenece a la familia Acanthaceae, alcanza alturas de 50 m, se caracteriza por tener su corteza someramente fisurada, oscura y naranjado rojiza en el interior, hojas sobre pecíolos cortos y extendidos, los limbos coriáceos, oblongos u oblongo lanceolados, de tres a 12 cm de largo, uno a cuatro cm de ancho, obtusos o agudos, agudos o atenuados en la base, grisáceos o verdes en el haz, y glabros o finamente pubescentes o puberulentos, blanquecinos, grisáceos o pálidos en el envés, y densa y diminutamente puberulentos o a veces glabros abacialmente con semillas péndulas, sin endospermo, usualmente germinando en la cápsula. Se encuentra distribuida en toda la costa sur del Pacífico y en el Atlántico guatemalteco en el municipio de Livingston, Izabal.

**c) Mangle Botoncillo (*Conocarpus erectus* L.)**

Pertenece a la familia Combretaceae, alcanza alturas hasta de 20 m. Hojas 3-12 x 1-3.5 cm (incluyendo el pecíolo), angostamente elípticas o algunas veces elípticas, con dos glándulas sésiles en el pecíolo o la lámina decurrente, gradualmente atenuándose en la base y ápice. Cabezuelas de flores tres a cinco mm de diámetro, agrandándose hasta cinco o 15 x siete o 13 en el fruto. Esta especie en Guatemala forma pequeños bosques puros y regularmente se encuentran en la zona de transición entre los manglares y los bosques secos en el litoral del Pacífico y en el Atlántico escasamente localizable.

**d) Mangle Blanco (*Laguncularia racemosa* (L.) C.F.Gaertn)**

Pertenece a la familia Combretaceae, alcanza alturas hasta de 20 metros de alto y 60 cm de DAP. Su tronco es recto con ramas ascendentes, copa redondeada y densa, su corteza externa es gris oscuro a rojiza y se parte en pequeñas placas. La corteza interna es de color rosa a rojo oscuro. Sus hojas son elípticas a oblongo-elípticas, glabras, la base y el ápice obtusos a redondeados; pecíolo de siete a 20(-25) mm, con dos glándulas sésiles distales. Espigas de dos a 20 cm (incluyendo el pedúnculo). Flores pistiladas y

bisexuales hasta 6.5 mm (incluyendo el ovario y el cáliz). Frutos 12-20 x cuatro a 10 mm (incluyendo el ovario y el cáliz). Esta especie se pueden localizar en ambas costas (Atlántico y Pacífico) de Guatemala y en los departamentos de San Marcos, Retalhuleu y Escuintla.

**e) Mangle Rojo (*Rhizophora mangle* L.)**

Pertenece a la familia Rhizophoraceae, alcanza alturas hasta de 30 m, hojas de cinco a 20 x dos a 10 cm, elípticas, el ápice agudo; pecíolo de uno a cuatro cm; estípulas de tres a siete cm, inflorescencias ramificadas dicotómicamente uno a dos veces, rara vez tres veces, o la primera ramificación tricotómica, o las flores solitarias; pedúnculo 1.5-8 cm, laxo; pedicelos seis a 23 mm; brácteas dos o tres, cinco o 20 mm, connatas, los márgenes escariosos, el ápice agudo a anchamente agudo; bractéolas dos, cinco a 20 mm, connatas, los márgenes escariosos, el ápice agudo a anchamente agudo. Su distribución es la de mayor abundancia en todo el Pacífico y Atlántico de Guatemala. Importante resaltar que esta especie esta reportara dentro de área protegida de Laguna del Tigre ubicada en el departamento de Petén.

**f) Mangle Rojo (*Rhizophora racemosa* G. Mey)**

Pertenece a la familia *Rhizophoraceae*, alcanza alturas hasta de 25 m, hojas siete a 14 x tres a ocho cm, elípticas, el ápice agudo; pecíolo de uno a tres cm; estípulas 3.5-6 cm, inflorescencias ramificadas dicotómicamente cinco a seis veces, o la primera ramificación tricotómica, las ramas rígidas, robustas, divaricadas o casi divaricadas. Se encuentran en zonas de marea, estuarios, lagunas costeras y de aguas salobres.

En Guatemala esta especie se cuenta con reportes desde el municipio de Sipacate, Escuintla hasta la frontera con el Salvador en el departamento de Jutiapa.

En el Área de Usos Múltiples Hawaii (AUMH) se encuentran alrededor de cinco especies diferentes de mangle a los que se conoce con su nombre común como: mangle rojo o mangle colorado o (*Rhizophora mangle* y *R. harrisonii*), mangle negro, madre sal o ixtatén

(*Avicennia germinans*), mangle blanco (*Laguncularia racemosa* (L) Gaerth.f.) y botoncillo o mangle botón (*Conocarpus erecta*). (ARCAS Y CONAP, 2010, p. 17)

La especie más abundante de mangle en el AUMH es el mangle rojo y se encuentra en la lista roja de especies de flora del CONAP, el mangle blanco es más común en áreas con substrato suave y con poca salinidad, se le encuentra lejos del estero y en cantidades mayores a lo largo del canal, mezclado con rodales de mangle rojo, generalmente se desarrolla en franjas internas del bosque de manglar, en lagunetas de baja salinidad y asociado con *A. germinans* donde las inundaciones de marea son menos frecuentes. Los rodales de mangle negro más extensos se encuentran en los bosques de El Chapetón; esta especie también se encuentra en la lista roja del CONAP. Cuando el mangle negro se encuentra aislado se desarrolla bien, llega a alcanzar diámetros de hasta 60 cm y alturas de 20 a 30 m (ARCAS Y CONAP, 2010, p. 17)

#### **3.2.4. Agua intersticial**

El agua intersticial agua que ocupa los espacios porosos entre las partículas de suelo, sedimentos o rocas en un entorno natural. Esta agua juega un papel fundamental en la dinámica de los ecosistemas acuáticos y terrestres, especialmente en zonas costeras y humedales.

El agua intersticial es crucial para el transporte de nutrientes esenciales, como nitratos, fosfatos y materia orgánica disuelta, hacia las raíces de las plantas. También es el medio por el cual se difunden los gases, como el oxígeno y el dióxido de carbono, que son vitales para los procesos biológicos en el suelo. Además, esta agua puede transportar contaminantes, afectando la calidad del suelo y el agua circundante. (Hillel, 2004)

En ecosistemas de manglares, por ejemplo, el agua intersticial tiene una alta salinidad, lo que desafía la supervivencia de muchas plantas. Sin embargo, los manglares están adaptados para extraer agua dulce y manejar las concentraciones de sal a través de procesos fisiológicos especializados. (Schaaf et al., 2005)

La química del agua intersticial influye directamente en la disponibilidad de nutrientes y en las condiciones redox del suelo, que afectan la solubilidad y movilidad de diversos elementos y compuestos, esenciales para la vida microbiana y vegetal. (Reddy & DeLaune, 2008)

### **3.2.5. Variables fisicoquímicas del agua intersticial**

Los parámetros fisicoquímicos del agua intersticial deben analizarse a una profundidad de 30 cm ya que, según Infante, et al., (2009, p. 32) esta se encuentra entre los 30 y 40 cm de profundidad y expresa las condiciones hidrológicas más constantes del ecosistema. Se considera que la medición de las variables fisicoquímicas en este almacén proporciona la mayor parte de la información sobre los procesos biogeoquímicos del sitio, debido a que es aquí donde se localiza la mayor parte de las raíces y los microorganismos.

#### **a) Potencial de Hidrogeno (pH)**

Los cambios de pH en los suelos de los manglares influyen significativamente en el equilibrio de óxidos, hidróxidos, carbonatos, sulfuros, fosfatos y silicatos. Ese equilibrio regula la precipitación y disolución de los sólidos, la adsorción y separación de los iones. Reddy & DeLaune, (2008, p. 18) Se ha observado también que el pH puede afectar los estadios iniciales de crecimiento de las plántulas de manglar. (Lim, 2012, p. 147)

Las variaciones de pH en el agua que van hacia la alcalinidad (valores mayores de 8.5) se deben principalmente a la actividad de organismos que intervienen en el ciclo del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), tales como moluscos y bivalvos que, a su muerte, liberan cantidades significativas de carbonatos. Otra causa es la precipitación de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) a partir de suelos calcáreos y su resuspensión. En cambio, los pH bajos (menores a siete) se localizan íntimamente relacionados con procesos de descomposición de materia orgánica y liberación de ácidos. La introducción de sustancias tóxicas provenientes de la industria, generalmente hace bajar los valores de pH. Se han detectado valores bajos, cercanos a cinco, frecuentemente asociados a desechos provenientes de actividades industriales. Las áreas anóxicas, que son el reflejo de

extensiones aisladas de la circulación general de una laguna dada, son detectadas, junto con las de escasos contenidos de oxígeno disuelto, por sus valores bajos en el pH. (Abarca, 2007, p. 125)

Según García de la Fuente, (2013, p. 4) la medición del pH se emplea para expresar la intensidad de la acidez, la basicidad o la alcalinidad. El pH no indica la cantidad de compuestos ácidos o alcalinos en el agua, sino la fuerza que éstos tienen.

**Tabla 1 Escala de potencial de hidrogeno (pH)**

<b>pH</b>	<b>Clasificación</b>
Extremadamente ácido	< 4.5
Fuertemente ácido	4.6 - 5.5
Ácido	5.6 – 6
Ligeramente ácido	6.1 – 6.6
Neutro	6.7 – 7.2
Ligeramente alcalino	7.3 – 7.8
Alcalino	7.9 – 8.4
Fuertemente alcalino	8.5 – 9
Extremadamente alcalino	9.1 - 10

**Fuente:** (Hanna Instruments SAS, 2018)

### **b) Temperatura intersticial**

Existen dos temperaturas que afectan los manglares: la ambiental, que limita su distribución geográfica, y la del agua intersticial, que regula los procesos biológicos (p. ej., microbianos).

En cuanto a la temperatura ambiental, los manglares alcanzan su mejor desarrollo bajo condiciones tropicales o subtropicales, donde la temperatura atmosférica en los meses más fríos es superior a los 20 °C y la fluctuación estacional no excede los cinco grados centígrados. (Kathiresan & Qasim, 2005, p. 144)

La temperatura del agua intersticial, es una variable que responde a las condiciones locales del clima y es el principal regulador en los procesos geoquímicos y biológicos en el manglar. Este factor influye en el crecimiento, la actividad y sobrevivencia de los organismos; también en las reacciones químicas y enzimáticas reguladoras del proceso de la descomposición de la materia orgánica, ya que la actividad microbiana y la descomposición de la materia orgánica se aceleran con el incremento de la temperatura y ésta modifica la disponibilidad de oxígeno. (Reddy & DeLaune, 2008)

La temperatura intersticial afecta directamente muchos de los procesos biológicos y fisicoquímicos, incluyendo a los nutrientes que se encuentran en el agua. En especial, afecta la solubilidad de muchos elementos y principalmente el oxígeno disuelto. En condiciones normales, a medida que aumenta la temperatura, la solubilidad del oxígeno es menor. (Wetzel, 2001, p. 135)

### **c) Conductividad eléctrica**

Es la capacidad de que una sustancia pueda conducir la corriente eléctrica. Es una variable que depende de la cantidad de sales disueltas en un líquido. La unidad de medición utilizada comúnmente es el siemens por centímetros (S/cm), microsiemens por centímetros ( $\mu\text{S/cm}$ ), o milisiemens por centímetros (mS/cm). (García de la Fuente, 2013, p. 2)

Según Sawyer, McCarty, & Parkin (2003, p. 569) En soluciones acuosas el valor de la conductividad es directamente proporcional a la concentración de sólidos disueltos." Por lo tanto, cuanto mayor sea dicha concentración mayor será la conductividad. cómo puede observarse en los valores apuntados a continuación:

- Agua pura: 0,055  $\mu\text{S/cm}$ .
- Agua destilada: 0,5  $\mu\text{S/cm}$ .
- Agua de montaña: 1,0  $\mu\text{S/cm}$ .
- Agua de uso doméstico: 500-800  $\mu\text{S/cm}$ .

- Agua de mar: 50.000-60.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

**Tabla 2 Escala de conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y dureza**

Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Dureza
0-140	Muy blanda
140-300	Blanda
300-500	Ligeramente dura
500-640	Moderadamente dura
640-840	Dura
>840	Muy dura

**Fuente:** (Hanna Instruments SAS, 2018, p. 4)

#### **d) Sólidos disueltos totales (SDT)**

El valor de los SDT es uno de los principales indicadores de la calidad del agua. El TDS es el total de sales disueltas y se puede expresar en miligramos por litro (mg/l), gramos por metro cúbico ( $\text{g}/\text{m}^3$ ) o partes por millón (mg/l). El hecho de que el agua tenga sales en disolución, hace que ésta sea conductiva a la electricidad. Así un agua con muchas sales, es muy conductiva y la medida de la conductividad nos permite evaluar de una forma rápida la salinidad del agua. (García de la Fuente, 2013, p. 3)

Las sales más habituales en el agua son las de calcio, magnesio y sodio. En las aguas no salobres la presencia de calcio y magnesio representa el 90% de la concentración salina. Estos componentes resultan molestos en la utilización del recurso hídrico.

#### **3.2.6. Medición de parámetros fisicoquímicos**

Los parámetros fisicoquímicos pueden medirse mediante diferentes métodos, instrumentos y tecnologías, cada uno adaptado al tipo de parámetro y al objetivo de la medición. En investigaciones ambientales y de restauración de ecosistemas acuáticos, como los manglares, el uso de sondas multiparamétricas es una práctica común debido a su eficiencia y precisión.

Una sonda multiparamétrica es un dispositivo que permite medir varios parámetros fisicoquímicos al mismo tiempo. Estos equipos están diseñados para realizar mediciones rápidas y confiables directamente en el sitio de estudio, lo que permite obtener datos precisos sin necesidad de transportar muestras al laboratorio. Las sondas multiparamétricas suelen medir parámetros como el pH, temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y total de sólidos disueltos (TDS), entre otros, dependiendo del modelo y de los sensores que posea. (Hanna Instruments SAS, 2018)

#### **3.2.6.1 Sonda multiparamétrica HANNA HI-9811-5**

La sonda HI 9811-5 es un medidor de pH / CE / TDS a prueba de agua, diseñados para simplificar la toma de muestras pH, mS / cm, ppm (mg / L) y las mediciones de temperatura. Este es el equipo ideal para hacer mediciones en el cultivo hidropónico, invernaderos, agricultura y aplicaciones de agua subterránea. Ya que gracias a su sensor de temperatura incorporado las lecturas de conductividad compensan automáticamente los cambios de temperatura. (Hanna Instruments SAS, 2018, p. 1)

El coeficiente de temperatura se fija en 2% / ° C. tiene la facilidad de que no se requiere un cambio de sondas cuando se cambia el parámetro de medición entre pH, conductividad y TDS. Estos medidores multiparámetro reducen el número de instrumentos necesarios para el análisis diario de la calidad del agua. (Hanna Instruments SAS, 2018, p. 1)

La sonda especialmente desarrollada HI 1285-5 de pH/EC/TDS y temperatura utiliza unión de fibra y gel electrolítico, el cual proporciona un repuesta rápida y reduce la contaminación. Esta combinación hace al HI 1285-5 particularmente diseñada para soportar ambientes exigentes como soluciones fertilizantes. (Hanna Instruments SAS, 2018, p. 1)

### 3.2.7. Porcentaje de supervivencia

Para calcular el porcentaje de supervivencia se utiliza la siguiente fórmula, basada en la relación entre el número de plantas vivas y muertas encontradas al momento de la medición. (Centeno, 1993, p. 79)

$$\% \text{ de supervivencia: } \frac{Pv}{(Pv + Pm)} * 100$$

Donde:

Pv: plantas vivas

Pm: plantas muertas.

La categoría de supervivencia de las plantas se puede encontrar en la siguiente tabla.

**Tabla 3 Categoría para la evaluación de supervivencia de las plantas**

<b>Categoría</b>	<b>Porcentaje de supervivencia</b>
Muy bueno	80 - 100%
Bueno	60 – 79%
Regular	40 – 59%
Malo	<40%

**Fuente:** (Centeno, 1993, p. 79)

#### IV. Materiales y métodos

##### 4.1. Materiales

Los materiales utilizados en la investigación se muestran a continuación:

**Tabla 4 Materiales y costos de investigación**

No.	Recurso	Cantidad	Costo Q.	Costo Total Q.	Donante
1	Alquiler de GPS	1	300	300	ARCAS
	Alquiler de computadora	1	700	700	Estudiante de EPS
2	Alquiler de lancha a motor	1	400	400	ARCAS
3	Cinta métrica	1	50	50	ARCAS
4	Metro	1	25	25	ARCAS
5	Lápiz	3	2.00	6.00	Estudiante de EPS
6	Resma de hojas papel bond	1	27.50	27.50	Estudiante de EPS
7	Machete	1	55.00	55.00	Estudiante de EPS
8	Gasolina	7 galones	30.00	210.00	Estudiante de EPS
9	Cuaderno de apuntes	1	5.00	5.00	Estudiante de EPS
10	Alquiler de sonda multiparamétrica	1	600	600	ARCAS
12	<b>Total</b>			<b>2387.50</b>	

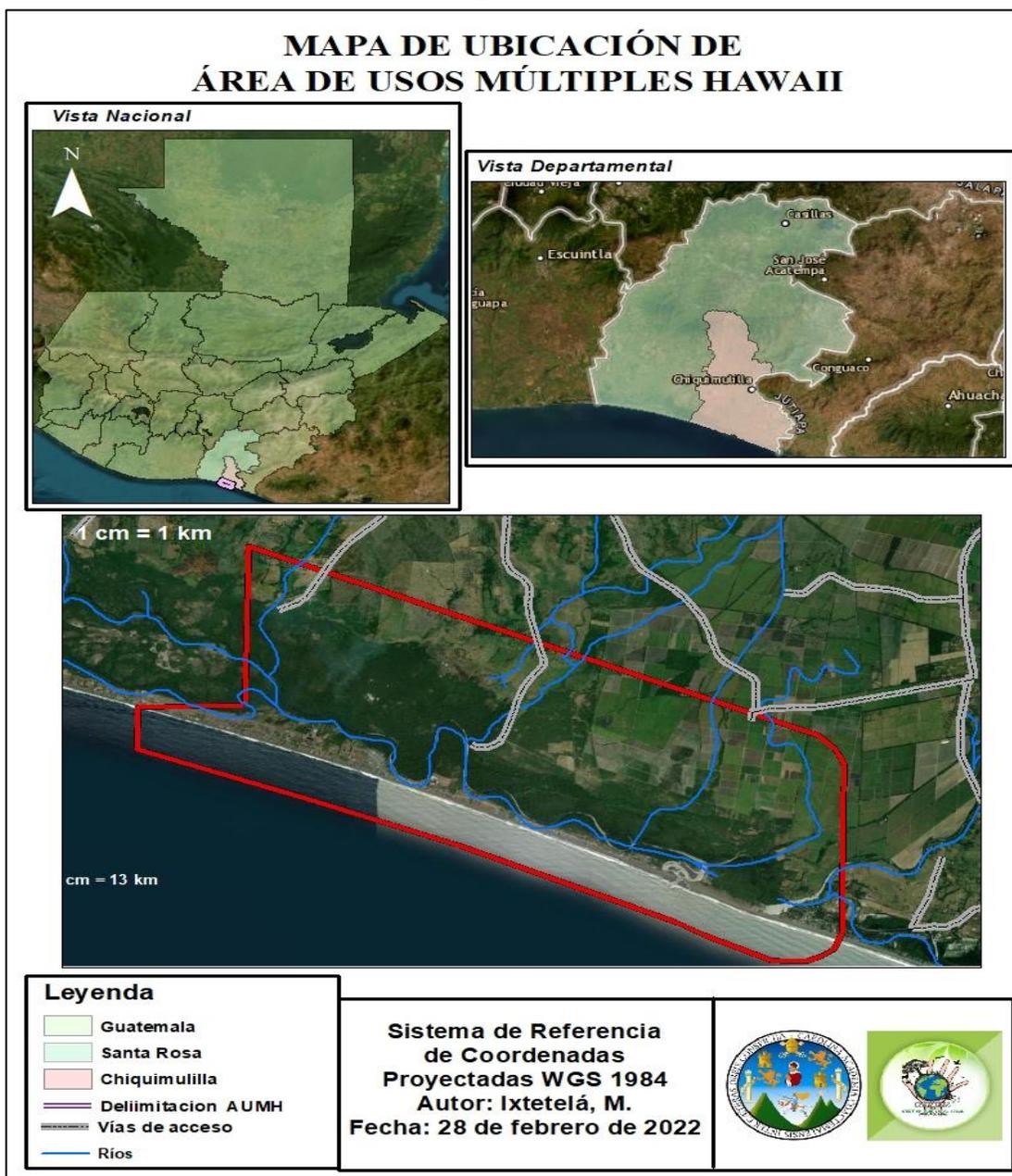
**Fuente:** Elaborado con base a cotizaciones en establecimientos locales.

## 4.2. Métodos

### 4.2.1. Ubicación del área de estudio

La investigación se realizó en el Área de Usos Múltiples Hawaii, donde se identificaron dos sitios de restauración a lo largo del canal de Chiquimulilla. Estos sitios son conocidos como 'El Salado', ubicado a  $13^{\circ}52'19.4''$  latitud norte y  $090^{\circ}23'38.2''$  longitud oeste, y 'El Papatirro', que se encuentra ubicado a  $13^{\circ}52'53.0''$  latitud norte y  $090^{\circ}25'49.1''$  longitud oeste.

**Figura 3**



**Nota:** Elaborado en base a shapfiles proporcionados por el MAGA, 2006

## **4.2.2. Estimación del tamaño de la muestra**

### **4.2.2.1. Universo de la población**

El universo de la población estuvo compuesto por dos áreas de restauración: una ubicada en la comunidad de El Papaturro, denominada (REP), y la otra en la finca El Salado, denominada (RES), ambas dentro del Área de Usos Múltiple Hawaii (AUMH).

En la primera área (REP), se implementó la técnica de restauración chinampa y en la segunda (RES), se implementaron dos técnicas, chinampas y Riley.

### **4.2.2.2. Unidad de muestreo**

En las unidades de muestreo, se implementaron dos técnicas de restauración: chinampas y Riley.

### **4.2.2.3. Selección de la muestra**

Para realizar la selección de la muestra, se utilizó el método de muestreo aleatorio simple. En primer lugar, se asignó un número único a cada unidad de la población dentro de las áreas de restauración de El Papaturro (REP) y El Salado (RES). Luego, se utilizó un generador de números aleatorios para seleccionar al azar un número específico de unidades de muestreo de cada área.

Este proceso aseguró que cada unidad de la población tuviera la misma probabilidad de ser seleccionada para formar parte de la muestra. Además, al utilizar un enfoque aleatorio, se minimizó el sesgo de selección y se buscó obtener una muestra representativa de las áreas de restauración.

### **4.2.2.4. Cálculo de la muestra**

Para el cálculo de la muestra se utilizó la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q}$$

Donde:

$n$  = tamaño de la muestra

$N$  = tamaño de la población de estudio

$Z$  = confiabilidad estadística

$p$  = probabilidad de éxito

$q$  = probabilidad de fracaso

$e$  = error máximo admisible

#### **4.2.3. Temporalidad**

Época lluviosa (septiembre a octubre de 2021)

#### **4.2.4. Variables de estudio fisicoquímicos del agua intersticial**

Para las variables de estudio, se analizaron los parámetros fisicoquímicos del agua intersticial a una profundidad de 30 cm, para el análisis de los parámetros se utilizó una sonda multiparamétrica Hanna HI 9811-5.

La sonda Hanna HI 9811-5 se encendió y se configuró de acuerdo con las mediciones específicas que se realizaron. Esto implicó seleccionar el sensor adecuado (temperatura, pH, conductividad y sólidos disueltos totales).

Previo a realizar las mediciones, se calibró el sensor. La sonda multiparamétrica incluye soluciones de calibración específicas. Este paso siguió las instrucciones del fabricante para la calibración precisa de los sensores, lo que implicó sumergir el sensor en la solución de calibración adecuada y ajustar la sonda para que coincidiera con los valores conocidos de la solución.

Una vez que la sonda estaba configurada y calibrada adecuadamente, se procedió a tomar las mediciones. Esto implicó sumergir el sensor correspondiente en la muestra, asegurándose de que el sensor estuviera completamente sumergido y libre de burbujas

de aire. Se permitió que la sonda estabilizara las lecturas antes de registrar los valores, y se siguieron las instrucciones del fabricante para cada parámetro específico.

Todas las mediciones fueron realizadas in situ, utilizando la misma muestra para todas las variables:

- Temperatura
- Potencial de Hidrógeno (pH)
- Conductividad
- Sólidos disueltos totales

#### **4.2.5. Análisis de la información**

##### **4.2.5.1. Comportamiento de datos**

En la investigación se analizó el comportamiento de los datos recopilados en relación a la evaluación del proceso de restauración del ecosistema manglar, dentro del área de usos múltiples Hawaii, se estudiaron y evaluaron las variables: temperatura, conductividad eléctrica, potencial de hidrógeno y los sólidos disueltos totales.

Se elaboraron histogramas para analizar y visualizar la distribución de las variables. Durante la preparación de los datos, se organizaron y procesaron los valores recopilados para cada variable con el objetivo de representarlos gráficamente. Se realizó una revisión exhaustiva para garantizar su integridad y, posteriormente, se agruparon en intervalos adecuados, facilitando así su interpretación.

Se procedió a la elaboración de los histogramas, se seleccionaron los datos y se dividieron según el área de restauración y la técnica de restauración utilizada. Se realizó el análisis de los patrones y distribuciones observados en cada uno de ellos. Se identificaron los valores medios, mínimos y máximos presentes y se tomó en cuenta la dispersión de los datos.

También se realizaron comparaciones entre las distribuciones de las variables en distintas áreas de restauración. Por ejemplo, se contrastaron los valores de pH de El Papaturre con los de El Salado, con el propósito de identificar similitudes o diferencias en la distribución de los datos.

#### **4.2.5.2. Porcentaje de supervivencia**

Para evaluar la eficacia de los procesos de restauración en las áreas de estudio, se determinó el porcentaje de supervivencia de las plántulas de mangle establecidas. Se realizó un muestreo aleatorio simple en las zonas restauradas, registrando el número inicial de individuos plantados y el número de individuos vivos al final del período de evaluación.

El cálculo se efectuó utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de supervivencia: } \frac{\textit{Plantas Vivas}}{(\textit{Plantas Viva} + \textit{Plantas muertas})} * 100$$

Para establecer dentro de que categoría de supervivencia se encuentran las plantas, se tomó como referencia la categoría de evaluación de supervivencias definida por (Centeno, 1993, pág. 79)

#### **4.2.5.3. Comparación de proporciones de dos poblaciones**

Esta prueba se realizó para determinar si las dos muestras independientes fueron tomadas de dos poblaciones, las cuales presentan la misma proporción de elementos con determinada característica.

La prueba se concentró en la diferencia relativa (diferencia dividida entre la desviación estándar de la distribución de muestreo) entre las dos proporciones muestrales. Diferencias pequeñas denotan únicamente la variación casual producto del muestreo (se acepta  $H_0$ ), en tanto que grandes diferencias significan lo contrario (se rechaza  $H_0$ ).

El valor estadístico de prueba (diferencia relativa) se comparó con un valor tabular de la distribución normal, a fin de decidir si  $H_0$  es aceptada o rechazada.

Derivado de lo anterior, se calculó el estadístico de prueba (Z):

$$Z = \frac{(\widehat{p}_1 - \widehat{p}_2)}{\sqrt{\bar{p}(1 - \bar{p}) * \left[ \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]}}$$

Dónde: Z = estadístico de prueba;  $(\widehat{p}_1 - \widehat{p}_2)$ ;  $\bar{p}$  = nueva proporción  $[(X_1+X_2) / (n_1+n_2)]$ ;  $n_1$  y  $n_2$  = número total de individuos de cada población sujetos a estudio.

#### 4.2.5.4. Coeficiente de correlación de Pearson

Según Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, (2014, pág. 304), se utilizó para analizar la relación entre dos variables medidas de un nivel por intervalos. En ese sentido, se considera que es una medida de la relación entre dos variables aleatorias cuantitativas. A diferencia de la covarianza, la correlación de Pearson es independiente de la escala de medida de las variables.

El coeficiente de correlación se calculó aplicando la siguiente formula:

$$r = \frac{\frac{1}{n} * \sum(x_i - x_m)(y_i - y_m)}{\left( \left( \frac{1}{n} * \sum(x_i - x_m)^2 \right) * \left( \frac{1}{n} * \sum(y_i - y_m)^2 \right) \right)^{1/2}}$$

Es decir:

Numerador: se denomina covarianza y se calculó de la siguiente manera: en cada par de valores (x,y) se multiplicó la "x" menos su media, por la "y" menos su media. Se sumó el resultado obtenido de todos los pares de valores y este resultado se dividió por el tamaño de la muestra.

Denominador: se calculó el producto de las varianzas de "x" y de "y", y a este producto se le calculó la raíz cuadrada.

Los valores que puede tomar el coeficiente de correlación "r" son:  $-1 < r < 1$

Si  $r > 0$ , la correlación lineal es positiva (si sube el valor de una variable sube el de la otra). La correlación es tanto más fuerte cuanto más se aproxime a 1.

Si  $r < 0$ , la correlación lineal es negativa (si sube el valor de una variable disminuye el de la otra). La correlación negativa es tanto más fuerte cuanto más se aproxime a -1.

Si  $r = 0$ , no existe correlación lineal entre las variables. Aunque podría existir otro tipo de correlación (parabólica, exponencial, etc).

## V. Resultado y discusión

A continuación, se muestran los resultados de la investigación realizada.

### 5.1. Determinación de parámetros físico-químicos del agua intersticial de las áreas de restauración en el AUMH

En el estudio realizado, se seleccionaron muestras de las chinampas ubicadas en El Papaturro y El Salado, así como de los Riley en El Salado.

Chinampas: Se contabilizaron un total de 47 chinampas en las zonas de restauración, con 23 ubicadas en El Salado y 24 en El Papaturro. En cada una de estas estructuras se sembraron seis plántulas de mangle rojo (*Rhizophora mangle*) de aproximadamente 50 cm de altura, alcanzando un total de 282 plántulas.

Riley: en la zona de restauración El Salado se instalaron 90 estructuras de Riley, cada una con dos plántulas de *Rhizophora mangle*, sumando un total de 180 plántulas plantadas.

Se muestrearon un total de 18 unidades en las chinampas de El Papaturro, lo cual resultó en la identificación de 108 plántulas (consultar anexo No. 3, solución No. 1). Por otro lado, se muestrearon 17 unidades en las chinampas de El Salado, encontrando un total de 102 plántulas (consultar anexo No. 3, solución No. 2). Además, se muestrearon 38 unidades de los Riley en El Salado, revelando un total de 76 plántulas (consultar anexo No. 3, solución No. 3).

#### a) Potencial de hidrógeno (pH)

El pH está relacionado totalmente con la composición del sustrato de fondo, al igual si hay o no suficiente agua para que este se diluya. En las chinampas de El Papaturro el pH varió de 6.5 a 7.8, con promedio de 6.82, lo cual indica que es un pH neutro (ver anexo, figura No. 4, pág. 50), y es adecuado para el crecimiento del mangle rojo según la escala de pH, Rodríguez-Zúñiga, y otros, (2018, p. 147).

En las chinampas del área de restauración El Salado, el pH varió de 6.3 y el valor máximo fue de 7.2, con un valor medio de 6.71, indicando que el pH es neutro (ver anexo, figura No. 5, pág. 50).

En los Riley del área de restauración El Salado, el valor mínimo de pH fue de 6.5 y el valor máximo de 7.8, con un promedio de 6.89 lo que indica que el pH es neutro (ver anexo, figura No. 6, pág. 51).

El comportamiento medio del pH en las tres áreas es neutro, y se considera según la escala de pH, Rodríguez-Zúñiga, et al., (2018, p. 147) que es adecuado para el mangle rojo, sin embargo, para Abarca, (2007, p. 125) los pH bajos (menores a siete) se localizan íntimamente relacionados con procesos de descomposición de materia orgánica que producen ácido húmico, considerándolos ligeramente ácidos.

#### **b) Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )**

La conductividad eléctrica en las dos áreas de restauración varió de dura a muy dura. El Papaturo se clasificó en dura y El Salado en muy dura. Siendo los valores para la primera de 750  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 870  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , y un valor medio de 810  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (ver anexo, figura No. 7, pág. 51); y para la segunda los datos fueron de 2020  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 3500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , con un valor medio de 2760  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en Chinampas y de 1260  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 5320  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , con un valor medio de 3290  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en Riley (ver anexo, figura 8 y 9, pág. 52).

El área de restauración El Papaturo presenta una conductividad eléctrica baja, la cual es inadecuada para las necesidades de sales y minerales del mangle. Por otro lado, las chinampas y los Riley del área de restauración El Salado presentan una conductividad eléctrica clasificada como “muy dura” lo que indica una alta concentración de sales y minerales, siendo adecuada para la especie de estudio.

El mangle rojo es capaz de tolerar niveles altos de salinidad, y su adaptabilidad puede variar según las condiciones específicas del hábitat. Por lo tanto, el contraste en la

conductividad eléctrica entre las dos áreas de restauración refleja diferencias en la concentración de sales y minerales presentes en el agua, pues El Salado está ubicado a cinco kilómetros del mar y El Papaturre a 17.

De acuerdo a Morales de la Cruz, (2000, p. 71) la conductividad eléctrica es directamente proporcional a la concentración de sales disueltas, es decir, que, a valores más altos de la conductividad eléctrica, mayor es la salinidad del cuerpo de agua.

### **c) Sólidos disueltos totales**

Los sólidos disueltos totales del agua intersticial presentaron fuertes variaciones entre el área de estudio, teniendo valores más bajos en El Papaturre siendo estos 360 mg/L y 440 mg/L, con un valor medio de 400 mg/L (ver anexo, figura No. 10, pág. 53); en El Salado variaron entre 1110 mg/L y 1740 mg/L, con un valor medio de 1425 mg/L (ver anexo, figura No. 11, pág. 53); y para los Riley del área de restauración El Salado variaron de 830 mg/L a 2640 mg/L, con un valor medio de 1735 mg/L (ver anexo, figura No. 12, pág. 54).

Los sólidos disueltos totales en ambas áreas tienen relación directa con la conductividad eléctrica, siendo los valores más bajos para El Papaturre y por lo cual son inadecuados para el crecimiento de mangle, debido a que hay menor concentración de sales y minerales.

Los sólidos disueltos totales comprenden las sales inorgánicas (principalmente de calcio, magnesio, potasio y sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y pequeñas cantidades de materia orgánica que están disueltas en el agua, están estrechamente relacionados con la conductividad, pues a mayor sea el valor de la conductividad eléctrica, mayor será la cantidad de sólidos disueltos en el agua y mayor será la concentración de sales y minerales. (Abarca, 2007, p. 125)

#### d) Temperatura intersticial

La temperatura en el área de restauración El Papaturo varió de 29°C a 32°C con promedio de 31.2°C (ver anexo, figura No. 13, pág. 54); En El Saldo tuvo una variación, siendo para chinampas un rango de 27.7°C a 31.7°C con promedio de 30.2°C (ver anexo, figura No. 14, pág. 55); y en los Riley de 28.5°C a 31.5°C con un promedio de 30.2°C (ver anexo, figura 15, pág. 55).

La temperatura intersticial de 25 a 35 grados Celsius es adecuada para el crecimiento y desarrollo óptimo del mangle rojo, siendo una especie adaptada a los ambientes costeros y puede tolerar ciertas variaciones. Este valor se toma como factor a considerar, únicamente si es superior a los 50°C (Villeda Chávez, et al., 2018, p. 145), por lo cual es adecuada para el crecimiento y desarrollo del mangle rojo.

#### 5.2. Resumen de áreas restauradas

El cuadro resumen presenta la información de las áreas de restauración, incluyendo el nombre del área, la técnica de restauración utilizada, el número de las muestras recolectadas y los valores medios de cada variable.

**Tabla 5 Cuadro Resumen de las áreas de restauración**

Área de Restauración	Técnica de restauración	Numero de muestras	Valor medio Temperatura (°C)	Valor Medio Conductividad Eléctrica (µS/cm)	Valor Medio pH	Valor Medio Solidos Disueltos Totales (mg/L)
El Papaturo	chinampas	18	31.2	810	6.82	400
El Salado	chinampas	17	30.2	2760	6.71	1425
El Salado	Riley	32	30.2	3290	6.89	1735

En el área de restauración El Papaturo, se utilizaron las chinampas como técnica de restauración. Se llevaron a cabo muestreos en un total de 18 unidades, revelando valores medios notables: una temperatura de 31.2 °C, una conductividad eléctrica de 810 µS/cm, un pH de 6.82, y una concentración de sólidos disueltos totales de 400 mg/L.

En el área de restauración El Salado, también se implementó la misma técnica de restauración. Se muestrearon un total de 17 unidades, los valores medios fueron los siguientes: una temperatura de 30.2 °C, una conductividad eléctrica de 2760  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , un pH de 6.71, y una concentración de sólidos disueltos totales de 1425 mg/L.

En la misma área de estudio, se utilizó la técnica de restauración Riley. Se muestrearon un total de 32 unidades, y los valores medios fueron: una temperatura de 30.2 °C, una conductividad eléctrica de 3290  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , un pH de 6.89, y una concentración de sólidos disueltos totales de 1735 mg/L.

Este cuadro resumen permite comparar fácilmente las diferentes áreas de restauración en términos de la técnica utilizada, el número de muestras y los valores medios de temperatura, conductividad eléctrica, pH, sólidos disueltos totales.

### **5.3. Porcentaje de supervivencia de las plántulas de mangle**

Para el cálculo del porcentaje de supervivencia se aplicó la fórmula basada en la relación entre el número de plantas vivas y muertas encontradas al momento de la medición.

Después de evaluar las áreas de El Salado y El Papaturre, se encontró que la técnica con el porcentaje más alto de supervivencia fueron los Riley con un 71.05% (ver anexo No. 5, solución No. 3), esto indica que es una plantación con un porcentaje de sobrevivencia buena, de acuerdo con la clasificación propuesta por Centeno, (1993, p. 79), a continuación, se encuentran las chinampas de El Salado, con un porcentaje de sobrevivencia de 42.15% (ver anexo No. 5, solución No. 2), siendo esta una plantación regular; en las chinampas del área de restauración El Papaturre se observó el menor índice de sobrevivencia con un 25.90% (ver anexo No. 5, solución No. 1), indicando que es mala, ya que según Centeno, (1993, p. 79) una plantación con un porcentaje menor a 40 se considera como mala.

#### 5.4. Comparación de proporciones de sobrevivencia del mangle sembrados en las chinampas

Se evaluó el porcentaje de sobrevivencia derivado de la aplicación de la técnica de restauración forestal conocido como chinampas en el ecosistema de manglar. Específicamente, se evaluaron dos poblaciones independientes y mutuamente excluyentes llamadas "El Papaturro" y "El Salado", que se encuentran dentro del Área Protegida de Usos Múltiples Hawaii.

La evaluación se llevó a cabo utilizando la técnica de "comparación de proporciones de dos poblaciones" bajo el supuesto de la hipótesis nula ( $H_0$ ). La hipótesis nula establece que la proporción de sobrevivencia en la población "El Papaturro" es igual estadísticamente al porcentaje de sobrevivencia en la población "El Salado". Se utilizó un nivel de confianza del 95% (5% de significancia) para realizar la comparación.

Derivado de lo anterior, se calculó el estadístico de prueba ( $Z$ ), el valor del estadístico de prueba está dado por:

$$Z = \frac{(0.4321 - 0.259)}{\sqrt{0.338 * (1 - 0.338) * \left[ \frac{1}{102} + \frac{1}{108} \right]}}$$

$$\text{Estadístico de prueba } Z = 2.48$$

La regla de decisión indica que: Si el valor de  $Z$  calculado es mayor al valor de  $Z$  tabulado, se rechaza la hipótesis nula [ $Z > Z_{(a/2)} = \text{Se rechaza } H_0$ ].

Por lo tanto, para un nivel de confianza del 95%, corresponde un valor de  $Z_{(a/2)}$  tabulado de 1.96; considerando que el estadístico de prueba dado por 2.48 es mayor al valor de  $Z_{(a/2)}$  tabulado de 1.96, se pudo determinar lo siguiente:

Se tiene evidencia estadística al 95% de confianza para concluir que "se rechaza la hipótesis nula, lo cual indica que: la proporción de sobrevivencia de árboles en el área "El Papaturo" versus la proporción de sobrevivencia de árboles en el área "El Salado" son estadísticamente distintos". El mayor porcentaje de sobrevivencia se reporta en el área denominado "El Salado" con 42.15%, en comparación con el 25.9% reportado en el área "El Papaturo".

A continuación, se presenta el análisis de correlación entre las variables de sitio y la sobrevivencia reportada en cada chinampa:

**Tabla 6 Correlación de Pearson del área El Papaturo**

Variable (1)	Variable (2)	n	Pearson	p-valor
% de supervivencia	pH	18	-0.1	0.6996
% de supervivencia	Conductividad $\mu\text{S/cm}$	18	0.46	0.0542
% de supervivencia	TDS mg/L	18	0.43	0.0746
% de supervivencia	Temperatura C°	18	0.11	0.6712

**Tabla 7 Correlación de Pearson del área El Salado**

Variable (1)	Variable (2)	n	Pearson	p-valor
% de supervivencia	pH	17	0.26	0.3174
% de supervivencia	Conductividad $\mu\text{S/cm}$	17	0.26	0.3227
% de supervivencia	TDS mg/L	17	0.16	0.5439
% de supervivencia	Temperatura C°	17	-0.2	0.4413

Un coeficiente de correlación de Pearson significativo debe tener un p-valor  $< 0.05$ ; En este caso ninguna de las variables del sitio está correlacionadas de forma lineal con el porcentaje de sobrevivencia, por lo tanto, ninguna de las variables del sitio tiene influencia sobre el porcentaje de sobrevivencia reportado en ambos sitios. Aunque se observa en la tabla 6, que algunas variables se acercan al p-valor  $< 0.05$ , estas variables son la conductividad con un p-valor de 0.0542 y los sólidos totales disueltos con un p-valor de 0.0746.

Sin embargo, es importante considerar que alguna de las variables puede ser más excesiva o limitante y esto puede estar comprometiendo el porcentaje de sobrevivencia en El Papaturre.

En este caso, gracias a la evaluación de los parámetros fisicoquímicos que se realizó en El Papaturre, se considera que las variables que pueden estar condicionando el porcentaje de sobrevivencia son la conductividad y los sólidos totales disueltos, hay que tener en cuenta que estas variables están estrechamente relacionadas con la salinidad, como dice Abarca, (2007, p. 125) ya que mientras mayor sea el valor de la conductividad eléctrica, mayor será la cantidad de sólidos disueltos en el agua y mayor será la salinidad presente en el agua intersticial y viceversa.

De acuerdo a esto, se considera que las limitantes (conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos) están condicionando el porcentaje de sobrevivencia, debido a que el mangle rojo fue la especie con que se restauró en El Papaturre, que según Cordero & Boshier, (2003, p. 634) el mangle rojo se encuentra en contacto directo con el agua salada y en el orden del mar hacia atrás es el primero que se encuentra.

Es importante considerar que el área de restauración El Salado se sitúa a una distancia de cinco kilómetros de la bocabarra, mientras que El Papaturre se encuentra a 17 kilómetros de la misma. Como resultado, las chinampas de El Salado están directamente expuestas al agua salada, a diferencia de El Papaturre

Otro dato importante para discutir, es que la especie que se encuentra en la distribución natural de las áreas aledañas, no coincide con la especie establecida (mangle rojo) en las chinampas de El Papaturo, ya que la especie que se encuentran alrededor es mangle blanco y según Cordero & Boshier, (2003, p. 634) el mangle blanco es una especie oportunista, que tolera una gran insolación y presenta muchas semillas pequeñas, que flotan libremente durante mucho tiempo alcanzando lugares lejano, y el área de El Papaturo es un lugar que está expuesta a temperaturas altas (ver anexo No. 6, figura No. 18).

## VI. Conclusiones

1. Los parámetros fisicoquímicos para El Papaturo, revelan un valor medio de temperatura de 31.2 °C, con una conductividad eléctrica de 810  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y un pH de 6.82, en El Salado, los datos medios muestran valores de 30.2 °C, 2760  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y un pH de 6.71 y para la técnica de restauración Riley se tienen datos de 30.2 °C, 3290  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y un pH de 6.89. cabe señalar que la relación entre los sólidos disueltos y la conductividad eléctrica varía en ambas áreas, siendo relativamente bajos en El Papaturo y significativamente más altos en El Salado. Esta disparidad puede indicar diferencias en la composición química del agua en cada ubicación. Adicionalmente, se destaca que la temperatura, aunque presenta variaciones entre las áreas, no supera los 50 °C en ninguna de ellas, sugiriendo que este factor no ejerce una influencia directa.
2. De las dos áreas de restauración evaluadas, el mayor porcentaje (71 %) de sobrevivencia de las plantas de mangle rojo se encontró en El Salado, en el que se utilizó la técnica Riley y es considerado por Centeno, (1993, pág. 79) como bueno. Las áreas en proceso de restauración, en la que se utilizó la técnica de chinampas, el porcentaje de sobrevivencia fue mucho menor, 26 y 42 % respectivamente.
3. Con un 95% de confianza estadística se confirma que la proporción de sobrevivencia de mangle rojo en El Papaturo versus la proporción de sobrevivencia en El Salado, son estadísticamente distintos. la diferencia de la sobrevivencia se debe a que algunas variables, como la conductividad (p-valor de 0.0542) y los sólidos totales disueltos (p-valor de 0.0746) en El Papaturo, presentan valores cercanos a un p-valor  $< 0.05$ , no se alcanza la significancia estadística, pero si pueden ser excesivas o limitantes, en este caso la segunda.

## VII. Recomendaciones

- Dada la variabilidad en los parámetros fisicoquímicos entre El Papaturreo y El Salado, se sugiere un monitoreo continuo de la calidad del agua en ambas áreas de restauración. Este seguimiento permitiría una comprensión más profunda de las fluctuaciones estacionales y posiblemente revelaría patrones a largo plazo que podrían afectar la salud de las plantas de mangle rojo. Además, sería valioso investigar la relación específica entre los sólidos disueltos, la conductividad eléctrica y la salinidad, considerando que estas variables pueden estar influenciando la sobrevivencia de manera más compleja de lo inicialmente evaluado. Esta información detallada respaldaría estrategias más precisas de gestión y restauración en ambas áreas.
- Dado el notable éxito en el porcentaje de sobrevivencia observado en El Salado con la técnica Riley, se sugiere realizar un análisis detallado de las prácticas de restauración implementadas en este sitio. Este análisis podría incluir la identificación de factores específicos que contribuyeron al alto índice de supervivencia, como las condiciones del suelo, la selección de especies o las técnicas de plantación. Esta información puede ser fundamental para informar y mejorar las estrategias de restauración en las áreas donde se utilizaron las chinampas, especialmente teniendo en cuenta los porcentajes de sobrevivencia significativamente más bajos. La adaptación de las mejores prácticas y lecciones aprendidas de El Salado podría impulsar el rendimiento de las áreas en proceso de restauración y contribuir al éxito a largo plazo de los esfuerzos de conservación.
- Considerando que la elección de la especie de mangle en El Papaturreo no coincide con la distribución natural y que la ubicación geográfica puede influir en la salinidad, se sugiere evaluar la idoneidad de la especie seleccionada. Además, se podría estudiar la posibilidad de introducir o favorecer especies naturalmente adaptadas a las condiciones de El Papaturreo.

### VIII. Referencias

- Abarca, F. J. (2007). *Técnicas para evaluación y monitoreo del estado de los humedales y otros ecosistemas acuáticos*.
- Agraz-Hernández, C. M., Noriega-Trejo, R., López-Portillo, J., Flores-Verdugo, F. J., y Jiménez-Zacarías, J. J. (2006). *Identificación de los manglares en México*. [http://etzna.uacam.mx/epomex/pdf/Guia\\_Manglar.pdf](http://etzna.uacam.mx/epomex/pdf/Guia_Manglar.pdf)
- Alongi, D. M. (2002). Present state and future of the world's mangrove forests. *Environmental Conservation*.  
<https://www.cambridge.org/core/journals/environmental-conservation/article/abs/present-state-and-future-of-the-worlds-mangrove-forests/0E3D6B0DF6EE2E9DBD48582964AD492A>
- Ammour, T., Imbach, A., Suman, D., y Windevoxel, N. (1999). *Manejo productivo de manglares en América Central*.  
[https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/2984/Manejo\\_productivo\\_de\\_manglares\\_en\\_America\\_Central.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/2984/Manejo_productivo_de_manglares_en_America_Central.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- ARCAS. (2001, agosto). *Estudio técnico del Área de Usos Múltiples Hawaii*.  
[https://arcasguatemala.org/wpcontent/uploads/Arcas\\_pub\\_Estudio2001.pdf](https://arcasguatemala.org/wpcontent/uploads/Arcas_pub_Estudio2001.pdf)
- ARCAS Y CONAP. (2010, agosto). *Plan maestro del Área de Usos Múltiples Hawaii*. [https://www.arcasguatemala.org/wp-content/uploads/Arcas\\_pub\\_PlanHawaii2010.pdf](https://www.arcasguatemala.org/wp-content/uploads/Arcas_pub_PlanHawaii2010.pdf)
- Armillas, P. (1971). Gardens on swamps: Archeological research verifies historical data on Aztec land reclamation in the Valley of México. *Science*. (Vol. 174).  
<https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.174.4010.653>
- Centeno, M. (1993). *Inventario nacional de plantaciones forestales en Nicaragua*. Universidad Nacional Agraria.
- Claudio Méndez, M. F. (2001). *Inventario Nacional de Humedales de Guatemala*. (M. Dix Y J. F. Fernández, Eds.) Margareth Di.  
<https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2001-075.pdf>

- CONAP. (2009). *Lista de especies amenazadas de Guatemala (LEA)*.  
<https://conap.gob.gt/wp-content/uploads/2021/03/LEA-2009-Guatemala.pdf>
- Cordero, J., y Boshier, D. H. (2003). *Árboles de Centroamérica: Un manual para extensionistas*. <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/a11445e/a11445e.pdf>
- De La Cruz, J. R. (1982). *Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento*. INAFOR.
- Ellison, J. C., y Stoddart, D. R. (1991). *Mangrove ecosystem collapse during predicted sea-level rise: Holocene analogues and implications*.  
[http://www.pelagicos.net/MARS4080\\_6080/talks/Ellison\\_&\\_Stoddart\\_1991.pdf](http://www.pelagicos.net/MARS4080_6080/talks/Ellison_&_Stoddart_1991.pdf)
- Flores-Verdugo, F. J. (1989). *Algunos aspectos sobre la ecología, uso e importancia de los ecosistemas de manglar. Temas de Oceanografía Biológica en México*. Universidad Autónoma de Baja California.
- García de la Fuente, C. (2013, noviembre 7). *Parámetros fisicoquímicos del agua*.  
[https://www.adiveter.com/ftp\\_public/A3081113.pdf](https://www.adiveter.com/ftp_public/A3081113.pdf)
- Godoy, J. (1980). *Distribución, composición florística y estructura del manglar en Las Lisas* [Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia]. <https://biblioteca-farmacia.usac.edu.gt/Tesis/B5.pdf>
- Hanna Instruments SAS. (2018). *Ficha técnica del producto: Medidor portátil de temperatura y pH/EC/TDS*.  
<https://www.hannacolombia.com/products/product/896/pdf>
- Hillel, D. (2004). *Introduction to environmental soil physics*. Academic Press.  
[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=qK7zzLIUEIoC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Hillel,+D.+\(2004\).+Introduction+to+environmental+soil+physics.+Academic+Press.&ots=KfIH3EvvE&sig=HufMJltkU7H07bGQJYvOYWxshGw#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=qK7zzLIUEIoC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Hillel,+D.+(2004).+Introduction+to+environmental+soil+physics.+Academic+Press.&ots=KfIH3EvvE&sig=HufMJltkU7H07bGQJYvOYWxshGw#v=onepage&q&f=false)

- Infante, D., Peralta-Peláez, L. A., y Arrocha, A. A. (2009). *Obtención de datos de salinidad, conductividad y pH del agua. Breviario para describir, observar y manejar humedales.*
- Kathiresan, K., y Qasim, S. (2005). *Biodiversity of mangrove ecosystems.* Nueva Delhi: Hindustan Publishing Corporation.  
<https://www.jstor.org/stable/pdf/26396592.pdf>
- Lim, Z. K. (2012). *Investigating the effect of soil pH on the germination of Avicennia alba seedlings.* Little Green Dot Student Research Grant. Project Report Submitted to Nature Society.  
<https://www.nss.org.sg/documents/Investigating%20the%20Effect%20of%20Soil%20pH%20on%20the%20Germination%20of%20Avicennia%20alba%20Seedlings.pdf>
- López-López, J. E., Morales, A. S., Soberanis, H. F., y Ramírez, M. F. (2016). *Restauración ecológica participativa del ecosistema de manglar. Guatemala.*
- Méndez-Ortiz, C. L. (2014, julio). *Asociación de los parámetros físico-químicos del agua con la estructura y composición de los ensamblajes de manglar en la Bahía La Graciosa, Refugio de Vida Silvestre* [Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala]. [http://www.repositorio.usac.edu.gt/2021/1/06\\_3641.pdf](http://www.repositorio.usac.edu.gt/2021/1/06_3641.pdf)
- Morales de la Cruz, M. V. (2000). *Estudio de algunos factores que determinan la población y distribución del mangle en el área comprendida entre Puerto Viejo (Iztapa, Escuintla) y Zunzo (Taxisco, Santa Rosa)* [Tesis de licenciatura, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala]. [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01\\_1920.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_1920.pdf)
- Moreno-Casasola, P., y Infante Mata, D. M. (2016). *Conociendo los manglares, las selvas inundables y los humedales herbáceos.*  
[http://www.itto.int/files/itto\\_project\\_db\\_input/3000/Technical/Conociendo%20los%20manglares%20y%20selvas%20inundables.pdf](http://www.itto.int/files/itto_project_db_input/3000/Technical/Conociendo%20los%20manglares%20y%20selvas%20inundables.pdf)
- Muccio, C., Mérida, E., Varns, T., y Oleksinska, E. (2011). *Diagnóstico del estado actual del recurso manglar y consumo familiar de mangle en el Área de Usos*

*Múltiples Hawaii*. [https://arcasguatemala.org/wp-content/uploads/Arcas\\_pub\\_DiagnosticoManglar2011.pdf](https://arcasguatemala.org/wp-content/uploads/Arcas_pub_DiagnosticoManglar2011.pdf)

Ramsar. (2013). *Manual de la Convención de Ramsar: Guía de la Convención sobre los Humedales* (Ramsar, Irán, 1971) (6ª ed.). Secretaría de la Convención de Ramsar.

<https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/manual6-2013-sp.pdf>

Reddy, K. R., y DeLaune, R. D. (2008). *Biogeoquímica de humedales: Ciencias y aplicaciones*. Prensa CRC.

<https://soils.ifas.ufl.edu/wetlands/publications/PDF-articles/242.%20Biogeochem%20of%20wetlands.pdf>

Riley, J. T. (1984). *Improvement of waterlogged soils for agriculture* (Vol. 48). Soil Science Society of America Journal.

Sáenz, J. (1984). *Estudio de algunos parámetros físico-químicos del ecosistema estuarino y su relación con el desarrollo de *Rhizophora mangle* L. en el manglar de Las Lisas*. [Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala].

<http://fausac.usac.edu.gt/tesario/tesis/CEDIA-01191.pdf>

Sawyer, C. N., McCarty, P. L., Y Parkin, G. F. (2003). *Chemistry for Environmental Engineering and Science*. (5ª ed.). McGraw-Hill.

Schaaf, W., Sposito, G., y Chappell, S. (2005). *Soil moisture and plant growth* (Vol. 69). Soil Science Society of America Journal.

Topo SIG. (2020). *Manual de restauración de manglar específico para el AUMH*.

Villeda Chávez, E., Rodríguez Zúñiga, M. T., Vázquez-Lule, A. D., Bejarano, M., Cruz López, M. I., Olguín, M., ... Flores, R. (2018). *Métodos para la caracterización de los manglares mexicanos*.

<https://chm.cbd.int/api/v2013/documents/05B386D2-5BCD-A52D-6097-F853803CC619/attachments/Gu%C3%ADa%20restauraci%C3%B3n%20C3%A1rea%20del%20manglar.pdf>

Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: Lake and River Ecosystems*. (3ª ed.). Academic Press.

Zacarías-Coxic, C. J., Sánchez Cruz, M. S., Y Cifuentes Barrientos, G. J. (2019, junio). *Especies arbóreas en el ecosistema manglar de Guatemala*.  
<https://www.inab.gob.gt/images/publicaciones/especies-arboreas-en-el-ecosistema-manglar-de-guatemala.pdf>

Vo. Bo.



Lcda. Ana Teresa de González  
Téc. en CID.



## IX. Anexos

No. 1

**Tabla 8 Coordenadas Geográficas del Área de Usos Múltiples Hawaii**

<b>Limites internos</b>		
<b>Vértice</b>	<b>Coordenada X</b>	<b>Coordenada Y</b>
1	777,000	1,539,000
2	788,000	1,534,500
3	788,000	1,530,800
4	775,000	1,536,000
5	777,000	1,536,000
<b>Zona de Amortiguamiento</b>		
<b>Vértice</b>	<b>Coordenada X</b>	<b>Coordenada Y</b>
1	777,000	1,539,000
2	777,000	1,541,000
3	790,000	1,535,500
4	790,000	1,528,800
5	775,000	1,534,000
6	775,000	1,536,000
7	788,000	1,530,800
<b>8</b>	<b>788,000</b>	<b>1,534,500</b>

Fuente: (ARCAS, 2001, p. 13)



**No. 3: Cálculo de la muestra****a) Solución No. 1: Chinampas El Papaturre**

$N = 24$  chinampas

$Z = 1.64$

$p = 0.50$

$q = 0.50$

$e = 0.10 = 10\%$

$$n = \frac{24 * (1.64)^2 * 0.50 * 0.50}{(0.10)^2 * (24 - 1) + (1.64)^2 * 0.5 * 0.5}$$

$n = 18$  chinampas

**b) Solución No. 2: Chinampas El Salado**

$N = 23$  chinampas

$Z = 1.64$

$p = 0.50$

$q = 0.50$

$e = 0.10 = 10\%$

$$n = \frac{23 * (1.64)^2 * 0.50 * 0.50}{(0.10)^2 * (23 - 1) + (1.64)^2 * 0.5 * 0.5}$$

$n = 17$  chinampas

**c) Solución No. 3: Riley El Salado**

$N = 90$  chinampas

$Z = 1.64$

$p = 0.50$

$q = 0.50$

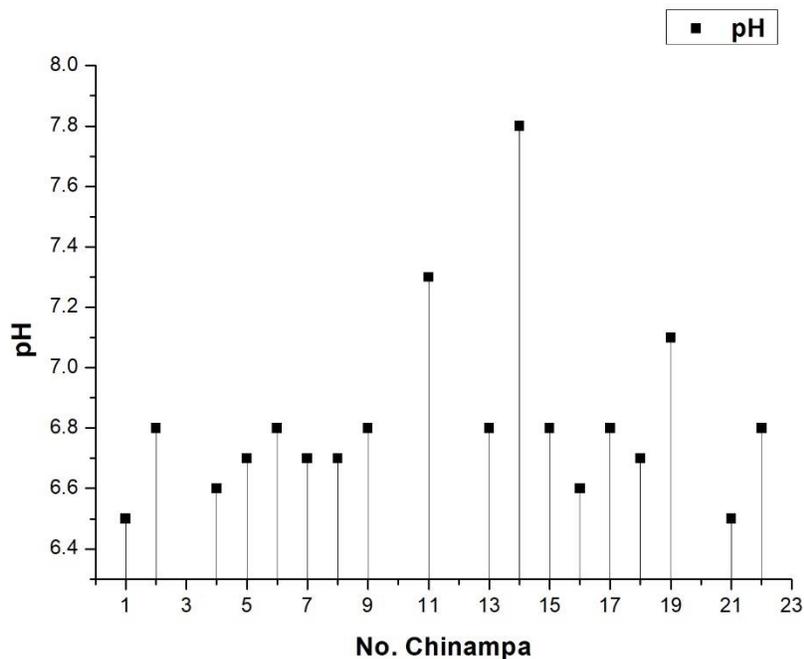
$e = 0.10 = 10\%$

$$n = \frac{90 * (1.64)^2 * 0.50 * 0.50}{(0.10)^2 * (90 - 1) + (1.64)^2 * 0.5 * 0.5}$$

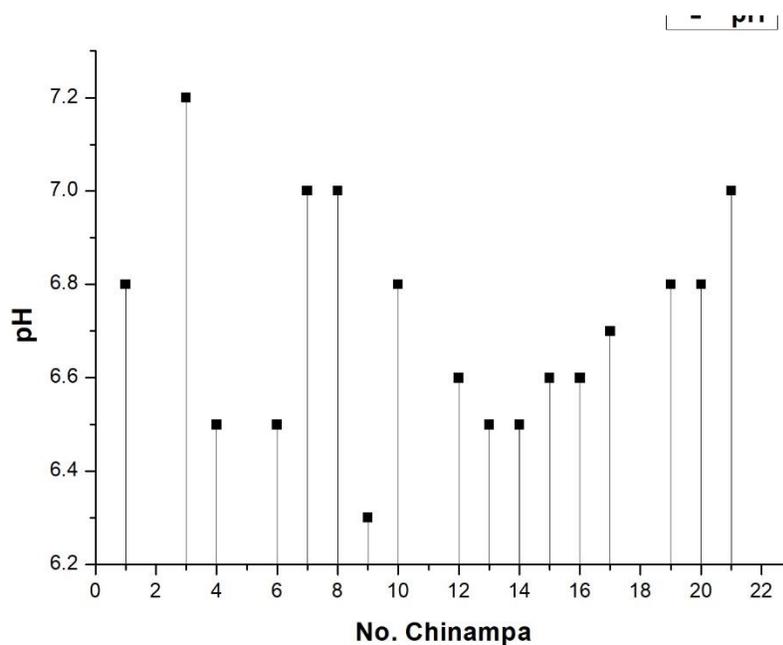
$n = 38$  Riley

#### No. 4: Comportamiento de las variables fisicoquímicas

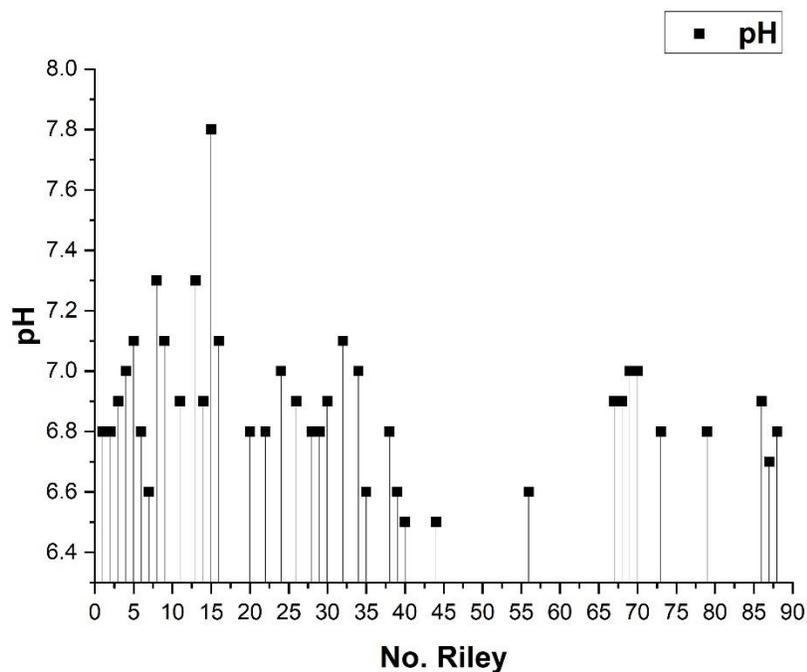
##### a) Potencial de hidrogeno (pH)



**Figura 4** Comportamiento del potencial de hidrogeno (pH), del agua intersticial en las chinampas del área de restauración El Papaturre.

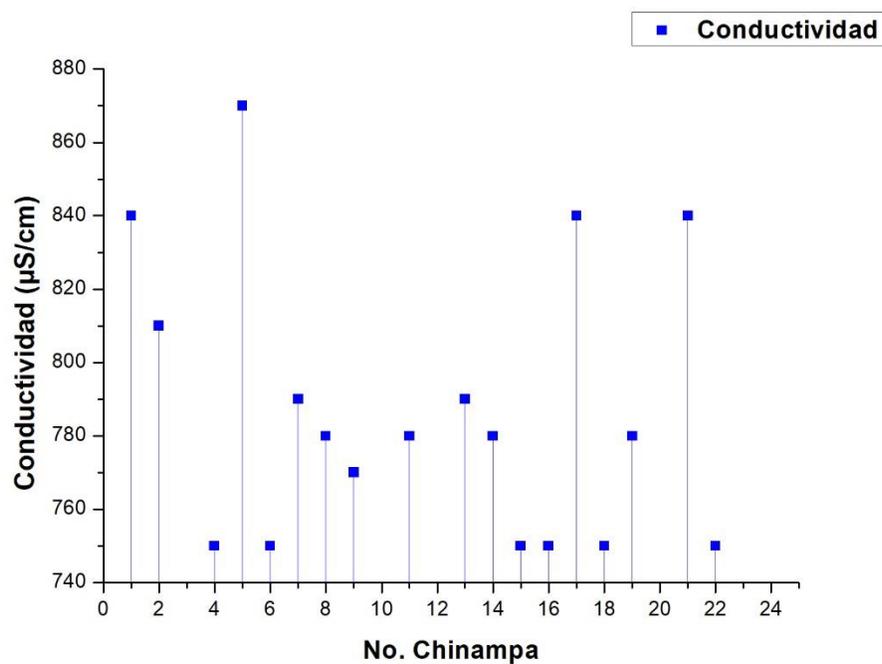


**Figura 49** Comportamiento del potencial de hidrogeno (pH), del agua intersticial en las chinampas del área de restauración El Salado.

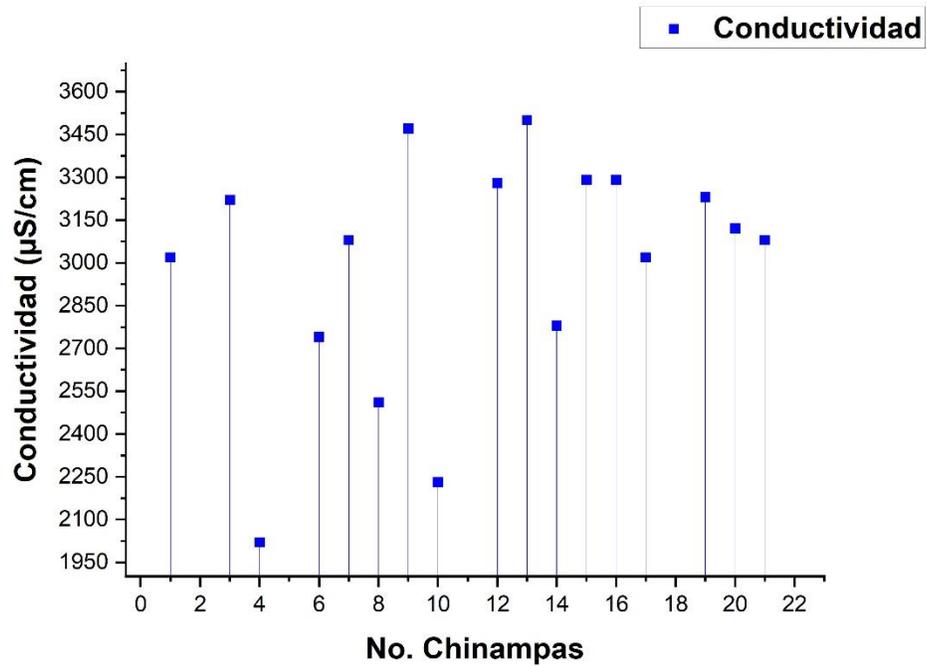


**Figura 6** Comportamiento del potencial de hidrogeno (pH), del agua intersticial en los Riley del área de restauración El Salado.

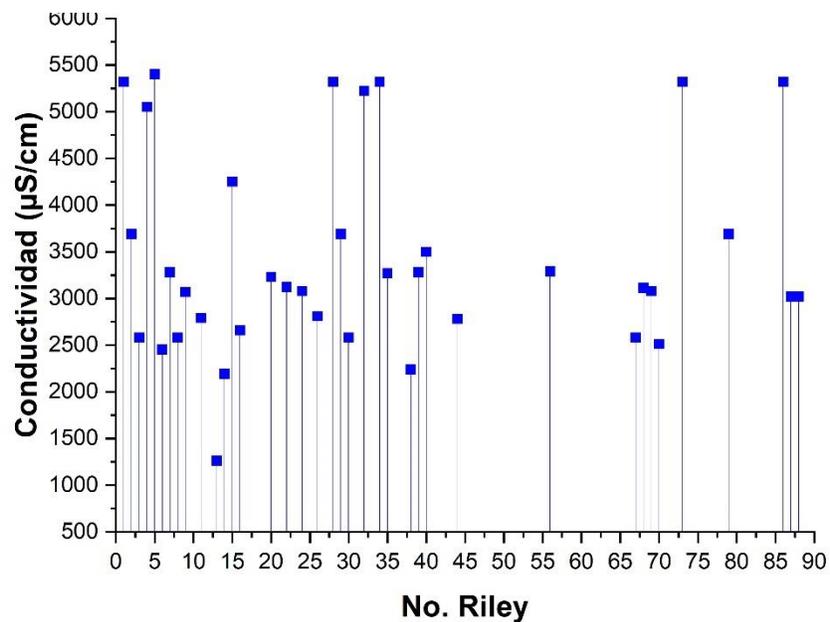
**b) Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )**



**Figura 7** Comportamiento de la conductividad, del agua intersticial en las chinampas del área de restauración El Papaturre.

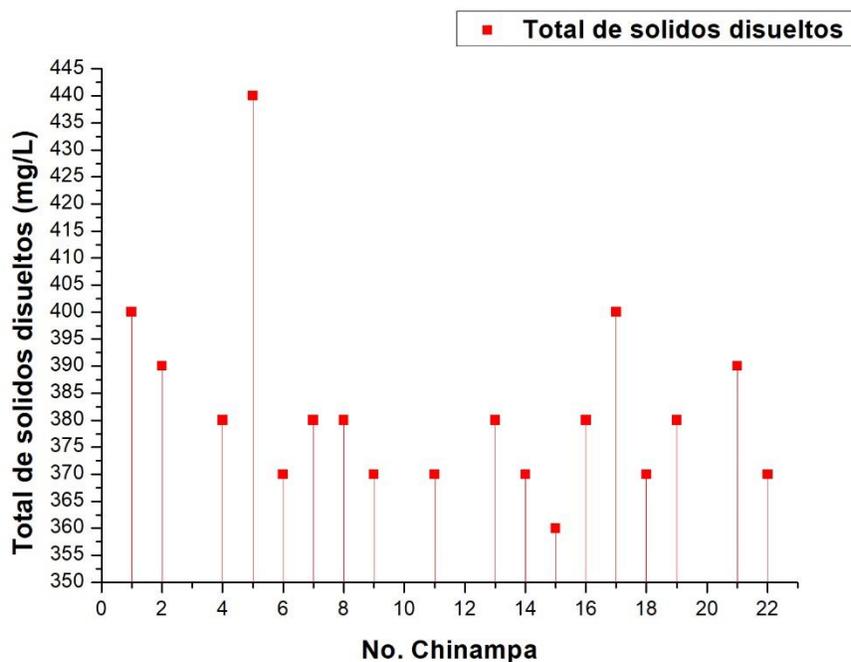


**Figura 8** Comportamiento de la conductividad, del agua intersticial en las chinampas del área de restauración El Salado.

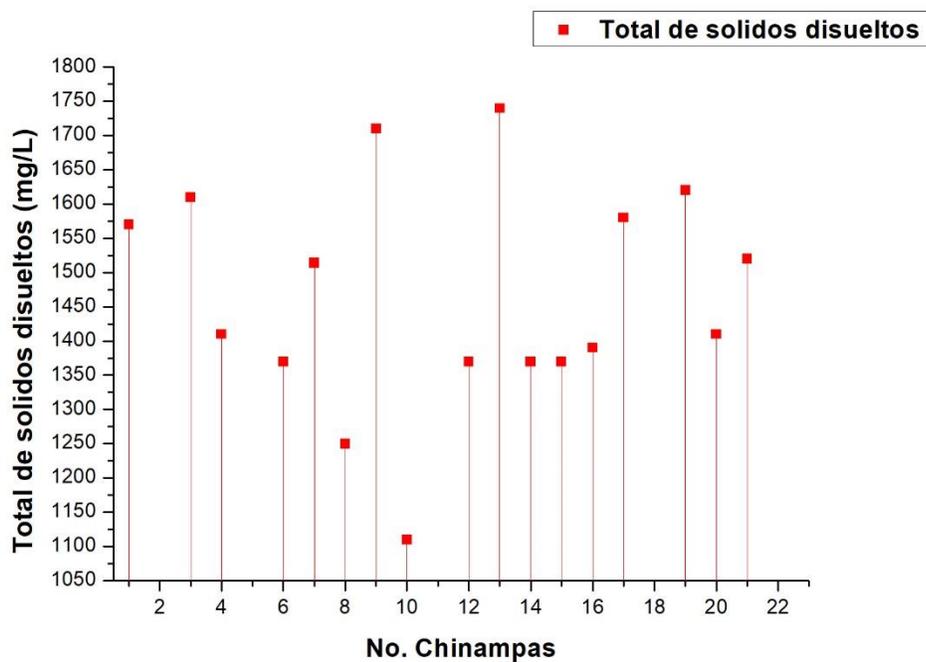


**Figura 9** Comportamiento de la conductividad, del agua intersticial en los Riley del área de restauración El Salado.

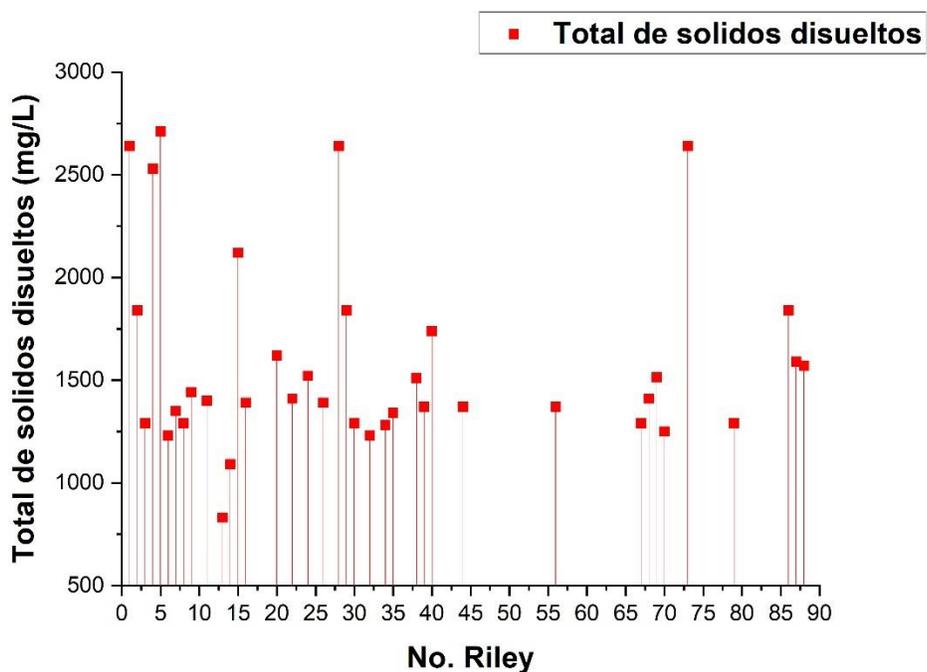
### c) Sólidos disueltos totales



**Figura 10** Comportamiento de los sólidos disueltos totales, del agua intersticial en las chinampas del área de restauración El Papaturre.

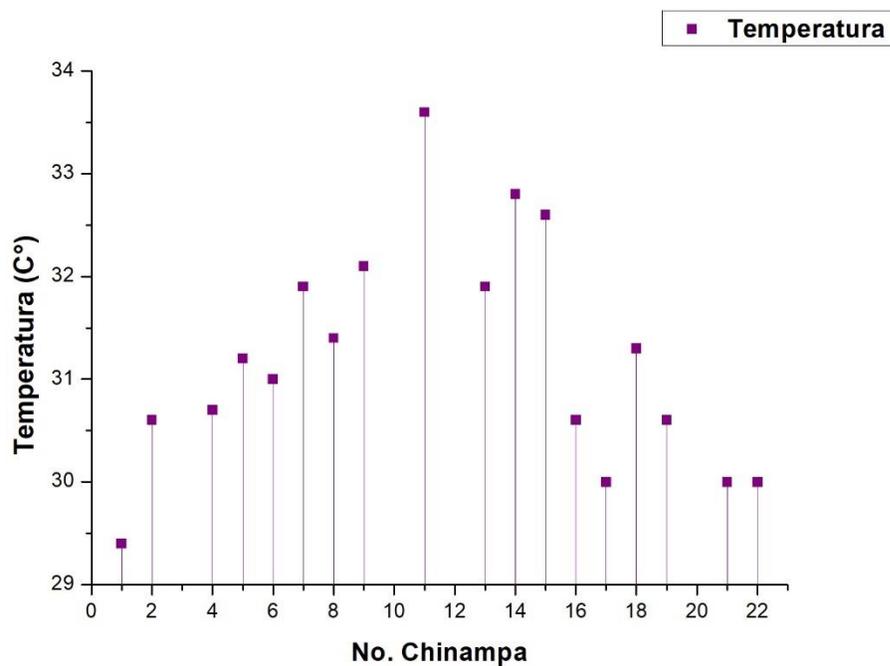


**Figura 11** Comportamiento de los sólidos totales disueltos, del agua intersticial en las chinampas del área de restauración El Salado.

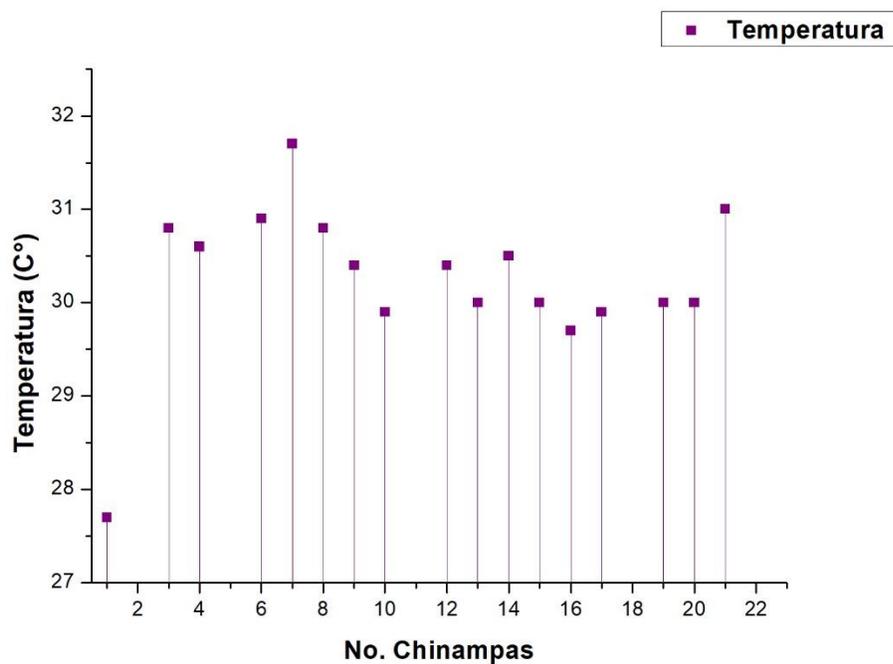


**Figura 12** Comportamiento de los sólidos totales disueltos, del agua intersticial de los Riley del área de restauración El Salado.

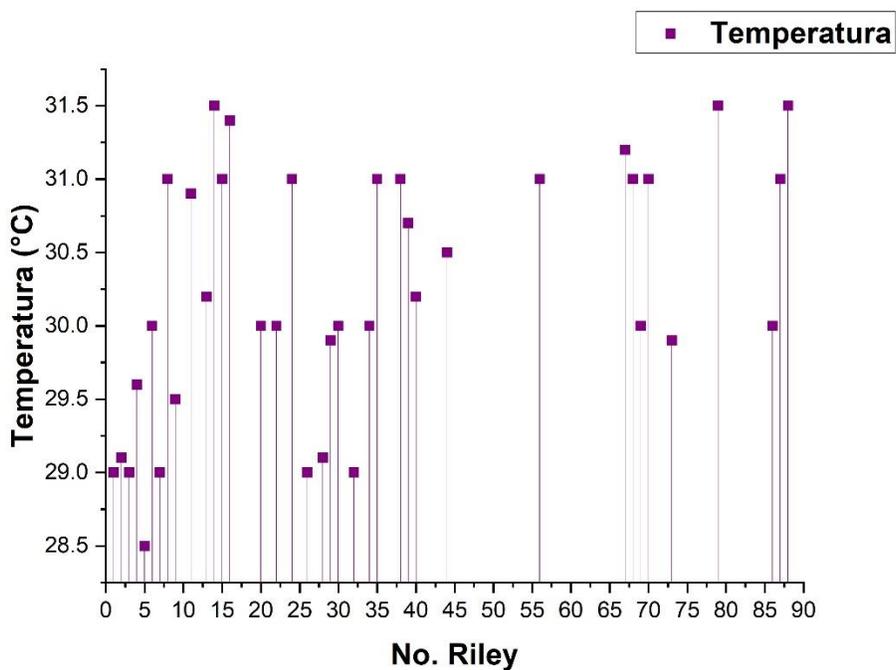
#### d) Temperatura



**Figura 13** Comportamiento de la temperatura, del agua intersticial de las chinampas del área de restauración El Papaturo.



**Figura 14** Comportamiento de la temperatura, del agua intersticial de las chinampas del área de restauración El Salado.



**Figura 15** Comportamiento de la temperatura, del agua intersticial de los Riley del área de restauración El Salado.

**No. 5: Porcentaje de sobrevivencia****a) Solución No.1: porcentaje sobrevivencia chinampas El Papaturro**

Donde:

Pv: 28

Pm: 80

$$\% \text{ de sobrevivencia} = \frac{28}{(28 + 80)} * 100$$

$$\% \text{ de sobrevivencia} = 25.9\%$$

**b) Solución No. 2: porcentaje sobrevivencia chinampas El Salado**

Donde:

Pv: 43

Pm: 59

$$\% \text{ de sobrevivencia} = \frac{43}{(43 + 59)} * 100$$

$$\% \text{ de sobrevivencia} = 42.15\%$$

**c) Solución No. 3: porcentaje sobrevivencia Riley El Salado**

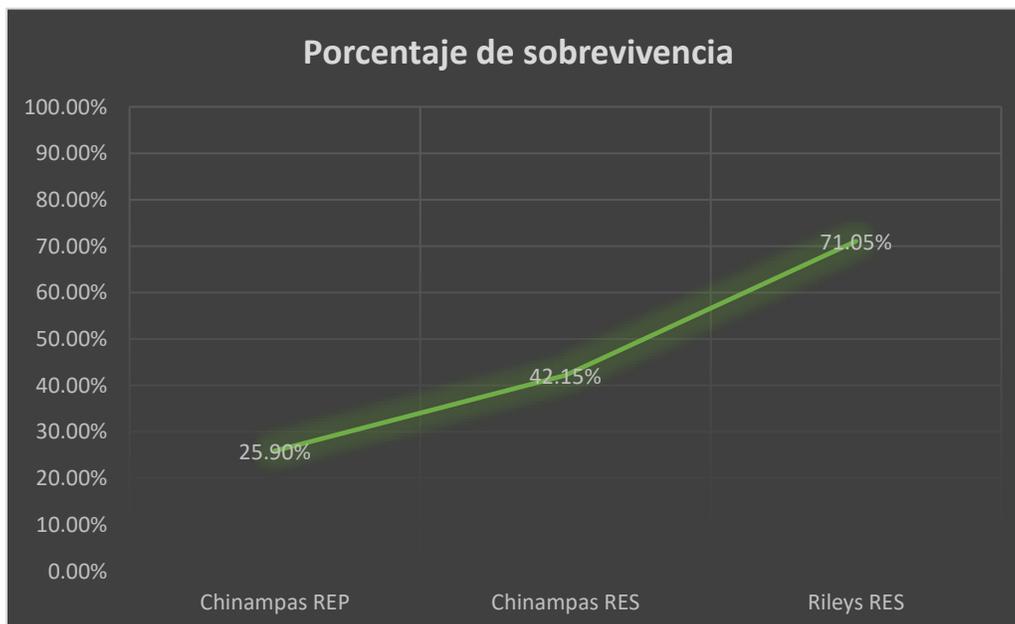
Donde:

Pv: 54

Pm: 22

$$\% \text{ de sobrevivencia} = \frac{54}{(54 + 22)} * 100$$

$$\% \text{ de sobrevivencia} = 71.05\%$$

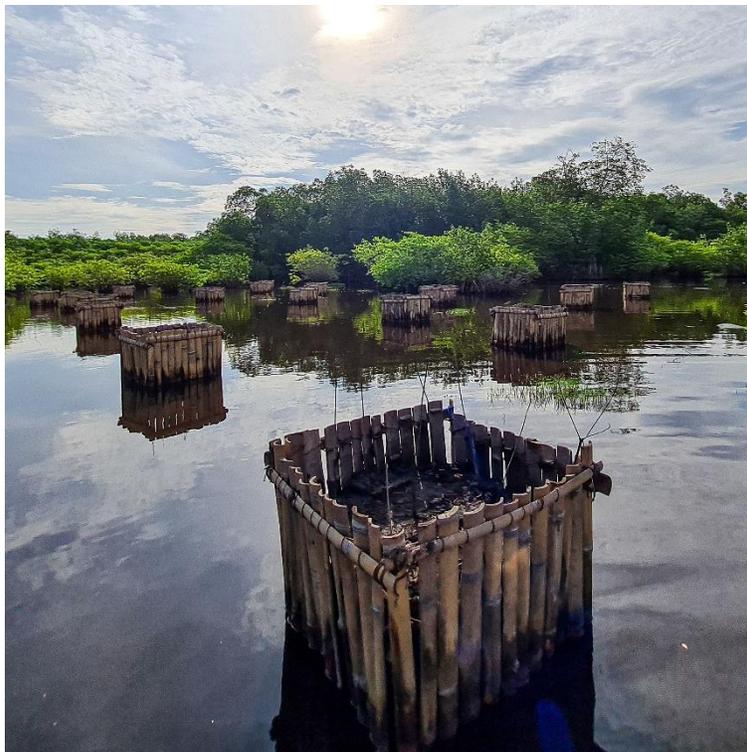


**Figura 16** Porcentaje de sobrevivencia en las áreas de restauración.

#### No. 6: Fotografías del proceso de investigación



**Figura 17** Sonda multiparamétrica Hanna, modelo HI 9811-5.



**Figura 18** Chinampas del área de restauración El Papaturo.



**Figura 19** Toma de datos fisicoquímicos en Riley.

**Fuente:** Jorge Guzmán.



**Figura 20** Toma de datos fisicoquímicos en chinampas El Papaturreo.

**Fuente:** Jorge Guzmán.



**Figura 21** Colocación de piezómetro para medir datos fisicoquímicos del agua intersticial.

**Fuente:** Jorge Guzmán.



**Figura 22** Piezómetro para tomar muestra del agua intersticial.



**Figura 23** Enumeración de chinampas.



**Figura 24** Toma de datos fisicoquímicos en chinampas en El Salado.

**Fuente:** Jorge Guzmán.



**Figura 25** Calibración de sonda multiparamétrica.

**Fuente:** Jorge Guzmán.



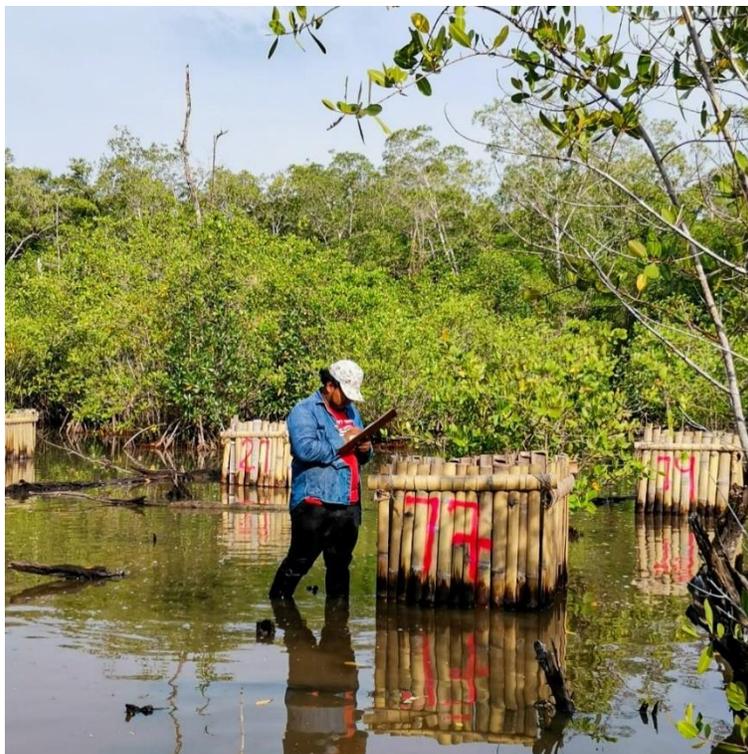
**Figura 26** Toma de datos fisicoquímicos en chinampas.

**Fuente:** Jorge Guzmán.



**Figura 27** Conteo de plántulas vivas en Riley en El Salado.

**Fuente:** Jorge Guzmán.



**Figura 28** *Conteo de plántulas vivas en chinampas El Salado.*

**Fuente:** Jorge Guzmán.



Mazatenango Suchitepéquez, 18 de octubre de 2023

MSc. Karen Rebeca Pérez Cifuentes  
Coordinadora de carrera  
Ingeniería en Gestión ambiental Local  
CUNSUROC

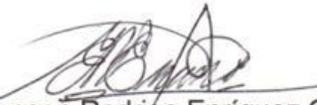
Respetable Maestra Pérez:

Muy respetuoso me dirijo a usted, para presentarle el Informe Final de Investigación Inferencial titulado "***Evaluación del proceso de restauración en el ecosistema manglar, del Área de Usos Múltiples Hawaii, Santa Rosa, Chiquimulilla***", realizado por el estudiante Mynor Ottoniel Ixtetelá de León, quien se identifica con numero de carné 2014 40940, dentro del programa de Ejercicio Profesional Supervisado de la Carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local- EPSIGAL-.

Este documento se presenta para que de acuerdo con el artículo 6, inciso 6.4 del Normativo de Trabajo de Graduación, pueda ser considerado como **Trabajo de Graduación**, para la obtención del título de Ingeniero en Gestión Ambiental Local.

Sin otro en particular, con mis más altas muestras de estima y respeto.

Atentamente,

  
MSc. Eysesén Rodrigo Enriquez Ochoa  
Supervisor EPSIGAL  
CUNSUROC



Mazatenango 22 enero 2024

MSc. Lcda. Karen Rebeca Pérez Cifuentes  
Coordinadora de Carrera  
Ingeniería en Gestión Ambiental Local  
Centro Universitario de Sur Occidente

Estimada Maestra Pérez:

Muy respetuosamente me dirijo a usted, para manifestarle que de acuerdo con el artículo 9, del Normativo de Trabajo de Graduación, de la carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local, he realizado la revisión y observaciones de la investigación titulada **"EVALUACIÓN DEL PROCESO DE RESTAURACIÓN EN EL ECOSISTEMA MANGLAR DEL ÁREA DE USOS MÚLTIPLES HAWAII, SANTA ROSA, CHIQUIMULILLA"**, presentada por el estudiante: **Mynor Ottoniel Ixtetelá de León**, quien se identifica con número de carné 201440940.

Por lo tanto, en mi calidad de revisora le informo que después de realizar el proceso para el cual fui asignada y luego de verificar la incorporación de las observaciones a la investigación, procedo a dar visto bueno al documento para que continúe el proceso respectivo.

Con altas muestras de estima y respeto.

Atentamente

A handwritten signature in black ink, appearing to read "MLVela", written over a circular stamp or mark.

Inga. Agr. Mirna Lucrecia Vela  
Supervisora de EPSIGAL  
Ingeniería en Gestión Ambiental Local



Mazatenango 19 de noviembre, 2024

Lic. Luis Carlos Muñoz López  
Director en Funciones  
Centro Universitario del Suroccidente

Respetable Señor Director:

De la manera más atenta, me dirijo a usted para referirle el Informe Final de Trabajo de Graduación titulado "**Evaluación del proceso de restauración en el ecosistema manglar del Área de Usos Múltiples Hawaii, Santa Rosa, Chiquimulilla**" del estudiante **Mynor Ottoniel Ixtetelá de León**, de la Carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local.

Con base en el dictamen favorable emitido y suscrito por el revisor del informe, el cual fue corregido de acuerdo a las recomendaciones indicadas.

Por lo tanto, en mi calidad de Coordinadora de la Carrera, me permito solicitarle el **IMPRÍMASE** respectivo para que el estudiante continúe con el proceso de mérito y pueda presentarlo en el Acto Público de Graduación.

Sin otro particular.

MSc. Karen Rebeca Pérez Cifuentes  
Coordinadora de Carrera  
Ingeniería en Gestión Ambiental Local  
CUNSUROC





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUR OCCIDENTE  
MAZATENANGO, SUCHITEPEQUEZ  
DIRECCIÓN DEL CENTRO UNIVERSITARIO

**CUNSUROC/USAC-I- 26-2025**

DIRECCION DEL CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUROCCIDENTE,  
Mazatenango, Suchitepéquez, el veinte de marzo de dos mil veinticinco-----

Encontrándose agregados al expediente los dictámenes del Asesor y Revisor, se autoriza la impresión del Trabajo de Graduación Titulado: **“EVALUACIÓN DEL PROCESO DE RESTAURACIÓN EN EL ECOSISTEMA MANGLAR DEL ÁREA DE USOS MÚLTIPLES HAWAII, SANTA ROSA, CHIQUIMULILLA”** del estudiante: **Mynor Ottoniel Ixtetelá de León**, Carné: **201440940**. CUI: **2615 72962 1013** de la Carrera Ingeniería en Gestión Ambiental Local.

**“ID Y ENSEÑAD A TODOS”**

M.A. Luis Carlos Muñoz López  
Director



/gris