



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN
CIENCIAS AGRÍCOLAS**

CAMPUS MONTECILLO

POSGRADO EN CIENCIAS FORESTALES

**“EVALUACIÓN DE SUSTRATOS EN ESTRUCTURAS EXPERIMENTALES DE
CONCRETO (EEC), PARA *Rhizophora mangle* L., EN LA BAHÍA DE CHETUMAL,
QUINTANA ROO”.**

RUBÉN ALFREDO AGUILAR GARCÍA

T E S I N A

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRÍA TECNOLÓGICA EN CONSERVACIÓN Y MANEJO

SUSTENTABLE DE BOSQUES

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MEXICO

2017

**CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y
DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION**

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe Rubén Alfredo Aguilar García, Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor Juan Ignacio Valdez Hernández, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis

EVALUACION DE SUSTRATOS EN ESTRUCTURAS EXPERIMENTALES DE CONCRETO (EEC), PARA *Rhizophora mangle* L., EN LA BAHÍA DE CHETUMAL, QUINTANA ROO.

y de los producto de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre el colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 13 de diciembre de 2017



Firma del
Alumno (a)



Dr. Juan Ignacio Valdez Hernández
Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesina titulada: **EVALUACIÓN DE SUSTRATOS EN ESTRUCTURAS EXPERIMENTALES DE CONCRETO (EEC), PARA *Rhizophora mangle* L., EN LA BAHÍA DE CHETUMAL, QUINTANA ROO** realizada por el alumno: Rubén Alfredo Aguilar García, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRÍA TECNOLÓGICA EN CONSERVACIÓN Y MANEJO SUSTENTABLE DE BOSQUES

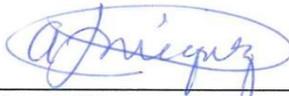
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



Dr. Juan Ignacio Valdez Hernández

ASESOR



Dr. Alejandro Velázquez Martínez

ASESOR



Dr. Víctor Manuel Cetina Alcalá

Montecillo, Texcoco, Estado de México, diciembre 2017

EVALUACIÓN DE SUSTRATOS EN ESTRUCTURAS EXPERIMENTALES DE CONCRETO (EEC), PARA *Rhizophora mangle* L., EN LA BAHÍA DE CHETUMAL, QUINTANA ROO

RUBÉN ALFREDO AGUILAR GARCÍA, M.T.

COLEGIO DE POSTGRADUADOS, 2017

RESUMEN

El presente estudio es la validación desde el punto de vista biológico de una tecnología basada en una estructura modular, mediante la evaluación de la eficiencia de diferentes sustratos en Estructuras Experimentales de Concreto (EEC) para la forestación de *Rhizophora mangle* en la bahía de Chetumal, Quintana Roo, México. El experimento se realizó de Enero a Agosto de 2016. Se tomaron medidas de diámetro, altura y número de hojas a cada una de las plantas, relacionando estos parámetros con la efectividad de los sustratos. El análisis estadístico se realizó a través de bloques al azar, aplicando una ANOVA y un test de comparaciones múltiples Tukey, mediante el uso del programa estadístico SAS (Statistical Analysis System) dada la naturaleza del experimento y el número de muestras. Durante los ocho meses del experimento se observó un 100% de sobrevivencia, después de aplicar el programa estadístico para el análisis de datos se obtuvo que el sustrato uno (Sustrato del Sitio 100%) y el cuarto (Tierra Orgánica 100%), influyeron significativamente en el diámetro y el número de hojas respectivamente. Este estudio brinda una alternativa novedosa desde el punto de vista tecnológico y desde la perspectiva económica dado su bajo costo, alcance y efectividad. Si bien no se encontraron evidencias significativas en el aspecto estadístico, la presencia de un crecimiento en el diámetro y el número de hojas en dos sustratos, nos da elementos para el manejo de futuros planes de forestación con esta tecnología. El uso de estos sustratos aminora los costos y ofrece una certidumbre para que el éxito del proyecto sea evidente y medible.

Palabras Clave. *Rhizophora mangle*, Estructuras Experimentales de Concreto, Sustratos.

SUBSTRATE EVALUATION IN EXPERIMENTAL CONCRETE STRUCTURES (EEC), FOR *Rhizophora mangle* L., IN THE CHETUMAL BAY, QUINTANA ROO

RUBÉN ALFREDO AGUILAR GARCÍA, M.T.

COLEGIO DE POSTGRADUADOS, 2017

ABSTRACT

The present project is the biological validation of a technology based on a modular structure, through the evaluation of the efficiency of different substrates in Experimental Concrete Structures (ECS) for the afforestation of *Rhizophora mangle* in the Bay of Chetumal, Quintana Roo, Mexico. The experiment was carried out from January to August 2016. Diameter and height measurements were taken to each of the plants by treatment to relate these parameters to the effectiveness of the substrates. For the statistical analysis we used the random block analysis, Applying an ANOVA and Tukey multiple comparisons test using the statistical program SAS (Statistical Analysis System) given the nature of the experiment and the number of samples. During the months of the experiment a 100% survival was observed, after applying the statistical program for the data analysis it was obtained that the diameter in treatment one was the only variable to present any difference. This project offers a novel alternative from the technological point of view and from the economic perspective given its low cost, scope and effectiveness. Although no significant evidence was found in the statistical aspect, the presence of a growth in diameter in the treatment of the substrate of the site gives us elements for the management of future reforestation plans with this technology. The use of site substrate reduces costs and offers a certainty that the success of the project is evident and measurable.

Keywords. *Rhizophora mangle*, Experimental Structures of Concrete, Substrates.

DEDICATORIA

A Dios por permitirme formar parte de su creación, por estar vivo e integrar una Familia Hermosa y permitirme formar mi propio Nicho Familiar:

Mi Madre *Efigenia García García por darme la vida, cuidarme y bendecirme a partir del momento que se convirtió en un Angel.

Mi Padre Aquiles Odiseo Aguilar Fernández por todo su ejemplo de Humildad y forjar unos hijos con disciplina, armonía y amor.

Mis Hermanos y Hermanas Carlos Barranco, Angel Barranco, Geovani Barranco, Luis García, Tania Aguilar y Leyza Aguilar, por todo su apoyo incondicional en el momento justo de ser requerido.

Mi Esposa Genny Lizbeth Félix Alamilla por el empuje diario a partir de nuestra unión, por no permitirme retroceder y desistir de los proyectos iniciados, por todo su amor para nuestra Familia.

Mis hijas Valeria Aguilar Félix y Ximena Aguilar Félix por ser un cumulo de alegrías en sus cortas, pero valiosas vidas, y ser la inspiración que impulsa el cumplimiento de objetivos y fortalecer los cambios de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Mi institución Comisión Nacional Forestal (CONAFOR).

Al Colegio de Postgraduados (COLPOS).

Mi amigo Oscar Fernando Ramírez Rocha, por ser parte de un engrane que inspira a superar obstáculos, por el recorrido que hemos logrado a la par y los proyectos que complementan nuestra persona.

Mi amigo Andrés Manzanilla Interian, por todo el apoyo en la interpretación estadística, por ser la parte leal y de actitud positiva, demostrando que de la adversidad se puede levantar y lograr un mayor éxito.

Mi amigo Arturo Zaldívar Jiménez, por su aportación y sugerencias del presente estudio, por la pasión demostrada por el medio ambiente, enfocado en la implementación en campo de la Restauración en Ecosistemas de Manglar.

Mi amigo Jesús Palma Peraza, por toda su disponibilidad al ser requerido.

Mis compañeros CONAFOR y ahora amigos de la Maestría Tecnológica.

Sin olvidar a todas aquellas personas que me han apoyado en mi desarrollo Profesional y Humano, Familia, Amigos, Amigas, Maestros, Maestras, y a todos aquellos que han intervenido en la realización este trabajo, Gracias totales.

CONTENIDO

Página

RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTOS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE CUADROS.....	xii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. JUSTIFICACIÓN.....	3
3. OBJETIVO.....	5
4. MARCO DE REFERENCIA.....	6
a) Antecedentes.....	6
b) Manglar.....	9
c) Servicios Ambientales e Importancia.....	10
d) Restauración.....	12
e) Especies de Mangle para el Estado de Quintana Roo.....	13
Mangle Rojo.....	13
Mangle Blanco.....	15
Mangle Negro.....	19
Mangle Botoncillo.....	21
5. METODOLOGIA.....	24
a) Localización del Área de Estudio.....	24

b) Metodología.....	26
6. RESULTADOS.....	36
a) Supervivencia.....	36
b) Análisis Estadístico.....	38
7. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	43
8. RECOMENDACIONES.....	47
9. LITERATURA CITADA.....	48

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Árbol del Mangle Rojo, Bahía de Chetumal.....	14
Figura 2. Inflorescencia de Mangle Rojo.....	14
Figura 3. Fruto y Propágulo de Mangle Rojo.....	15
Figura 4. Árbol de Mangle Blanco, Bahía de Chetumal.....	16
Figura 5. Inflorescencia de Mangle Blanco.....	17
Figura 6. Frutos del Mangle Blanco.....	18
Figura 7. Árboles de Mangle Negro y Neumatóforos (Chiapas).....	19
Figura 8. Inflorescencia de Mangle Negro.....	20
Figura 9. Frutos del Mangle Negro, Bahía de Chetumal.....	21
Figura 10. Árbol de Mangle Botoncillo, Bahía de Chetumal.....	22
Figura 11. Inflorescencia de Mangle Botoncillo.....	23
Figura 12. Ubicación Geográfica del Santuario del Manatí, Bahía de Chetumal.....	24
Figura 13. Sitios de Colecta y Establecimiento del Experimento.....	25
Figura 14. Colecta de Propágulos de Mangle Rojo.....	27
Figura 15. Sitio de Colecta, Isla Tamalcab.....	28
Figura 16. Sitio de Colecta, Isla Tamalcab.....	28
Figura 17. Toma de Datos de Propágulos.....	29
Figura 18. Preparación del Sustrato.....	30
Figura 19. Diseño de Unidades Experimentales de Concreto.....	31
Figura 20. Diseño Experimental.....	32
Figura 21. Toma de Datos de Campo.....	33
Figura 22. Estructuras Experimentales de Concreto.....	33
Figura 23. Arreglo de las Estructuras.....	34
Figura 24. Sobrevivencia.....	36
Figura 25. Modelo Predictivo de Schumacher.....	40
Figura 26. Modelo de Regresión Lineal. Sustrato del Sitio 100%.....	40
Figura 27. Modelo de Regresión Lineal. Sustrato Tierra Orgánica/Arena 75%/25%.....	41

Figura 28. Modelo de Regresión Lineal. Sustrato del Sitio/Arena 80%/20%.....	41
Figura 29. Modelo de Regresión Lineal. Sustrato Tierra Orgánica 100%.....	43

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Estadística Descriptiva de los Cuatro Sustratos.....	37
Cuadro 2. Resultados de la Prueba de Tukey.....	38

1. INTRODUCCIÓN

Un objetivo prioritario del Plan Estratégico de Desarrollo Integral del Estado de Quintana Roo 2000-2025, es establecer las bases para su desarrollo integral y sustentable (Centro de Estudios Estratégicos, 2014), de tal forma que se promueva la competitividad de los sectores económicos clave y se mejore el nivel de vida y bienestar de sus habitantes (Gobierno del Estado de Quintana Roo, 2005). En concordancia con lo anterior, la labor científica debe estar enfocada a lograr este objetivo, para lo que, en primera instancia, se deben identificar las demandas prioritarias y elaborar proyectos para su solución. Tal es el caso de las demandas que surgen del sector productivo y de servicios quintanarroenses a los que está vinculada la conservación de los humedales, particularmente el ecosistema de manglar (Gobierno del Estado de Quintana Roo, 2005). Este ecosistema realiza importantes servicios ecológicos y de paisaje y es el componente biótico con mayor extensión en los litorales del Estado, precisamente en el lugar donde se desarrolla la principal actividad económica, el turismo Hirales-Cota (2009).

La pérdida acelerada de los bosques de mangles en Quintana Roo y en el mundo, es una problemática que se debe abordar de inmediato. Por lo que la elaboración de planes para su conservación, manejo y aprovechamiento resulta de alta prioridad (Gobierno del estado de Quintana Roo, 2011). En Quintana Roo, la deforestación para la construcción de caminos, hoteles y la delimitación de predios privados es uno de los factores que agudizan la pérdida de este valioso tipo de vegetación (Hirales-Cota, 2009). Es probado que los costos ecológicos son inmensos e invaluable cuando existe la pérdida de este frágil ecosistema; en la dinámica que impera en el Estado, donde están presentes diferentes ecosistemas interrelacionados, el impacto sobre la bosques de mangles, repercute puesto que básicamente es una barrera para mitigar los efectos físicos de fenómenos meteorológicos, además, el aspecto biológico, como se puede apreciar en las poblaciones de arrecifes que se desarrollan en diversas etapas de sus ciclos de vida, en la protección del manglar. En el estado de Quintana Roo han existido diversos esfuerzos por reforestar diversas áreas

afectadas, sin embargo, son costosos y los resultados no siempre son satisfactorios. En la actualidad, se realizan esfuerzos en primera instancia de prospección para conocer la situación de las zonas que requieren atención y, segundo, determinar cuáles son las estrategias más convenientes para el manejo y su implementación. Como indica (Benítez-Pardo, 2007), dado los costos que implica una restauración, la mejor estrategia es la conservación. En la Bahía solo se tiene el trabajo de (Ramírez-Rocha, 2014) en lo que refiere al uso de una estructura para reforestar mangle rojo. El presente estudio contribuye con los esfuerzos de investigación para reforzar las estrategias de reforestación del mangle rojo cubriendo desde diferentes ángulos, los vacíos que se han observado en los programas de reforestación, dado que la técnica desarrollada, puede ser aplicada con certidumbre para formar mangle de barrera, islas y de ribera.

2. JUSTIFICACIÓN

El presente estudio pretende contribuir con los esfuerzos de restauración de los bosques de mangles, específicamente con el uso de *Rhizophora mangle* L., siendo una opción novedosa y ajustable a los diferentes contextos y necesidades que requiera una forestación. El motivo de selección de esta especie, en primer lugar fue por su amplia distribución en nuestro país (CONABIO, 2008; 2009) además, ofrece los mejores resultados en lo que respecta a su forestación (Tovilla y Orihuela, 2002). El problema de estos métodos, es que han existido múltiples esfuerzos en México para el establecimiento de mangles en sitios afectados, pero regularmente son esfuerzos aislados por parte de ciertas autoridades y organizaciones, las cuales sin un análisis previo, plantan propágulos que tarde o temprano no llegan a establecerse por la acción de la marea, entre otros factores. Los esfuerzos de Tovilla y Orihuela, 2002 y Tovilla, *et al.* (2004), en la costa de Chiapas, son claros ejemplos de casos exitosos en la forestación con mangle rojo, en un ecosistema diferente al de la Península de Yucatán. La forestación de mangle rojo con EEC, surge con la observación de ReefBall, bolas de concreto utilizados para regenerar o desarrollar arrecifes, que a su vez surgieron de ver como los barcos hundidos ofrecían un sustrato óptimo para la colonización y formación de nuevos arrecifes, esto evolucionó en el hundimiento de bloques de cemento y después en los citados ReefBall. En Estados Unidos se utilizan ya desde algunos años por (Riley, 1999) una tecnología a base de tubos PVC rellenos de sustrato que funcionan proporcionando un sostén inicial a la planta de mangle hasta que esta se ancla y libera, sin duda una tecnología, económica, sencilla, usada para un individuo a la vez y que aún está a merced de las mareas. (Ramírez-Rocha, 2014) demostró la eficiencia de sus estructuras en cuanto la permanencia en el sitio, protección de la plántula, además de que a diferencia de otras técnicas no necesita ser anclada al sustrato, una vez que se deposita, permanece fija y resiste al oleaje, por lo que puede ser utilizada en sitios con diferentes condiciones, y que por su diseño, puede acoplarse para desarrollar barreras de manglar u otras formas que se requiera de acuerdo a la

necesidad. Debido que esta es una innovación de ingeniería aplicada a las ciencias biológicas, es necesaria su validación, en este caso se propuso analizar el sustrato más viable a utilizar dentro de las EEC para complementar el paquete tecnológico de este diseño y volver más eficaz este método de forestación.

3. OBJETIVO

Evaluar la eficiencia de 4 diferentes sustratos en Estructuras Experimentales de Concreto (EEC) para la forestación con *Rhizophora mangle* L., en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo, México.

4. MARCO DE REFERENCIA

a) Antecedentes

Los humedales costeros, en particular los manglares, son ecosistemas diversos y de gran importancia ecológica que brindan una gran variedad de servicios ambientales (Sanjurjo-Rivera y Welsh-Casas, 2005). Están considerados como zonas de alimentación, refugio y crecimiento de juveniles de crustáceos y alevines, actúan como sistemas naturales de control de inundaciones y como barreras contra huracanes e intrusión salina, controlan la erosión y protegen las costas, mejoran la calidad del agua al funcionar como filtro biológico, contribuyen en el mantenimiento de procesos naturales tales como respuestas a cambios en el nivel del mar, mantienen procesos de sedimentación, son refugio de flora y fauna silvestre, poseen un alto valor estético, recreativo y de investigación (CONABIO, 2009).

En los bosques de mangles de las costas mexicanas, son cuatro las especies que presentan mayor abundancia: *Rhizophora mangle* (mangle rojo), *Avicennia germinans* (mangle negro), *Laguncularia racemosa* (mangle blanco) y *Conocarpus erectus* (mangle botoncillo) (Benítez-Pardo, *et. al.*, 2002).

En México, se han hecho esfuerzos para conocer la tasa de pérdida de manglar, por instancias gubernamentales, como el INE, 2005, que desarrolló un estudio para evaluar la pérdida de cobertura mediante la comparación de estudios de caso y de polígonos, el cual entre sus conclusiones menciona que para 2025 México habrá perdido, del 40 al 50% del manglar reportado para el año 2000 (INE, 2005).

En el 2009 la CONABIO publicó un trabajo muy completo donde se estima la distribución y extensión del manglar en México para 2005-2006 donde para estas fechas reporta 770 057 hectáreas, en unos de los esfuerzos más recientes por conocer estos dos parámetros para la publicación de 2013 había aumentado un 0.5% dando una cifra de 774 090 hectáreas (CONABIO, 2009; Rodríguez-Zúñiga, *et al.*, 2013).

En la Península de Yucatán se han realizado trabajos como los de (Zaldívar-Jiménez, *et al.*, 2004) enfocados al estudio de la estructura y productividad de los bosques de mangles en Celestún.

Los estudios de manglar en el Estado de Quintana Roo, son escasos, uno de estos es el de (Sánchez, *et al.*, 1991) quienes describieron al manglar de la zona Sur del Estado como una agrupación homogénea y compleja, con cuatro tipos de asociaciones: la primera de *Rhizophora-Laguncularia-Avicenia-Conocarpus* (manglar mixto), la segunda *Conocarpus-Laguncularia*, la tercera *Rhizophora* y la cuarta vegetación de Petén.

Navarrete y Olivera-Rivera, (2002) estudiaron la producción de hojarasca del mangle rojo (*Rhizophora mangle*) en el Canal de Bacalar Chico. Donde observaron una alta producción de hojarasca, llegando a la conclusión de que los manglares en su zona de estudio estaban en buen estado de conservación, además, sugirieron que debían ser protegidos y utilizados bajo criterios conservacionistas.

Uno de los estudios más recientes de manglar en Quintana Roo es el de (Carrillo-Bastos, *et al.*, 2008). En este trabajo se examinaron las estrategias de regeneración de un fragmento de manglar después del paso de un huracán. Encontraron estrategias diferentes entre las especies *Conocarpus erectus* y *R. mangle*, siendo la segunda especie la más resistente a la fuerza de los vientos. (Hirales-Cota, 2009) en su proyecto realizado en costera de Mahahual-Xcalak, determinó la tasa de deforestación, los cambios de cobertura del bosque de mangles, aunado a esto, se identificaron 18 servicios ambientales que los habitantes locales reciben del manglar.

El “Proyecto de conservación y restauración de Manglares” a cargo de la Dirección General de Desarrollo Urbano, Medio Ambiente y Obras Públicas del H. Ayuntamiento de Othón P. Blanco, iniciando en Noviembre de 2005 y terminando en Noviembre de 2006, tuvo como objeto producir y establecer 35,000 plantas de mangle (*Rhizophora mangle*) así como su conservación y mantenimiento, para lograr

las metas del Programa Nacional de Reforestación en el ejercicio fiscal presupuestal 2005-2006. Básicamente este fue un proyecto de restauración ecológica, para la Zona Federal Marítimo Terrestre, en la Bahía de Chetumal; cuyo objetivo se centró en recuperar áreas específicas de manglar con la finalidad de evitar la erosión de la zona litoral. Semejando a una zona de manglar no perturbado como en otros puntos de la Bahía. La producción de las plantas de mangle se llevó a cabo en el vivero municipal “Zazil” ubicado en el parque Ecológico de Chetumal.

El antecedente más cercano que utiliza un desarrollo tecnológico para reforestación de mangle rojo es el desarrollado por (Riley, 1999) donde reforestó en cuatro zonas diferentes utilizando la metodología Riley Encased Methodology (REM) concluyendo que las zonas de reforestación expuestas a menor oleaje tienen mayor probabilidad de supervivencia.

Ramírez-Rocha, (2014) utilizó Estructuras Experimentales de Concreto (EEC) para la forestación de mangle rojo logrando en primera instancia la permanencia del 100% de las estructuras en el sitio de trabajo. Obteniendo una supervivencia del 53.33% durante los cuatro meses que duro el muestreo, utilizando como sustrato tierra de origen orgánico.

De forma más reciente (Benítez, *et al.*, 2015) en la bahía de Navachiste en Baja California, establecieron una isleta de dragado, donde trabajan con dos especies de mangle *Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle* teniendo mejor resultado con la primera especie, este proyecto y el de (Benítez, 2007) sientan las bases para trabajos de forestación y reforestación con elementos artificiales. (Benítez, *et al.*, 2015) aportan en su medición de parámetros ambientales y biológicos información valiosa que debe tomarse en cuenta para el monitoreo de la forestación de estas especies de mangle.

b) Manglar

Es un tipo de vegetación que se encuentra en las zonas tropicales del planeta, prospera en las orillas de lagunas costeras, en bahías protegidas, y en orillas de ríos donde existe influencia del agua de mar (Rzedowski, 2006). Se compone de especies arbustivas y arborescentes de hojas perennifolias, adaptadas a la alta presión osmótica y a vivir en suelos pobres en oxígeno (Rzedowski, 2006).

Los principales factores que afectan el establecimiento y sobrevivencia de los mangles: a) temperatura del aire (extensos manglares existen en áreas donde la temperatura promedio del mes más frío es superior a los 20°C y la variación estacional no excede de 5°C); b) corrientes oceánicas; c) protección (los manglares se desarrollan mejor en costas donde hay protección contra la acción del oleaje fuerte, el cual puede barrer los propágulos antes de establecerse); d) litorales someros; e) agua salina; f) ámbito de mareas y g) sustrato lodoso (los manglares crecen en arena, lodo, turba y roca coralina, los manglares más extensos están asociados invariablemente a suelos lodosos) estos factores determinan de igual forma la zonación influidos íntimamente por el hidoperíodo y la microtopografía (Rico, 1993; López-Portillo y Ezcurra, 2002; Flores-Verdugo, *et al.*, 2007).

En nuestro país podemos encontrar cuatro especies características de mangle bien distribuidas, *Rhizophora mangle* L., *Avicennia germinans* (L.) L., *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. F. y *Conocarpus erectus* L.; las cuatro especies podemos encontrarlas tanto en el Pacífico como en el Atlántico. *Rhizophora* que vive en sitios con mayor profundidad forma bosques con *Laguncularia*, que vive a menor profundidad o forma bosques puros de mangle rojo; en muchos casos forman sucesiones en las que el *Conocarpus erectus*, se encuentra prácticamente sobre suelo estabilizado este último con dos variedades (*erectus* y *sericeus*) (López-Portillo y Ezcurra, 2002; Pennington y Sarukhán, 2005; Rzedowski, 2006). Además en la vertiente del océano Pacífico del país existen 2 especies más *Avicennia bicolor*, esta especie se encuentra restringida en una zona estrecha de la costa a lo largo de la

Laguna de Mar hasta el límite con el canal de dragado Joaquín Amaro-La Conquista (40,3 kilómetros. El registro de Mar Muerto (Paredón, Chiapas) (López-Portillo y Ezcurra, 2002; Santamaría-Damián, *et al.*, 2016) y la especie de mangle rojo *Rhizophora harrisonii* para el estado de Chiapas (López-Portillo y Ezcurra, 2002; Rico-Gray, 1981).

En México las especies de mangle rojo, negro, blanco y botoncillo están bajo la categoría de amenazadas (NOM-059-SEMARNAT-2010), lo cual indica que podrían llegar a encontrarse en peligro de desaparecer a corto o mediano plazo, en caso de que los factores negativos sigan persistiendo y pongan en riesgo su viabilidad, al ocasionar el deterioro o modificación de su hábitat o disminución directa del tamaño de sus poblaciones; de igual forma las especies de manglar se encuentran protegidas por la norma NOM-022-SEMARNAT-2003 (Rodríguez-Zúñiga, *et al.*, 2013). Sin embargo ni *Avicennia bicolor* y *Rhizophora harrisonii* se encuentran en alguna categoría de protección por las leyes de nuestro país (Santamaría-Damián, *et al.*, 2016).

c) Servicios Ambientales e Importancia

Los bosques de mangles son un ecosistema de riqueza biológica invaluable, donde podemos encontrar especies residentes permanentes como temporales de moluscos, crustáceos, insectos, peces, aves, mamíferos, bromelias, orquídeas, bejucos y otras especies (Rodríguez-Zúñiga, *et al.*, 2013).

Su importancia radica en los siguientes servicios ambientales que proporciona:

- Altamente productivo, genera nutrientes que son exportados por las mareas a las aguas marinas, donde son aprovechados por pastos marinos, arrecifes de coral y peces (Rodríguez-Zúñiga, *et al.*, 2013).

- Son hábitat de aves migratorias y de grupos de reproducción y son zonas de protección, crianza y desove de especies comerciales (Rodríguez-Zúñiga, *et al.*, 2013).
- Los manglares funcionan como “barreras naturales” de protección que retienen la erosión causada por vientos y mareas, ayudando así a mantener la línea de costa y a sostener la arena sobre las playas. En aquellos sitios en donde los manglares se han mantenido, el impacto de fenómenos naturales, como ciclones y tsunamis, ha sido menor al de aquellos sitios en donde se destruyeron o no existen estas barreras naturales (Rodríguez-Zúñiga, *et al.*, 2013; Hiraes-Cota, 2009).
- Disminuyen el impacto del acarreo de sedimentos y contaminantes por las corrientes de agua de ríos y arroyos sobre los arrecifes de coral (Rodríguez-Zúñiga, *et al.*, 2013).
- Funcionan como filtros biológicos en la retención y procesamiento de algunos fertilizantes utilizados en la agricultura, en la filtración de agua y abastecimiento de mantos freáticos (Rodríguez-Zúñiga, *et al.*, 2013).
- Son sumideros de bióxido de carbono y captura de gases de efecto invernadero (Rodríguez-Zúñiga, *et al.*, 2013).
- Se utilizan en la industria de la construcción como puntales para las cimbras; producción de leña y carbón por las comunidades rurales; como materiales para la fabricación de artes de pesca (Rodríguez-Zúñiga, *et al.*, 2013).
- Son zona de desarrollo de la creciente industria asociada al ecoturismo, avistamiento de aves migratorias, vida silvestre y paisajes (Rodríguez-Zúñiga, *et al.*, 2013; Hiraes-Cota, 2009).

d) Restauración

Si bien el proyecto está enfocado a la forestación para establecer *Rhizophora mangle*, por el mismo contexto podría ser utilizado en las estrategias de restauración como una herramienta de éxito. La ecología de la restauración de ecosistemas marinos es relativamente joven (Abelson, *et al.*, 2016) además es una línea de trabajo multidisciplinaria dada la dinámica de degradación de los mismos y los factores que propician la misma e incluso implica aspectos tan variados, como las políticas públicas, la inclusión de la sociedad en lo que refiere a los propietarios de tierras tanto particulares, ejidales y nacionales (Ceccon, *et al.*, 2015; Abelson, *et al.*, 2016).

Es importante integrar las políticas públicas y necesidades tanto de particulares como comunidades, para fines de la legislación mexicana se aplican los siguientes términos en lo que concierne a la restauración y forestación:

Según la NOM-022-SEMARNAT-2003, *Restauración* es el conjunto de actividades encaminadas a rehabilitar terrenos degradados para que recuperen y mantengan parcial o totalmente su suelo, dinámica hidrológica, estructura de la vegetación y biodiversidad mientras que para la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (2003) *Restauración forestal* es el conjunto de actividades tendentes a la rehabilitación de un ecosistema forestal degradado, para recuperar parcial o totalmente las funciones originales del mismo y mantener las condiciones que propicien su persistencia y evolución. De igual forma esta ley contempla términos como:

Forestación: El establecimiento y desarrollo de vegetación forestal en terrenos preferentemente forestales o temporalmente forestales con propósitos de conservación, restauración o producción comercial.

Reforestación: Establecimiento inducido de vegetación forestal en terrenos forestales.

Los esfuerzos de restauración en nuestro país son relativamente recientes alrededor de 30 años atrás, podemos mencionar los esfuerzos en los estados de Chiapas, Oaxaca y Guerrero (Tovilla y Orihuela, 2002; Tovilla, *et al.*, 2004; Tovilla-Hernández y Romero-Berny, 2012; Tovilla-Hernández y Lan-Ramírez, 2012) donde incluye desde la reforestación de especies que fueron retiradas por actividades antropogénicas o fenómenos meteorológicos, la forestación de especies que por las condiciones del sitio después de la perturbación no permiten la reinserción de plantas típicas del área hasta el restablecimiento del flujo hidrológico y el establecimiento de elementos artificiales para implantar las especies de mangle (Flores-Verdugo, *et al.*, 2007; Tovilla-Hernández y Lan-Ramírez, 2012; Benítez-Pardo, *et al.*, 2015).

e) Especies de Mangle para el Estado de Quintana Roo

Mangle Rojo

FAMILIA.- Rhizophoraceae

ESPECIE.- *Rhizophora mangle* L.

NOMBRE COMÚN.- Candelón, mangle, mangle colorado, mangle dulce, mangle rojo, mangle tinto, taab ché (maya), American mangrove (Duke y Allen, 2005; Agraz-Hernández, *et al.*, 2006).

FLORACIÓN.- Todo el año, sobre todo durante la primavera y el verano (Duke y Allen, 2005; Agraz-Hernández, *et al.*, 2006).

DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA.- Árboles con el tronco y las ramas apoyadas en numerosas raíces zancudas, simples o dicotómicamente ramificadas, con numerosas lenticelas; la corteza lisa, grisácea, rojiza a pardo rojiza, si se raspa adquiere un color rojo verano (Duke y Allen, 2005; Agraz-Hernández, *et al.*, 2006) (Figura 1).



Figura 1.- Árbol del Mangle Rojo, Bahía de Chetumal. (O.F. Ramírez)

Hojas simples, decusadas, lámina foliar elíptica a oblonga, de 8 a 13 cm de largo, 4 a 5.5 cm de ancho, ápice agudo. Inflorescencias simples, con dos o tres flores ceríceas, amarillo verdosas (Figura 2).



Figura 2.- Inflorescencia de Mangle Rojo. (O.F. Ramírez)

Fruto una baya piriforme, dura, pardo rojiza; con el embrión germinando dentro del fruto aún unido a la planta, que luego se desprende una vez que el hipocótilo alcanza de 15 a 40 cm de largo (Figura 3) (Agraz-Hernández, *et al.*, 2006).



Figura 3.- Fruto y Propágulo de Mangle Rojo. (O.F. Ramírez)

Mangle Blanco

FAMILIA.- Combretaceae

ESPECIE.- *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. f.

NOMBRE COMÚN.- Mangle amarillo, Mangle blanco, mangle bobo, mangle chino, sak okom (Pennington y Sarukhán. 2005; Agraz-Hernández, *et al.*, 2006).

FLORACIÓN.- Especialmente en los meses más lluviosos, en algunos sitios de febrero a marzo (Pennington y Sarukhán. 2005; Agraz-Hernández, *et al.*, 2006).

DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA.- Árboles dióicos o hermafrodita de hasta 20 m, el tronco poco o abundantemente ramificado; la corteza fisurada, rugosa, grisácea-café;

tallos y pecíolos se tornan rojizos y ramas teretes. Hojas simples, decusadas, lámina foliar elíptica a oblonga, de 5 a 8 cm de largo, 3 a 5 de ancho, ápice redondeado o a veces algo emarginado (Figura 4) (Agraz-Hernández, *et al.*, 2006).



Figura 4.- Árbol de Mangle Blanco, Bahía de Chetumal. (O.F. Ramírez)

El mangle blanco posee unas flores pentámeras pequeñas y de color blanco verdusco, con 10 estambres y dos bracteolas ovadas. Las flores aparecen en unas panículas terminales o en una espiga solitaria que emerge de la axila foliar. Las hojas carecen de vellos y son obovadas o elípticas y se caracterizan por la presencia de un par de glándulas en la base de la lámina (Figura 5) (Jiménez y Lugo, 2000).



Figura 5.- Inflorescencia de Mangle Blanco. (O.F. Ramírez)

El fruto del mangle blanco tiene un peso promedio de 0.4 g y una longitud promedio de 2.0 cm, corresponde a una típica drupa con viviparidad al igual que otras especies de mangle (Figura 6) (Jiménez y Lugo, 2000; Pennington y Sarukhán, 2005).



Figura 6.- Frutos del Mangle Blanco. (O.F. Ramírez)

Mangle Negro

FAMILIA.- Verbenaceae

ESPECIE.- *Avicennia germinans* (L.) L.

NOMBRE COMÚN.- Mangle puyequé, madre de sal, mangle prieto, ta'abché (Pennington y Sarukhán. 2005; Agraz-Hernández, *et al.*, 2006).

FLORACIÓN.- Aunque florece todo el año en algunos sitios su pico de floración es en los meses lluviosos (Pennington y Sarukhán. 2005; Agraz-Hernández, *et al.*, 2006).

DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA.- Árboles o Arbustos con los troncos y ramas jóvenes tetraédricos de hasta 20 m, la corteza levemente fisurada en placas. Sistema de raíces por neumatóforos con lenticelas (Figura 7) (Pennington y Sarukhán. 2005; Agraz-Hernández, *et al.*, 2006).



Figura 7.- Árboles de Mangle Negro y Neumatoforos (Chiapas). (O.F.Ramírez)

Hojas simples, opuestas, lámina foliar oblonga a lanceolado-elíptica (Agraz-Hernández, *et al.*, 2006). Flores verdosas, crema o blanquecinas, la corola de consistencia serícea. Los frutos son capsulas de 2 x 1.5 cm, ovoides, ligeramente aplastadas, bivalvadas, pardo verdosas (Figura 8 y 9) (Pennington y Sarukhán. 2005).



Figura 8.- Inflorescencia de Mangle Negro. (O.F. Ramírez)



Figura 9.- Frutos del Mangle Negro, Bahía de Chetumal. (O.F. Ramírez)

Mangle Botoncillo

FAMILIA.- Combretaceae

ESPECIE.- *Conocarpus erectus* L.

NOMBRE COMÚN.- Botoncahui, botoncillo, estachauite, laurelillo, mangle botoncillo, mangle cenizo, tabché (Agraz-Hernández, *et al.*, 2006).

FLORACIÓN.- Florece durante todo el año, en particular en los meses lluviosos (Pennington y Sarukhán. 2005; Agraz-Hernández, *et al.*, 2006).

DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA.- Árboles dióicos; regularmente no rebasa los 10 metros, la corteza fisurada y rugosa; profusa e irregularmente ramificados (Figura 10).

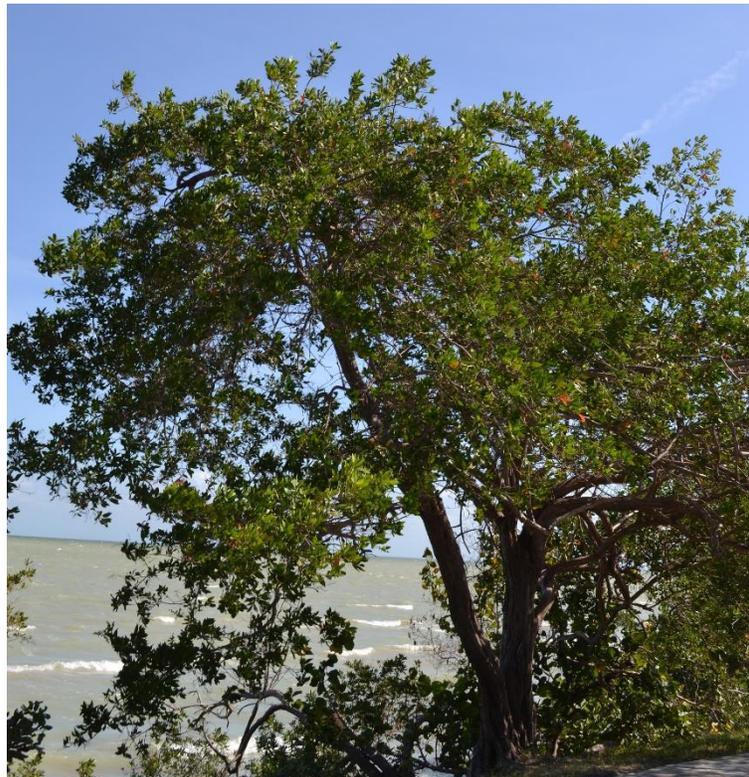


Figura 10.- Árbol de Mangle Botoncillo, Bahía de Chetumal. (O.F. Ramírez)

Hojas simples, alternas o en ocasiones congestionadas en las puntas de las ramas. Hojas dispuestas en espiral, simples con láminas de margen entero, oblanceoladas o elípticas (Pennington y Sarukhán, 2005). Flores diminutas que desarrollan infrutecencias pequeñas y globulares (en el interior unas nuecesillas comprimidas en la madurez) (Figura 11) (Agraz-Hernández, *et al.*, 2006).



Figura 11.- Inflorescencia, Frutos y Hojas de Mangle Botoncillo. (O.F. Ramírez)

5. METODOLOGÍA

a) Localización del Área de Estudio

El proyecto se realizó en la Reserva Estatal Santuario del Manatí, en la Bahía de Chetumal. Decretada en el Periódico Oficial del 8 de abril del 2008. Esta se encuentra ubicada en el extremo Sureste del Estado de Quintana Roo y cuenta con una superficie de 277,733.669 Has, comprende la Bahía de Chetumal, las lagunas Agua Salada, Chile Verde y Guerrero. En la porción terrestre se encuentran los ejidos de Úrsulo Galván, Tollocan, Calderas de Barlovento y la ampliación de Calderitas. Limita al Norte con el ejido Pedro Antonio de los Santos, al Sur con la frontera del País de Belice lo que le confiere condiciones especiales, al Este colinda con la región conocida como Costa Maya, al Oeste con la ciudad de Chetumal y terrenos ubicados en el margen oriental de la Laguna de Bacalar (Figura 12).

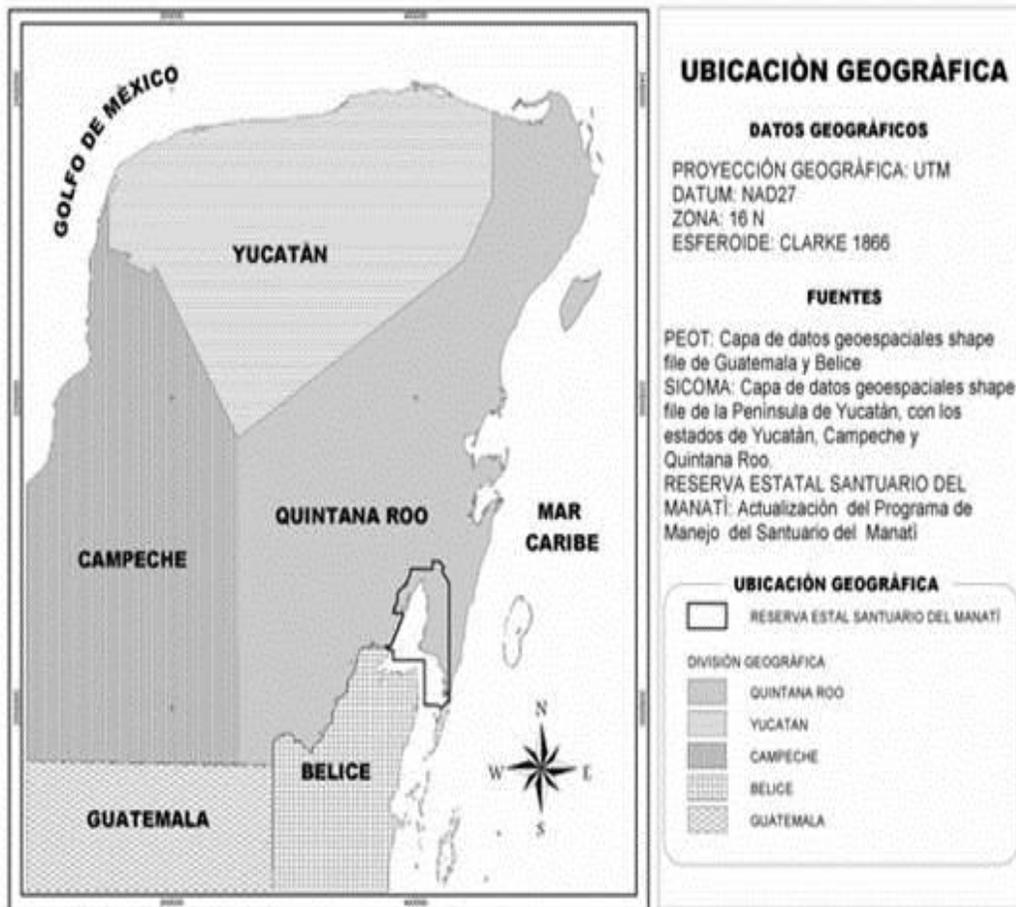


Figura 12. Ubicación Geográfica del Santuario del Manatí, Bahía de Chetumal.
 Periódico Oficial del 8 de abril del 2008.

Se ha reportado, de manera general, que el estado de conservación del Santuario del Manatí es aceptable, debido al aislamiento ocasionado por la carencia de vías de comunicación, la baja densidad poblacional y la compleja manifestación geohidrológica no se han afectado de manera significativa los ecosistemas presentes, sobre todo en su costa oriental. Dentro del marco de la bahía de Chetumal, Santuario del Manatí, el sitio de colecta se encuentra marcado en color azul y la del proyecto en color verde. (Figura 13).

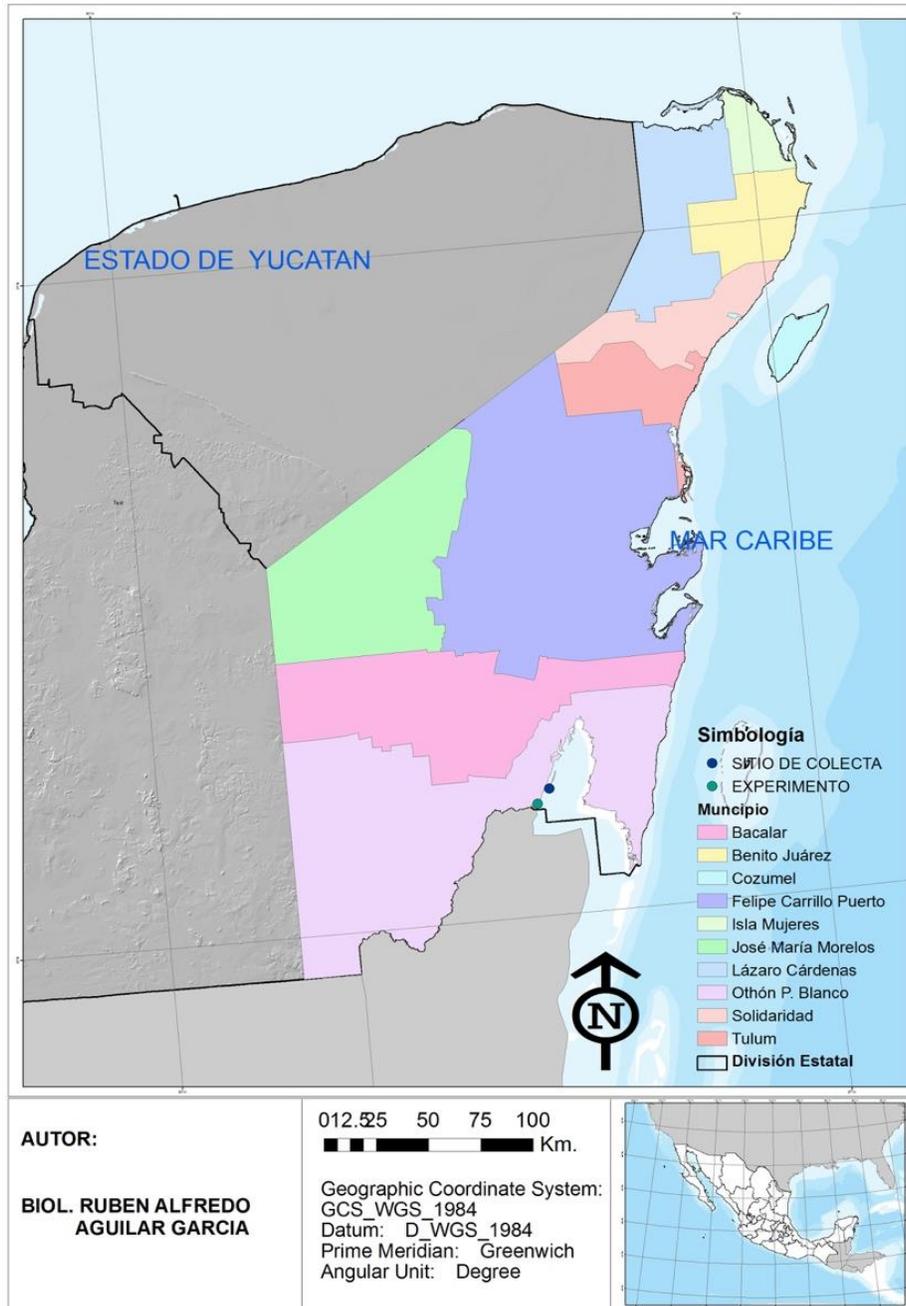


Figura 13.- Sitios de Colecta y Establecimiento del Experimento. (R.A. Aguilar)

b) Metodología

1.- Se realizó la revisión bibliográfica extensa, de información referente al tema.

2.- La especie que se selecciono fue *Rhizophora mangle* L. dado que es la especie que se encontraba poblando la zona, antes del huracán Dean (2007) *R. mangle* es la especie de mangle más utilizada dadas sus características biológicas y su resistencia a diversos niveles de salinidad, acción de las mareas y el oleaje.

3.- Una limitante administrativa fue la obtención del permiso de colecta ante la instancia reguladora (SEMARNAT) para lo cual se entregó el anteproyecto y se obtuvo la licencia de colecta mediante el oficio SGPA/DGVS/10890/15 para 50 ejemplares de Mangle Rojo y de igual forma el aval de la Secretaria de Ecología y Medio Ambiente (SEMA) del estado de Quintana Roo para realizar la investigación, con el oficio SEMA/DS/1426/2015 dentro del Santuario del Manatí, en la Bahía de Chetumal. Se utilizaron 40 plántulas, las diez restantes se sembraron en la misma zona donde se estableció el ensayo.

4.- Se recolectaron los propágulos dentro de la Bahía de Chetumal en la isla de Tamalcab en el mes de noviembre de 2015. Previamente se realizó una visita de prospección donde se ubicaron árboles que contaban con características deseables: presencia abundante de propágulos, ausencia de plagas, copa vigorosa y la forma típica de la especie con raíces aéreas de origen adventicio y vigor en el tronco (Figura 14).



Figura 14.- Colecta de Propágulos de Mangle Rojo. (O.F. Ramírez).

El sitio ubicado se encuentra formando un canal en la parte sur de la isla donde prospera la especie y encuentra las condiciones propicias para establecerse ($18^{\circ}33'52.19''N$ y $88^{\circ}13'29.43''O$) (Figura 15 y 16).



Figura 15.- Sitio de Colecta, Isla Tamalcab. (R.A. Aguilar)



Figura 16.- Sitio de Colecta, Isla Tamalcab. (R.A. Aguilar)

Una vez colectados los propágulos se tomaron medidas de ancho y longitud, para dar seguimiento al crecimiento (Figura 17).



Figura 17.- Toma de Datos de Propágulos. (O.F. Ramírez)

5.- Para fines del presente proyecto se estableció en vivero un número de 40 propágulos de Mangle Rojo en bolsas de plástico negras de 25 x 15 cm dividiéndolos por sustrato:

- a) Sustrato del sitio (100%)
- b) Tierra orgánica/arena (75%/25%) (Ávila, 2009).
- c) Sustrato del sitio/arena (80%/20%) basado en (Benítez-Pardo, *et al.*, 2015).
- d) Tierra orgánica (100%) basado en (Ramírez-Rocha, 2014).

Las plantas se mantuvieron en vivero durante 60 días, los riegos se programaron de manera diaria (Figura 18).



Figura 18.- Preparación de Sustratos. (O.F. Ramírez)

Cada uno de los sustratos empleados, se implementó en diez plantas.

6.- Las plántulas después de 60 días en vivero se colocaron en las EEC. Para el presente proyecto se utilizaron las Estructuras Experimentales de Concreto usadas por (Ramírez-Rocha, 2014), dado que en esta primera etapa, no se continuó con el monitoreo y se perdieron todas las plantas al final de cinco meses de ser establecidas, para complemento del proyecto fueron construidas diez más para dar continuidad a la investigación.

Dichas estructuras, son un diseño modular, con un frente elíptico y el otro modulo con un ángulo agudo colocados en una base de concreto específicamente diseñada para soportar la erosión. La estructura modular, tiene como característica, que no se ancla al suelo, como otros esfuerzos de utilizar métodos alternativos para forestar áreas con oleajes y altura de mareas variables como (Riley, 1999) y los módulos de reefball. De igual forma ha sido probada desde el aspecto de diseño y funcionalidad:

no se rota, no se inclina y permanece firme, su diseño permite la continua irrigación de la planta y la capsula de sustrato tiene la capacidad de albergar kilo y medio de sustrato junto con la plántula Ramírez-Rocha, (2014). Por lo que se parte del supuesto que mientras las plántulas rompen la parte inferior de la capsula y desarrollan raíces aéreas la estructura les brindará protección de factores externos siempre y cuando la superficie donde sea colocada sea plana por lo que se realizó un desplante de la microtopografía del área con el fin de constatar que es adecuada para el fondo plano de la estructura (Figura 19) (Flores-Verdugo, *et al.*, 2007).



Figura 19.- Diseño de Unidades Experimentales de Concreto. (O.F. Ramírez)

Siguiendo el arreglo original, con cuatro sustratos diferentes (Sustrato del sitio 100%, Tierra orgánica/arena 75%/25%, Sustrato del sitio/arena 80%/20% y Tierra orgánica 100%) se colocaron en líneas de dos, tres y cinco unidades por tratamiento (Figura 20).



Figura 20.- Diseño Experimental. (R.A. Aguilar)

Una vez realizado el trasplante de la plántula a la estructura se monitoreó de enero-agosto de 2016 de manera semanal; tomando las consideraciones y parámetros siguientes:

- I. Que el contenedor de la plántula tenga el sustrato correspondiente e irrigación permanente.
- II. Longitud total, a partir de la base de la estructura hasta la punta de la copa.
- III. El diámetro a la altura de la base de PVC (Figura 21).



Figura 21.- Toma de Datos de Campo. (O.F. Ramírez)

- IV. Número de hojas por planta.
- V. Sobrevivencia por sustrato.

Arreglo experimental (Figura 22 y 23).



Figura 22.- Estructuras Experimentales de Concreto (EEC). (R.A. Aguilar)

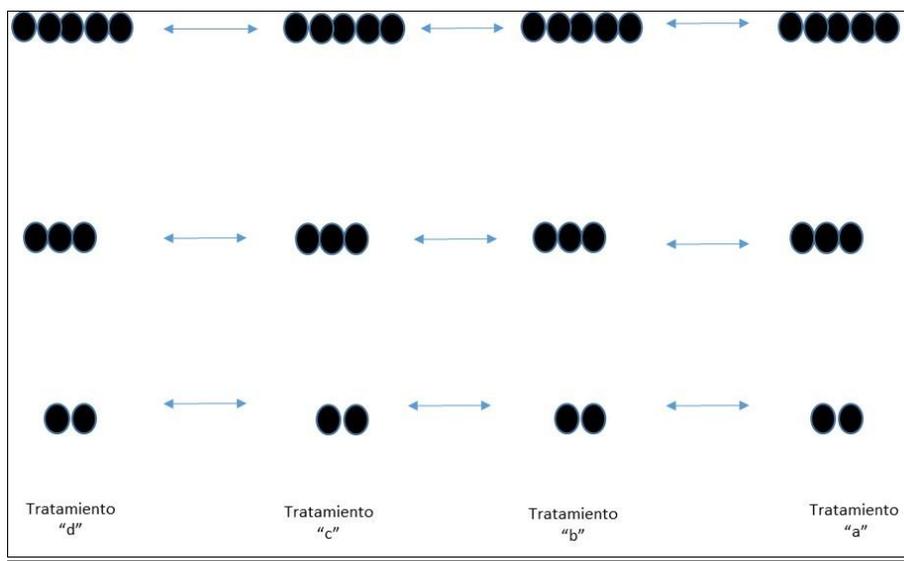


Figura 23.- Arreglo de las Estructuras. (O.F. Ramírez)

7.- Para el análisis estadístico se propuso un diseño de bloques al azar pues se busca evidenciar la diferencia entre los cuatro sustratos utilizando un número reducido de muestras y una especie de planta y minimizar la variación dentro de los mismos, es importante recalcar que este proyecto considero únicamente 40 estructuras divididas en cuatro sustratos diferentes (Sustrato del sitio 100%, Tierra orgánica/arena 75%/25%, Sustrato del sitio/arena 80%/20% y Tierra orgánica 100%) por cuestiones de financiamiento. Otros proyectos han utilizado variantes del método de bloques al Azar (Aleatorizados) puesto que reúne todas las variables de acuerdo a sus objetivos para su evaluación (Benítez-Pardo, *et al.*, 2002, Argüello-Jácome, 2008 y Tovilla-Hernández y Lan-Ramírez, 2012; Benítez-Pardo, 2007) sumado que en este caso contamos con el programa estadístico SAS (Statistical Analysis System) para su análisis. Se aplicó una ANOVA dado que como principio estadístico propone que “La hipótesis nula establece que todas las medias de la población (medias de los niveles de los factores) son iguales mientras que la hipótesis alternativa establece que al menos una es diferente” y un test de comparaciones múltiples Tukey mediante el uso del programa estadístico SAS (Statistical Analysis

System) dada la naturaleza del experimento y el número de muestras. Por cada sustrato (Sustrato del sitio 100%, Tierra orgánica/arena 75%/25%, Sustrato del sitio/arena 80%/20% y Tierra orgánica 100%) se utilizó un mismo número de módulos con una plántula, con cada sustrato se buscó evidenciar las diferencias en el crecimiento de las plántulas de mangle rojo.

6. RESULTADOS

a) Supervivencia

Del establecimiento del vivero para que se desarrollen las plantas de *Rhizophora mangle*, se obtuvo como resultado una supervivencia del 100% de las plántulas, con fenotipo vigoroso (Figura 24).



Figura 24.- Supervivencia. (R.A. Aguilar)

Las plántulas presentaron decaimiento con respecto a sus hojas en un 100% después de la segunda semana de transplante en la EEC, presentándose una recuperación paulatina a partir de la tercera semana. Se empezó a notar el crecimiento de brotes foliares en un 90% de las plántulas. La recuperación total, se observó a la cuarta semana.

Cuadro 1. Estadísticas Descriptivas de Cuatro Sustratos (Sustrato del sitio 100%, Tierra orgánica/arena 75%/25%, Sustrato del sitio/arena 80%/20% y Tierra orgánica 100%).

Sustrato del sitio 100%					
<i>Diámetro</i>		<i>Altura</i>		<i>Numero de hojas</i>	
Desviación estándar	1.378520005	Desviación estándar	7.974870097	Desviación estándar	1.437677417
Media	12.20511	Media	39.11444	Media	5.4222
Mínimo	9.4	Mínimo	3.2	Mínimo	2
Máximo	15.1	Máximo	57.6	Máximo	9
Sustrato Tierra Orgánica/Arena 75%/25%					
<i>Diámetro</i>		<i>Altura</i>		<i>Numero de hojas</i>	
Desviación estándar	1.454049829	Desviación estándar	7.440230562	Desviación estándar	1.434707489
Media	11.72011	Media	39.53872	Media	5.1477
Mínimo	9.2	Mínimo	4.108	Mínimo	2
Máximo	15	Máximo	54.5	Máximo	8
Sustrato del sitio/arena 80%/20%					
<i>Diámetro</i>		<i>Altura</i>		<i>Numero de hojas</i>	
Desviación estándar	2.128523021	Desviación estándar	9.466485268	Desviación estándar	1.472214567
Media	11.57144	Media	40.08777	Media	5.3
Mínimo	7.71	Mínimo	27.1	Mínimo	1
Máximo	16.48	Máximo	60.5	Máximo	8
Sustrato Tierra Orgánica 100%					
<i>Diámetro</i>		<i>Altura</i>		<i>Numero de hojas</i>	
Desviación estándar	1.303343171	Desviación estándar	8.730226015	Desviación estándar	1.531337616
Media	10.90617	Media	38.34943	Media	5.79775
Mínimo	9	Mínimo	3.2	Mínimo	0
Máximo	14	Máximo	56.6	Máximo	8

b) Análisis estadístico

Los resultados del análisis ANOVA, nos indica que la variable diferenciada entre los cuatro sustratos es el diámetro y el No. de hojas. Debido a que en altura la significancia de F es menor del 0.05 que señala la hipótesis planteada.

Después de correr la prueba de Tukey, se corroboró que las variables que incluían diferencias fue el diámetro en el sustrato uno (Sustrato del sitio 100%) y el No. de hojas en el sustrato cuatro (Tierra orgánica 100%) y que para la variable (Altura) no existe diferencia significativa. En el cuadro 2 para la Prueba del Rango Estudentizado de Tukey (HSD) se observan las comparaciones por sustrato resultando que el Sustrato del sitio 100% y Sustrato Tierra Orgánica 100%, presentan la mayor diferencia.

Cuadro 2.- Resultados de la Prueba de Tukey.

Variable de diámetro				
Comparación entre sustratos	Diferencia entremedias	Límites de confianza al 95 % (-/+)		Significancia de la prueba
2 - 3	0.3486	-1.1467	1.844	
2 - 4	0.7049	-0.7946	2.2044	
2 - 1	2.2627	0.7674	3.7581	***
3 - 2	-0.3486	-1.844	1.1467	
3 - 4	0.3563	-1.1348	1.8474	
3 - 1	1.9141	0.4272	3.401	***
4 - 2	-0.7049	-2.2044	0.7946	
4 - 3	-0.3563	-1.8474	1.1348	
4 - 1	1.5578	0.0667	3.0489	***
1 - 2	-2.2627	-3.7581	-0.7674	***
1 - 3	-1.9141	-3.401	-0.4272	***
1 - 4	-1.5578	-3.0489	-0.0667	***
Variable de altura				
Comparación entre sustratos	Diferencia entre medias	Límites de confianza al 95 % (-/+)		Significancia de la prueba

2 - 3	46.09	-37.29	129.46	
2 - 1	47.06	-36.31	130.43	
2 - 4	47.82	-35.78	131.43	
3 - 2	-46.09	-129.46	37.29	
3 - 1	0.97	-81.93	83.88	
3 - 4	1.74	-81.4	84.87	
1 - 2	-47.06	-130.43	36.31	
1 - 3	-0.97	-83.88	81.93	
1 - 4	0.77	-82.37	83.9	
4 - 2	-47.82	-131.43	35.78	
4 - 3	-1.74	-84.87	81.4	
4 - 1	-0.77	-83.9	82.37	
Variable de No de Hojas				
Comparación entre sustratos	Diferencia entremedias	Límites de confianza al 95 % (-/+)		Significancia de la prueba
2 - 3	0.3755	-0.1915	0.9426	
2 - 1	0.4978	-0.0693	1.0648	
2 - 4	0.65	0.0798	1.2203	***
3 - 2	-0.3755	-0.9426	0.1915	
3 - 1	0.1222	-0.4433	0.6877	
3 - 4	0.2745	-0.2942	0.8432	
1 - 2	-0.4978	-1.0648	0.0693	
1 - 3	-0.1222	-0.6877	0.4433	
1 - 4	0.1523	-0.4164	0.721	
4 - 2	-0.65	-1.2203	-0.0798	***
4 - 3	-0.2745	-0.8432	0.2942	
4 - 1	-0.1523	-0.721	0.4164	

Las comparaciones importantes del nivel 0.05 están indicadas por ***.

De igual forma con la ayuda del programa SAS, se estimó el crecimiento del diámetro con relación a la altura aplicando el modelo predictivo de Schumacher (Figura 25).

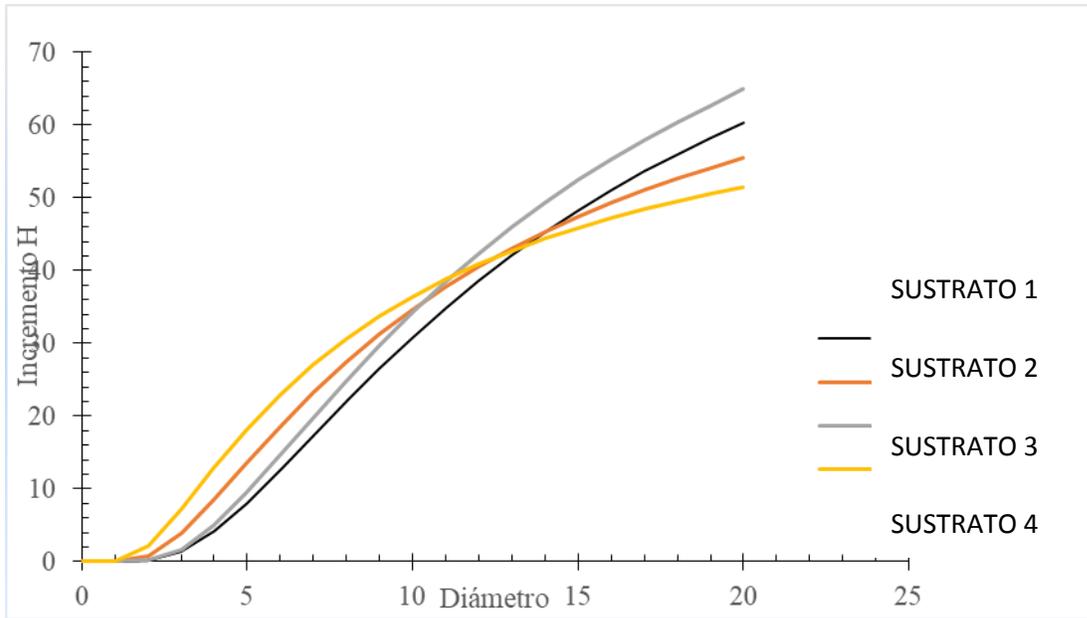


Figura 25.- Modelo Predictivo de Schumacher.

A continuación se presentan los resultados de los modelos de regresión por sustrato en relación a la única variable que presento diferencias (Figuras 26, 27, 28 y 29).

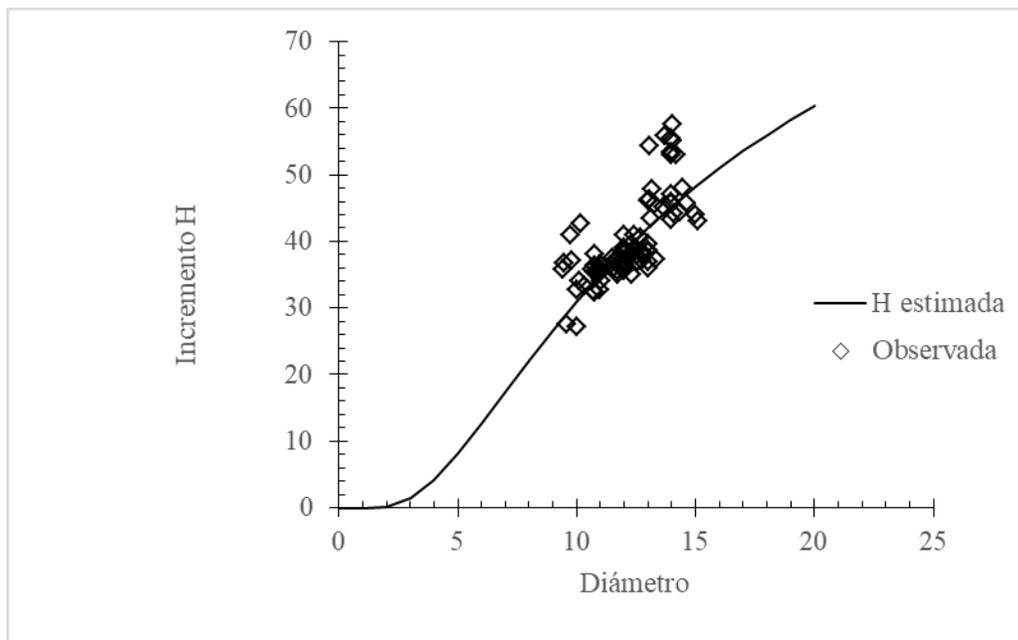


Figura 26.- Modelo de Regresión Lineal, Sustrato del Sitio 100%.

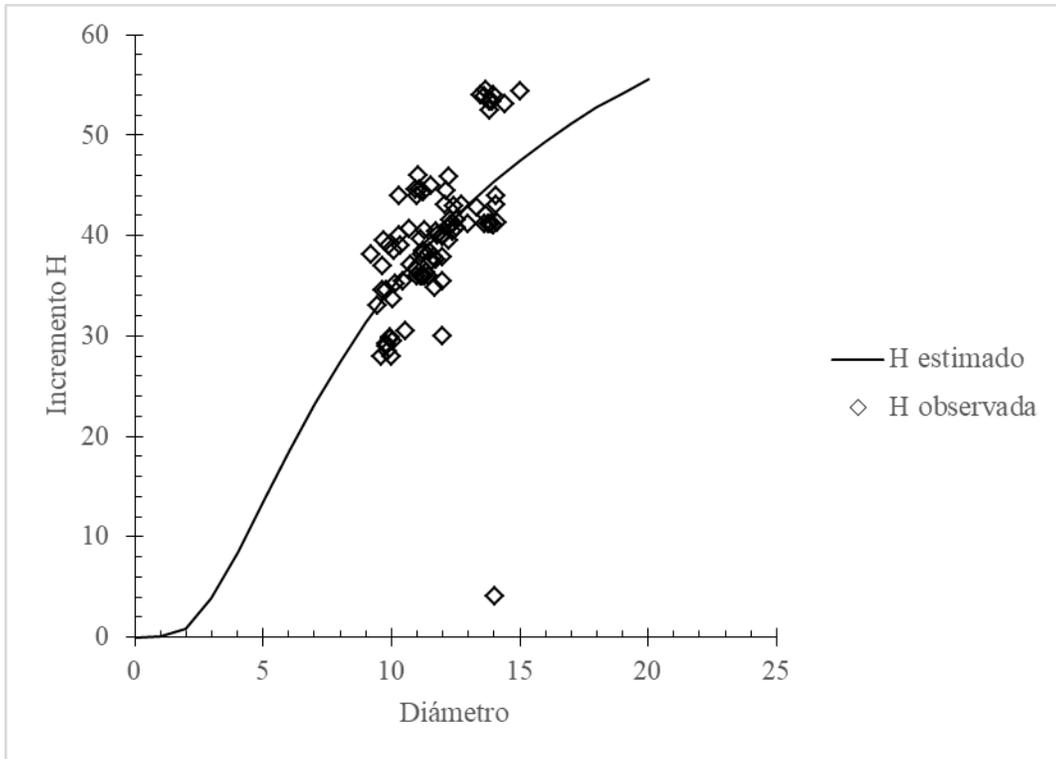


Figura 27.- Modelo de Regresión Lineal, Sustrato Tierra orgánica/Arena 75%/25%.

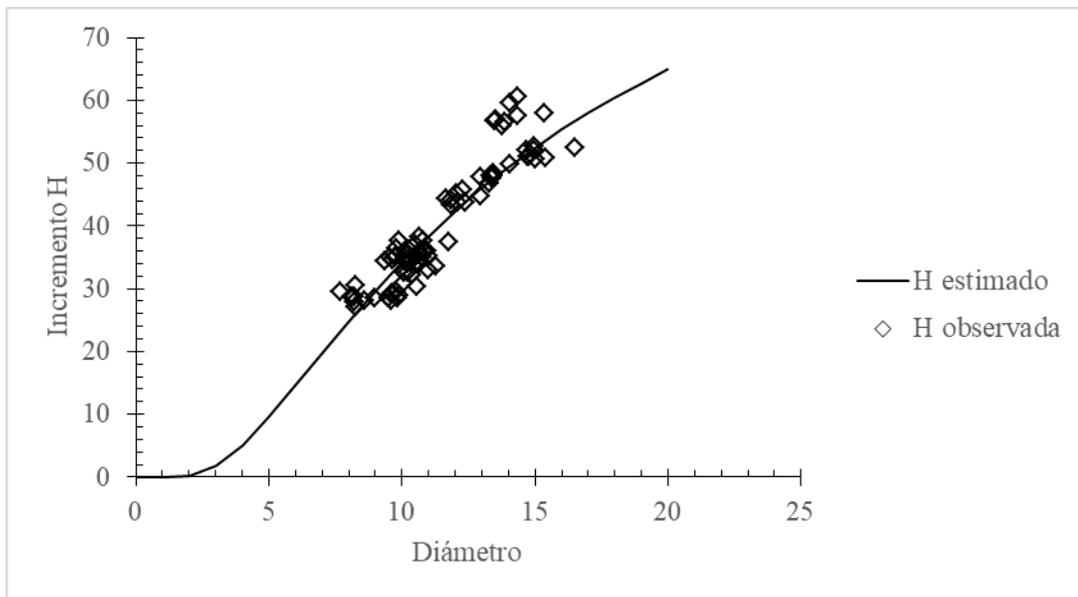


Figura 28.- Modelo de Regresión Lineal, Sustrato del Sitio/Arena 80%/20%.

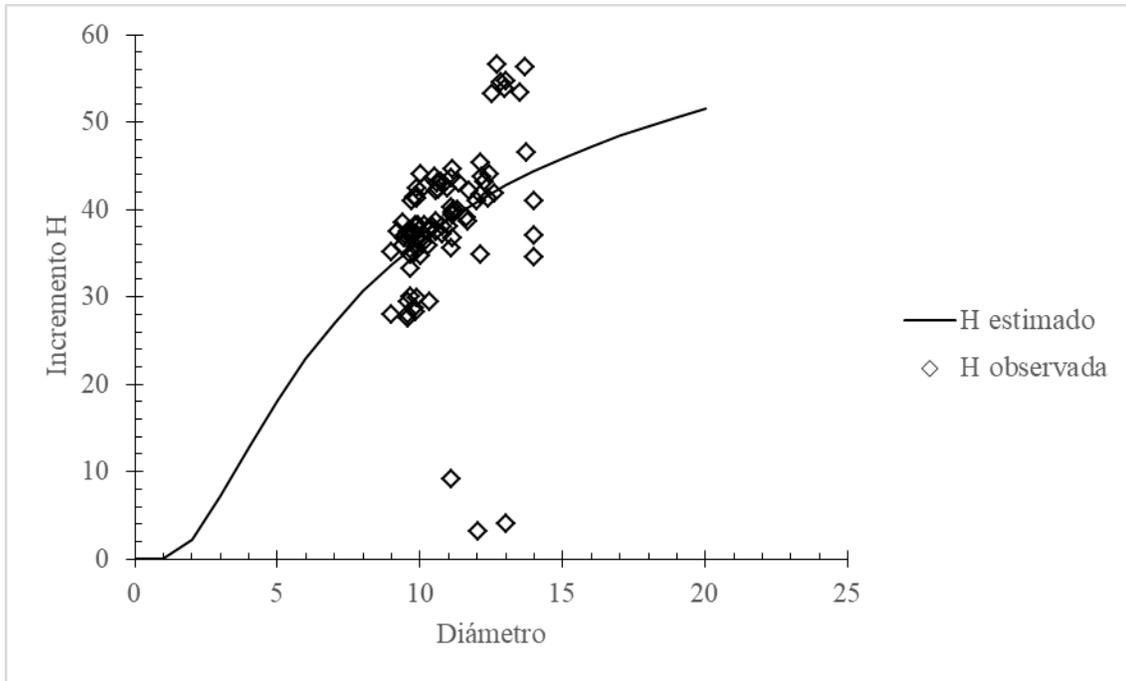


Figura 29.- Modelo de Regresión Lineal, Sustrato Tierra orgánica 100%.

7. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En el 2009 la CONABIO publicó un trabajo muy completo donde se estima la distribución y extensión del manglar en México para 2005-2006 donde para estas fechas reporta 770 057 hectáreas, en unos de los esfuerzos más recientes por conocer estos dos parámetros para la publicación de 2013 había aumentado un 0.5% dando una cifra de 774 090 hectáreas (CONABIO, 2009; Rodríguez-Zúñiga, *et al.*, 2013). Por lo que hay que recalcar que el presente trabajo presenta una alternativa viable para el reforzamiento de estrategias de forestación dado que ofrece un porcentaje de sobrevivencia a bajo costo y que por su naturaleza en cuanto a la practicidad de movimiento y transporte de la estructura puede brindar resultados favorables en la forestación de sitios clave pero difíciles de restaurar.

Uno de los proyectos más cercanos en lo que respecta a la reforestación pero usando métodos convencionales es el “Proyecto de conservación y restauración de Manglares” a cargo de la Dirección General de Desarrollo Urbano, Medio Ambiente y Obras Publicas del H. Ayuntamiento de Othón P. Blanco, iniciado en Noviembre de 2005 y terminando en Noviembre de 2006, tuvo como objeto producir y establecer 35,000 plantas de mangle (*Rhizophora mangle*) así como su conservación y mantenimiento, para lograr las metas del Programa Nacional de Reforestación en el ejercicio fiscal presupuestal 2005-2006. Básicamente este fue un proyecto de restauración ecológica, para la Zona Federal Marítimo Terrestre, en la Bahía de Chetumal; cuyo objetivo se centró en recuperar áreas específicas de manglar con la finalidad de evitar la erosión de la zona litoral. Semejando a una zona de manglar no perturbado como en otros puntos de la Bahía. Este proyecto ocupó un número significativo de plantas y recursos económicos sin resultados observables a la fecha dado que las plántulas estuvieron a disposición de corrientes, evidenciando que los métodos convencionales de reforestación con mangle rojo, no funcionan adecuadamente sin estudios previos; sin embargo el presente proyecto utilizando las Estructuras Experimentales de Concreto (EEC) con diversos sustratos (Sustrato del sitio 100%, Tierra orgánica/arena 75%/25%, Sustrato del sitio/arena 80%/20% y

Tierra orgánica 100%), se logró la supervivencia del 100% de las plántulas con ocho meses de muestreo, es importante mencionar que podemos argumentar que dados los resultados de este trabajo las estructuras se pueden utilizar a diferentes profundidades y distancias de la línea de costa, adecuándose a diversas necesidades de forestación.

El antecedente más cercano que utiliza un desarrollo tecnológico para reforestación de mangle rojo es el desarrollado por Riley (1999) donde reforestó en cuatro zonas diferentes utilizando la metodología Riley Encased Methodology (REM) concluyendo que las zonas de reforestación expuestas a menor oleaje tienen mayor probabilidad de supervivencia. El trabajo al igual que el de Riley no requiere una remoción del sustrato y por tanto no existe alteración del equilibrio ecológico en los sitios donde se establezcan los experimentos. El presente proyecto requiere ser probado junto con los sustratos que presentaron una diferencia que son el sustrato del sitio 100% y tierra orgánica 100%, para evaluar todas las posibilidades favorables que ofrece el diseño. La bahía es un entorno relativamente estable por lo que se sugiere se continúe al igual que Riley estableciendo experimentos en entornos diversos para evaluar su efectividad.

(Ramírez-Rocha, 2014) utilizó Estructuras Experimentales de Concreto (EEC) para la forestación de mangle rojo logrando en primera instancia la permanencia del 100% de las estructuras en el sitio de trabajo. Obteniendo una supervivencia del 53.33% durante los cuatro meses que duró el muestreo, utilizando como sustrato tierra de origen orgánico. El presente proyecto se evaluó de enero a agosto de 2016, abarcando parte de la temporada de Nortes, Secas y Lluvias. Se obtuvo el 100% de sobrevivencia, y a diferencia del proyecto anterior se evaluaron cuatro sustratos (Sustrato del sitio 100%, Tierra orgánica/arena 75%/25%, Sustrato del sitio/arena 80%/20% y Tierra orgánica 100%) siendo sustrato del sitio 100% y tierra orgánica 100% los que presentaron una diferencia estadística en lo que compete al diámetro y número de hojas.

De forma más reciente (Benítez, *et al.*, 2015) en la bahía de Navachiste en Baja California, establecieron una isleta de dragado, donde trabajan con dos especies de mangle *Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle* teniendo mejor resultado con la primera especie este proyecto y el de (Benítez, 2007) sientan las bases para trabajos de forestación y reforestación con elementos artificiales. (Benítez, *et al.*, 2015) aportan en su medición de parámetros ambientales y biológicos información valiosa que debe tomarse en cuenta para el monitoréo de la forestación de estas especies de mangle. Nuestro proyecto no fue de tanta envergadura, y no tomó parámetros ambientales, pero de igual forma incluyó elementos artificiales como la prueba de estructuras experimentales de concreto (EEC) comparadas en proporción de acuerdo a los alcances y objetivos con las isletas de dragado. Se propone para tener datos más detallados que en futuros ensayos se tomen en cuenta parámetros ambientales y biológicos para reforzar la información que se obtenga, además que se concluye que fue exitoso dado que la sobrevivencia del ensayo fue del 100% de las plántulas con ocho meses de muestreo.

En consecuencia de lo anterior y considerando las experiencias de autores como (Flores, *et al.*, 2006, 2007; Benítez-Pardo, *et al.*, 2015) y Agraz (Com. Pers) que consideraron diversos parámetros físico-químicos, variables biológicas diversas (altura, diámetro, hojas, raíces, sobrevivencia) y otros como hidroperiodo, topografía; el presente proyecto deberá en futuras etapas considerar, las experiencias de los diversos autores, para evidenciar de forma certera los resultados que se obtengan para que sea comparativo con otros proyectos.

Si bien no se encontraron evidencias significativas en el aspecto estadístico, la presencia de un crecimiento en el diámetro y número de hojas en los sustratos del sitio 100% y tierra orgánica 100%, para llegar a tal afirmación se realizaron comparaciones entre medias, medianas, análisis de regresión lineal, prueba de Tukey y se aplicó el Modelo Predictivo de Schumacher para alturas, sin diferencias estadísticas significativas, lo cual nos da elementos para sugerir que de ser utilizada esta tecnología para futuros planes de reforestación utilizar estos tipos de sustrato,

lograra aminorar los costos y ofrece una certidumbre para que el éxito del proyecto sea evidente y medible.

Rhizophora mangle ofrece retos a los científicos que se enfocan en la forestación de esta especie dado la factibilidad y la importancia de la misma, ya que es precursora del establecimiento del bosque de mangles, sin embargo los retos para los manejadores del recurso económico que se invierte para estos planes de restauración tanto nacionales, como internacionales, gubernamentales y privados son elevados y son de la misma relevancia que este aspecto científico dado los montos que se invierten y que un fracaso en los programas de reforestación por diversos factores retribuye en falta de apoyos futuros. Este proyecto brinda una alternativa novedosa desde el punto de vista tecnológico y desde la perspectiva económica dado su bajo costo, alcance y efectividad.

8. RECOMENDACIONES

Se recomienda a futuro, la inclusión y medición en el seguimiento de este proyecto, de parámetros ambientales y biológicos, realizar pruebas con las diferentes variantes y virtudes de la estructura (forma barreras, islas y se puede establecer a profundidades variables en relieves diferentes) para poder dar mayor relevancia y validez al uso de esta tecnología alternativa de forestación, además ofrecer un mayor periodo de muestreo dado que para fines de esta investigación solo se propuso un total de ocho meses, únicamente como se mencionó con anterioridad se midieron altura, diámetro y número de hojas en 40 estructuras experimentales con el mismo número de plántulas de mangle rojo. De diseñarse una propuesta más robusta se sugiere un diseño experimental que se adapte a los nuevos requerimientos y número de muestras en diferentes sitios y condiciones ambientales.

9. LITERATURA CITADA

- Abelson A., Halpern B. S., Reed D. C., Orth R. J., Kendrick G. A., Beck M. W., Belmaker J., Krause G., Edgar G. J., Airolti L., Brokovich E., France R., Shashar N., De Blaeij A., Stambler N., Salameh P., Shechter M., y P. A. Nelson. 2016. Upgrading Marine Ecosystem Restoration Using Ecological–Social Concepts. *BioScience* • February 2016 / Vol. 66 No. 2. Pp.- 156-163.
- Agraz-Hernández, C., R. Noriega-Trejo, J. López-Portillo, F. Flores-Verdugo y J. Jiménez-Zacarías. 2006. Guía de campo. Identificación de los Manglares en México. Universidad Autónoma de Campeche. 45 pp.
- Periódico Oficial. 2008. Decreto mediante el cual se establece el programa de manejo del área natural protegida con categoría de reserva estatal santuario del manatí bahía de Chetumal. Estado de Quintana Roo. Pp. 122.
- Argüello Jácome D. M. 2008. “Comparación de la Acción de Diferentes Dosis de Biofertilizantes Líquidos (biol) sobre el Crecimiento de Mangle en Condiciones de Vivero”. Tesis de Licenciatura. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Ecuador. PP. 100.
- Ávila Euan L. Y. 2009. Manual para la elaboración de un vivero de mangle rojo *Rhizophora mangle* L. Tesis de licenciatura. Instituto Tecnológico de Chetumal. Pp. 88.
- Benítez Pardo D., F. Flores Verdugo y Valdez Hernández J. I. 2002. Reproducción vegetativa de dos especies arbóreas en un manglar de la costa norte del Pacífico mexicano. *Madera y Bosques* 8(2), 2002:57-71.
- Benítez-Pardo D. 2007. Forestación Artificial con Manglares en Isletas De Dragados en una Región Semiárida de México. Tesis de Doctorado. Instituto Politécnico Nacional. Pp. 104.

- Benítez-Pardo D., Francisco Javier Flores-Verdugo, Margarita Casas-Valdez, Gustavo Hernández-Carmona, Juan Ignacio Valdez-Hernández y Víctor Gómez-Muñoz. 2015. Forestación de Isletas de Dragado Utilizando dos especies de mangles, en una laguna costera del Golfo de California, México. *Botanical Sciences* 93 (1): 165-174.
- Carrillo-Bastos A., Elizalde-Rendón E., Torrescano-Valle N. y G. Flores Ortiz. 2008. Adaptación ante disturbios naturales, manglar de Puerto Morelos Q. Roo México. *Foresta Veracruzana*. 10(1): 31-38.2008.
- Ceccon E., Barrera-Cataño J. I., Aronson J. y C. Martínez-Garza. 2015. The socioecological complexity of ecological restoration in Mexico. *Restoration Ecology*. Pp. 1-6
- CONABIO. 2008. Manglares de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. Pp. 35.
- CONABIO. 2009. Manglares de México: Extensión y distribución. 2ª ed. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 99 pp.
- Centro de Estudios Estratégicos. 2014. http://www.elpulmonverde.org/wp-content/uploads/2014/07/Plan-estrategico_QR_2000-2025.pdf
- Duke, N.C., y J.A. Allen. 2005. *Rhizophora mangle*, *R. samoensis*, *R. racemosa*, *R. harrisonii* (AtlanticEast Pacific red mangroves), Version 1. In: C.R. Elevitch (editor). *Species Profiles for Pacific Island Agroforestry*, url: <http://www.traditionaltree.org>. Permanent Agriculture Resources (PAR), Holualoa, Hawaii.
- Flores-Verdugo F.J., Agraz-Hernández C.M. y Benítez-Pardo D. 2006. Creación y restauración de ecosistemas de manglar: principios básicos. En Moreno-Casasola P., Presbarbosa R.E. y Travieso-Bello A.C. Eds. *Estrategia para el*

Manejo Costero Integral: El Enfoque Municipal. 1093-1110. Instituto de Ecología A.C., Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Xalapa.

Flores-Verdugo F., Moreno-Casasola P., Agraz-Hernández C.M., López-Rosas H., Benítez-Pardo D. y Travieso-Bello A.C. 2007. La topografía y el hidroperiodo: dos factores que condicionan la restauración de los humedales costeros. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 80 (supl.): 33-47.

Gobierno del Estado de Quintana Roo. (2005). Plan Estatal de Desarrollo 2005-2011, <http://www.qroo.gob.mx/qroo/PlanGobierno/index.php>

Gobierno de Estado de Quintana Roo. 2011. *Plan Quintana Roo 2011-2016, III Quintana Roo Verde.*

Hirales-Cota M. 2009. Cambios de cobertura y servicios ambientales del manglar de franja en la zona costera Mahahual - Xcalak, Quintana Roo, México. Tesis de Maestría. ECOSUR. 73 pp.

Instituto Nacional de Ecología (INE). 2005. Evaluación preliminar de las tasas de pérdida de superficie de manglar en México. SEMARNAT-INE. Pp. 21.

Jiménez, J.A. y Lugo, A.E. 2000. *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn.f. Previamente Publicado en inglés: Jiménez, Jorge A. [s.f.]. *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn.f. White Mangrove. SO-ITF-SM-3. New Orleans, LA, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, pp. 304-307.

Ley General De Desarrollo Forestal Sustentable. Diario Oficial de la Federación el 25 de febrero de 2003. Texto Vigente, última reforma publicada DOF 24-01-2017.

- López-Portillo J. Y J. Ezcurra, 2002. Los Manglares De México: Una Revisión. *Madera Y Bosques* 8 (1): 27-51.
- Navarrete A. de Jesús y J. J. Oliva-Rivera. 2002. Litter production of *Rhizophora mangle* at Bacalar Chico, Southern Quintana Roo, Mexico. *Universidad y Ciencia*. Vol. 18. No. 36. Pp. 79-86.
- NORMA OFICIAL MEXICANA 022-SEMARNAT-2003. Diario Oficial de la Federación. 10 de abril de 2003.
- NORMA OFICIAL MEXICANA 059-SEMARNAT-2010. Diario Oficial de la Federación. 30 de Diciembre de 2010.
- Pennington, T. y J. Sarukhán. 2005. Arboles Tropicales de México. Manual para la identificación de las principales especies. UNAM - Fondo de Cultura Económica. México, D.F.
- Ramírez-Rocha G. 2014. Desarrollo de una Estructura experimental de concreto para la reforestación con mangle rojo (*Rhizophora mangle* L.) en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo, México. Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico de Chetumal-Maestría en Construcción. 74 pp.
- Rico-Gray, V., 1981. *Rhizophora harrisonii* (Rhizophoraceae), un nuevo registro para las costas de México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 7: 163-165.
- Rico Gray, V. 1993. Origen y rutas de dispersión de los mangles: una revision con énfasis en las especies de América. *Acta Botánica Mexicana* 25:1-13.
- Rzedowski J. 2006. Vegetación de México. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
http://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMx_Cont.pdf

- Riley R. 1999. Riley Encased Methodology (REM) for Mangrove Restoration. U.S.A. Mangrove.org Recuperado Marzo de 2015. <https://www.cbd.int/doc/case-studies/tttc/tttc-00159-en.pdf>.
- Rodríguez-Zúñiga, M.T., Troche-Souza C., Vázquez-Lule, A. D., Márquez-Mendoza, J. D., Vázquez- Balderas, B., Valderrama-Landeros, L., Velázquez-Salazar, S., Cruz-López, M. I., Ress I. R., Uribe-Martínez, A., Cerdeira-Estrada, S., Acosta-Velázquez, J., Díaz-Gallegos, J., Jiménez-Rosenberg, R., Fueyo-MacDonald, L. y Galindo-Leal, C. 2013. Manglares de México/Extensión, distribución y monitoreo. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México D.F. 128 pp.
- Sanjurjo-Rivera E. y Welsh-Casas S. 2005. Una descripción del valor de los bienes y servicios ambientales prestados por el manglar. Gaceta Ecológica. No. 074. Pp. 55-68.
- Salazar S. 2012. Formación de investigadores en el juego de la ciencia. En: ECOFRONTERAS, No. 45. Pp. 11-13.
- Sánchez-Sánchez O., E. F. Cabrera-Cano, A. T. Torres-Pech, P. Herrera-Escudero, P. Serralta-Peraza y C. S. Gómez-Varela. 1991. Vegetación. In: Camarena-Luhrs T. y S. I. Salazar-Vallejo (eds.). Estudios ecológicos preliminares de la Zona Sur de Quintana Roo.
- Santamaría-Damián S., Romero-Berny E. I., Tovilla-Hernández C., Gallegos-Martínez M. E. y J. C. De la Presa-Pérez. 2016. Nuevos registros del mangle centroamericano *Avicennia bicolor* Standl. (Acanthaceae) en la costa pacífica del sureste mexicano con notas sobre su distribución y estatus de conservación. LACANDONIA, año 10, vol. 10, núm. 2: 19-24, diciembre de 2016.

- Tovilla C., A. Román-Salazar, G. Simuta-Morales y Linares-Mazariegos R. 2004. Recuperación del manglar en la Barra del Río Cahoacán en la costa de Chiapas. *Madera y Bosques*, Otoño, año/vol. 10 número especial 2.
- Tovilla C. y D. E. Orihuela. 2002. Supervivencia de *Rhizophora mangle* L. en el manglar de Barra de Tecoanapa, Guerrero, México. *Madera y Bosques*. Número especial, 2002:89-102.
- Tovilla-Hernández C. y Lan-Ramírez, A. 2012. Restauración de Áreas de Dragados, Utilizando *Conocarpus Erectus*, en la Reserva De Biosfera La Encrucijada Chiapas, México. En: Segundo Congreso Mexicano De Ecosistemas De Manglar. Ciudad del Carmen, Campeche, México.
- Tovilla-Hernández, C. y Romero-Berny, E. I. (2012). "Diagnóstico estructural de los manglares de Chiapas y Oaxaca". Recursos acuáticos costeros del Sureste, Volumen 1. Mérida, Yucatán, México: Sánchez, A.J., Chiappa-Carrará, X. y Brito, P. R. (Editores), CONACYT, RECORECOS, UNAM, 257-279.
- Zaldívar-Jiménez A., Herrera-Silveira J., Teutli-Hernández C., Hernández-Saavedra R. y J. Caamal-Sosa. 2004. Manglares. Ecosistemas y Comunidades (Biodiversidad). Pp. 138-139.