



Universidad Veracruzana

UNIVERSIDAD VERACRUZANA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

Zona: Poza Rica - Tuxpan

Maestría en Manejo de Ecosistemas Marinos y
Costeros

**Sobrevivencia y crecimiento de
Rhizophora mangle L. en la formación de
nuevas áreas de reforestación en el Sitio
Ramsar No. 1602**

TESIS

**Que para obtener el Título de:
Maestra en Manejo de Ecosistemas
Marinos y Costeros**

PRESENTA

Dulce María Rodríguez Carrasco

Director

Mtro. Agustín de Jesús Basáñez Muñoz

Asesor

Dr. Arturo Serrano Solis

Tuxpan, Ver.

Abril de 2019

La presente Tesis titulada "SOBREVIVENCIA Y CRECIMIENTO DE RHIZOPHORA MANGLE L. EN LA FORMACIÓN DE NUEVAS ÁREAS DE REFORESTACIÓN EN EL SITIO RAMSAR NO. 1602", realizado por la C. Biol. Mar. Dulce María Rodríguez Carrasco, ha sido aprobada y aceptada para poder llevar a cabo la solicitud de fecha de examen para obtener el grado de:

MAESTRO EN MANEJO DE ECOSISTEMAS MARINOS Y COSTEROS

COMITÉ LECTOR:



DR. CRISTIAN TOVILLA HERNÁNDEZ
LECTOR



DR. CARLOS ZAMORA TOVAR
LECTOR



DRA. CONSUELO DOMÍNGUEZ BARRADAS
LECTOR

Tuxpan de Rodríguez Cano, Veracruz, marzo de 2019

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	ANTECEDENTES.....	4
III.	OBJETIVOS	12
	3.1 General.....	12
	3.2 Específico.....	12
IV.	ÁREA DE ESTUDIO.....	13
V.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
VI.	RESULTADOS	32
	6.1 Hidroperiodo y parámetros fisicoquímicos del agua superficial de la poligonal ZIII	32
	6.1.1 Temperatura.....	32
	6.1.2 Acidez o basicidad-pH.....	33
	6.1.3 Salinidad.....	33
	6.1.4 Nivel de inundación superficial.....	34
	6.2 Propiedades físico-químicas de sustrato y del suelo de la poligonal ZIII.....	35
	6.2.1 Textura.....	35
	6.2.2 Materia Orgánica.....	36
	6.2.3 Salinidad.....	38
	6.2.4 Potencial Redox.....	38

6.3 Parámetros biológicos de plántulas en vivero y módulos de revegetación.....	39
6.3.1. Supervivencia en temporada de secas: vivero y módulos.....	40
6.3.1.1 Temporada de secas: siembra en vivero (febrero a julio de 2017)	40
6.3.1.2 Temporada de secas: trasplante de vivero a módulos (agosto de 2017 a febrero de 2018)	41
6.3.1.3 Temporada de secas: siembra directa a módulos (febrero de 2017 a enero de 2018)	42
6.3.2 Crecimiento en temporada de secas: vivero y módulos.....	45
6.3.2.1 Temporada de secas: vivero (febrero julio de 2017)	45
6.3.2.2. Temporada de secas: trasplante de vivero a módulos (julio de 2017 a enero de 2018)	47
6.3.2.3. Temporada de secas en siembra directa a módulos (febrero de 2017 a enero de 2018)	50
6.3.3. Supervivencia en temporada de lluvias: vivero y módulos ...	54
6.3.3.1. Temporada de lluvias en vivero (septiembre de 2017 a febrero de 2018)	54
6.3.3.2. Trasplante en temporada de lluvias a módulos (febrero a agosto de 2018).....	55
6.3.3.3. Siembra directa a módulos en temporada de lluvias (septiembre de 2017 a agosto de 2018)	57

6.3.4. Crecimiento en temporada de lluvias: vivero y módulos.....	60
6.3.4.1. Temporada de lluvias en vivero (septiembre de 2017 a febrero de 2018)	60
6.3.4.2. Trasplante a módulos en temporada de lluvias (febrero a junio de 2018)	62
6.3.4.3. Siembra directa a módulos en temporada de lluvias (septiembre de 2017 a junio de 2018)	64
6.3.5. Interacción entre tipos de sustrato, niveles topográficos y tipos de propagación	68
VII. DISCUSIONES	71
VIII. CONCLUSIONES	82
IX. APLICACIÓN PRÁCTICA	84
X. BIBLIOGRAFÍA.....	88
XI. ANEXOS	108

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del Área de Estudio.....	13
Figura 2. Climograma de Tuxpan, Ver (CONAGUA 2018)	14
Figura 3. Reserva ecológica del CTPALM con tres zonas (Z I, Z II y Z III) divididas por tres terraplenes, observándose el bosque conservado y degradado terraplenes, observándose el bosque conservado y su mortandad.....	16
Figura 4. Sitio de realización del trabajo. Área degradad. Poligonal ZIII.....	17
Figura 5. Módulos de reforestación elaborados con sacos de ixtle y estacas de madera. .18	
Figura 6. Croquis de arreglo en campo de los módulos de revegetación.....	19
Figura 7. Llenado de sustrato en los módulos.....	22
Figura 8. Medición de propágulos de <i>Rhizophora mangle</i>	23
Figura 9. Propágulos de <i>Rhizophora mangle</i> sembrados en conos forestales en vivero y en módulos de reforestación.	25
Figura 10. Arreglo de siembra de propágulos de <i>Rhizophora mangle</i> en el módulo de reforestación.....	26
Figura 11. Localización de los módulos en la poligonal Z III.....	27
Figura 12 Promedio de temperatura (°C) de agua superficial (\pm 5 cm de profundidad) de todos los módulos instalados en la Poligonal ZIII (enero de 2017 a julio de 2018).....	32
Figura 23. Promedio de pH de agua superficial (\pm 5 cm de profundidad) de todos los módulos instalados en la Poligonal ZIII (enero de 2017 a julio de 2018).	33
Figura 14. Promedio de salinidad de agua superficial (\pm 5 cm de profundidad) de todos los módulos instalados en la Poligonal ZIII (enero de 2017 a julio de 2018).....	34
Figura 35. Promedio de nivel de inundación de agua superficial (\pm 5 cm de profundidad) de todos los módulos instalados en la Poligonal ZIII (enero de 2017 a julio de 2018).	35
Figura 16. Sobrevivencia de individuos de <i>Rhizophora mangle</i> por tipo de sustrato en los meses de vivero (marzo a agosto de 2017).	41

Figura 17. Supervivencia de individuos de <i>Rhizophora mangle</i> en los meses de vivero (marzo a agosto de 2017) y trasplante (septiembre de 2017 a febrero de 2018). La línea punteada indica la tendencia o dirección de la supervivencia	42
Figura 18. Supervivencia de individuos de <i>Rhizophora mangle</i> en siembra directa por tratamiento (marzo de 2017a febrero de 2018)	44
Figura 19 Supervivencia de individuos de <i>Rhizophora mangle</i> en siembra directa. La línea punteada indica la tendencia o dirección de la supervivencia	45
Figura 20 Valor promedio mensual de crecimiento de plántulas en vivero por tipo de sustrato.	46
Figura 21 Valor promedio mensual de diámetro de plántulas en vivero por tipo de sustrato..	46
Figura 22 Valor promedio mensual de número de hojas de plántulas en vivero por tipo de sustrato.....	47
Figura 23 Valor promedio mensual de crecimiento de plántulas trasplantadas a módulos por tratamiento ..	48
Figura 24 Valor promedio mensual de diámetro de plántulas trasplantadas a módulos por tratamiento.	49
Figura 25 Número de hojas de plántulas trasplantadas a módulos por tratamiento.	49
Figura 26 Valor promedio mensual de crecimiento en plántulas de siembra directa en módulos por tratamiento.....	51
Figura 27 Valor promedio mensual de diámetro en plántulas de siembra directa en módulos por tratamiento	52
Figura 28 Valor promedio mensual de número de hojas en plántulas de siembra directa en módulos por tratamiento.	53
Fig. 29. Valores promedio de talla, diámetro y número de hojas de plántulas por tratamiento en la temporada de seca.....	54
Figura 30. Supervivencia de individuos de <i>Rhizophora mangle</i> por tipo de sustrato en los meses de vivero	55
Figura 31. Supervivencia de individuos de <i>Rhizophora mangle</i> en los meses de vivero (octubre de 2018 a abril de 2019) y trasplante (marzo a junio de 2018) la línea punteada indica la tendencia o dirección de la supervivencia	57

Figura 32. Supervivencia de individuos de <i>Rhizophora mangle</i> en siembra directa por tratamiento	59
Figura 33 Supervivencia de individuos de <i>Rhizophora mangle</i> en siembra directa. La línea punteada indica la tendencia o dirección de la supervivencia.....	60
Figura 34. Valor promedio mensual de crecimiento de plántulas en vivero por tipo de sustrato.	61
Figura 35 Valor promedio mensual de diámetro de plántulas en vivero por tipo de sustrato.	61
Figura 36 Valor promedio mensual de número de hojas de plántulas en vivero por tipo de sustrato.....	62
Figura 37 Valor promedio mensual de crecimiento de plántulas trasplantadas a módulos por tratamiento.....	63
Figura 38 Valor promedio mensual de crecimiento de plántulas trasplantadas a módulos por tratamiento.....	63
Figura 39 Valor promedio mensual de número de hojas de plántulas en vivero por tipo de sustrato.....	64
Figura 40 Valor promedio mensual de crecimiento en plántulas de siembra directa en módulos por tratamiento.....	65
Figura 41 Valor promedio mensual de diámetro en plántulas de siembra directa en módulos por tratamiento.....	66
Figura 42 Valor promedio mensual de número de hojas en plántulas de siembra directa en módulos por tratamiento.....	67
Fig. 43 Talla, diámetro y número de hojas promedio de plántulas por tratamiento en la temporada de lluvia.....	68
Fig. 44. Número de individuos por las plántulas por tratamiento y temporada de siembra. No se presentan diferencias significativas con un valor de $p = 0.5733$ por tratamiento.	69
Fig. 45 Valor promedio de talla final alcanzada por las plántulas por tratamiento y temporada de siembra. No se presentan diferencias significativas con un valor de $p = 0.9057$ por tratamiento.....	70

ÍNDICE DE CUADRO

Cuadro 1. Factores y Niveles establecidos en el diseño experimental.....	19
Cuadro 2. Diseño del experimento factorial.....	20
Cuadro 3. Trasplante de plántulas de vivero (temporada de secas) sobre módulos (agosto de 2017)	24
Cuadro 4. Coordenadas de localización de los módulos.....	27
Cuadro 5. Textura en los módulos y poligonal Z III: marzo de 2017, agosto de 2017 y marzo de 2018.....	36
Cuadro 6. Materia orgánica de los sustratos en los módulos y poligonal Z III: marzo de 2017, julio de 2017 y marzo de 2018.....	37
Cuadro 7. Salinidad de los sustratos en los módulos y poligonal Z III: marzo de 2017, julio de 2017 y marzo de 2018.....	38
Cuadro 8. Potencial REDOX de los sustratos en los módulos y poligonal Z III: en temporada de seca y lluvia.....	39
Cuadro 9. Supervivencia plántulas por tratamiento de siembra directa en módulos en febrero de 2018 (sembradas en marzo de 2017)	43
Cuadro 10. Crecimiento, diámetro y número de hojas en plántulas de siembra directa sobre módulos (marzo 2017 a febrero 2018)	50
Cuadro 11. Trasplante de plántulas de vivero (temporada de lluvias) sobre módulos (abril de 2018)	56
Cuadro 12. Supervivencia plántulas por tratamiento de siembra directa en módulos en junio de 2018 (sembradas en septiembre de 2017)	58

RESUMEN

En situaciones severas de degradación de bosques de manglar es necesario realizar actividades de reforestación para la recuperación de áreas que fueron totalmente afectadas o perturbadas. El área de trabajo forma parte del sitio Ramsar 1602 “Manglares y Humedales de Tuxpan” y de la Reserva Ecológica perteneciente al Complejo Termoeléctrico “Presidente Adolfo López Mateos” (CTPALM). El sitio de estudio, desde 2003, ha estado expuesto a perturbación por modificaciones en el patrón hidrológico y hasta el momento no se ha dado un proceso de regeneración natural, lo que hace necesario poner en práctica nuevos esquemas de reforestación para mitigar el deterioro ambiental que afecta al bosque de mangle. El objetivo fue determinar la sobrevivencia y crecimiento de plántulas de *Rhizophora mangle* en áreas de regeneración bajo diferentes tratamientos. Se colocaron 24 módulos de forma cuadrada de 0.90 x 0.90 m, llenadas con dos tipos de sustrato, dos elevaciones del sustrato y dos tipos de siembra; por lo que se consideraron tres factores: sustrato, elevación del suelo y tipo de Siembra; cada uno con dos niveles. Se realizó la siembra de propágulos y plántulas producidas en vivero en dos estaciones: seca y lluvia. Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con un arreglo factorial 2 x 3 con ocho tratamientos y tres repeticiones. Al aplicar la prueba de Kruskal-Wallis, mostro que no existen diferencias significativas entre los tratamientos, tampoco por la estación de siembra. Los análisis se realizaron con los datos de sobrevivencia y crecimiento final de las plántulas. El análisis que se obtiene de los resultados se refiere a dos situaciones particulares (tomando en cuenta que estadísticamente no se presentaron diferencias significativas): a) el estudio se realizó en un área de perturbación en la que no se presenta regeneración natural, con una alta salinidad promedio y valores máximos de 100 ups, así como bajo contenido de materia orgánica, sumado a modificaciones en la textura y parámetros de los sustratos integrados en los módulos, debido principalmente a los flujos de agua presentes; b) la mejor época de siembra, si se requiere la sobrevivencia de los individuos, aunque el aumento de talla, en un año, no sea muy representativa, es en lluvia, pero si se requiere aumento en talla, con baja sobrevivencia, es en la temporada seca. La elevación de los módulos que se puede tomar en consideración es la de 40 cm, dado que tiene una mayor sobrevivencia y mayor talla. El presente estudio mostró que, el llevar a cabo la siembra de propágulos o plántulas en un ambiente perturbado no es suficiente para la recuperación, es imprescindible conocer cuales factores ambientales manifiestan un deterioro y proceder a la rehabilitación de los mismos.

I. INTRODUCCIÓN

Los manglares son comunidades de árboles y arbustos presentes a lo largo de las costas tropicales y subtropicales del planeta, y se ubican en la zona de convergencia entre el mar y la tierra. Estos ecosistemas conformados por plantas y animales tienen una serie de adaptaciones morfológicas (raíces adventicias y neumatóforos), fisiológicas (glándulas secretoras de sal) y reproductivas (viviparidad) que permiten desarrollarse en terrenos frecuentemente inundados con aguas hipersalinas (Carrillo, 2008; CONABIO, 2009; Moreno-Cassasola e Infante, 2009; Domínguez-Domínguez *et al.*, 2011; Kauffman *et al.*, 2013).

El manglar es un ecosistema costero que presenta importancia ecológica, económica, social y cultural; ofrece protección, alimentación y reproducción para diversos organismos acuáticos, muchos de ellos con interés comercial (Harrison *et al.*, 1994; Tovilla, 1994; Moreno *et al.*, 2002; Creary, 2003; Kieckbusch *et al.*, 2004). Sin embargo, el ecosistema de manglar es uno de los más sujetos a deterioro, por el aprovechamiento irracional de sus recursos, más allá de su capacidad de recuperación (Basáñez *et al.*, 2006; Flores *et al.*, 2010).

Es importante mencionar que los ecosistemas de manglar sufren una serie de cambios cuya magnitud dependen de su resiliencia. En situaciones severas de degradación del ecosistema es necesario realizar actividades de reforestación para la recuperación de áreas que fueron totalmente afectadas o perturbadas

(González, 2015). Las actividades encaminadas a lograr reforestaciones en ecosistemas de manglar permiten al ecosistema recuperarse más rápidamente por alguna perturbación. Por ello, es importante evaluar la práctica de reforestación para entender el comportamiento de la recuperación de un sitio restaurado (SEMARNAT, 2013).

En México se han realizado pocas investigaciones sobre las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) para la reforestación y las que existen se han enfocado al trasplante directo de hipocótilos y plántulas (Tovilla y Orihuela, 2002). Actualmente, se realizan actividades de reforestación y restauración de los ecosistemas en especial el manglar. Aunque no es nada fácil restaurar ecosistemas de manglar porque cada especie requiere condiciones fisicoquímicas particulares que se encuentran interconectadas por la presencia de otras especies de plantas en las zonas de inundación (Rodríguez *et al.*, 2013).

Por lo tanto, para el conocimiento de los procesos de reforestación de manglares, es necesario considerar diferentes elementos abióticos y bióticos, como hidroperíodo, microtopografía (Flores-Verdugo *et al.*, 2006) y características del suelo, así como la disponibilidad de individuos que se produzcan en vivero o del medio natural, evaluando su sobrevivencia y crecimiento; la interacción de estos factores puede evaluarse mediante diseños factoriales.

El área de intervención del presente trabajo, desde 2003, ha estado expuesta a perturbación por modificaciones en su patrón hidrológico y hasta el momento no se ha dado un proceso de regeneración natural (López-Portillo *et al*, 2014), lo que hace necesario poner en práctica nuevos esquemas de reforestación para mitigar el deterioro ambiental que afecta al bosque de mangle. Es por esto por lo que, la presente investigación tiene por objetivo determinar las respuestas en relación con el crecimiento y desarrollo de propágulos y plántulas de *Rhizophora mangle* sujetas a la interacción de los factores (sustrato, microtopografía y formas de propagación) para determinar la sobrevivencia y crecimiento de las plántulas en nuevas áreas de regeneración (módulos artificiales).

II. ANTECEDENTES

Los ecosistemas de manglar están conformados por plantas y animales que tienen una serie de adaptaciones fisiológicas que permiten desarrollarse en terrenos frecuentemente inundados con aguas hipersalinas (Carrillo, 2008).

A nivel mundial existe un total de 73 especies de mangle que son en su mayoría árboles y arbustos (Chan *et al.*, 2012). Este tipo de ecosistema ocupa a nivel mundial 152 361 km², de superficie (Spalding *et al.*, 2010).

En México predominan cuatro especies de mangle: mangle rojo (*Rhizophora mangle* L.), mangle blanco (*Laguncularia racemosa* (L.) C.F. Gaerth.), mangle negro (*Avicennia germinans* L.) y mangle botoncillo (*Conocarpus erectus* L.), en una superficie de 775,555 ha (Valderrama-Landeros *et al.*, 2017). Las cuatro especies mencionadas mantienen el equilibrio del ecosistema de manglar y brindan servicios ambientales de importancia ecológica y social (CONABIO, 2008). Las especies, *Rhizophora harrissoni*, fue por primera vez reportada por López-Portillo y Ezcurra en 2002 y *Avicennia bicolor* con un primer reporte en 2008, por Nettel y colaboradores, ambas localizadas solamente en el litoral de Chiapas.

Los servicios ambientales que brinda el manglar son: captura y almacenamiento de CO₂ (Sanjurjo y Welsh, 2005). Además, sirve de protección a las zonas costeras ante fenómenos naturales (huracán, tormentas, inundaciones), también

contribuye a la conservación de fauna, flora y a la producción de agua, alimento, medicina, recursos genéticos, y actividades productivas (Schuyt y Brander, 2004; Barba *et al.*, 2010; Wood *et al.*, 2013; Rodríguez *et al.*, 2013).

El análisis de las causas de degradación ambiental de los manglares es de gran relevancia para la gestión ambiental de estos ecosistemas. Los principales factores que actualmente amenazan la existencia de los manglares son los relacionados con el cambio climático (especialmente el aumento del nivel del mar), los desarrollos urbanísticos, la sobreexplotación de los recursos y los cambios en los usos del suelo (Harpem *et al.*, 2007). Sus principales amenazas son las actividades humanas, entre ellas: la destrucción del hábitat, la contaminación, la sobreexplotación de los recursos, la falta de planificación del desarrollo urbano, industrial y turístico, así como del desarrollo agrícola, ganadero y acuícola, factores que han desplazado y reducido extensiones considerables de manglares (Sarukhán *et al.* 2009).

Por tanto, mantener la estructura y función del ecosistema de manglar involucra los elementos bióticos y abióticos (temperatura, precipitación, hidrología, suelo) y la interacción de cada uno de los elementos, permite una mayor productividad del ecosistema (Rodríguez *et al.*, 2013). La hidrología es parte fundamental del ecosistema como elemento abiótico, que ocasiona cambios en la estructura y función del ecosistema, mostrando así, que cada especie se distribuye en función de la hidrología hipersalina (marea) y a la capacidad de adaptación de la especie

(Carrillo, 2008; Rodríguez *et al.*, 2013). Por ejemplo, el mangle rojo (*R. mangle*) crece en zonas inundadas en las orillas de lagunas donde el flujo del agua es constante (Ortiz y Méndez, 2000).

Los principales tipos de suelo de los manglares más comunes son: Histosoles Solonchaks, Gleysoles y Tecnosoles predominando los primeros dos (Moreno *et al.*, 2002; Domínguez *et al.*, 2011). Estos suelos se caracterizan por tener un alto contenido de agua, sal y sulfuro de hidrógeno y un bajo contenido de oxígeno y elevada proporción de materia orgánica (Lewis, 2005). El pH del agua en el ecosistema manglar es variable debido al periodo de inundación. El pH del agua intersticial es mayor en periodos largos de inundación (Yáñez *et al.*, 2001). La salinidad de los sedimentos (salinidad intersticial) de los bosques de manglar depende del tipo de hidrología que prevalezca en ellos. La salinidad varía estacionalmente y depende de la altura y amplitud de la marea, de la precipitación pluvial y de las variaciones estacionales en el volumen de agua que aportan los ríos, canales y escurrimientos (Rodríguez *et al.*, 2013).

Es importante destacar que la recuperación de manglares ha seguido tres tendencias: reforestación, restauración hidrológica y combinación de ambas (Flores-Verdugo *et al.*, 2006). La mayoría de la información publicada se refiere a la primera tendencia, con ejemplos en zonas cálido-húmedas y subhúmedas de Campeche, Chiapas, Colima, Mazatlán, Sinaloa y Yucatán (Zaldívar-Jiménez *et*

al., 2000; Tovilla y Orihuela, 2002; Flores-Verdugo *et al.*, 2006; Agraz-Hernández, 2007; Benítez Pardo, 2008; Vargas, 2011).

Por otra parte, un programa de reforestación requiere de una cuidadosa planeación que implique un conocimiento en detalle de los espacios disponibles de zonas de mareas, estudios hidrológicos del sistema estuarino adyacente, ya que el oleaje es una variable imperceptible en estas zonas donde los mangles, aun y cuando se generan ondas por el viento, clasificación y química de los sedimentos y presencia o ausencia de contaminantes en agua y sedimentos (Lewis, 2005). En otros casos, existen regiones con elevada sedimentación, que relativamente en poco tiempo llegan a tener los niveles topográficos óptimos (por acreción natural) para el establecimiento de manglares, de forma natural o con plantaciones inducidas (Siddiqi y Khan, 1996).

Por otro lado, se pueden inducir acreciones artificiales con ayuda de alguna barrera. El establecimiento de las plántulas de manglar, como en el caso anterior, puede ser de forma natural o inducida mediante una forestación de baja densidad. Otra estrategia que se utiliza con relativa frecuencia para inducir acreciones artificiales consiste en la construcción de plataformas o isletas utilizando los materiales de relleno provenientes de dragados u otras fuentes (tarquinas), los cuales son confinados mediante algún tipo de barrera (tablones o malla geotextil) (Flores-Verdugo *et al.*, 2007).

Varios trabajos se han efectuado con relación a la siembra de propágulos o plántulas de mangle sobre acreciones artificiales como un apoyo a trabajos de restauración y reforestación. Lewis (1990), como contribución a trabajos de restauración de un bosque de manglar, opto por la construcción de pendientes (+ 27 a + 42 cm Nivel Medio del Mar) similares a la de los boques adyacentes que no habían sufrido alteraciones.

Benítez-Pardo (2007), hace una reforestación de mangle mediante la construcción de corrales a base de madera y malla-sombra agrícola que funcionan como “trampas” semilleras o bien mantener las semillas que se depositaban dentro de las mismas, tratando que fueran más altas que las mareas que de esta forma las “semillas” de mangle se mantuvieran hasta que pudieran fijar, o bien a que se enraizaran al suelo de manera natural.

Milano (2000), trabajó en la consolidación y estabilización de islas artificiales en la Florida a través de muros de rocas en combinación con manglares utilizando las técnicas de Riley (1999), mediante esta acción, aseguró que las islas artificiales incrementan las zonas de alimentación, refugio y hábitat para pesquerías y aumenta la biodiversidad. (Benítez- Pardo, 2007).

Hoffman y Rodger (1980), establecieron plantaciones de *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa* en una Isla de dragado de la Bahía de Tampa (USA),

obteniendo una sobrevivencia del 73% a los trece meses de iniciado el estudio. En el estero de Urías, Sinaloa, construye dos plataformas experimentales dentro de un perímetro de tablas que fueron rellenas con sedimentos del mismo banco. Una de las plataformas se relleno a la altura de *R. mangle* y la otra a la de *A. germinans*. La altura de las plataformas se mantuvo al mismo nivel topográfico del suelo de los manglares adultos aledaños de ambas especies (Flores-Verdugo et al., 2007). Riley y Salgado-Kent (1999) establecen un método relativamente nuevo de acreción artificiales diseñado para *R. mangle* que consiste en el uso de tubos de plástico PVC de 1.5 pulgadas de diámetro, con una ranura a todo lo largo, rellenos con sedimentos hasta la altura correspondiente al suelo del manglar. Benítez-Pardo et. al.), en 2015, reporta la construcción de isletas de dragado; el experimento se inicio nueve meses después de haber construido las isletas, para tener un menor efecto de subsidencia del sustrato. Cárdenas (2014) construye núcleos de revegetación confinados con una barrera de troncos de mangle seco y esta a su vez rellena con tierra negra arcillosa hasta alcanzar 20 cm. En todos estos casos, los reportes de sobrevivencia son exitosos, mencionando que la elevación artificial del nivel del suelo fue una estrategia adecuada a los sitios de restauración.

A su vez, existen investigaciones en las cuales fueron aplicados diseños factoriales para la interpretación de los resultados, por ejemplo, Benítez-Pardo et al. (2015) lleva a cabo la forestación de isletas de dragado utilizando especies de mangles, en la bahía de Navachiste, Sinaloa, en su diseño experimental aplica un

Diseño de Bloques Aleatorizados (DBA) con un arreglo factorial 2 x 2 x 3 (dos especies, dos niveles topográficos y tres formas de obtención de las plantas). Por otra parte, González-Hernández *et al.* (2016), evalúan la sobrevivencia y crecimiento de *A. germinans* en plantaciones reforestadas y regeneración natural en un ecosistema de manglar en el Ejido “Las Coloradas” en Cárdenas, Tabasco; el diseño experimental empleado fue un factorial 2 x 3 con tres factores de combinación de ambientes: zona inundada; zona de marea baja y zona libre, y dos niveles de tipo de plantación: plantaciones reforestadas y plantas de regeneración natural. A nivel local, Basáñez-Muñoz *et al.* (2016), Realizan ensayos de reforestación con plantas de mangle en la Reserva Ecológica del Complejo Termoeléctrico “presidente Adolfo López Mateos” en Tuxpan, Veracruz, en donde el procesamiento estadístico de los resultados se efectuó mediante un Diseño Factorial 2 x 3, para comprobar que efecto tiene en la mortandad de plántulas de *A. germinans*, *R. mangle* y *L. racemosa* con la protección de las plántulas con malla sombra al 50% o dejarlas a insolación directa.

Es importante establecer que, *R. mangle* es generalmente la especie que se encuentra en la parte exterior de las franjas de manglar y en los bordes de los canales en contacto con el agua. La característica más llamativa de esta especie es su complejo sistema de raíces aéreas, las cuales parten desde el mismo tronco o de las ramas laterales y caen hacia el suelo (Cintrón y Schaeffer-Novelli, 1983). Su función en el mantenimiento de la comunidad biológica es primordial, ya que las raíces sumergidas sirven de soporte a una gran cantidad de organismos

marinos y forman un subsistema de organización y estructura dinámica propia (Cervigón y Gómez, 1986). Con relación a esta especie, De la Cruz-Francisco (2012), la propone como especie sombrilla para la Laguna de Tampamachoco al alojar diversos grupos de organismos de importancia biológica, ecológica y económica. Reyes y Tovilla (2002) contemplan para *R. mangle* que la siembra directa es una técnica de bajo costo, la mortalidad suele ser baja, aunque puede incrementarse en la época de secas, por el contrario, donde el nivel de inundación es permanente, la sobrevivencia de las plantas está asegurada.

III. OBJETIVOS

3.1 General

- Determinar la sobrevivencia y crecimiento de plántulas de *Rhizophora mangle* en la formación de nuevas áreas de regeneración bajo diferentes tratamientos en un sitio degradado.

3.2 Específicos

- Establecer la sobrevivencia y crecimiento de plántulas de *Rhizophora mangle* en vivero, trasplante y siembra directa en dos temporadas: secas y lluvias.
- Analizar la interacción entre dos tipos de sustrato, dos niveles topográficos y dos tipos de propagación en la sobrevivencia y el crecimiento de plántulas de *Rhizophora mangle* sembradas en módulos de revegetación.
- Determinar el hidroperíodo superficial y los parámetros fisicoquímicos (temperatura, pH, potencial redox y salinidad) en el sitio de colocación de módulos de revegetación.
- Identificar las propiedades fisicoquímicas (textura, materia orgánica, potencial redox y salinidad) de sustratos que influyen en los módulos de revegetación.

IV. ÁREA DE ESTUDIO

El área de trabajo forma parte del sitio Ramsar 1602 “Manglares y Humedales de Tuxpan” y de la Reserva Ecológica perteneciente al Complejo Termoeléctrico “Presidente Adolfo López Mateos” (CTPALM). La Reserva, colinda al norte con el ejido de Barra Galindo, al sur con una extensión del bosque de mangle y propiedades privadas, al este con el CTPALM y al oeste con la Laguna de Tampamachoco (Fig. 1). Esta Reserva Ecológica tiene una superficie de manglar de aproximadamente 115.5 ha (Basáñez-Muñoz, 2005). La localidad más cercana es la ciudad y puerto de Tuxpan a 16 km al suroeste.

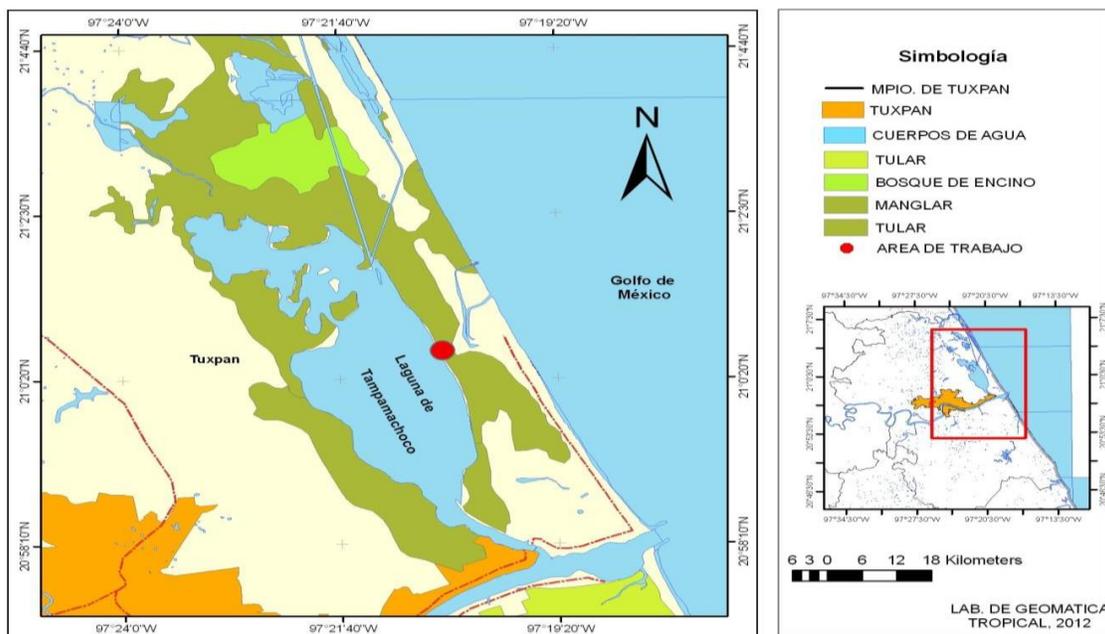


Figura 2. Localización del Área de Estudio.

En el sitio de trabajo predomina el clima A (w2), con una temperatura media anual de 24.9 °C, siendo enero el mes más frío con un promedio de 19.9 °C promedio y junio el más caluroso con un promedio de 28.3 °C. La precipitación total anual es de 1,341.7 mm. La temporada de seca es de noviembre a mayo y la de lluvias es de junio a octubre. El mes más seco es enero con 33 mm y el más lluvioso julio con 176 mm. Los vientos son los conocidos como “Nortes” que ocurren de octubre a febrero y pueden alcanzar hasta 80 km/h. De junio a septiembre se pueden presentar tormentas tropicales o huracanes, con rachas de más de 120 km/h. por último, de marzo a junio pueden ocurrir “Suradas” que son vientos húmedos y cálidos (Basáñez Muñoz, 2005) (Fig. 2).

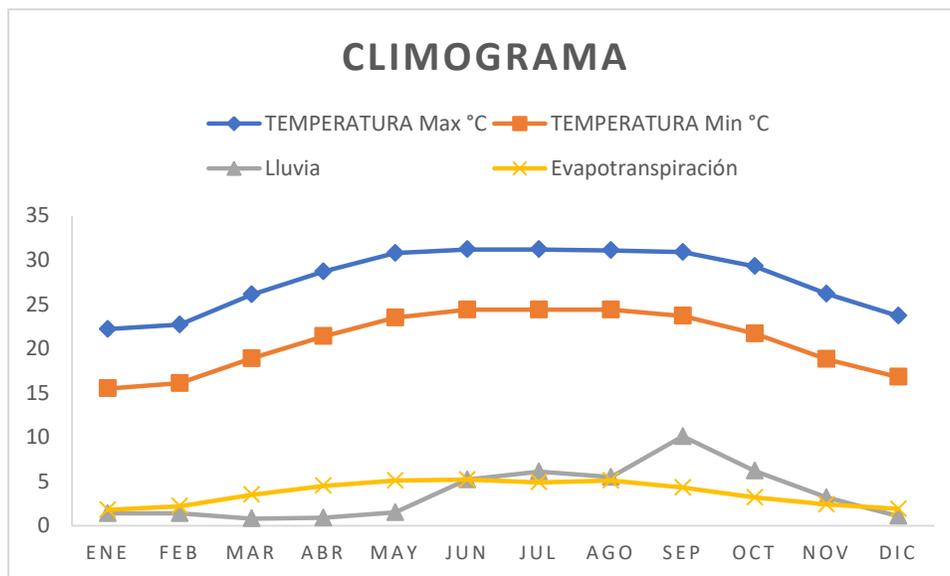


Figura 2. Climograma de Tuxpan, Ver (CONAGUA 2018)

En la reserva ecológica se presentan tres zonas que contienen manglar. Estas áreas están divididas, perpendicularmente en dirección a la laguna de Tampamachoco por tres terraplenes de 20 m de ancho en donde se asientan las torres que soportan las líneas de conducción de la electricidad. La construcción de los terraplenes (hace 30 años, inf. pers.) fraccionó el bosque de manglar e interrumpió el flujo laminar del agua dentro del bosque. Con el paso del tiempo, una sección del bosque de mangle, la que está más próxima al Complejo Termoeléctrico “Presidente Adolfo López Mateos” (CTPALM) presentó una mortandad considerable entre sus individuos; la degradación del bosque ha traído como consecuencia que se presenten franjas de un área conservada de manglar (colindante a la laguna y hasta ± 350 m al interior del manglar) y un área degradada (de los ± 350 m hasta su colindancia con el CTPALM). Esta secuencia se presenta en las tres zonas de la Reserva Ecológica.

De sur a norte, se presenta una primera zona, que se designará como “poligonal ZI”, con 4.4 ha de manglar muerto, posteriormente se tiene otra zona (“poligonal ZII”) de 1.5 ha y al norte con 13.5 ha, una tercera zona (“poligonal ZIII”), todas ellas mostrando mortandad de árboles de mangle. Lo que muestra en su totalidad 19.4 ha de manglar muerto (López-Portillo, 2010) (Fig. 3)



Figura 3. Reserva ecológica del CTPALM con tres zonas (Z I, Z II y Z III) divididas por tres terraplenes, observándose el bosque conservado y degradado terraplenes, observándose el bosque conservado y su mortandad.

La instalación de los módulos se llevó cabo en el denominada “Poligonal Z III”; con límite al norte por un bosque de mangle conservado, al sur por un terraplén, al este por las instalaciones del Complejo Termoeléctrico “Presidente Adolfo López Mateos” y al oeste por un bosque de mangle conservado contiguo a la laguna (Fig. 4).



Figura 4. Sitio de realización del trabajo. Área degradada. Poligonal ZIII.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

En el sitio de trabajo (Poligonal Z III) se colocaron 24 módulos de forma cuadrada de 0.90 x 0.90 m. (Fig. 5). Éstos, fueron cercados con malla de ixtle y estacas de madera.



Figura 5. Módulos de reforestación elaborados con sacos de ixtle y estacas de madera.

Los módulos fueron colocados dentro de un polígono de 100 x 100 m (alejados 20 y 30 m del terraplén), formando 8 columnas y 6 hileras, con los módulos intercalados entre ellas (Fig. 6).

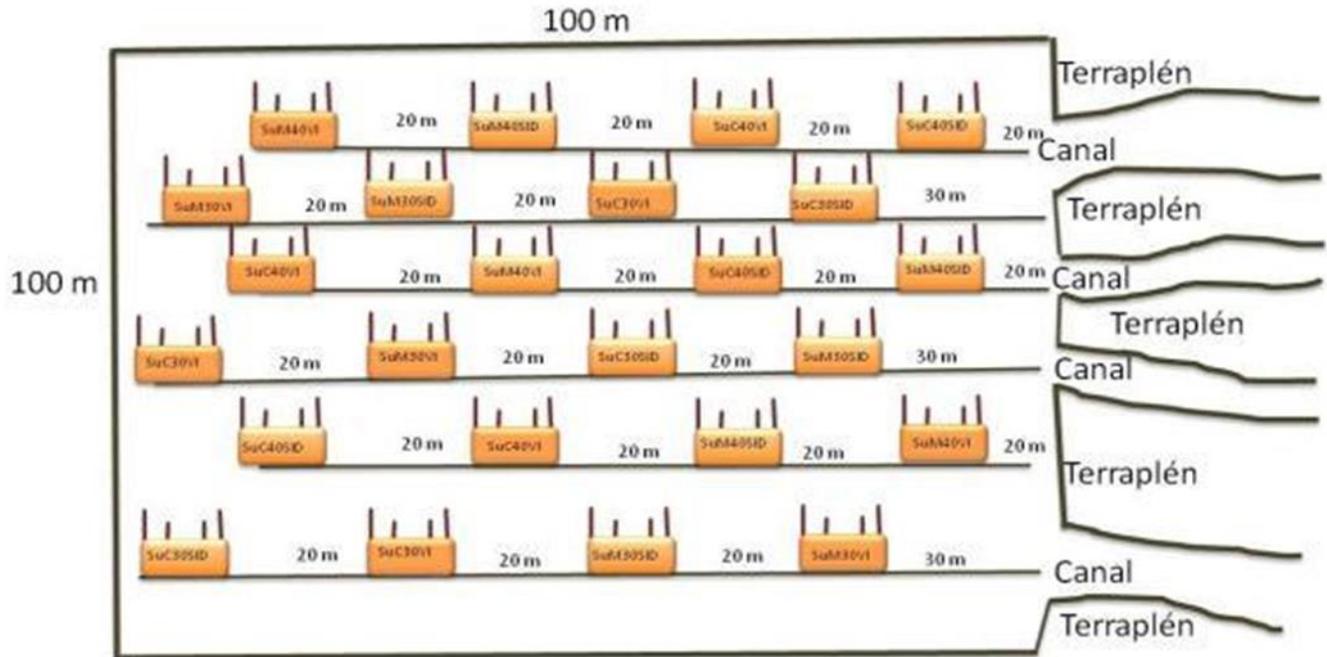


Figura 6. Croquis de arreglo en campo de los módulos de revegetación.

El diseño de los módulos se determinó con base en tres factores que se establecieron como importantes:

Para la realización del trabajo, se consideraron tres factores: sustrato, elevación del suelo y tipo de siembra; cada uno de estos factores tiene dos niveles (Cuadro 1).

Cuadro 1. Factores y Niveles establecidos en el diseño experimental.

FACTORES	NIVELES
A: SUSTRATO	CANAL DE TERRAPLÉN
	BOSQUE DE MANGLE
B: ELEVACIÓN DEL SUELO	40 cm
	30 cm
C: TIPO DE SIEMBRA	SIEMBRA DIRECTA
	VIVERO (5 MESES)

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con un arreglo factorial 2 x 3 con ocho tratamientos y tres repeticiones; que conforman 24 unidades experimentales (UE) con unidades muestrales de ocho (8) propágulos por UE. Fueron colocados 96 propágulos en siembra directa y 96 sembrados en conos forestales y llevados a vivero (Cuadro 2). Esta acción se repite en dos temporadas, una relacionada con la temporada de secas (febrero 2017) y otra con la de lluvias (octubre de 2017).

Cuadro 2. Diseño del experimento factorial.

ESPECIE	SUSTRATO	ELEVACIÓN DEL SUELO	TIPO DE SIEMBRA
<i>Rhizophora mangle</i>	CANAL DE TERRAPLÉN	40 cm	SIEMBRA DIRECTA
			VIVERO (5 MESES)
		30 cm	SIEMBRA DIRECTA
			VIVERO (5 MESES)
	BOSQUE DE MANGLE	40 cm	SIEMBRA DIRECTA
			VIVERO (5 MESES)
	30 cm	SIEMBRA DIRECTA	
		VIVERO (5 MESES)	

Los tratamientos empleados en el diseño factorial fueron (ver Fig. 6):

SuC40SID: Sustrato de Canal / 40 cm /Siembra Directa

SuC40VIV: Sustrato de Canal /40 cm/ Vivero

SuC30SID: Sustrato de Canal/30 cm/ Siembra Directa

SuC30VIV: Sustrato de Canal/30 cm/Vivero

SuM40SID: Sustrato de Manglar/40 cm /Siembra Directa

SuM40VIV: Sustrato de Manglar/40 cm/Vivero

SuM30SID: Sustrato de Manglar/30 cm/Siembra Directa

SuM30VIV: Sustrato de Manglar/30 cm/Vivero

Nota: el término SU, significa Sustrato; el término C, se relaciona con el sustrato obtenido del canal del terraplén y M, con el sustrato del manglar; el valor de 40, es la elevación del módulo de 40 cm y 30 la elevación de 30 cm; el término SID, significa el tipo de siembra, en este caso, es siembra directa del propágulo y VIV, quiere decir que el propágulo se sembró en vivero y después de 5 meses se trasplantó.

El primer factor a considerar es la topografía, para el cual se tienen 12 módulos con 40 cm de altura y 12 módulos cuentan con 30 cm (dos niveles). El segundo factor es el sustrato, 12 módulos se llenaron con sustrato de los canales abiertos en los terraplenes y otros 12 módulos con sustrato obtenido del manglar colindante (dos niveles) (Fig. 7). El tercer factor se relacionó con la siembra de propágulos en los módulos, en 12 módulos la siembra de propágulos fue directa después de su colecta y 12 módulos fueron sembrados con plántulas cuyos propágulos colectados, primero fueron sembrado en conos forestales y mantenidos cinco meses en vivero (dos niveles).



Figura 7. Llenado de sustrato en los módulos.

La interacción de los tres factores con la sobrevivencia y crecimiento de los individuos de *Rhizophora mangle*, se llevó a cabo en dos temporadas: secas y lluvias.

Para la colecta de los propágulos, en temporada de secas (febrero de 2017) y lluvias (septiembre de 2017), se realizaron dos salidas al bosque de manglar que se encuentra colindante a la poligonal Z III. Para llevar a cabo la recolección y preselección de 192 propágulos (hipocótilos) para cada temporada de siembra, se escogieron propágulos que se encontrarán sanos. El criterio para su selección fue, que tuvieran un tamaño superior a los 20 cm y que presentarán una tonalidad café en su base. Posteriormente, se tomaron los datos de peso y longitud total para conocer la calidad del propágulo (Fig.8).

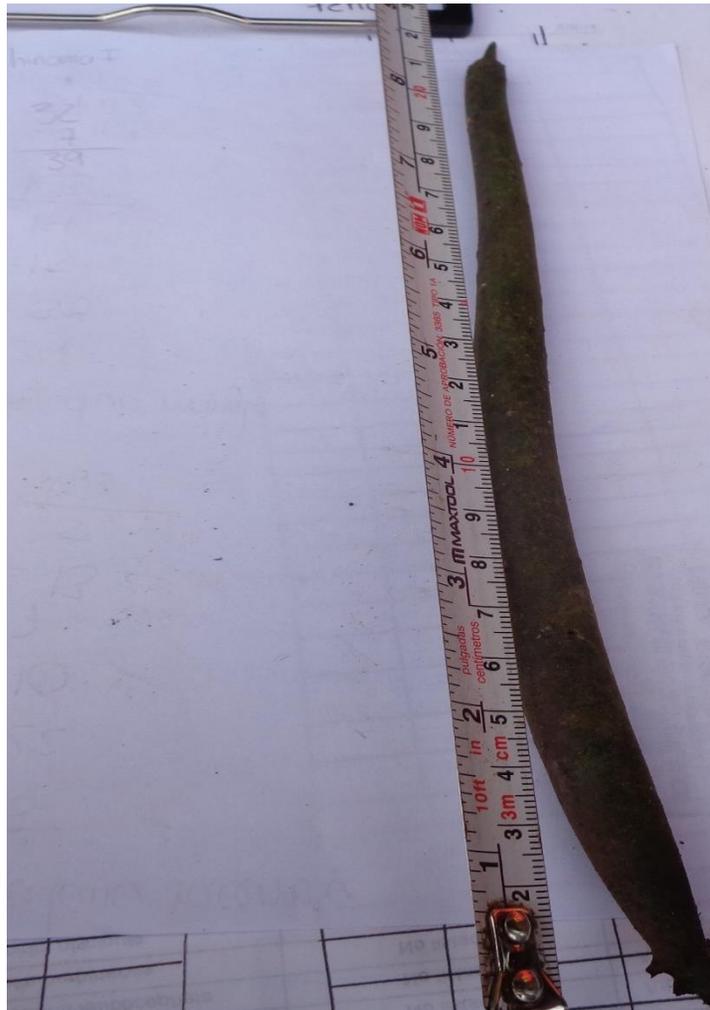


Figura 8. Medición de propágulos de *Rhizophora mangle*

En agosto fueron sembradas las 42 plántulas que sobrevivieron en el vivero (de febrero a julio de 2017); 20 en sustrato de manglar y 22 en sustrato de canal. La siembra se determinó proporcionalmente a los módulos establecidos, es decir, en los 12 módulos que tienen sustratos determinados (seis con sustrato de manglar y seis con sustrato de canal) y en sus dos niveles de elevación sobre el sustrato (30 y 40 cm). La distribución fue (Cuadro 3)

Cuadro 3 Trasplante de plántulas de vivero (temporada de secas) sobre módulos (Agosto de 2017).

TRATAMIENTO	PLÁNTULAS
SuM40VIV	10
SuM30VIV	10
SuC40VIV	11
SuC30VIV	11

En cada inicio de temporada (lluvias y secas), se sembraron 96 propágulos en conos forestales para ser trasladados a vivero; 48 conos fueron llenados con sustrato obtenido de los canales abiertos de los terraplenes que soportan líneas de transmisión de energía eléctrica y los restantes 48 conos, con sustrato obtenido del bosque de manglar colindante a la poligonal Z III; los propágulos fueron llevados al vivero de la comunidad de Barra de Galindo para su manejo durante cinco meses. Se regaron cada tercer día con agua obtenida del canal colindante a la comunidad y se revisó constantemente la presencia de plagas o enfermedades. A su vez, fueron sembrados 96 propágulos directamente sobre los módulos que se acondicionaron para la formación de nuevas áreas de regeneración en el sitio de trabajo (dos tipos de siembra) (Fig.9).



Figura 9. Propágulos de *Rhizophora mangle* sembrados en conos forestales en vivero y en módulos de reforestación.

La densidad de siembra en cada módulo (90 x 90 cm) fue de ocho propágulos, misma densidad que fue para las plántulas de vivero; ocho propágulos se sembraron a 30 y 15 cm al interior de cada vértice del módulo, estableciendo una distancia de 13 cm entre ellas (Fig. 10).

Con relación a la densidad de siembra escogida, Gedan y Siliman (2009), mencionan que tanto la teoría ecológica (facilitación) como experimentos realizados en humedales, predicen que las plántulas de manglar tienen más posibilidades de sobrevivir si son plantadas en conjuntos (clusters) o en nodos, que si son plantadas como marcan los manuales de plantación. Las densidades de siembra pueden ir desde cinco propágulos en bolsas de 900 ml (Toledo et al., 2001) a 1 en 0.81 m² (McKee et al., 2007). McKee et al. (2007), aseguran que la

mayor sobrevivencia de plántulas se observa si estas se constituyen en nodos de 20 a 40 individuos, con densidades hasta 4 ind/m².

Bajo este concepto, la densidad de siembra escogida es baja, comparada con la propuesta por Rodríguez-Rodríguez *et al.* (2015) en la restauración de ecosistemas de manglar en la Guajira, Colombia, que proponen una densidad de 5 a 9 propágulos de *R. mangle* en bandejas de 30 x 30 cm con 15 cm de alto.

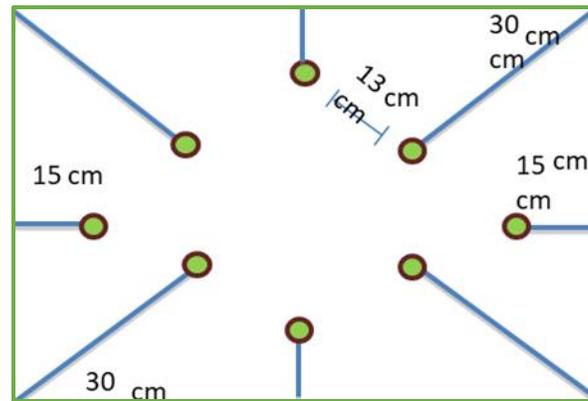
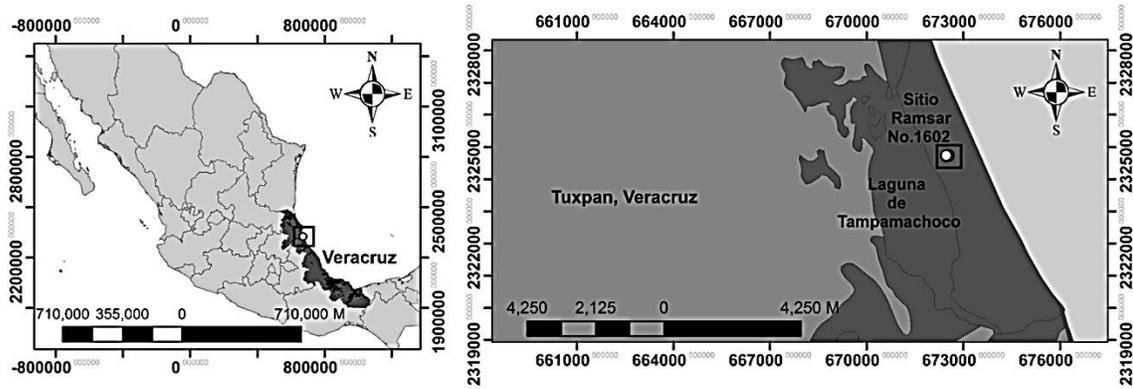


Figura 10. Arreglo de siembra de propágulos de *Rhizophora mangle* en el módulo de reforestación.

En la temporada seca febrero de 2017) 12 módulos fueron sembrados con propágulos de *R. mangle*. Las plántulas producidas en vivero fueron resembradas en otros 12 módulos, cinco meses después, en junio de 2017. Para la temporada de lluvias, se realizó la siembra en los módulos en septiembre de 2017 y febrero de 2018, respectivamente.

Cada módulo fue referenciado geográficamente por medio de un GPS Garmin Montana 650 (Fig. 11) (Cuadro 4).



Simbología

- **Sitio de Muestreo**
- **Módulos**



Figura 41. Localización de los módulos en la poligonal Z III.

Cuadro 4. Coordenadas de localización de los módulos

Módulo	Latitud Norte	Longitud Oeste
Sustrato apertura de canales	21° 00'54.3''	097° 20'24.7''
Sustrato apertura de canales	21° 00'53.8''	097° 20'24.6''
Sustrato apertura de canales	21° 00'54.2''	097° 20'26.3''
Sustrato apertura de canales	21° 00'53.36''	097° 20'26.0''

Sustrato apertura de canales	21°00'53.5''	097° 20'23.5''
Sustrato apertura de canales	21°00'54.6''	097°20'23.7''
Sustrato apertura de canales	21° 00'54.3''	097° 20'23.3''
Sustrato apertura de canales	21°00'53.1''	097° 20'23.0''
Sustrato apertura de canales	21°00'54.3''	097° 20'22.7''
Sustrato apertura de canales	21°00'54.1''	097° 20'22.9''
Sustrato apertura de canales	21°00'54.1''	097° 20'21.1''
Sustrato apertura de canales	21°00'53.3''	097° 20'21.9''
sustrato manglar	21° 00'53.5''	097° 20'24.6''
sustrato manglar	21° 00'52.4''	097° 20'24.3''
sustrato manglar	21° 00'53.03''	097° 20'55.6''
sustrato manglar	21° 00'52.4''	097° 20'25.4''
sustrato manglar	21° 00'52.9''	097° 20'23.3''
sustrato manglar	21° 00'54.1''	097° 20'23.7''
sustrato manglar	21° 00'54.5''	097° 20'23.4''
sustrato manglar	21° 00'54.4''	097° 20'23.1''
sustrato manglar	21° 00'52.9''	097° 20'22.6''

sustrato manglar	21° 00'53.3''	097° 20'22.6''
sustrato manglar	21° 00'54.9''	097° 20'22.6''
sustrato manglar	21° 00'54.5''	097° 20'22.2''

A partir de la primera siembra, se llevó a cabo un monitoreo mensual durante un año (marzo de 2017 a febrero de 2018), con horario de inicio de 9:00 hrs., para registrar sobrevivencia y crecimiento de propágulos y plántulas, nivel de inundación, así como, los parámetros fisicoquímicos del agua superficial (temperatura, pH, y salinidad) introduciendo, independientemente del nivel de inundación, un recipiente a ± 5 cm de profundidad. Las medidas del nivel de inundación y de los parámetros se realizaron a un costado de cada uno de los 24 módulos.

El nivel de agua superficial fue estimado con base en las medidas mensuales de inundación con la ayuda de una regla graduada en centímetros de 1 m, colocándola sobre la superficie de manglar y observando la marca de la superficie del agua (Rico-Gray y Palacios-Ríos, 1996). Los valores de temperatura y pH de las muestras de agua, fueron obtenidos mediante un multiparámetro HI 98121 y la salinidad fue referida por medio de un refractómetro marca Reichert.

Al inicio de trabajo, se tomaron muestras de los dos tipos de sustratos, (canales en los terraplenes y del manglar contiguo), llevando a cabo análisis de las propiedades físicas y químicas (textura, materia orgánica, potencial redox y salinidad); un mes después de haber sido integrado en los módulos, se llevó a cabo un segundo análisis y así sucesivamente a los seis meses y al finalizar el estudio.

Los análisis de suelos consistieron en los siguientes métodos y técnicas.

La textura se realiza por el método de Bouyoucos (Gee y Bauder, 1986).

La determinación de la materia orgánica del suelo se evaluó a través del contenido de carbono orgánico con el método de Walkley y Black (1934) de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000). Los suelos con mejor estado de conservación se clasificaron con muy alto y alto contenido de MOS %, mientras que los suelos menos perturbados se clasifican con medio MOS y los suelos más perturbados se clasifican con muy bajo y bajo de MOS.

La salinidad se muestreo por medio de un conductímetro, con base en la relación directa que existe entre la conductividad eléctrica (CE) y la cantidad de sales disueltas en la solución del suelo.

En el caso del potencial Redox, se utilizó un electrodo redox Orión de platino. La técnica es la que recomiendan Mudroch y Azcue (1995), la cual consiste en: los

electrodos de pH son calibrados con dos soluciones buffer (4 y 7) y los electrodos para Eh son calibrados utilizando una solución Zobell, compuesta de ferrocianuro y ferrocianuro de potasio 0.003 M en cloruro de potasio 0.1 M. Posteriormente, los electrodos son insertados directamente en la muestra de sedimento colectado a una profundidad de 1 cm. La lectura de pH se toma un minuto después de la inserción, mientras que la lectura de Eh se toma hasta que la lectura se estabiliza, lo cual puede tardar entre 10 a 15 minutos.

Con relación al monitoreo de los propágulos sembrados, los parámetros biológicos de supervivencia, altura de la plántula, diámetro y número de hojas se registraron de forma mensual, tanto en los propágulos sembrados directamente en los módulos y de aquellos sembrados en vivero, estos últimos continuando su medición una vez fueron resembrados en los módulos. En los módulos, se contabilizó el número de plántulas vivas de siembra directa y de aquellas sembradas en vivero y de éstas últimas, posteriormente en su resiembra, calculando el porcentaje de sobrevivencia. La altura de las plántulas se obtuvo con una regla graduada de 30 cm, la medida se realiza a partir de la parte apical del propágulo (epicótilo) donde inicia el tallo verdadero hasta el ápice de crecimiento. El diámetro se midió con un vernier a partir del “cuello” o base del epicótilo.

Una vez obtenidos los datos de ambos períodos de siembra, se procedió a verificar si cumplen los supuestos de normalidad (Shapiro-Wilk) para en su caso

aplicar un análisis de varianza o una prueba no paramétrica. En general todos los datos no presentan normalidad y al no existir valores por mortandad de las plántulas, se procedió a realizar una prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, solo agrupando los tratamientos que contuvieran al menos un dato en sus tres replicas.

VI. RESULTADOS

6.1. Hidroperíodo y parámetros fisicoquímicos del agua superficial de la poligonal ZIII.

6.1.1. Temperatura

Con respecto a la temperatura del agua superficial los promedios más elevados se encontraron en mayo con 30.80 y junio con 36.79 del 2017 que coincide con el periodo de temperatura máximas (Figura 12), en cuanto a los otros meses, se observa que los primeros meses de 2018 (enero a julio) superan las temperaturas de los mismos meses en 2017.

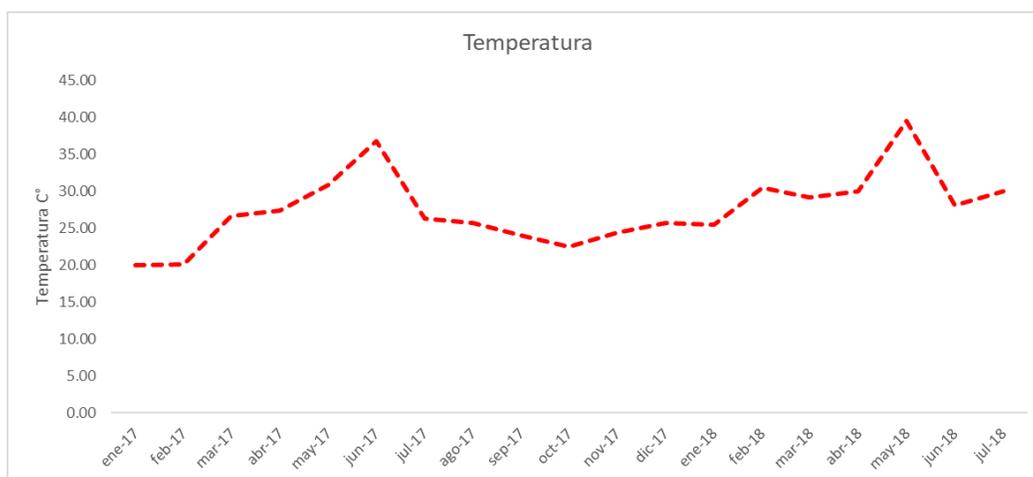


Figura 12. Promedio de temperatura (°C) de agua superficial (± 5 cm de profundidad) de todos los módulos instalados en la Poligonal ZIII (enero de 2017 a julio de 2018).

6.1.2. Acidez o basicidad-pH

De acuerdo con los resultados, durante los meses de enero a diciembre de 2017, se observó que el pH más alto sucedió en abril (8.41) y el más bajo en junio (6.74).

Condición semejante sucedió en el año siguiente (2018), registrando el valor más alto en abril con 8 y el más bajo fue en febrero con 7.28 (Fig. 13).

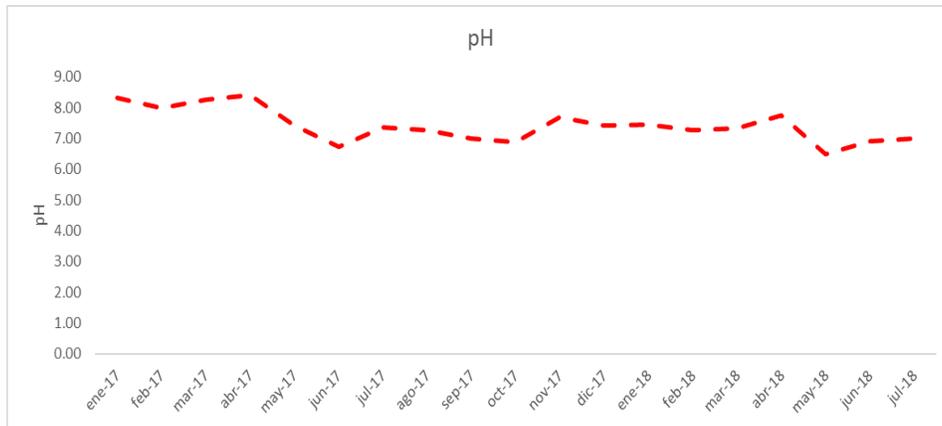


Figura 53. Promedio de pH de agua superficial (± 5 cm de profundidad) de todos los módulos instalados en la Poligonal ZIII (enero de 2017 a julio de 2018).

6.1.3. Salinidad

Con referencia a la salinidad (Fig. 14) el valor más bajo fue de 8.71 para el mes de octubre de 2017, con un contraste muy marcado en mayo del mismo año, en el cual el promedio de las medidas a un costado de los módulos fue de 57.08. Cabe hacer mención que, para el siguiente año, los valores de salinidad del agua superficial se presentaron por arriba de los 100 ups.

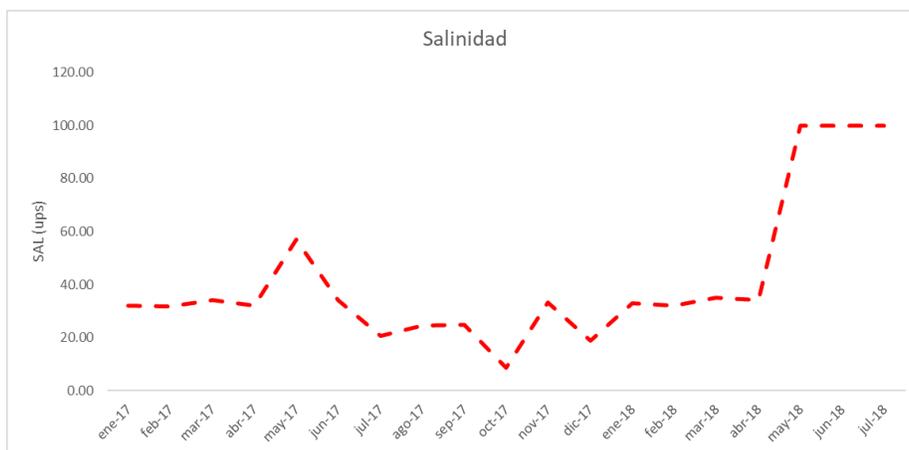


Figura 64. Promedio de salinidad de agua superficial (± 5 cm de profundidad) de todos los módulos instalados en la Poligonal ZIII (enero de 2017 a julio de 2018).

6.1.4. Nivel de inundación superficial.

Los resultados obtenidos muestran que la columna de agua permaneció relativamente estable desde inicios de muestreo en enero hasta agosto de 2017 (Figura 15), con un promedio de la elevación de la columna de agua de 19.27 cm. En octubre de 2017, la inundación se incrementó a 70 cm por encima del promedio durante el periodo de lluvias. Por otro lado, el mes de mayo de 2017 fue el nivel más bajo. En 2018 los resultados muestran un período sin inundación en los meses de mayo, junio y julio.



Figura 75. Promedio de nivel de inundación de agua superficial (± 5 cm de profundidad) de todos los módulos instalados en la Poligonal ZIII (enero de 2017 a julio de 2018).

6.2. Propiedades físico-químicas de sustrato y del suelo de la poligonal ZIII.

6.2.1 Textura

El cuadro 4 muestra los tipos de sustrato y su clase textural a un mes después de haberlos introducido a los módulos, a los seis y 12 meses, así como la textura presente en la poligonal Z III.

Al principio del experimento en los módulos, se presenta una textura arcillosa en el sustrato obtenido de la apertura de canales en el terraplén; un mes después de haber sido introducido en los módulos, cambia a una textura arcillo-arenosa, un año después (agosto de 2017) y marzo de 2017, se tenía una textura arcillosa, misma de su primera obtención in situ. Para los módulos que se presentan con sustrato obtenido del manglar contiguo, se tiene en su sitio original de colecta una textura franco-arcillosa, pasando a franco-arenosa un mes después, al año a Franco-arcillo-arenosa y en marzo de 2018 a una textura franca. En contra parte, la textura del suelo de la poligonal Z III, en los primeros seis meses se mantuvo franca, pasando a marzo de 2018 a Arcillo-arenosa. Se puede observar una modificación en el tiempo en todos los sustratos analizados (Cuadro 5).

Cuadro 5. Textura de los sustratos en los módulos y poligonal Z III: marzo de 2017, agosto de 2017 y marzo de 2018.

Tipo de Sustrato	Textura							
	Febrero 2017		Marzo 2017		Agosto 2017		Marzo 2018	
	Sitio de colecta	Módulos	Sitio de colecta	Módulos	Sitio de colecta	Módulos	Sitio de colecta	Módulos
Sustrato que proviene de la apertura de canales	Arcilla	Arcillo-arenoso	Franco Arcillo Arenoso	Arcilla	Franco Arcillo Arenoso	Franco Arcillo Arenoso	Arcilla	
Sustrato obtenido del bosque de mangle cercano	Franco-arcilloso	Franco-arenoso	Franco Arenoso	Franco Arcillo Arenoso	Franco	Franco	Franco	Franco
Sustrato colectado en la poligonal Z III a un costado de los módulos		Franco		Franco		Arcillo Arenoso		

6.2.2. Materia Orgánica.

Al igual que la textura, se observan cambios en el transcurso de los meses en la materia orgánica, del sitio de colecta, tan solo a un mes después de haber sido introducidos en los módulos. En este caso, modificando hacia una mayor cantidad de materia orgánica, seis meses después, los valores se modifican para la materia orgánica en el sustrato de manglar, que pasa de muy alto a bajo, mientras que el sustrato de apertura de canales se mantiene en medio. Posteriormente se realizó el mismo análisis al final del estudio obteniendo cambios en el contenido de materia orgánica en el sustrato de canales a muy bajo y a alto en el sustrato de manglar; observación que se manifiesta en el sustrato adyacente a los módulos, que pasa de un contenido medio a alto (Cuadro 6).

Cuadro 6. Materia orgánica de los sustratos en los módulos y poligonal Z III: marzo de 2017, julio de 2017 y marzo de 2018.

Tipo de Sustrato	Materia Orgánica					
	Febrero Marzo 2017		Julio 2017		Marzo 2018	
	Sitio de colecta	Módulos	Sitio de colecta	Módulos	Sitio de colecta	Módulos
Sustrato que proviene de la apertura de canales	Bajo	Medio	Muy-Bajo	Medio	Bajo	Muy-Bajo
Sustrato obtenido del bosque mangle cercano	Medio	Muy Alto	Alto	Bajo	Muy -Alto	Alto
Sustrato colectado en la poligonal Z III a un costado de los módulos	Medio		Medio		Alto	

Es importante observar como el contenido de materia orgánica, es bajo en el sitio original de colecta (apertura de canales), se introduce a los módulos y un año después se presenta un contenido muy bajo, es decir, pierde materia orgánica, a diferencia del sustrato de manglar, que *in situ* es medio y un año después, se observa con cantidad alta, lo que significa que adquirió materia orgánica.

6.2.3 Salinidad

Los registros promedios de la salinidad del sustrato muestran diferentes valores al inicio, mediados y final del trabajo siendo los promedios más altos registrados en el sitio de colecta (cuadro 7).

Cuadro 7. Salinidad de los sustratos en los módulos y poligonal Z III: marzo de 2017, julio de 2017 y marzo de 2018.

Tipo de Sustrato	Salinidad (ups)					
Tipo de Sustrato	Potencial Redox					
	Febrero 2017	Marzo 2017	Julio 2017		Marzo 2018	
	Sitio de colecta	Módulos	Sitio de colecta	Módulos	Sitio de colecta	Módulos
Sustrato que proviene de la apertura de canales	42.34	40	8	22	23.5	25.2
Sustrato obtenido del bosque de mangle cercano	42.05	43	32	20	24.7	25
Sustrato colectado en la poligonal Z III a un costado de los módulos	42.20		28		26	

6.2.4. Potencial Redox

El potencial redox mostrado en los análisis de suelo se relaciona con una reducción moderada a suelos reducidos, mismos que se relacionan con suelos anaeróbicos, sin llegar a valores negativos. Se aprecia una reducción mayor en la temporada de lluvias debido a la duración de la inundación (Cuadro 8).

Cuadro 8. Potencial REDOX de los sustratos en los módulos y poligonal Z III: en temporada de seca y lluvia.

	Seca	Lluvia
	Sitio de colecta	Sitio de colecta
Sustrato que proviene de la apertura de canales	72.9 Mv	144.2 Mv
Sustrato obtenido del bosque de mangle cercano	32.2 Mv	112.4 Mv
Sustrato colectado en la poligonal Z III a un costado de los módulos	33.6 Mv	127.7Mv

6.3. Parámetros biológicos de plántulas en vivero y módulos de revegetación

La colecta de los propágulos se realizó en febrero y septiembre de 2017, se obtuvieron un total de 384 propágulos de *Rhizophora mangle* (192 en cada mes de colecta), los cuales fueron sembrados en dos períodos; una siembra relacionada con el período de secas (febrero de 2017) y otra con la temporada de lluvias (septiembre de 2017). En cada temporada, se sembraron 96 propágulos en vivero y 96 directamente en los módulos.

Para la siembra en temporada de secas, se obtuvieron propágulos con un promedio de 25.55 cm \pm 3.25 de largo y un peso promedio de 25.10 g \pm 4.10. En la siembra de lluvias, se tienen valores promedio de 22.27 cm \pm 3.12 de largo y con un peso promedio de 26.61 g \pm 1.24. El peso promedio de los propágulos fue de 25.63 g, así como su longitud promedio de 25.63 cm.

6.3.1. Supervivencia en temporada de secas: vivero y módulos.

6.3.1.1. Temporada de secas: siembra en vivero (febrero a julio de 2017).

En febrero de 2017, se sembraron 96 propágulos divididos en, 48 sobre conos forestales con sustrato obtenido del bosque de mangle (sustrato de manglar) y 48 en sustrato de la apertura de canales en los terraplenes (sustrato de canal). Los propágulos se mantuvieron en vivero por cinco meses, con su trasplante a campo en los primeros días de agosto de 2017.

La supervivencia observada de marzo a agosto fue de 41.67% en sustrato de manglar (20 de 48) y de 45.83% en sustrato de canal (22 de 48). Con relación al comportamiento por mes, de marzo a agosto se presentó la mayor mortandad, reduciendo su número a la mitad (Fig. 16).

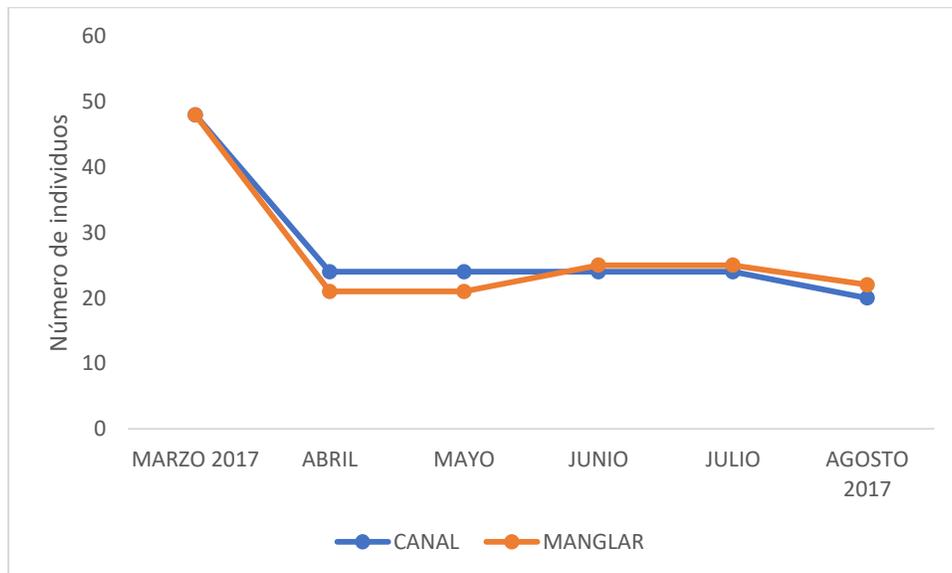


Figura 16. Supervivencia de individuos de *Rhizophora mangle* por tipo de sustrato en los meses de vivero (marzo a agosto de 2017).

6.3.1.2. Temporada de secas: trasplante de vivero a módulos (agosto de 2017 a febrero de 2018).

En la figura 17, se observa el comportamiento general de sobrevivencia de los individuos de *Rhizophora mangle* desde la siembra en vivero (febrero de 2017), el trasplante a módulos (agosto de 2017) y al final del seguimiento de las plántulas (febrero de 2018), presentando los meses críticos en abril, relacionado con el primer mes en vivero, y septiembre de 2017, en su primer mes de trasplante. En diciembre de 2017 se observa la inclusión de dos plántulas debido a rebrote de las hojas.

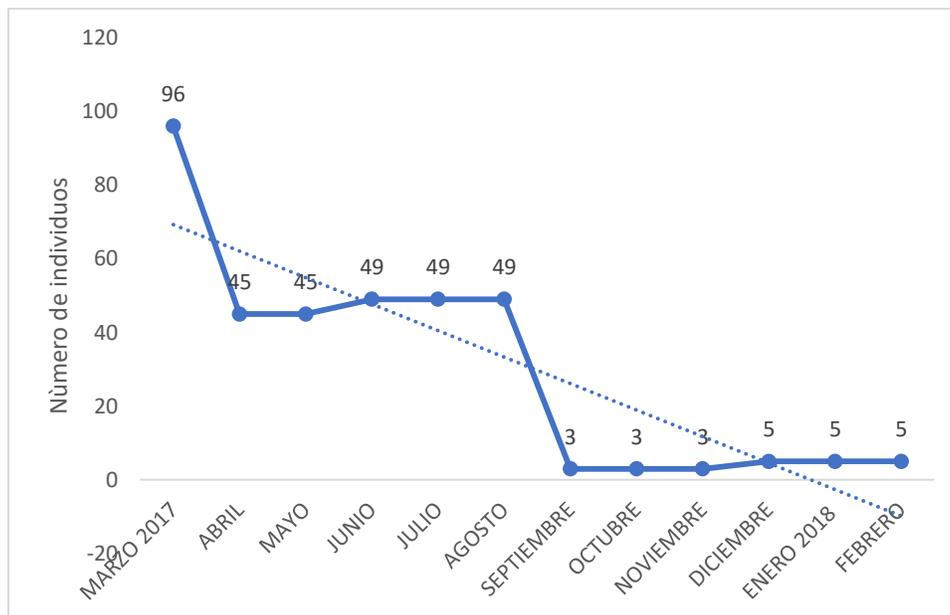


Figura 17. Sobrevivencia de individuos de *Rhizophora mangle* en los meses de vivero (marzo a agosto de 2017) y trasplante (septiembre de 2017 a febrero de 2018). La línea punteada indica la tendencia o dirección de la sobrevivencia

6.3.1.3. Temporada de secas: siembra directa a módulos (febrero de 2017 a enero de 2018).

Al igual que la siembra en vivero, en febrero de 2017 fueron sembrados 96 propágulos de *Rhizophora mangle* directamente sobre los 12 módulos establecidos en campo, a razón de 8 propágulos por modulo, que contabilizan 24 propágulos por tratamiento de siembra directa (sustrato de manglar y canal; 30 y 40 cm).

En abril de 2017, solo habían sobrevivido 10 propágulos, es decir, el 10.42%. La mayor sobrevivencia (8 propágulos), se presentaron en el tratamiento SuC40SID y con dos propágulos SuM40SID. Durante septiembre y octubre de 2017, rebrotaron ocho plántulas en los módulos, cinco en los módulos de tratamiento SuM30SID, dos en SuM40SID, una plántula en SuC30SID. Al final del período de observación, se contabilizaron 16 plántulas: seis en dos módulos del tratamiento SuC40SID, cinco en dos módulos de SuM30SID, cuatro en dos módulos de SuM40SID y una plántula en SuC30SID. Los módulos que presentaron nula sobrevivencia al primer mes de la siembra fueron: dos en el tratamiento SuC30SID, uno en cada tratamiento de SuM40SID y SuC40SID y uno en SuM30SID.

Al final del presente estudio se contabilizaron, siete plántulas en el tratamiento SuC40SID, cinco en SuM30SID, cuatro en SuM40SID y una en SuC30SID. Algo que se destaca es que cuando menos una plántula está presente en cada uno de los tratamientos (Cuadro 8).

Cuadro 9. Supervivencia plántulas por tratamiento de siembra directa en módulos en febrero de 2018 (sembradas en marzo de 2017).

TRATAMIENTO	PLÁNTULAS
SuC40SID	7
SuM30SID	4
SuM40SID	4
SuC30SID	1

La mayor supervivencia se presenta en el tratamiento SuC40SID con un 29.16% (6 de 24), seguido de SuM30SID y SuM40SID con 16.6% cada uno y finalmente SC30SID con 4.16%. En la figura 18, se observa la caída a nula supervivencia de los tratamientos SuC30SID y SuM30SID y su eventual recuperación en octubre a una y cinco plántulas, respectivamente. El tratamiento más estable, después de la mortandad inicial fue el SuC40SID, con inclusive el rebrote de una plántula en septiembre.

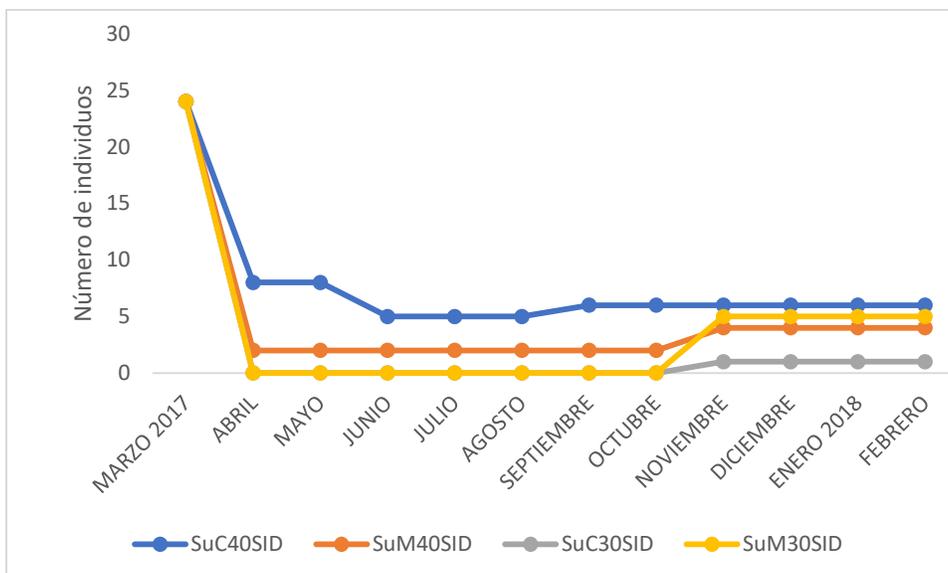


Figura 18. Sobrevivencia de individuos de *Rhizophora mangle* en siembra directa por tratamiento (marzo de 2017a febrero de 2018).

En la figura 19, se muestra la sobrevivencia con relación al número de individuos y los meses de estudio, observando la caída del número de individuos de marzo (96) a abril (10) y los meses en que se presentó el rebrote de hojas en las plántulas (8), presentando una sobrevivencia final del 16.67%.

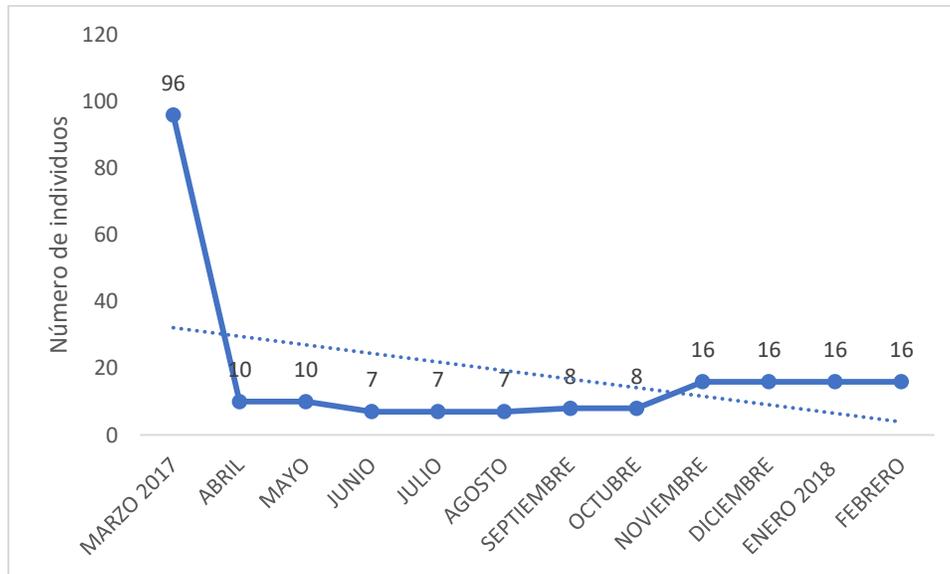


Figura 19. Supervivencia de individuos de *Rhizophora mangle* en siembra directa. La línea punteada indica la tendencia o dirección de la supervivencia

6.3.2. Crecimiento en temporada de secas: vivero y módulos.

6.3.2.1. Temporada de secas: vivero (febrero julio de 2017).

Un grupo de 96 propágulos fueron sembrados en conos forestales en vivero; 48 sobre sustrato de canal y 48 en sustrato de manglar. Después de cinco meses, con relación al crecimiento, se presentó un mayor crecimiento en el sustrato de manglar con una talla promedio de 36 cm y el sustrato de canal con un crecimiento de 35.58 cm Observando un crecimiento, menor en talla a partir del cuarto mes (Figura 20).

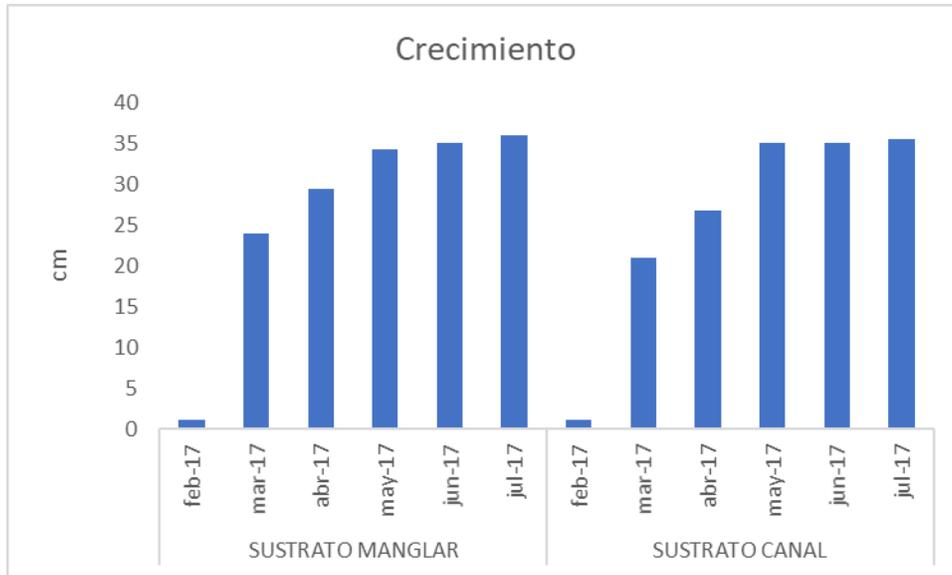


Figura 20. Valor promedio mensual de crecimiento de plántulas en vivero por tipo de sustrato.

En la Figura 21, se muestra el diámetro de los propágulos con crecimiento en ambos tipos de sustrato. El máximo fue de 3 cm al quinto mes, tanto en sustrato de manglar como de canal, con los dos últimos meses sin cambios.

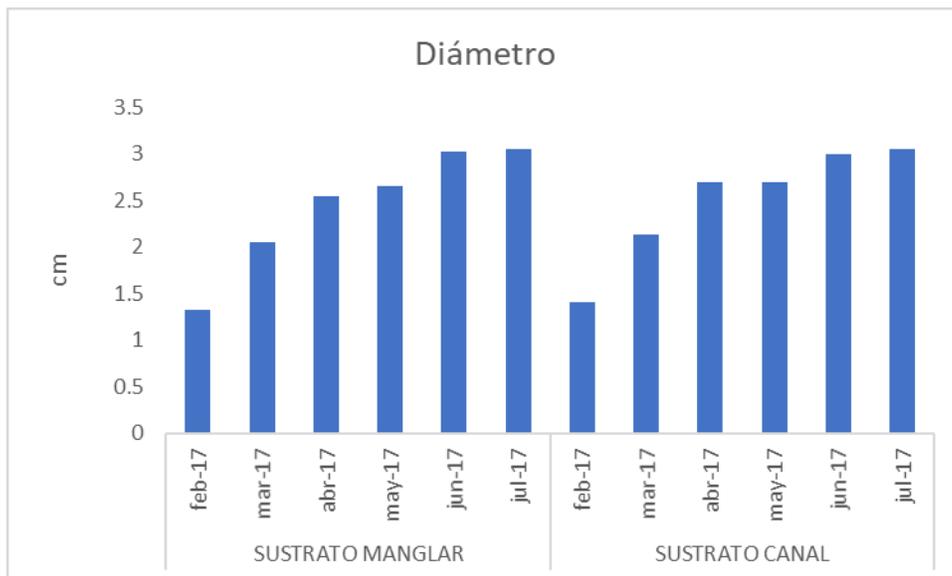


Figura 21. Valor promedio mensual de diámetro de plántulas en vivero por tipo de sustrato.

En cuanto al número de hojas, se observó un mayor desarrollo en el sustrato de manglar con 6.40 (≈ 6) y el sustrato de canal con un menor número de hojas 5.95 (≈ 6), observando la duplicación del número de hojas en los primeros tres meses y su estabilización a partir del cuarto mes. La Figura 22, se muestra un comparativo entre los tipos de sustratos con los parámetros medidos, observando valores muy semejantes entre ambos.

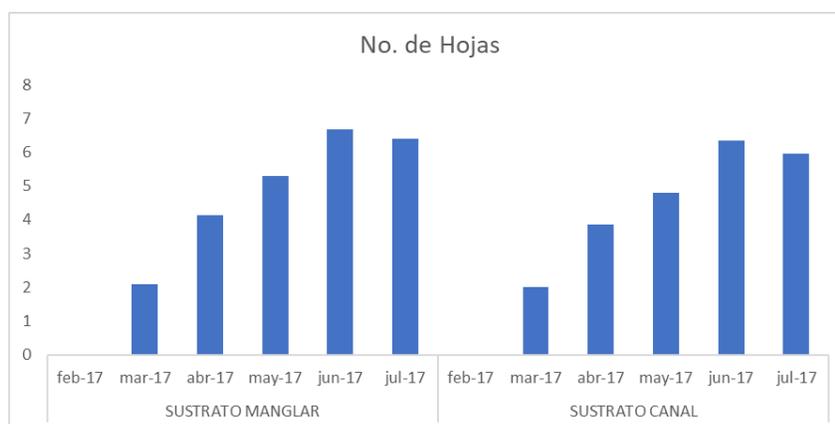


Figura 22. Valor promedio mensual de número de hojas de plántulas en vivero por tipo de sustrato.

6.3.2.2. Temporada de secas: trasplante de vivero a módulos (julio de 2017 a enero de 2018).

Las plántulas de vivero fueron llevadas a siembra en los módulos agosto de 2017 y fueron medidas en aumento de talla, diámetro y número de hojas hasta febrero de 2018.

De los cinco individuos (tres en sustrato de canal y dos en sustrato de manglar) que sobrevivieron al trasplante de agosto a septiembre de 2017, se realizó el seguimiento del aumento en talla. El promedio inicial de altura de las tres plántulas trasplantadas en el tratamiento SuC40VIV fue de 23.17 cm y las dos plántulas del tratamiento SuM40VIV fue de 13.9 cm. La figura 23, muestra el promedio reportado en los únicos tratamientos que tuvieron individuos: SuC40VIV y SuM40VIV. El aumento en talla fue de solo 1.09 cm en el tratamiento SuC40VIV (de 23.17 a 24.26 cm) y de 0.6 cm en SuM40VIV, en el mes de noviembre se observó el rebrote de hojas en dos plántulas.

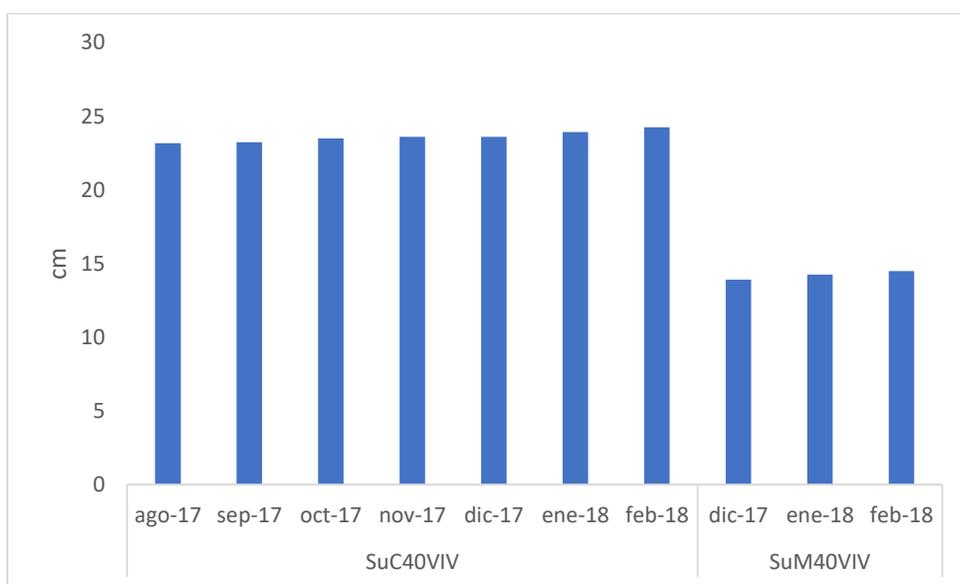


Figura 23. Valor promedio mensual de crecimiento de plántulas trasplantadas a módulos por tratamiento.

De la misma manera que la talla, se realizó la medición del diámetro en las plántulas de los tratamientos SuC40VIV y SuM40VIV, observando un marginal engrosamiento de tallo en ambos tratamientos (Fig. 24).

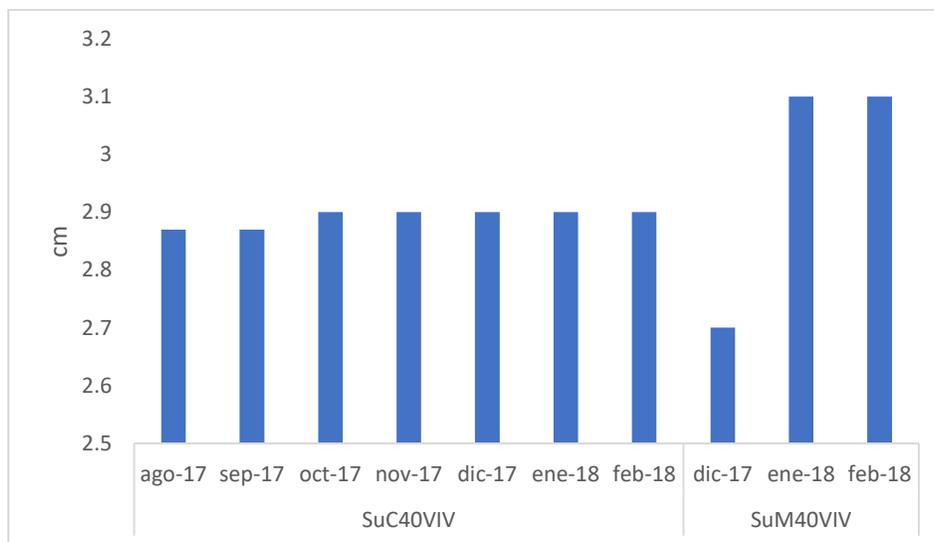


Figura 24. Valor promedio mensual de diámetro de plántulas trasplantadas a módulos por tratamiento.

En donde si se observa un incremento es, en el número de hojas promedio presentes en las plántulas, duplicando (7 a 14) en el tratamiento SuC40VIV y de 2 a 3 en SuM40VIV (Fig. 25).

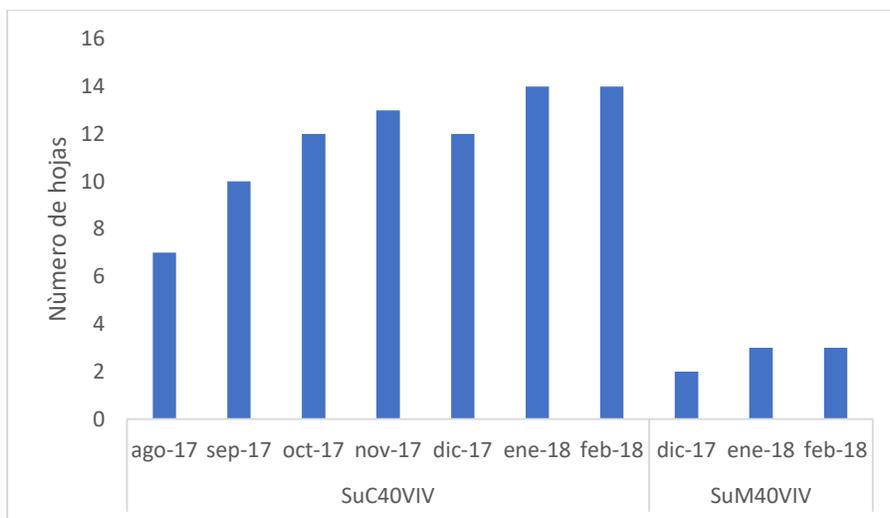


Figura 25. Número de hojas de plántulas trasplantadas a módulos por tratamiento.

En la figura 25, se observa el incremento promedio de talla, diámetro y número de hojas de julio de 2017 a enero de 2018 (un año después de haber sido sembrado

los propágulos en vivero y siete meses después del trasplante a los módulos). El crecimiento fue de 3.5 cm en el tratamiento de sustrato de canal con un nivel de sustrato de 40 cm, medido desde su trasplante. La altura promedio fue 37 cm. Seguida de solo 1.5 cm de crecimiento en tratamiento de sustrato de manglar con 40 cm de elevación, es decir una talla promedio de 37.5 cm.

6.3.2.3. Temporada de secas en siembra directa a módulos (febrero de 2017 a enero de 2018).

Los propágulos que fueron sembrados directamente sobre los módulos fueron monitoreados durante un año con relación al aumento en talla, diámetro y el número de hojas. Desde la siembra en febrero de 2017 y el primer dato obtenido en marzo del mismo año y hasta febrero de 2018, se obtuvieron valores promedio de aumento en talla de 22.18 cm, en el diámetro 2.8 cm y 9 hojas promedio por plántula. Las plántulas de los módulos de 40 cm elevación (SuC40SID y SuM40SIS) tuvieron un mejor crecimiento, diámetro y número de hojas, y dentro de estos, los que se integraron con sustrato de la apertura de los canales en el terraplén. El crecimiento más bajo y el menor número de hojas se obtuvo en las plántulas de los módulos con sustrato de canal y 30 cm de elevación (SuC30SID) (Cuadro 10).

Cuadro 10. Crecimiento, diámetro y número de hojas en plántulas de siembra directa sobre módulos (marzo 2017 a febrero 2018)

Módulos	Crecimiento	Diámetro	No. hojas
SuC40SID	32.95	3.09	18.6
SuM40SID	22.2	2.98	8.5
SuM30SID	18.07	2.41	6.13
SuC30SID	15.5	3	2
PROMEDIO	22.18	2.87	8.81

La figura 26, muestra el incremento en talla por módulos en cada uno de los cuatro tratamientos. Las plántulas de los módulos de sustrato de canal y 40 cm de elevación tuvieron un crecimiento inicial de marzo a junio de 2017, siendo el lapso de junio-julio en donde se observa un aumento de talla de 15 cm y de julio de 2017 a febrero de 2018 de 10 cm. Cabe hacer notar que los módulos de los tratamientos de 30 cm de elevación, tanto de sustrato de canal como de manglar, presentaron un nulo crecimiento hasta octubre de 2017, con el aumento en un mes de 15 cm.

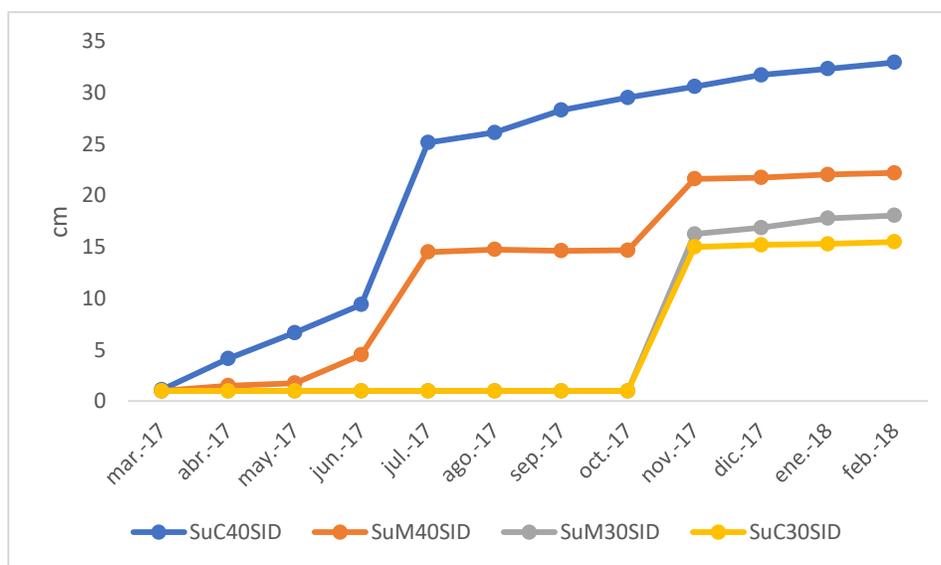


Figura 26. Valor promedio mensual de crecimiento en plántulas de siembra directa en módulos por tratamiento.

Con relación al diámetro, se observa el comportamiento con relación al crecimiento, los módulos de los tratamientos de 40 cm de elevación mostraron un aumento en diámetro y los de 30 cm, hasta octubre de 2018 manifestaron su incremento, del cual, las plántulas de los módulos de sustrato de canal y 30 cm, alcanzaron los valores de los tratamientos de 40 cm de elevación (Fig. 27)

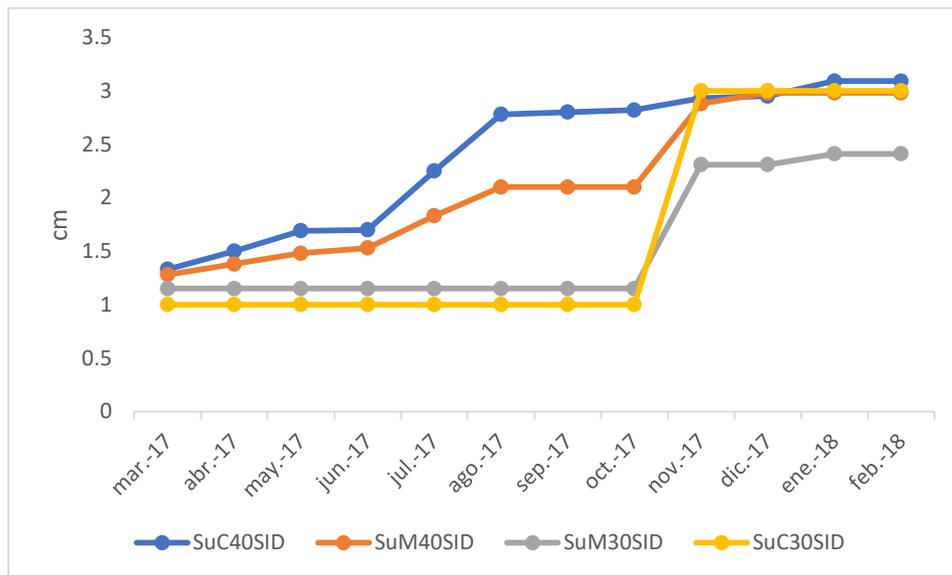


Figura 27. Valor promedio mensual de diámetro en plántulas de siembra directa en módulos por tratamiento.

El número de hojas producido por las plántulas de los módulos mostro un patrón diferente al crecimiento y diámetro; en este caso, solo los módulos del tratamiento de sustrato de canal y 40 cm de elevación tiene una producción de hojas ascendente, pero solo hasta el mes de noviembre de 2017. Los otros módulos, por ejemplo, de sustrato de manglar y 40 cm solo se contabilizaron, al final del muestreo, un promedio de 8.5 hojas. El rebrote de hojas de los módulos con

elevación de 30 cm, de octubre de 2017 a febrero de 2018 solo obtuvo promedios de 6 y 2 hojas respectivamente (Fig. 28).

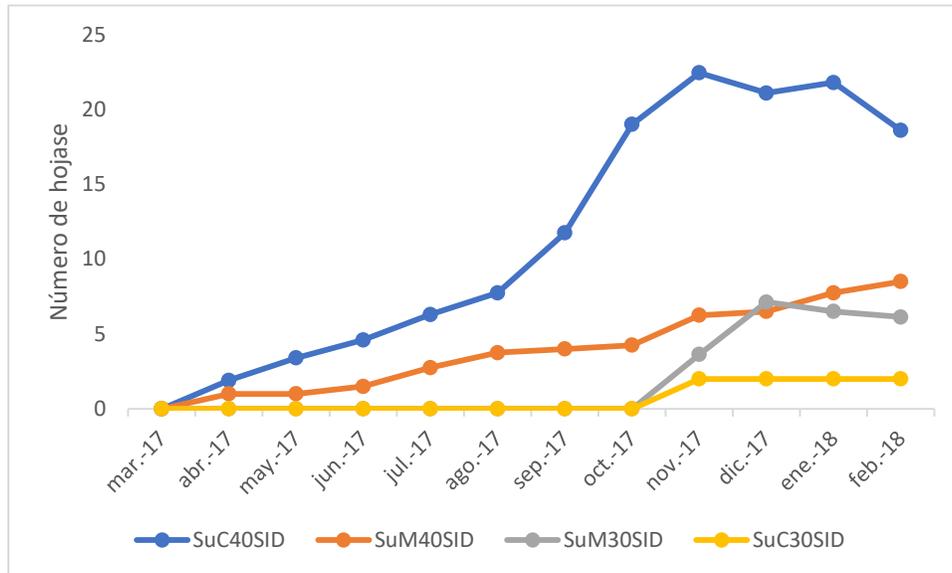


Figura 28. Valor promedio mensual de número de hojas en plántulas de siembra directa en módulos por tratamiento.

En la figura 29, se observa el comportamiento por módulos y sus respectivos tratamientos, siendo el tratamiento de sustrato de canal con elevación de 40 cm el que muestra un promedio de aumento en talla y número de hojas mayor al resto de los tratamientos. Las variables de aumento en talla y número de hojas en los tratamientos son decreciente desde las columnas de la izquierda de la figura, SuC40SID a SuC30SID; sin embargo, con relación al diámetro, no es observable diferencias marcadas entre tratamientos.

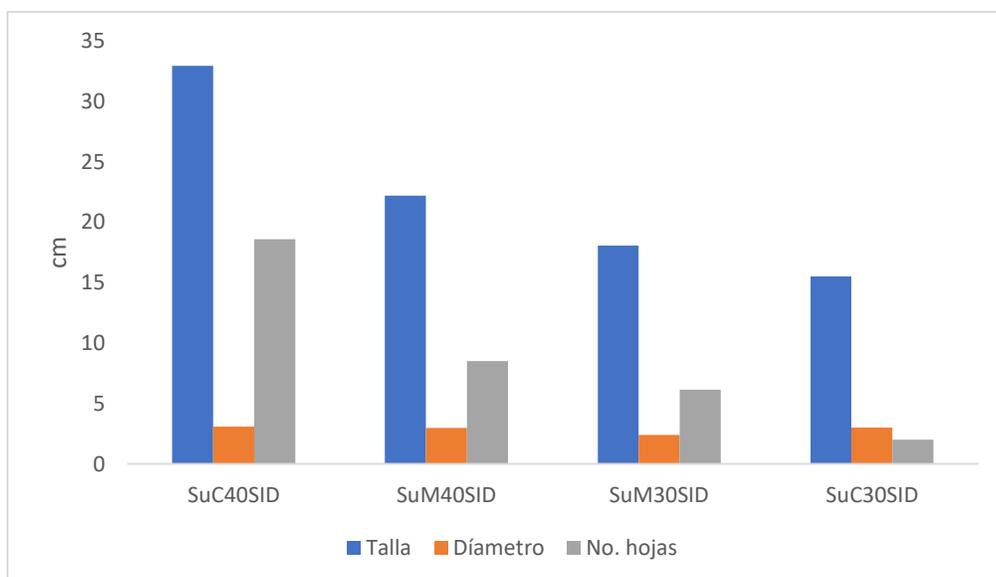


Fig. 29. Valores promedio de talla, diámetro y número de hojas de plántulas por tratamiento en la temporada de seca

6.3.3. Supervivencia en temporada de lluvias: vivero y módulos.

6.3.3.1. Temporada de lluvias en vivero (septiembre de 2017 a febrero de 2018).

96 propágulos fueron sembrados en septiembre de 2017 y divididos conos forestales con sustrato obtenido del bosque de mangle (sustrato de manglar) y en sustrato de la apertura de canales en los terraplenes (sustrato de canal), fueron 48 propágulos en cada tipo de sustrato. Los propágulos fueron monitoreados en vivero por cinco meses, y fue llevado a cabo un trasplante a campo en el mes de abril de 2019.

En los cinco meses de observación registrada (octubre de 2018 a marzo de 2019), se presentó una supervivencia de 6.25% en sustrato de manglar (3 de 48) y de 33.33% en sustrato de canal (16 de 48). La caída en la supervivencia de las plántulas de mangle se observa en diciembre, cuando se presentó una plaga, al

reducirse en un 33.33% en sustrato de canal, sobrevivencia que se mantuvo hasta marzo de 2018 y con relación al sustrato de manglar, el porcentaje fue de 7.5%, bajando a un 6.25% en marzo de 2019 (Fig. 30).

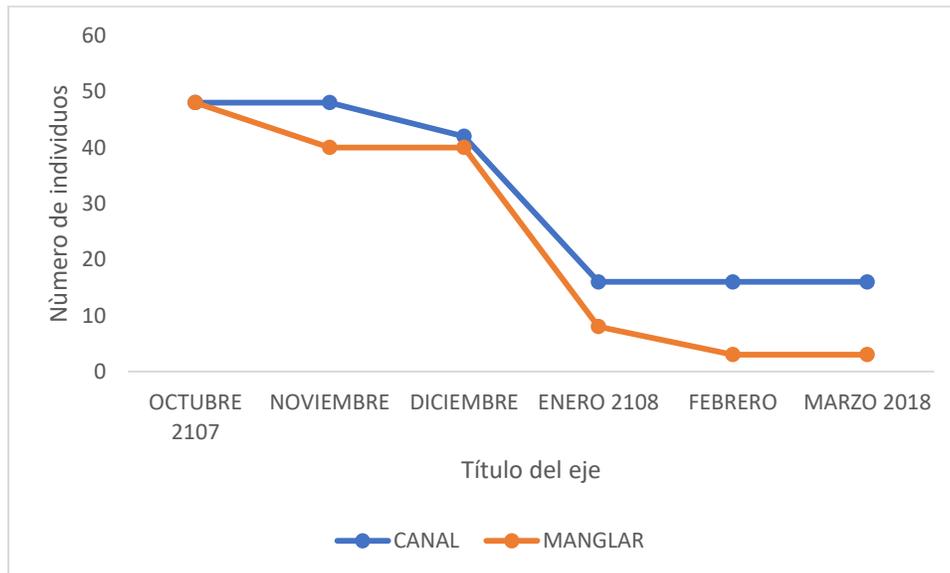


Figura 30. Sobrevivencia de individuos de *Rhizophora mangle* por tipo de sustrato en los meses de vivero.

6.3.3.2. Trasplante en temporada de lluvias a módulos (febrero a agosto de 2018).

Las 19 plántulas de *Rhizophora mangle* (16 de sustrato de canal y 3 de sustrato de manglar) sobrevivientes en la etapa de vivero, fueron trasplantadas en abril de 2018 a los módulos correspondientes; la siembra fue de ocho plántulas en módulos con tratamiento de sustrato de canal con 40 cm de elevación (SuC40VIV) y ocho en sustrato de canal con 30 cm (SuC30VIV) y las tres restantes del sustrato de manglar: dos en módulos del tratamiento de sustrato de manglar 40 cm (SuM40VIV) y una en SuM30VIV. La distribución se muestra en el siguiente cuadro (Cuadro 11):

Cuadro 11. Trasplante de plántulas de vivero (temporada de lluvias) sobre módulos (abril de 2018).

TRATAMIENTO	PLÁNTULAS
SuM40VIV	2
SuM30VIV	1
SuC40VIV	8
SuC30VIV	8

Todas las plántulas trasplantadas en abril de 2018, no sobrevivieron a junio del mismo año, por lo que no se logró el éxito que se estimaba. La mortandad, de hecho, se presentó inmediatamente a su siembra.

En la figura 31, se puede apreciar dos etapas que fueron críticas en lluvias, el mes de diciembre de 2018 en vivero y el mes de abril del mismo año en campo.

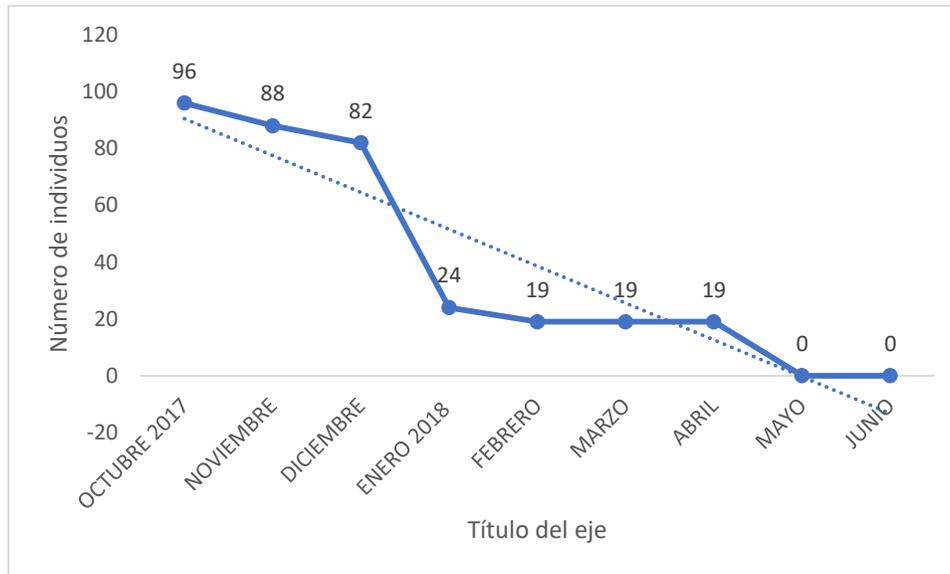


Figura 31. Supervivencia de individuos de *Rhizophora mangle* en los meses de vivero (octubre de 2018 a abril de 2019) y trasplante (marzo a junio de 2018). La línea punteada indica la tendencia o dirección de la supervivencia

6.3.3.3. Siembra directa a módulos en temporada de lluvias (septiembre de 2017 a agosto de 2018).

En septiembre de 2017, a razón de ocho propágulos por modulo fueron sembrados los 96 propágulos de *Rhizophora mangle* directamente sobre los módulos (12) establecidos en campo, un total de 24 propágulos por tratamiento de siembra directa (sustrato de manglar y canal; 30 y 40 cm).

Durante los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2017 se mantuvo constante el número de propágulos sembrados por tratamiento. En el mes de enero de 2019, la supervivencia observo al 58.33% (56 de 96). La supervivencia se presentó de manera diferenciada por tratamiento: en enero de 2018 se tenían 23 plántulas en el tratamiento de sustrato de manglar con 40 cm de elevación

(SuM40SID), 16 en sustrato de canal con 40 cm (SuC40SID), nueve en el sustrato de manglar con 30 cm (SuM30SID) y ocho en sustrato de canal y 30 cm (SuC30SID). Para el final del muestreo, junio de 2018, la reducción fue muy marcada, quedando solo 10 plántulas en cada uno de los tratamientos de SuM40SID y SuC40SID, cinco en el tratamiento SuC30SIS y tres en SuM30SID. La sobrevivencia por tratamiento fue de: 41.66% en SuC40DID y Sum40SID, 20.83% en SuC30SID y 12.5% en SuM30SID (Cuadro 12).

Cuadro 12. Sobrevivencia plántulas por tratamiento de siembra directa en módulos en junio de 2018 (sembradas en septiembre de 2017)

TRATAMIENTO	PLÁNTULAS
SuC40SID	10
SuM30SID	3
SuM40SID	10
SuC30SID	5

A diferencia de la temporada de secas, en lluvias solo se presentaron dos casos de rebrote en las plántulas, el tratamiento SuC30SID, tenía ocho plántulas reportadas vivas y en febrero del mismo año, dos propágulos que no presentaban hojas, se recuperaron y en marzo otra plántula inicio un rebrote de hojas presenta 10 y sube a 11 en marzo. A su vez, en el tratamiento SuM30SID que presenta tres plántulas en febrero de 2018, en marzo, 5 propágulos tienen rebrotes de hojas. En el tratamiento SuC40SID, se tiene un caso en junio de 2018, cuando pasa de 9 a 10 plántulas. La caída más notoria de sobrevivencia la presenta el tratamiento

SuM30SID de diciembre de 2017 a febrero de 2018. Es notorio el comportamiento de los tratamientos de 40 cm de elevación, que, si bien presentan diferencias en sobrevivencia por mes, al final del monitoreo, ambos tienen 10 plántulas (Fig. 32).

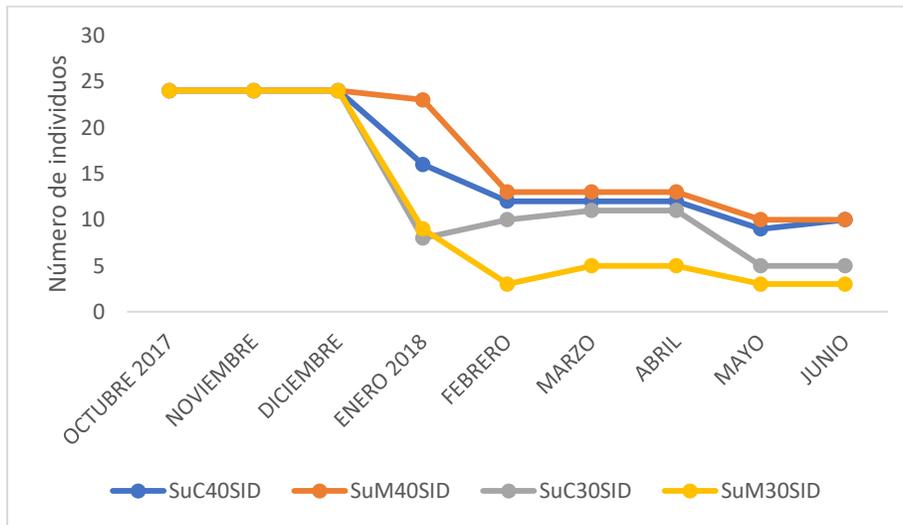


Figura 32. Sobrevivencia de individuos de *Rhizophora mangle* en siembra directa por tratamiento.

La figura 33, resalta un buen período de resistencia de las plántulas de octubre a diciembre de 2017, seguido de un descenso en el número de individuos de diciembre de 2017 a febrero de 2018, un incremento de tres plántulas en marzo y una segunda caída de abril a mayo.

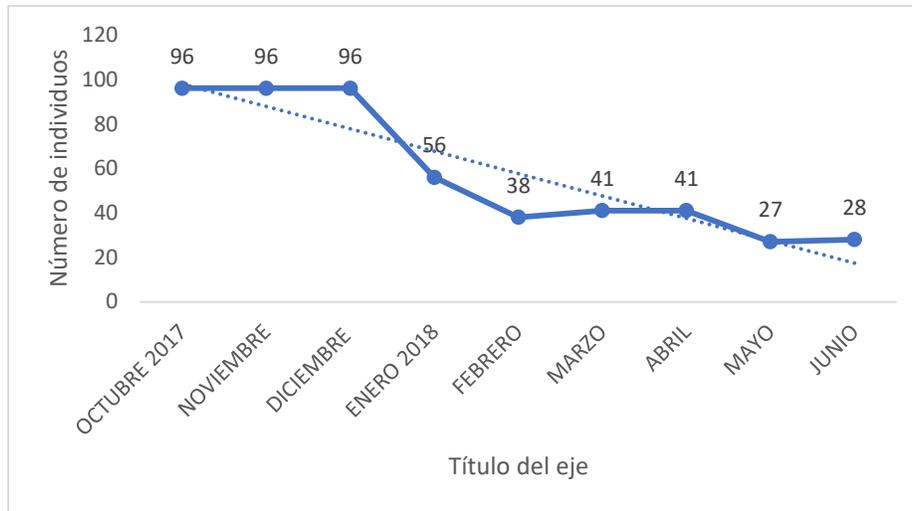


Figura 33. Supervivencia de individuos de *Rhizophora mangle* en siembra directa. La línea punteada indica la tendencia o dirección de la supervivencia

6.3.4. Crecimiento en temporada de lluvias: vivero y módulos.

6.3.4.1. Temporada de lluvias en vivero (septiembre de 2017 a febrero de 2018).

El crecimiento observado en vivero de las plántulas de *Rhizophora mangle* sembrados en octubre de 2017, no mostro un incremento significativo en ningún sustrato (manglar y canal); 2.6 cm en sustrato de canal y 1.21 en sustrato de manglar (Fig. 34), con altura máxima de 8 cm y mínima de 2 cm.



Figura 34. Valor promedio mensual de crecimiento de plántulas en vivero por tipo de sustrato.

La relación del diámetro se correspondió con el crecimiento en talla. Al observarse un bajo crecimiento de las plántulas, el diámetro presentó de la misma forma un bajo aumento, solo 1.38 cm en promedio (Fig. 35).

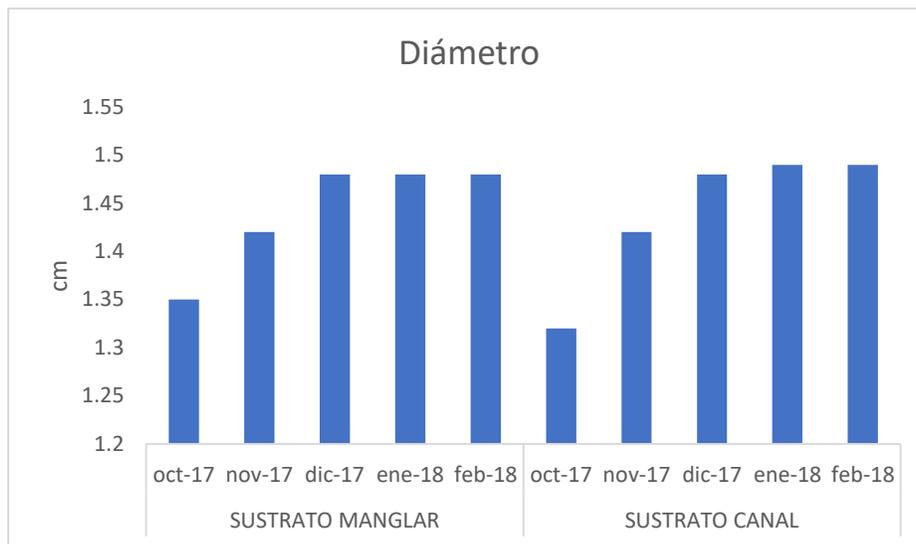


Figura 35. Valor promedio mensual de diámetro de plántulas en vivero por tipo de sustrato.

En la figura 36, se puede observar la disposición del número de hojas de las plántulas por tipo de sustrato, tanto en crecimiento como en número de hojas, el sustrato de manglar fue el que conto con los valores más altos. Pero, aun así, son valores muy bajos.

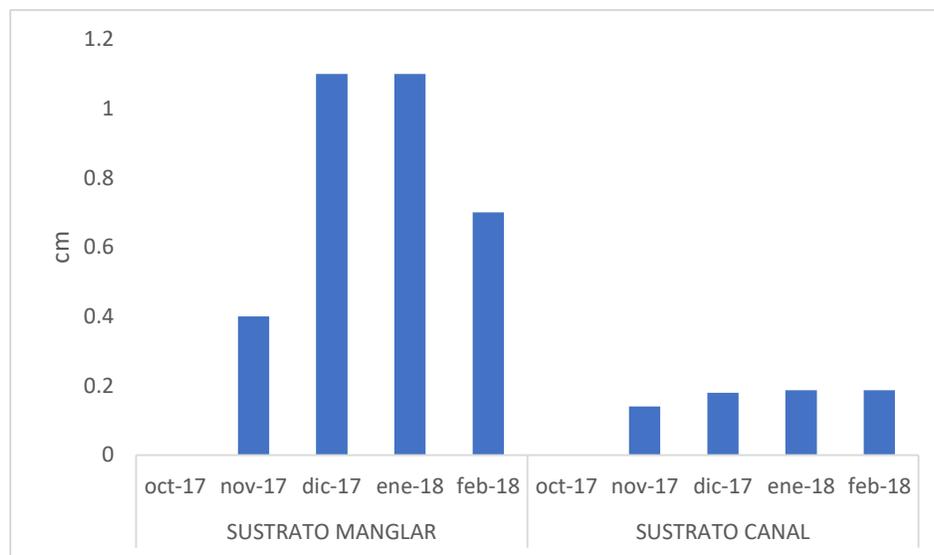


Figura 36. Valor promedio mensual de número de hojas de plántulas en vivero por tipo de sustrato.

6.3.4.2. Trasplante a módulos en temporada de lluvias (febrero a junio de 2018).

Un total de 19 plántulas fueron trasplantadas a los módulos en marzo de 2018, de las cuales no hubo sobrevivencia al final del presente trabajo. Solo resistieron dos meses del trasplante mostrando un nulo crecimiento en marzo y abril. Las plántulas trasplantadas en los módulos del tratamiento SuC40VIV, solo tuvieron un promedio de aumento en talla de 3.3 cm, seguida de las plántulas de SuC30VIV con un promedio de 2.06 cm (Fig. 37).

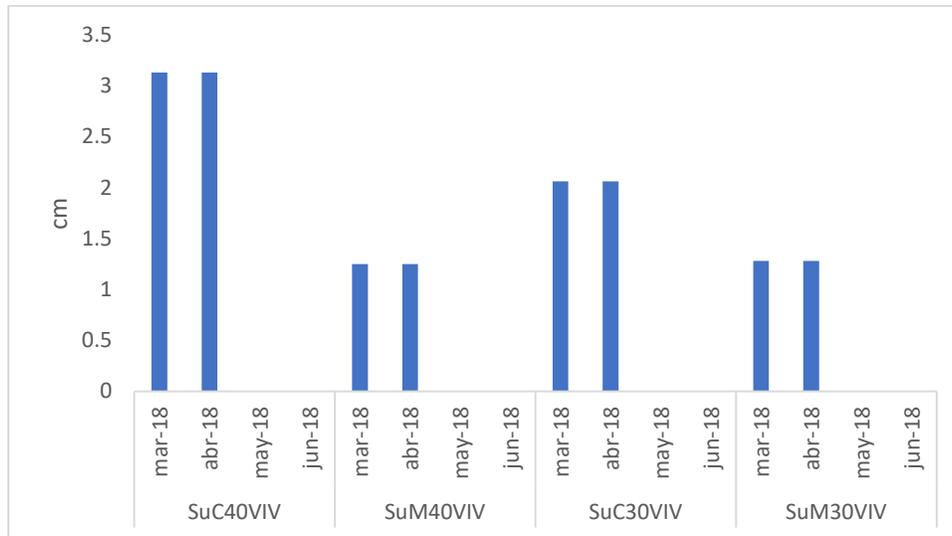


Figura 37. Valor promedio mensual de crecimiento de plántulas trasplantadas a módulos por tratamiento.

El diámetro fue el parámetro en donde no se manifestó un incremento en los cuatro tratamientos, siendo la diferencia promedio entre los tratamientos solo por decimas después de un centímetro (Fig. 38).

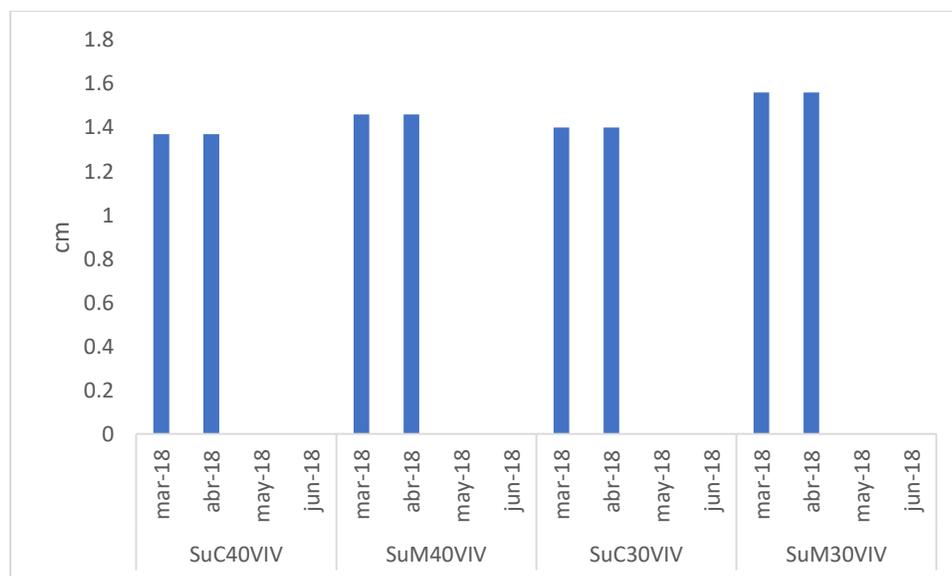


Figura 38. Valor promedio mensual de crecimiento de plántulas trasplantadas a módulos por tratamiento.

La situación con el número de hojas se presentó de manera similar, las plántulas en sí, no contaron con hojas o fueron desprendidas de las plántulas (Fig. 39).

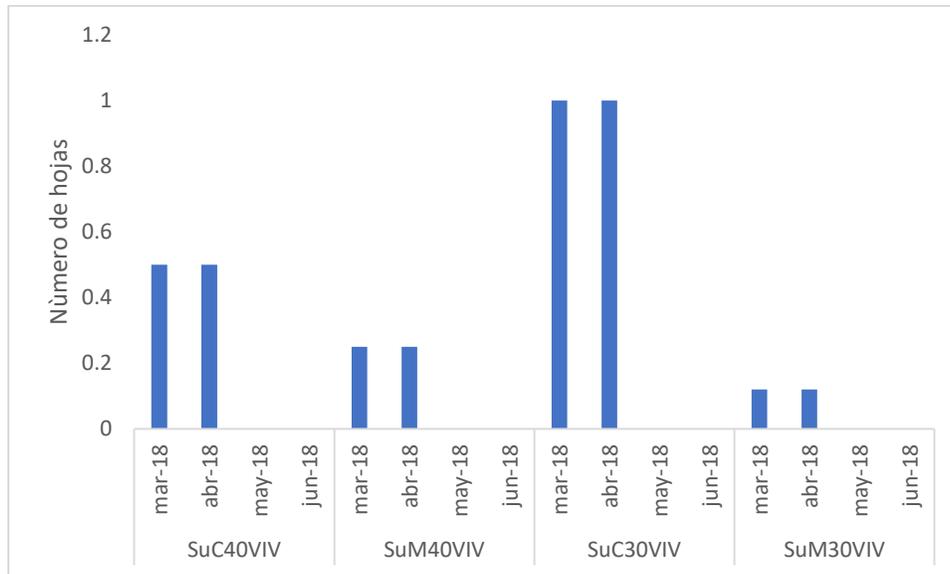


Figura 39. Valor promedio mensual de número de hojas de plántulas en vivero por tipo de sustrato.

6.3.4.3. Siembra directa a módulos en temporada de lluvias (septiembre de 2017 a junio de 2018).

Los propágulos que fueron sembrados directamente sobre los módulos fueron monitoreados durante un año con relación a su aumento en talla, diámetro y el número de hojas. Desde la siembra en febrero de 2017 y el primer dato obtenido en marzo del mismo año y hasta febrero de 2018, se obtuvieron valores promedio de aumento en talla de 8.06 cm, en diámetro 1.69 cm y 4.2 hojas promedio por plántula. Las plántulas de los módulos de 40 cm elevación (SuC40SID y SuM40SIS) tuvieron un mejor crecimiento, diámetro y número de hojas, y dentro de estos, los que se integraron con sustrato de la apertura de los canales en el terraplén. El crecimiento más bajo y el menor número de hojas lo tuvieron las plántulas de los módulos con sustrato de canal y 30 cm de elevación (SuC30SID) (Cuadro 13).

Cuadro 13. Crecimiento, diámetro y número de hojas en plántulas de siembra directa sobre módulos (octubre 2017 a junio 2018)

Módulos	Crecimiento	Diámetro	No. hojas
SuC40SID	7.62	1.37	4.7
SuM40SID	9.10	1.76	5.09
SuM30SID	7.40	1.86	4
SuC30SID	10.31	1.76	3
PROMEDIO	8.06	1.69	4.2

La figura 40, muestra el comportamiento del aumento en talla por módulos en cada uno de los cuatro tratamientos. Las plántulas de los módulos de sustrato de canal y 40 cm de elevación tuvieron un crecimiento inicial de marzo a junio de 2017, siendo el lapso de junio-julio en donde se observa un aumento de talla de 15 cm y de julio de 2017 a febrero de 2018 de 10 cm. Cabe hacer notar que los módulos de los tratamientos de 30 cm de elevación, tanto de sustrato de canal como de manglar, presentaron un nulo crecimiento hasta octubre de 2017, con el aumento en un mes de 15 cm.

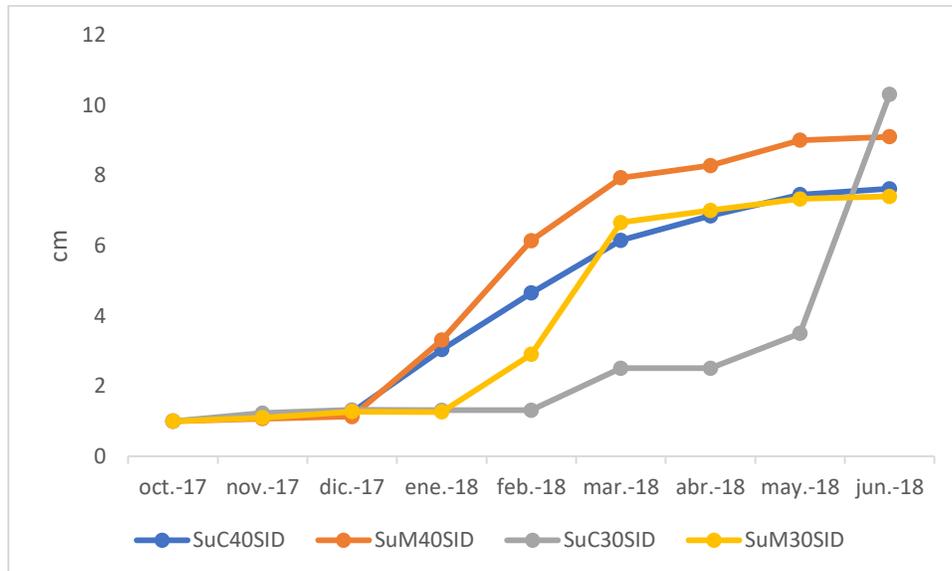


Figura 40. Valor promedio mensual de crecimiento en plántulas de siembra directa en módulos por tratamiento.

Con relación al diámetro, se observa que los módulos de los tratamientos de 40 cm de elevación mostraron un aumento en diámetro y los de 30 cm, hasta octubre de 2018 manifestaron su incremento, del cual, las plántulas de los módulos de sustrato de canal y 30 cm, alcanzaron los valores de los tratamientos de 40 cm de elevación (Fig. 41).

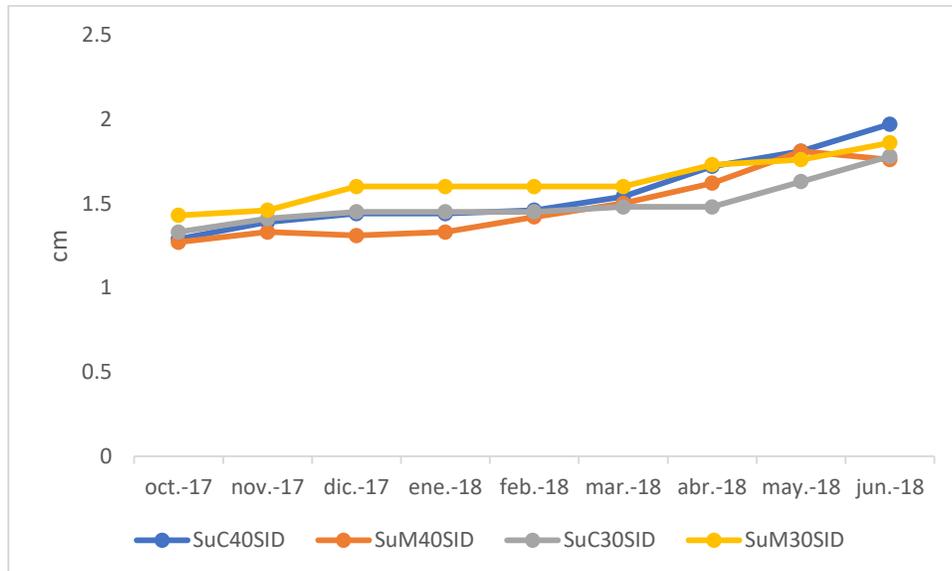


Figura 41. Valor promedio mensual de diámetro en plántulas de siembra directa en módulos por tratamiento.

El número de hojas producido por las plántulas de los módulos mostro un patrón diferente al crecimiento y diámetro; en este caso, solo los módulos del tratamiento de sustrato de canal y 40 cm de elevación tiene una producción de hojas ascendente, pero solo hasta el mes de noviembre de 2017. Los otros módulos, por ejemplo, de sustrato de manglar y 40 cm solo se contabilizaron, al final del muestreo, un promedio de 8.5 hojas. El rebrote de hojas de los módulos con elevación de 30 cm, de octubre de 2017 a febrero de 2018 solo se obtuvo promedios de 6 y 2 hojas respectivamente (Fig. 42).

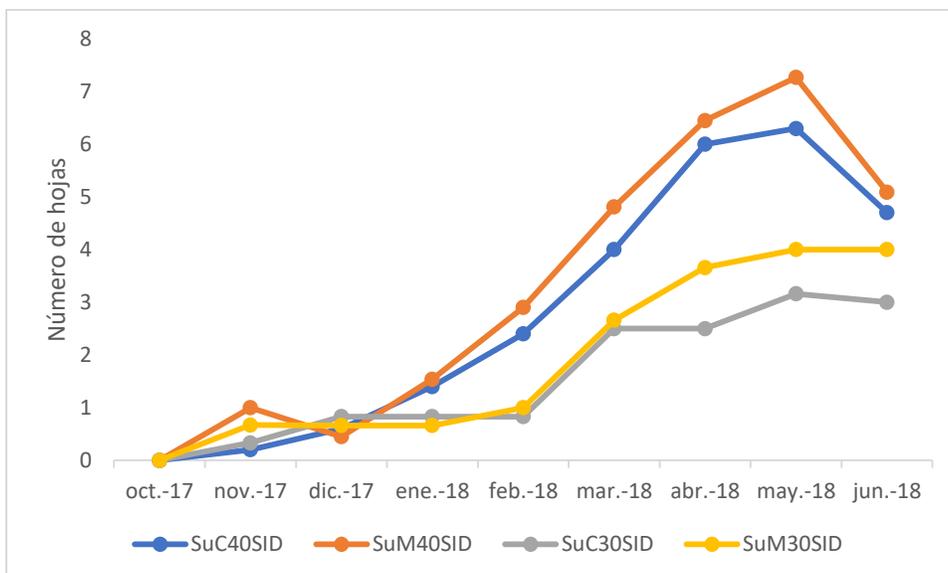


Figura 42. Valor promedio mensual de número de hojas en plántulas de siembra directa en módulos por tratamiento.

En la figura 43, se observan los módulos y sus respectivos tratamientos, siendo el tratamiento de sustrato de canal con elevación de 40 cm el que muestra un promedio de aumento en talla y número de hojas mayor al resto de los tratamientos. El comportamiento de las variables de aumento en talla, número de hojas en los tratamientos muestra un comportamiento decreciente desde las columnas de la izquierda de la figura, SuC40SID a SuC30SID; sin embargo, con relación al diámetro, no es observable diferencias marcadas entre tratamientos.

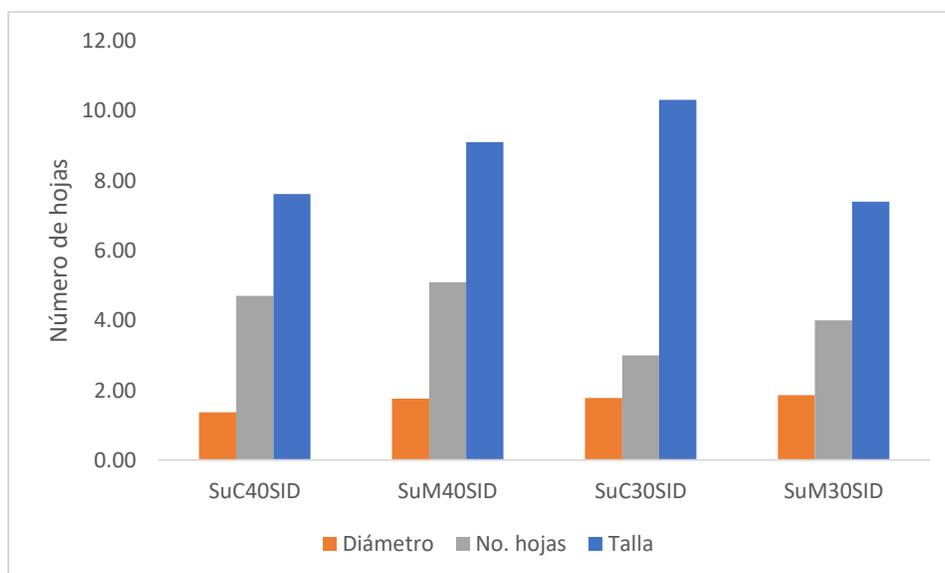


Fig. 43 Talla, diámetro y número de hojas promedio de plántulas por tratamiento en la temporada de lluvia.

6.3.5. Interacción entre tipos de sustrato, niveles topográficos y tipos de propagación

El análisis estadístico, al aplicar la prueba de Kruskal-Wallis, mostró que no existen diferencias significativas entre los tratamientos, tampoco por la estación de siembra. Los análisis se realizaron con los datos de sobrevivencia y crecimiento final de las plántulas.

En la figura 44, se tiene la sobrevivencia final por tratamiento y temporada de siembra. solo se contabilizaron seis tratamientos con siembra en la temporada de secas y cuatro en temporada de lluvias. Si bien no se presenta una diferencia significativa por número de individuos, la sobrevivencia es ligeramente mayor cuando se realiza la siembra en temporada de lluvias; en este caso con siembra

directa a 40 cm de elevación y en los dos tipos de sustratos (obtenido de la apertura de canales y del manglar conservado). Cuando se hace la siembra en vivero en temporada de lluvias y se mantienen cinco meses, el trasplante se lleva a cabo en la temporada de secas, por lo que la mortandad en campo fue de 100%. En cambio, cuando se realiza la siembra en vivero en temporada de secas y se mantienen cinco meses, cuando es su trasplante se lleva a cabo en temporada de lluvias, lo que establece cierta viabilidad, sobre todo en la elevación de 40 cm.

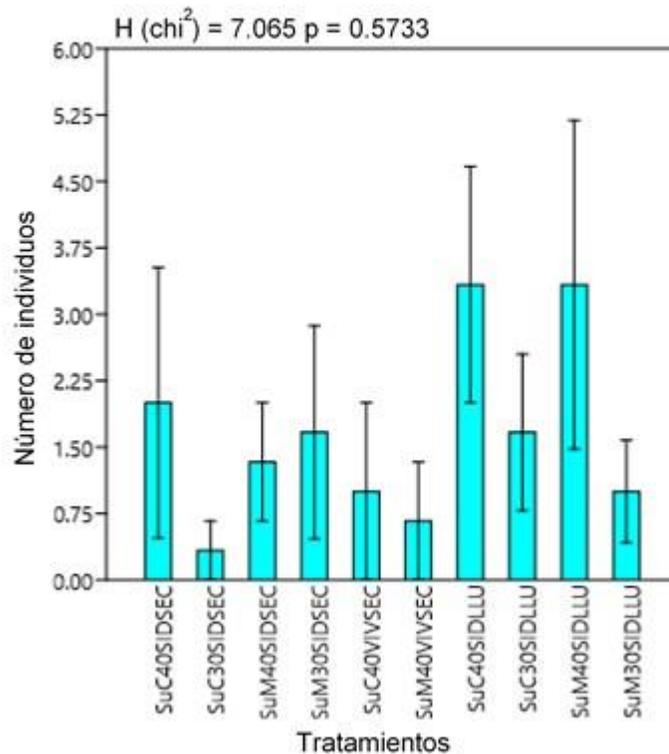


Fig. 44. Número de individuos por las plántulas por tratamiento y temporada de siembra. No se presentan diferencias significativas con un valor de $p = 0.5733$ por tratamiento.

Con relación al crecimiento obtenido al final del estudio, no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos o temporadas de siembra. Tomando en

consideración el crecimiento, se observa en la figura 45 que el promedio de aumento de talla final mayor se tiene en las plántulas con siembra en la temporada de secas, en ambos sustratos y con una elevación de 40 cm.

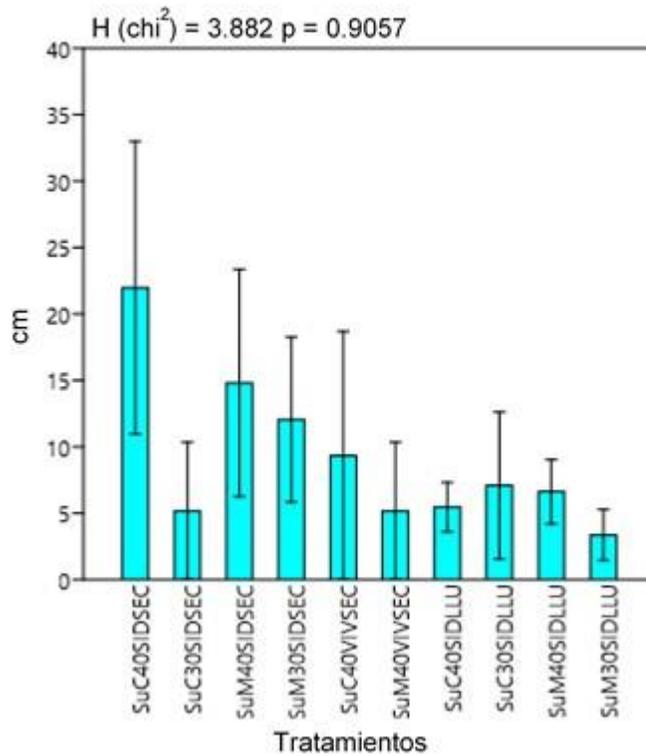


Fig. 45. Valor promedio de talla final alcanzada por las plántulas por tratamiento y temporada de siembra. No se presentan diferencias significativas con un valor de $p = 0.9057$ por tratamiento.

VII. DISCUSIONES

Autores establecen que el uso de la reforestación puede llevar a la recuperación de sitios degradados, aun cuando ciertas funciones del sitio hubieran sido modificadas y aún no se han restablecido (Elster, 2000; Lewis III y Streever, 2000). Sin embargo, otro trabajo sugiere que una rehabilitación exitosa en los sistemas de manglar va más allá de la reforestación (Dale *et al.*, 2014). En el presente trabajo, se usó la siembra de propágulos y plántulas de *Rhizophora mangle* en módulos de 90 x 90 cm, aun cuando los esfuerzos por la rehabilitación hidrológica del área de estudio no han sido significativos, y evaluar, si las condiciones actuales son propicias para una restauración completa.

De acuerdo a Teutli-Hernández y Herrera-Silveira (2018) es importante cuando se realiza rehabilitación hidrológica, monitorear las acciones que tienden a favorecer la recuperación de sitio y estar en posibilidades de comprobar el éxito o el fracaso de la rehabilitación. Para el caso del área de trabajo, desde 1998 se interrumpió el flujo de agua al interior del manglar por la construcción de terraplenes del Complejo Termoeléctrico “Presidente Adolfo López Mateos”; en 2011, se realizó una rehabilitación hidrológica abriendo una serie de canales que permitieron el flujo de agua (López-Portillo *et al.*, 2014). Hasta el momento de la elaboración del presente proyecto, no se ha presentado regeneración natural, lo que hace suponer que, además del restablecimiento del flujo, debieron haberse considerado otras características como el sustrato y la conformación de un nuevo régimen de nivel de inundación. Zaragoza (2015), en un estudio de la zona, en el que integra datos

de 2011 a 2014, con relación a la salinidad y nivel de inundación, establece que con la apertura de los canales y el monitoreo de los valores, se ha observado un descenso en la concentración, en los meses de nortes y secas, así como en lluvias.

Los valores de salinidad reportados para el área de trabajo por Vovides y colaboradores en 2011, se encontraban entre 35 a 65 ‰ y hasta 140 ‰. Cárdenas (2014) menciona valores de 40 a 70 ups de septiembre de 2011 a julio de 2012, para los meses de noviembre de 2015, se tienen 20 ups y en abril de 2016 presenta 55 ups (Rodríguez, 2016). En el presente estudio, se reportan el valor más bajo de 8.71 ups en octubre de 2017 y por encima de 100 ups en los meses de mayo, junio y julio de 2018. Por lo que la aseveración de Zaragoza (2015) es circunstancial, dado que el mismo autor menciona que existen picos estacionales de alta salinidad. Lo que se demuestra al obtener tan bajos porcentajes de sobrevivencia de plántulas de *Rhizophora mangle*. La salinidad es uno de los reguladores más importantes para el reclutamiento y establecimiento exitoso de la incorporación de nuevos individuos (McKee, 1995; Ricklefs y Miller, 2000) y el desarrollo del manglar (Feller *et al.*, 2010), sumado a esto, el nivel de inundación es considerado el factor clave para su crecimiento (Krauss *et al.*, 2008; Bashan *et al.*, 2013).

Para el área de estudio, antes de la apertura de los canales, la inundación se tenía hasta 8 cm en la época de nortes y lluvias, con nueve meses de inundación

continua; a partir de la apertura de los canales, los periodos de inundación se siguen presentando, pero ya no se observa agua estancada, sino que sigue una corriente de sur a norte (Cárdenas, 2014). En la temporada de estudio enero 2017 a julio de 2018, este patrón de inundación se sigue presentando, con valores por encima de los 10 cm, con picos extremos de 0 a 70 cm, en temporada de secas y lluvias respectivamente. A su vez, la salinidad, en el mismo período se observa por encima de los 20 ups, con valores extremos de 100 ups. Lo que lleva a comentar que no se han reestablecido las condiciones óptimas para la recuperación del sistema y por lo tanto para el mantenimiento de propágulos o plántulas de *Rhizophora mangle*.

Cárdenas (2014) y reportado por Basáñez y colaboradores en 2016, realizaron ensayos de reforestación estableciendo montículos de 20 cm de elevación con tres especies de mangle, observando que la interacción de *Rhizophora mangle* y *Avicennia germinans* en los módulos era la recomendable, La especie utilizada en el presente trabajo fue *R. mangle* al considerarla adecuada dado los niveles de inundación reportados. Rodríguez (2016), en la misma zona, reporta, en seis meses de estudio, una sobrevivencia de 73% de plántulas de *R. mangle* sembradas sobre sustratos franco arenoso y arcilloso con 40 cm de elevación.

Entre otros múltiples factores que intervienen en una restauración de manglar, se menciona el restablecer la elevación óptima para cada una de las especies seleccionadas, la elevación se relaciona con el régimen hidrológico (duración,

nivel de inundación y frecuencia); y, es importante determinar el nivel de elevación del sustrato adecuado para las especies seleccionadas (Gilman y Ellison, 2007). Existen muy pocos ejemplos de trabajos en donde se utilicen elevaciones o acreciones artificiales, es más común encontrar, por tipos de siembra (siembra de propágulos directa) o en vivero y con diferentes sustratos. Las elevaciones establecidas para el proyecto estuvieron en 30 y 40 cm, en virtud de los valores encontrados por Zaragoza (2015) que de 2011 a 2014 presenta valores promedio de 10 cm, Mendoza y colaboradores (2016) reportan para el área de estudio inundaciones superiores a los 20 cm durante mayo a diciembre de 2014, aunque Cárdenas (2014), observa valores máximos de 8 cm en temporada de lluvias.

Autores como Elster (2000) y Reyes y Tovilla (2002) establecen que la siembra directa de propágulos de la especie *Rhizophora mangle* suele ser un método económico, pero como contraparte, mencionan que es posible obtener una mayor sobrevivencia, si son previamente sembradas en vivero, aunque se especifica que va a depender de las condiciones del sitio. Para el presente trabajo, el sitio se presenta completamente degradado (Vovides et al., 2011), sin regeneración natural, por lo que las condiciones del sitio se contemplan complicadas para la sobrevivencia de las plántulas; en este caso, la sobrevivencia de plántulas colectadas en febrero 2017, sembradas en vivero y trasplantadas a los cinco meses tuvieron una escasa sobrevivencia, tanto en vivero (44%), como en su trasplante (5%). Para aquellos propágulos colectados en octubre 2017 y llevados al vivero por cinco meses y trasplantados, se presentó una sobrevivencia de solo

20%. Cárdenas (2014), al sembrar en una zona conservada y una zona degradada, contigua a la poligonal Z III, observó, en plántulas producidas en vivero, sobrevivencia de 57% y 42%, respectivamente, un año después de haber sido sembradas. El manejo del trasplante de plántulas de vivero a campo debe hacerse en temporada de lluvias, sobre todo si en el vivero el riego es con agua que no llega a las salinidades observadas en campo, hecho ya reportados por Febles-Patrón *et al.* (2009).

Al comparar los propágulos de siembra directa, Benítez (2007) en Navachiste, Sinaloa, reporta la sobrevivencia de solo el 1% de su plantación; otra especie que presento cero sobrevivencia fue *Avicennia germinans*, la cual Febles-Patrón y colaboradores (2009) utilizaron en siembra directa en Chabihau, Yucatán. En este estudio se obtuvo una sobrevivencia por siembra directa en módulos del 17% en siembra en temporada de seca y 29% en temporada de lluvia. Cárdenas (2014), en la siembra directa de *R. mangle* en la zona degradada colindante reportó 62% de sobrevivencia. La especie *R. mangle* está considerada como intolerante a la sombra (Francis y Lowe, 2000). Por otra parte, Ellison y Farnsworth (1993) mencionan que plántulas sembradas de *R. mangle* en Belice, presentan mayor sobrevivencia si están relacionada con la influencia de mareas, independientemente si estuvieran bajo el dosel del bosque o directamente con la influencia del sol.

Con relación a la sobrevivencia de plántulas sobre elevaciones o acreciones elaboradas exprofeso, Benítez (2007) encuentra 21% para *R. mangle*. Febles-Patrón y colaboradores (2009) reportan 14% en niveles de suelo más elevados (25 cm) y Cárdenas (2014) solo un 7% de sobrevivencia en elevaciones de 20 cm. Para el presente estudio se establecieron sobrevivencias de 41.66% en elevaciones de 40 cm y de 16.67% para aquellas de 30 cm en temporada de lluvia, así como, 22.88% y 10.38% respectivamente, en temporada de seca. Una situación importante que se presenta es que, a mayor elevación del sustrato, mayor sobrevivencia.

Cuando se compara el crecimiento de las plántulas a un año de haber sido sembradas, Cárdenas (2014), reporta un promedio de 49.98 cm de altura y 7.5 mm de diámetro en *R. mangle* con condiciones de alta salinidad (> 40 ups), temperaturas por encima de los 25 °C, nivel de inundación máximo de 8 cm. Benítez (2007) obtuvo en *R. mangle* 14 cm de altura y 4.7 mm de diámetro, con salinidades extremas de 150 ups y > 40 ups en todos sus puntos de muestreo, temperaturas que fluctúan de 18 a 30 °C. Febles-Parón *et al.* (2009) presentó promedios de 31.5 cm de altura, con salinidades que no superaron los 45 ups, promedio de 30 °C . Los valores promedios de altura reportados en el presente, se sitúan en 18.53 cm y 31 mm de diámetro y de 22.18 cm y 28 mm, respectivamente, en siembra directa en temporada seca; y 8.06 cm de altura y 11 mm de diámetro, sembradas en temporada de lluvia, con salinidad promedio de 57 ups, temperaturas de 20 a 35 °C y nivel de inundación por arriba de 10 cm, con inundación extrema,

en octubre de 2017, de 70 cm. Con relación al número de hojas, los valores son muy bajos, 9 y 4 en promedio. McKee (1995) menciona que, los bajos niveles de nutrientes o de luz causan cambios mayores en la biomasa de raíces de todas las especies, mientras que, a mayor disponibilidad de nutrientes en el área, aumenta el área foliar, el número de hojas y el índice del área de las hojas de mangle. Diversos autores (McMillan, 1971; Lugo and Snedaker, 1974; Cintron *et al.*, 1978; Jiménez, 1994; Rico-Gray y Palacios, 1996; Ramírez, 2005), establecen que *Rhizophora mangle* puede crecer con niveles de inundación altos y con salinidades que no rebasen los 40 ups. En todos los ensayos anteriores la salinidad se encuentra por encima de ese valor. Novelo (2005) logro una sobrevivencia de 38% en siete meses, utilizando camas de sedimento, atribuyendo esta baja sobrevivencia a las condiciones de alta salinidad (54 a 72 ups).

Con relación a los parámetros ambientales reportados, se tuvieron valores extremos de 100 ups en mayo, junio y julio de 2018, 57.08 ups en mayo de 2017 y de 8.71 ups en octubre de 2017. Novelo (2005) señala una sobrevivencia de 28% de *R. mangle* en la ciénega de Progreso en Yucatán, con valores de salinidad de 54 a 72 ups. Cárdenas (2014) obtienen en una poligonal colindante con el área de estudio, mayor sobrevivencia y crecimiento de *R. mangle* con un promedio de 28.97 ups. Sin embargo, Febles-Patrón *et al.* (2009) reportan su mejor sobrevivencia y crecimiento en valores menores a 5 ups. Los valores ideales reportados oscilan en los 15 ups. La influencia de la temperatura del agua en la sobrevivencia y crecimiento de las plántulas de *R. mangle* se tiene entre 24.5 y 24.9 °C en el estudio de Cárdenas

(2014), en la temporada muestreada en el presente trabajo, se tienen valores por encima de los 30 °C. Teutli-Hernández y Herrera-Silveira (2018), mencionan que las zonas con altas temperaturas probablemente reciben un menor suministro de agua, teniendo un tiempo de permanencia mayor, favoreciendo el calentamiento y evaporación de la columna de agua. A su vez, las altas temperaturas tienen efectos negativos en las reacciones metabólicas de las plántulas limitando su crecimiento (Harry y Nyle, 1982).

Hernández (2013), estableció que el intervalo de salinidad óptimo para *Rhizophora mangle* es de 8 a 26 ups. Allen (2002) en la ficha técnica de *R. mangle* del libro “Manual de Semillas de Árboles Tropicales”, menciona que esta especie, aún y cuando puede ser tolerante a la sal, su crecimiento se ve afectado o dañado en áreas con concentraciones de salinidad mayores de 35 ups, y la mortalidad puede darse por encima de los 60 ups. Por ejemplo, Kodikara *et al.* (2018), reporta tasas bajas de sobrevivencia de mangles en tratamientos de salinidades de 33 a 36 ups, a las 30 semanas presentaban un 40% de sobrevivencia y la tendencia era seguir disminuyendo.

Los valores contrastantes de salinidad del agua se relaciona con lo reportado por diversos autores (Rabinowitz, 1978; Elster *et al.*, 1999; Elster, 2000; Reyes y Tovilla, 2002; Febles-Patrón, 2009) que relacionan altas salinidades en áreas desprovistas de vegetación, así como temperaturas altas y desecación de la superficie del suelo. En el presente estudio, la salinidad coincide con uno de los

valores más altos de temperatura y menor precipitación, algo semejante ocurre para el año 2018, en el que los meses de enero a abril los son similares al del año 2017.

Los valores de potencial Redox de 33.6 y 127.7 Mv en suelo, tienen mucha relación con la mortandad reportada de enero de 2017 a junio de 2018. Tal como lo reporta Cárdenas (2014) y lo establece Agraz et al. (2010), produciendo efectos tales como: inhibición enzimática (+120 mV), reducción en la actividad fotosintética (+120 mV) y reducción en la respiración de las raíces (-75 a -150 mV). El patrón de la tasa fotosintética se ve afectado por la oxidación y reducción de del nitrógeno, sulfuros y carbono, debido a que el valor de Redox depende de los períodos de inundación, tiempos de residencia del agua, tiempo de exposición del suelo al medio (por aumento de temperatura) y como reflejo pérdida de energía por regulación de sales (Agraz et al., 2010).

Los valores de pH reportados por varios autores que trabajaron sobre acreciones, son del orden de 7.4 a 8.2 (Benítez, 2007) y 7.86 y 8.14 (Cárdenas, 2014), obteniéndose valores de 6.74 y 8.41 en el estudio. Es notorio el cambio de acidez a basicidad en los valores. El pH óptimo para el desarrollo de individuos de *Rhizophora mangle* es de 6 a 8.5 (Hernández, 2013), reportando el presente estudio valores de 6.7 y 8.4. Por ejemplo, Díaz (2012), reporta para su Estación VII de las Bahías de Ohuira y Topolobambo, Sinaloa un valor promedio de pH de 7.83 (d. e ± 0.53), el valor promedio encontrado en el presente fue 8.23 (d. e ± 0.38).

Con relación a la temperatura, Moroyoqui-Rojo *et al.* (2012), reportaron valores de 30 y 26°C en los meses de noviembre y diciembre, respectivamente para el agua superficial del Estero de Urías, Sinaloa, mientras que en este estudio se reportan de 24°C para noviembre y 26°C para el mes de diciembre. A su vez, Díaz (2012) en las Bahías de Ohuira y Topolobambo, Sinaloa, en la Estación VII obtuvo una temperatura media de 27.12°C (d. e \pm 5.44), la media del presente estudio fue de 22.54°C (d. e \pm 2.99). Febles-Patrón y colaboradores (2009) registraron valores de temperatura de agua superficial mínimos de 20.1°C y máximos de 38°C en Chabihau, Yucatán.

Los cambios en los valores de textura y materia orgánica del suelo en la temporada de estudio de presente trabajo, ya han sido reportados por Horstman *et al.* (2018), quienes relacionan la materia orgánica y cambios texturales del suelo, debido principalmente a sitios que presentaban altos contenidos de arena antes de la remoción de manglares, asociados con una alta exposición a corrientes de marea y vientos. A su vez, el agua circula a través del suelo cambiando las propiedades del suelo (Globe, 2005). Con relación a las texturas de los sustratos de los módulos, arcillo-arenoso y franco-arenoso, Hernández (2013), reporta que las plantas de *Rhizophora mangle* crecen en texturas de suelos que van desde ligeras a medias hasta pesadas, que son arena, arena limoso, limoso y arena, arcilloso limoso y arcilla; específicamente menciona que los árboles desarrollan mayor estatura y forma de crecimiento columnar en los estuarios de los ríos tropicales de mayor tamaño, caracterizados por tener sedimentos de arcilla,

sedimentos de lodo negro con relativamente altas cargas de carbono orgánico. La ficha técnica elaborada por CONAFOR (2014) para la utilización de *Rhizophora mangle* como especie para la reforestación, menciona que la textura en donde se deben plantar los individuos de esta especie es arcillo-limosa y arcillosa. textura Franco-arenosa, es la misma que reportan López-Portillo y colaboradores (2014) para el área degradada colindante al sitio del presente trabajo de la Poligonal Z I, en donde observó una dismunición del horizonte 0 y la presencia de capa o “tapete” microbiano de 1 a 2 cm profundidad. Esta misma textura Franco-arenosa, la reporta Benítez (2007) en las isletas de dragado donde realizó su trabajo de forestación con plántulas de *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa* en la Bahía de Navachiste, Sinaloa y también es reportada en bosques de manglar para Puerto Morelos, Quintana Roo por ECOSUR, en su estudio para la Caracterización y Diagnóstico de Humedales en 2011.

El análisis que se obtiene de los resultados se refiere a dos situaciones particulares (tomando en cuenta que estadísticamente no se presentaron diferencias significativas): a) el estudio se realizó en un área de perturbación en la que no se presenta regeneración natural, con una alta salinidad promedio y valores máximos de 100 ups, así como bajo contenido de materia orgánica, sumado a modificaciones en la textura y parámetros de los sustratos integrados en los módulos, debido principalmente a los flujos de agua presentes; b) la mejor época de siembra, si se requiere la sobrevivencia de los individuos, aunque el aumento de talla, en un año, no sea muy representativa, es en lluvia, pero si se requiere aumento en talla, con

baja sobrevivencia, es en la temporada de seca. La elevación de los módulos que se puede tomar en consideración es la de 40 cm, dado que tiene una mayor sobrevivencia y mayor talla.

VIII. CONCLUSIONES

- La sobrevivencia reportada en el presente estudio indica que las condiciones de los factores de nutrientes, salinidad y nivel de inundación, después de siete años de haber realizado la rehabilitación hidrológica, aún no se restituyen para otorgar viabilidad a procesos de reforestación.
- Se generaron diversas interacciones de experimentación, con diferentes niveles de elevación del sustrato para ontrarestar los niveles de inundación casi permanentes, diferentes sustratos que aseguraran nutrientes a los propágulos y plántulas y dos tipos de siembra, directa de trasplante de plántulas de vivero y aun así las plántulas que sobrevivieron no alcanzaron tallas reportadas para reforestaciones en sitios conservados.
- Los niveles de inundación y los parámetros fisicoquímicos del agua superficial temperatura, pH, potencial redox y salinidad, son muy similares a los que se reportan antes y después de la rehabilitación hidrológica.
- Las propiedades de los sustratos suministrados a los módulos, con texturas diferentes al sustrato del sitios de colocación de los módulos, fueron lavados por el flujo de sur a norte presente por la apertura de los terraplenes, mostrando cambios en su constitución inicial y final.

- Si bien aún no se puede establecer un éxito en la rehabilitación hidrológica efectuada en la zona desde 2011, a siete años de haberse realizado no se presentan condiciones de regeneración natural y los esfuerzos por realizar reforestación inducida no han rendido los casos de éxito esperados.

IX. APLICACIÓN PRÁCTICA

México cuenta con una gran riqueza natural. Sin embargo, las estrategias para administrar los recursos naturales no siempre se implementan de manera oportuna para proteger a los mismos, para aprovechar adecuadamente los beneficios que brinda la naturaleza y para obtener a través de un desarrollo sostenible, muchos de ellos imprescindibles para la subsistencia humana.

Entre estos recursos naturales destaca el ecosistema de manglar, el cual ofrece servicios ecosistémicos que son indispensables para un equilibrio en la naturaleza, y de igual forma para la sociedad. Es probado que la vegetación de manglar protege contra la erosión, vientos, oleaje, proporciona mayor productividad a los ecosistemas costeros y por ende beneficios para salvaguardar la infraestructura urbana e incluso la economía de las sociedades costeras.

Actualmente, existen instrumentos legales como leyes, reglamentos, normas y disposiciones internacionales como nacionales que contribuyen a la protección y restauración de los manglares. Para nuestro país, solo hay dos estrategias de política pública para la conservación de los manglares: las ANP y los ordenamientos. Es necesario implementar otros instrumentos como: incentivos para la recuperación de áreas deterioradas, pagos por servicios ambientales, descuentos en impuestos por invertir en áreas privadas de manglares y otros humedales asociados.

En el ámbito internacional, hay tratados tales como la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971), tratado intergubernamental al cual se adhirió México en 1986, siendo el primer acuerdo multilateral sobre el ambiente (AMMA) que se firmó a escala mundial y que constituye el eje principal de una red mundial de humedales que mantienen funciones vitales y prestan servicios de los ecosistemas, tanto para las personas, como para la naturaleza (SEMARNAT, 2012). Del mismo modo están otros tratados intergubernamentales como la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar, el Código de Conducta para la Pesca Responsable y Acta Norteamericana para la Conservación de Humedales (NAWCA), tan solo por mencionar.

A nivel nacional, la normatividad, tiene estrictas disposiciones para regular la conservación y aprovechamiento de los recursos naturales y específicamente de los ecosistemas de manglar. La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 5 de febrero de 1917 (reformada el 15-09-2017), da fundamentos a la prevención y preservación de los recursos naturales, en los artículos 4, 25, 27, 42, 48, 73, 76, 89 y 115. Del mismo modo están las leyes generales y federales que regulan y protegen los humedales como la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) que establece las bases para la preservación y protección de la biodiversidad y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, desafortunadamente estas disposiciones no se ejecutan como se debiera y no se

presentan sanciones a los que deterioran el manglar. En el país existen muchos casos documentados de la carencia de aplicación del estado de derecho. Aún falta mucho por hacer con relación a los humedales en general y los manglares en particular, en otros países como Ecuador, existe una Ley que protege los manglares.

En el caso de leyes sectoriales, la Ley General de Vida Silvestre (LGVS) señala la necesidad de conservar y aprovechar de manera sustentable los recursos y su hábitat, el aprovechamiento sustentable de los recursos forestales maderables y no maderables y de las especies cuyo medio de vida total sea el agua; y en el caso de la Ley de Desarrollo Forestal Sustentable señala, que se debe contribuir al desarrollo social, económico, ecológico y ambiental del país, mediante el manejo integral sustentable de los recursos forestales, así como de las cuencas y ecosistemas hidrológico forestales. Hasta el momento, no se ha conocido alguna sanción que se genere al amparo de estas dos leyes, y casos de deterioro y pérdida de manglar ya se conocen y son establecidos por Valderrama-Landeros et al. (2017)

En materia de Normas Oficiales Mexicanas y que tienen relación con los manglares, se menciona la NOM-059-SEMARNAT-2010 que protege a las cuatro especies de mangle bajo la categoría de Amenazada y la NOM-022-SEMARNAT-2003, que establece las especificaciones para la preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zonas

de manglar. Desafortunadamente estas disposiciones oficiales no son retroactivas y al amparo de permisos obtenidos antes de esas fechas, pero no ejecutados o ejecutados y que han causado deterioro a los manglares no se ejecutan acciones penales.

Como se ha expuesto hasta el momento, existen leyes y normas que se emplean para la conservación del manglar, muchas de ellas son aplicables cuando se busca restaurar una zona afectada por un fenómeno meteorológico o una afectación antrópica. En cualquiera de los casos existen condicionantes que exige la ley para restaurar estos sitios, como el sustento científico y técnico de los proyectos de restauración, el uso de especies nativas dominantes en el área, determinada con base en la composición, estructura, suelo e hidrología, así como una propuesta de monitoreo de cuando menos tres años. Un aspecto negativo que se observa en la legislación es la observancia de la compensación ambiental, que se ha traducido en puedo aprovechar para un uso distinto al establecido si compenso el impacto en otro sitio o inclusive en otro tipo de actividades como la construcción de infraestructura.

X. BIBLIOGRAFÍA

Agraz-Hernández, C.M.; J. Osti; J.J. Jiménez Zacarías; C. García Zaragoza; R. Arana Lezama; E. Chan Canul; L. González Duran; A. Palomo Rodríguez, 2007. Restauración con manglar: criterios y técnicas hidrológicas, de reforestación y forestación. Universidad Autónoma de Campeche, CONAFOR, CFE, 119 p.

Agraz-Hernández, C., J. Osti-Sáenz, C. García-Zaragoza, C. Chan-Keb, E. Chan-Canul, R. Arana-Lezama y M. Torenato-Hidalgo. 2010. Estrategias de Restauración de Ecosistemas de Manglar en México. JAINA, 21 (2): 5-27.

Allen, J. A. *Rhizophora mangle* L. En: Vozzo, J. A. (Ed.) 2002, Tropical tree seed manual. Washington DC, USDA Forest Service. Pag. 675:677.

Barba, E., J. Juárez-Flores. y F. Estrada-Loreto. 2010. Distribución y abundancia de crustáceos en humedales de Tabasco, México. Revista Mexicana de Biodiversidad, 81:153-163.

Basáñez A de J., A. Serrano, L. Cuervo y S.I. Cárdenas. 2016. Ensayos de reforestación con plantas de mangle en la Reserva Ecológica del Complejo Termoeléctrico "Presidente Adolfo López Mateos", Tuxpan, Veracruz". Polibotánica, 42: 91-101.

Basáñez A. de J., G. Olmedo, y P. Rojas. 2006. Características estructurales y usos del manglar en el ejido Cerro de Tumilco, Tuxpan, Veracruz, México. Revista UDO Agrícola, 6(1):114-120.

Basáñez-Muñoz A de J., A. Serrano-Solis, L. Cuervo-López y D.I. Cárdenas-del Ángel. 2016. Ensayos de reforestación con plantas de mangle en la Reserva Ecológica del Complejo Termoeléctrico “Presidente Adolfo López Mateos”, Tuxpan, Veracruz. Polibotánica. 42. 91-101.

Bashan Y., M. Moreno, B.G. Salazar, L. Alvarez. 2013. Restoration and recovery of hurricane-damaged mangroves using the knickpoint retreat effect and tides as dredging tolos. Journal of Environmental Management. 116: 196-203.

Benítez D. 2007. Forestación artificial con manglares en isletas de dragados en una región semiárida de México. Tesis Doctoral, Centro de Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, La Paz, Baja California Sur. 104 p.

Benítez D. 2008. Proyecto piloto de investigación para la rehabilitación hidrodinámica y restauración de manglar en algunas zonas del estado de Sinaloa. Informe Final INE/A1-018/2008. Instituto Nacional de Ecología, Universidad Autónoma de Sinaloa, 43 p.

Benítez-Pardo D., F.J. Flores-Verdugo, M. Casas-Valdez, G. Hernández-Carmona, J.I. Valdez-Hernández y V. 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.

Cárdenas S.I. 2014. Ensayos de reforestación en un área degradada de manglar en el sitio Ramsar No.1602. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Veracruzana, México. 111 p.

Carrillo, E.G. 2008. Casos prácticos para muestreos e inventarios forestales. Edit. Universidad Autónoma de Chapingo. 172 p.

Cervigón F, y A. Gómez. 1986. Las lagunas litorales de la Isla de Margarita: Sus recursos y su conservación. Fundación Científica Los Roques. Caracas. 88 p.

Chan, H. T., Spalding, M., Shigeyuki, B., Kainuma, M., Sarre, A. and Johnson, S. 2012. The Tropical Forest Update is published by the International Tropical Timber Organization. 21(2):1-21.

Cintrón, G., A. E. Lugo, D. J. Pool and Morris, G. 1978. Mangroves of arid environments in Puerto Rico and adjacent islands. *Biotropica* 10: 110-121.

Cintrón-Molero, G. y Schnaeffer-Novelli. 1983. Introducción a la ecología del manglar. Oficina Regional de Ciencia y Tecnología de la Unesco para América Latina y el Caribe. Montevideo, Uruguay, 109 p.

CONABIO. 2009. Manglares de México: Extensión y distribución. 2ª ed. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 99 pp.

CONAFOR. 2014. Fichas técnicas para reforestación. CONABIO. SIRE Paquetes tecnológicos. Consultado 28/02/2019:

<http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/997Rhizophora%20mangle.pdf>.

Creary M.M. 2003. Spatial distribution of epibenthic Bryozoans found on the roots of *Rhizophora mangle*, Kindston, Harbour, Jamaica, W.I. *Bulletin of Marine Science* 73:477-490.

Dale P., J.M. Knight y P.G. Dwyer. 2014. Mangrove rehabilitation: a review focusing on ecological and institutional issues. *Wetlands Ecology and Management*, 22(6): 587-604

De la Cruz-Francisco V. 2012. *Rhizophora mangle* Linnaeus, 1753 como especie sombrilla y razón biológica para la protección y restauración de la laguna de Tampamachoco, Veracruz, México. BIOCYT[®]. 5 (18): 341-352.

Díaz G. J. M. 2012. Macroinvertebrados asociados a manglar como indicadores del impacto en el hábitat de las Bahías de Ohuira y Topolobambo, Sinaloa, México. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma Indígena de México. 339 p.

Domínguez-Domínguez M., J. Zavala-Cruz, P. Martínez-Zurimendi. 2011. Manejo forestal sustentable de los manglares de Tabasco. Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental. Colegio de Postgraduados. Villahermosa, Tabasco, México. 137 p.

ECOSUR. 2011. Estudio para la Caracterización y Diagnóstico de Humedales en Puerto Morelos. CONTRATO NUM. CONANP/DRPYyCM/062-2011. Jardín Botánico "Dr. Alfredo Barrera Marín". Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 65 p.

Ellison A., M. y E.J. Farnsworth. 1997. Simulated sea level change alters anatomy, physiology, growth, and reproduction of red mangrove (*Rhizophora mangle* L.), *Oecologia*, 112:435-446.

Elster, C. 2000. Reason for reforestation success and failure with tree mangrove species in Colombia, *Forest Ecology and Management* 131:201-214.

Elster C., L. Perdomo-Trujillo y M. L. Schnetter. 1999. Impact of ecological factors on the regeneration of mangroves in the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia, *Hydrobiologica* 413: 35–46.

Febles-Patrón, J.F., J. Novelo-López y E Batlori. 2009. Pruebas de reforestación de mangle en una ciénaga semiárida de Yucatán, México. *Madera y Bosques* 15(3):65-86.

Feller, I.C., C.E. Lovelock, U. Berger, K.L. McKee, S.B. Joye y M.C. Ball. 2010. Biocomplexity in Mangrove Ecosystems. *Annual Review of Marine Science*, 2(1): 395-417.

Flores-Verdugo F.J., C.M. Agraz-Hernández y D. Benítez-Pardo. 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., P. Moreno-Casasola, C.M. Agraz-Hernández, H. López-Rosas,

D. Benítez Pardo y A.C. Travieso-Bello. 2007. La topografía y el hidroperíodo: dos factores que condicionan la respuesta de los humedales costeros. Bol. Soc. Bot. Méx. 80 (suplemento): 33-47.

Flores, M., M.A., A. Aguirre, Flores y X. Guardado G. 2010. El impacto que produce el sector turismo en los manglares de las costas mexicanas. 77, 33-38.

Francis, K. J. y Lowe, A. C. 2000. Bioecología de Árboles Nativos y Exóticos de Puerto Rico y las Indias Occidentales. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Servicio Forestal del Instituto Internacional de Dasonomía Tropical, Río Piedras, Puerto Rico General Technical Report IITF-15.

García-Márquez. 1984. Topografía Aplicada. Editorial Concepto, México, 200 p.

Gedan K.B. y B.R. Siliman. 2009. Using facilitation theory to enhance mangrove restoration. *Ambio*, 38 (2): 109.

Gee, G. W. y J. W. Bauder 1986. Particle size analysis. Part 1 p. 383-409. In Klute, A. (ed.). *Methods of soil analysis*. Am. Soc. Agron. Madison, Wisconsin, USA

Gilman E. y J. Ellison. 2007. Efficacy of alternative low-cost approaches to mangrove restoration, American Samoa. *Estuaries and Coasts*. Vol. 30 (4): 641-651.

Globe. 2005. Investigación de suelos. The Global Learning and Observation to benefit the Environment. Consultado 28/02/2019:

https://www.globe.gov/documents/10157/381040/soil_chap_es.pdf

González-Hernández L. A. Sol-Sánchez, A. Pérez-Vázquez, J.J. Obrador-Olan. 2016. Sobrevivencia y crecimiento de mangle negro (*Avicennia germinans* L.) en plantaciones reforestadas y regeneración natural. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Núm. 14, febrero-marzo 2016: 2769-2782.

Halpern B. S., S. Walbridge, K. A. Selkoe, C. V. Kappel, F. Micheli, C. D'Agrosa, J.F. Bruno, K. S. Casey, C. Ebert, H. E. Fox, R. Fujita, D. Heinemann, H. S. Lenihan, E. M. P. Madin, M. T. Perry, E. R. Selig, M. Spalding, R. Steneck, and R. Watson. 2008. A Global Map of Human Impact on Marine Ecosystems, *Science*, 319 (5865); 948-952.

Harpem B., K. Selkoe, F. Micheli y C. Kappel. 2007. Evaluating and ranking the vulnerability of global marine ecosystems to anthropogenic threats. *Conservation Biology* 21 (5): 1301-1315.

Harrison, P.J., S.C. Snedaker, s.i. Ahmed y F. Azam.1994. Primary producers of the indues River Delta, Pakistan: An Overview, *Tropical Ecology*. 35(2): 155-184.

Harry O.B, C.B. Nyles. 1982. *Naturaleza y propiedades de los suelos*. Editorial UTEHA, Mexico. 388 p.

Hernández V. F. 2013. Protocolo para la reproducción de mangle rojo (*Rhizophora mangle*) en vivero. Pronatura Veracruz, A.C. y ITSZ Ingenieros. Tlacotalpan, Veracruz. 73 p.

Hoffman, W.E. y J.A. Rodger Jr. 1980. A cost/benefit analysis of two large coastal plantings in Tampa Bay, Florida. *Wetlands Conference Proceeding*. Tampa, Fla. EUA. 14 p. Consultado 28/02/2019:

<http://images.library.wisc.edu/EcoNatRes/EFacs/Wetlands/Wetlands07/reference/econatres.wetlands07.whoffman.pdf>

Horstman E.M., C.L. Lundquist, KR. Bryan, R.H. Bulmer, J.C. Mullarney y D.J. Stokes. 2018. The dynamics of expanding mangroves in New Zealand. En: Makowski C. y C.H. Finkl (eds.). 2018. *Threats to mangrove forests: Hazards, vulnerability and management*. Coastal Research Library y Springer. Sitzerland. 723 p.

Jiménez, J. A. 1994. Los mangles del Pacífico Centroamericano. Universidad Nacional, Instituto Nacional de Biodiversidad. Costa Rica, 336 p.

Kauffman J.B., D.C. Donato y M.F. Adame. 2013. Protocolo para la medición, monitoreo y reporte de la estructura, biomasa y reservas de carbono de los manglares. Documento de Trabajo 117. Bogor, Indonesia: CIFOR. 48 p.

Kieckbusch D.K., M.S. Koch, J.E. Serafy y W.T. Anderson 2004. Trophic linkage among primary producers and consumers in fringing mangroves of subtropical lagoons. *Bulletin of Marine Science*, 74(2):271-285.

Kodikara, K.A.S., L.P. Jayatissa, M. Huxham, F. Dahdouh-Guebas y N. Koedam, 2018. The effects of salinity on growth and survival of mangrove seedlings changes with age. *Acta Botanica Brasilica* 32: 37–46.

Krauss K.W., C. Lovelock y K.L. Mckee. 2008. Environmental drivers in mangrove establishment and early development: A review. *Aquatic Botany*, 89 (2): 105-127.

Lewis III, R.R. 1990. Creation and restoration of coastal plain wetlands in Florida: 73-101: En J.A. Kusler y M.E. Kentula (eds.), *Wetland Creation and Restoration*:

The Status of the Science. Vol. I. Environmental Protection Agency (EPA), U.S.A.
468 p.

Lewis III, R.R. 2005. Ecological engineering for successful management and restoration of mangrove forests. *Ecological Engineering*, 24 (4):403-418.

Lewis III, R.R. y B. Streever. 2000. Restoration of mangrove habitat. WRP Technical Notes Collection (ERDC TN-WRP-VN-RS-3.2), U.S. Army Engineer Research and Development Center. Vicksburg, MS. Consultado 28/02/2019:
https://www.reefresilience.org/pdf/Lewis_Streever_2000.pdf

López-Portillo, J. y E. Ezcurra. 2002. Los manglares de México: una revisión. *Madera y Bosques*, Número especial: 27-51.

López-Portillo, J. A., A. L. Lara, E. Sáinz, V. M. Vásquez, M. Rodríguez, M. C. Martínez, O. Bartolo, I. I. Ortiz y G. Alvarado. 2014. Restauración hidráulica en la laguna de Tampamachoco en el estado de Veracruz para la rehabilitación del manglar y de sus servicios ambientales. Instituto de Ecología A.C. Informe Final SNIB-CONABIO. Proyecto No.HH025. México, D.F.

<http://www.conabio.gob.mx/institucion/cgi-in/datos.cgi?Letras=HH&Número=25>.

Lugo, A. E. y S.C. Snedaker. 1974. The ecology of mangroves. *Annual Review of Ecology and Systematics* 5: 39-64.

McKee K.L. 1995. Seedling recruitment patterns in a Belizean mangrove forest: effects of establishment ability and physicochemical factors, *Oecologia* 101(4): 448-460.

McKee K.L., J.E. Rooth e I.C. Feller. 2007. Mangrove recruitment after forest disturbance is facilitated by herbaceous species in the Caribbean, *Ecological Applications* 17 (6): 1678-1693.

McMillan C. 1971. Environmental factors affecting seedling establishment of the black mangrove on the central Texas coast. *Ecology* 52: 927-930.

Mendoza E., A. Basáñez y A. Serrano. 2016. Microtopografía e hidroperíodo en un área de manglar del Sitio Ramsar No. 1602. Bosque de manglar de la laguna de Tampamachoco, Veracruz. Editorial Académica Española. Alemania. 109 p.

Milano G.R. 2000. Island restoration and enhancement in Biscayne Bay, Florida: 1-17. En: P.J. Cannizarro (Ed.) *Proceedings of the 26 th Annual Conference on Ecosystem Restoration and Creation Hillsborough Community Coolege, Tampa, FL.*

Mitchell K., G. Dunsworth, D.G. Simpson y A. Vyse. 1998. Planting and seeding. En: Lavander D.P., R. Parish, C.N. Johnson, G. Montgomery, A. Vyse, R.A. Willis y D. Winston. Regenerating British Columbia's Forests. UBC Press / Vancouver. 371 p.

Moreno-Cassasola P. y D.M. Infante. 2009. Manglares y selvas inundables. Instituto de Ecología A.C., CONAFOR y OIMT. Xalapa, Ver. México. 150 p.

Moreno P., J.L. Rojas, D. Zárate, M.A. Ortiz, A.L. Lara y T. Saavedra 2002. Diagnóstico de los manglares de Veracruz: distribución, vínculo con los recursos pesqueros y su problemática, Madera y Bosques. Número especial: 61–68.

Moreno E., A. Guerrero, M del C. Gutiérrez, C.A. Ortiz y D.J. Palma, 2002. Los manglares de Tabasco, una reserva natural de carbono, Madera y Bosques. Número Especial: 115-128.

Moroyoqui-Rojo L., F.J. Flores-Verdugo, G. Hernández-Carmona, M. Casas-Valdez, R. Cervantes-Duarte y E.H. Nava-Sanchez. 2012. Remoción de nutrientes con dos especies de mangle (*Rhizophora mangle* y *Laguncularia racemosa*) en estanques experimentales de cultivo de camarón (*Litopenaeus vannamei*). Ciencias Marinas 38 (2): 333-346.

Mudroch A., J.M. Azcue.1995. Manual of Aquatic Sediment Sampling. Lewis Publishers. Boca Raton. 219 p.

Muriuki J.K., A. Kuria, C. Muthuri, A. Mukuralinda, A.J. Somoins y E.H. Jamnadass. 2013. Testing biodegradable seedling containers as an alternative for polythene tubes in tropical small-scales tree nurseries. Springer. Publish online: 14 June 2013. Consultado 28/02/2019:

<file:///C:/Users/8.1/Downloads/MuriukietalbiodegradabletubesdSSFOcopy.pdf>

Nettel A., R.S. Dodd, A. Rafii, y C. Tovilla-Hernández. 2008. Genetic diversity enhanced by ancient introgression and secondary contact in East Pacific Black mangroves, *Molecular Ecology* 17: 2680-2690.

Novelo J. 2005. Evaluación del método “camas de sedimento” para la reforestación de manglar (*Rhizophora mangle* L.) en la ciénaga de Progreso, Yucatán, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Yucatán, México, 85 p.

Ortiz M.A. y A.P. Méndez. 2000. Componentes naturales y de uso del suelo vulnerables a las variaciones del nivel del mar en la costa Atlántica de México. *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía*, 41:46-61.

Rabinowitz, D. 1978. Early growth of mangrove seedlings in Panamá, and an hypothesis concerning the relationship of dispersal and zonation, *Journal of Biogeography* 5: 113–133.

Ramírez, L. 2005. Factores que afectan la propagación y establecimiento de *Avicennia germinans* L. en ambientes degradados de regiones semiáridas subtropicales. Tesis de Maestría en Ciencias Marinas. Universidad de Puerto Rico, 108 p.

Ramsar. 2005. Ficha informativa de los humedales de Ramsar, Manglares y Humedales de Tuxpan. Consultado el 28/02/2019:

http://www.conanp.gob.mx/conanp/dominios/ramsar/docs/sitios/FIR_RAMSAR/Veracruz/Manglares%20y%20Humedales%20de%20Tuxpan/Manglares%20y%20Humedales%20de%20Tuxpan.pdf

Reyes M.A. y C. Tovilla. 2002. Restauración de áreas alteradas de manglar con *Rhizophora mangle* en la costa de Chipas. *Maderas y Bosques*. Número especial: 103-114.

Ricklefs R.E. y G.L. Miller. 2000. *Ecology*. 4th edition. W.H. Freeman, New York. 822 p.

Rico-Gray V. y M. Palacios. 1996. Salinidad y el nivel del agua como factores en la distribución de la vegetación en la ciénaga del NW de Campeche. México. Acta Botánica Mexicana 34: 53-61.

Riley R.W. y C.P. Salgado. 1999. Riley encased methodology: principles and processes of mangrove habitat creation and restoration. Mangrove and Salt Marshes 3 (4):207-213.

Rodríguez D.M. 2016. Crecimiento de plántulas de *Rhizophora mangle* en tres diferentes sustratos sobre módulos biodegradables. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (Biología Marina). Universidad Veracruzana. 65 p.

Rodríguez-Rodríguez J.A, K. Vásquez, C. Gómez-Cubillos, L. Licero y L.F. Espinosa. 2015. Piloto de restauración de ecosistemas de manglar en La Guajira. Guía técnica para la construcción y operación del vivero experimental Üüttaakat: una estrategia para recuperar el manglar. INVEMAR. Santa Marta, Colombia. 44 p

Rodríguez-Zuñiga M.T, C. Troche-Souza, A.D. Vázquez-Lule, J.D. Márquez-Mendoza, B. Vázquez-Balderas, L. Valderrama-Landeros, S. Velázquez-Salazar, M.I. Cruz-López , R. Ressler, A. Uribe-Martínez, S. Cerdeira-Estrada, J. Acosta-

Velázquez, J. Díaz-Gallegos, R. JiménezRosenberg, L. Fueyo-Mac Donald, y C. Galindo-Leal. 2013. Manglares de México/Extensión, distribución y monitoreo. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México D.F. 128 p.

Sanjurjo E. y S. Welsh. 2005. Una descripción del valor de los bienes y servicios ambientales prestados por los manglares, *Gaceta Ecológica*74: 55-68.

Sarukhán J., P. Kolef, J. Carabias, J. Soberón, R. Dirzo, J. Llorente-Bousquets, G. Halffter, R. González, I. March, A. Mohar, S. Anta, y J. de la Maza, 2009. Capital natural de México. Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. 104 p.

Schuyt, K. y L Brander. 2004. The economic values of the world's wetlands. Gland, Switzerland: World Wide Fund for Nature (WWF).Gland, Suiza.

SEMARNAT.2013. Política Nacional de Humedales. Estrategia nacional para la atención del ecosistema de manglar. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 253 p.

Siddiqi, N. A. y M. A. S. Khan. 1996. Técnicas de plantación para manglares sobre nuevas acreciones en las áreas costeras de Bangladesh. En: C. Field (eds) La restauración de ecosistemas de manglar. ISME y OIMT, pp. 157-175.

Spalding, M, M. Kainuma y L.Collins. 2010. World Atlas of Mangroves. A collaborative project of ITTO, ISME, FAO, UNEP-WCMC, UNESCO-MAB, UNU-INWEH and TNC. London (UK): Earthscan, London. 319 p.

Teutli-Hernández C. y J.A. Herrera-Silveira. 2018. The success of hydrological rehabilitation in mangrove wetlands using box cluverts across coastal roads in northern Yucatan (SE, México): 607-619. En: Makowski C. y Finkl C.H. 2018. Threats to mangrove forests: Hazards, vulnerability and Management. Springer International Publishing A.G. Coastal Research Library 25. 715 p.

Toledo G., A. Rojas y Y Bashan. 2001. Monitoring of black mangrove restoration with nursery-reared seedling on an arid coastal lagoon. *Hydrobiologia* 444: 101-109.

Tovilla C. 1994. Manglares: 371-423. (Eds.) De la Lanza Espino, G. Y Cáceves, C. En: *Lagunas Costeras y el litoral mexicano*. Universidad. Autónoma de Baja California Sur. 525 p.

Tovilla C. y D.E. Orihuela. 2002. Floración, establecimiento de propágulos y supervivencia de *Rhizophora mangle* L. en el manglar de Barra de Tecuanapa, Guerrero, México. Maderas y Bosques Número especial: 89-102.

Vargas O. 2011. Restauración ecológica: biodiversidad y conservación. Acta Biológica Colombiana, 16(2): 221-246.

Valderrama-Landeros L.H., M.T. Rodríguez-Zúñiga, C. Troche-Souza, S. Velázquez-Salazar, E. Villeda-Chávez, J.A. Alcántara-Maya, B. Vázquez Balderas, M. I. Cruz-López, y R. Ressler. 2017. Manglares de México: actualización y exploración de los datos del sistema de monitoreo 1970/1980 2015. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México. 128 p.

Vovides A.G., López-Portillo J. y Y. Bashan. 2011. N₂-fixation along a gradient of long-term disturbance in tropical mangroves bordering the gulf of Mexico. Biol. Fertil. Soils 47: 567-576.

Wakley A. y A. Black. 1934. An examination of Degtjaref method for determination soil organic matter and proposed modification on the chromic acid titration method. Soil Sci. 37: 29-38.

Wood A., A. Dixon y M.P. McCartney. 2013. Conclusions: Transforming wetland

livelihoods: 258-270 En: Wetland management and sustainable livelihoods in Africa

Wood, A.; A Dixon, M.P McCartney (eds.). New York, USA: Routledge. 280 p.

Yáñez E. L., T. Terrazas y L. M. López. 2001. Effects of flooding on wood and bark anatomy of four species in a mangrove forest community. *Trees* 15: 91-97.

Zaldívar A., J.A. Herrera-Silveira y L. Capurro. 2000. Soil salinity and community structure of two mangrove forests in Yucatan, Southeastern Mexico. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 27: 1-4.

Zaldivar-Jiménez, A. 2006. El programa de ecología y manejo de los manglares en la región Península de Yucatán. CONABIO. Taller de consulta para el programa de monitoreo de los Manglares de México 16 de junio de 2006. Consultado 28/02/2019:

https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/manglares2013/pdf/t1/A_Zaldivar_CINVESTAV-IPN.pdf.

Zaragoza A.F. 2015. Modelación del flujo hidrológico en manglares para fines de restauración hidráulica en Tampamachoco, Veracruz. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Químicas (Ingeniería Ambiental). Región Xalapa. Universidad Veracruzana. 77 p.

XI. ANEXOS

Un primer análisis que se desarrolló fue la determinación de la textura en los tres sustratos seleccionados. La textura del suelo fue determinada mediante análisis mecánico según el método del Hidrómetro de Bouyoucos, bajo el siguiente procedimiento para los dos sustratos:

1. El suelo se dejó secar al aire libre por dos semanas (debido al exceso de humedad en el sustrato), posteriormente fue pesado y se colocaron 50 g en un vaso de batidora (Fig. 1)



Figura.1. Pesado de los dos sustratos

2. Mediante una pipeta se agregaron 10 ml de dispersantes a las muestras del suelo (Fig. 2):

- a) Metafosfato de sodio
- b) Oxalato de sodio.



Figura 2. Dispersantes de las partículas del suelo

4. Se agregaron 100 ml de agua destilada en un vaso de precipitado de 250 ml.
5. A continuación, se agitó en la batidora durante 30 minutos
6. Se vació la mezcla del sustrato y dispersantes y los 100 ml de agua destilada en una probeta con capacidad de 1000 ml, procurando que no quedara nada de suelo en el vaso (Fig. 3).



Figura 3. Vertido del contenido del vaso en una probeta de 1000 ml.

6. Dentro de la probeta fue colocado en densímetro de Bouyoucos, para posteriormente aforar hasta los 1000 ml agua destilada utilizando una pizeta (Fig. 4).



Figura 4. Colocación del densímetro de Bouyoucos en la probeta de 1000 ml

7. A los 40 segundos, se hizo una primera lectura de la suspensión con el densímetro y la temperatura mediante un termómetro (densidad 1 y temperatura 1) (Fig. 5).

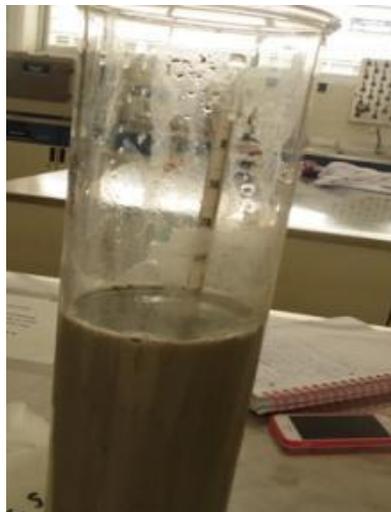


Figura 5. Lectura de temperatura mediante termómetro

7. El densímetro fue retirado y se agitó enérgicamente durante 1 minuto con una varilla de vidrio, moviéndola de arriba hacia abajo para que las partículas de la muestra de suelo queden homogéneamente distribuidas en todo el volumen de la probeta (Fig. 6).



Figura 6. Agitado de la suspensión mediante una varilla de vidrio

8. La solución se dejó en reposo durante dos horas. Transcurrido este tiempo se procedió a realizar una segunda lectura, con el densímetro y el termómetro (densidad 2 y temperatura 2). En esta lectura, al observarse en la superficie de suspensión abundante espuma, se agregaron dos gotas de alcohol amílico para disminuirla.

Los valores obtenidos se procesan mediante las siguientes fórmulas:

$$\% \text{Arena} = 100 - \frac{\text{densidad 1} + \text{temperatura corregida 1}}{\text{Peso del Suelo (50 g)}} \times 100$$

$$\% \text{Arcilla} = \frac{\text{temperatura corregida 2} + \text{densidad 2}}{\text{Peso del Suelo (50 g)}} \times 100$$

$$\% \text{Limo} = 100 - (\% \text{Arena} + \% \text{Arcilla})$$

$$\text{Corrección de temperatura} = t \text{ } ^\circ\text{C} - 19.5 = \text{-----} \times 0.36 = \text{-----}$$

El segundo análisis que se efectuó fue la materia orgánica en los dos sustratos A, B y C. La materia orgánica fue determinada mediante la técnica de Walkley y Black.

1. El suelo se dejó secar al aire libre por dos semanas (debido al exceso de humedad en el sustrato), posteriormente fueron pesados en una maquina analítica el sustrato A fue de 1.5g y el B de 1.2g debido a que el sustrato B presentaba demasiada materia orgánica se decidió bajar el peso de la muestra (Fig. 7).



Figura. 7 pesado de los sustratos

2. Se coloca cada muestra de sustrato en un matraz Erlenmeyer. Al igual que con un duplicado que se le agrego el mismo reactivo menos sustrato (Fig.8).



Figura 8. Vertido de los reactivos en los sustratos A y B y el duplicado

2. Se agregaron en los tres matraces 10 ml de dicromato de potasio y se agito suavemente.
3. Bajo la campana de extracción de gases se agregaron a las dos muestras de suelo y al duplicado 20 ml de ácido sulfúrico concentrado dejando resbalar el ácido por las paredes del matraz y se mezcló con precaución (Fig.9).



Figura.9 Mezclado de los reactivos

4. Se agito por un minuto y se dejó 30 minutos de reposo
5. Se procedió a agregar 200 ml de agua destilada a cada matraz y después 10 ml de ácido fosfórico.
6. Se añadieron tres gotas del indicador difenilamina
7. Se llenó una bureta con la solución de sulfato ferroso al 0.5
8. Se inició la titulación, se mantuvo un goteo constante de la solución de sulfato ferroso y al mismo tiempo se agitaba el contenido del matraz donde se apreciaba el cambio de color de la solución (Fig.10).



Figura. 10. Proceso de titulación en los dos sustratos y el duplicado

9. Al inicio de la titulación, el color de la solución fue de verde botella y fue cambiando a un color azul, el cual se fue escureciendo poco antes de que se realizara el cambio a un verde esmeralda brillante, al obtenerse ese cambio se suspendió la titulación (Fig.11).



Figura 11. Titulaciones de los sustratos A y B y el duplicado

Los valores obtenidos se procesan mediante las siguientes fórmulas:

$$MO(\%) = 10\left(1 - \frac{M}{B}\right)(1.34)$$

10 = volumen de dicromato de potasio.

M = valoración de la muestra, ml de disolución ferrosa.

B = valoración en blanco, ml de la solución ferrosa.

K = constante, varía según la cantidad de suelo a utilizar.

Un tercer análisis que se analizó fue la determinación de la salinidad del sustrato A, B y C, mediante la conductividad eléctrica por el método del conductímetro bajo el siguiente procedimiento.

1. Se pesaron 20g de suelo y se colocaron en un vaso de precipitado de 200 ml (Fig.12).



Figura. 12 vasos de precipitado con los sustratos A y B

2. Se le agregaron 40 ml de agua destilada, y se cubre con un vidrio de reloj y Se coloca en el agitador magnético para darle 5 minutos de tiempo (Fig.13).

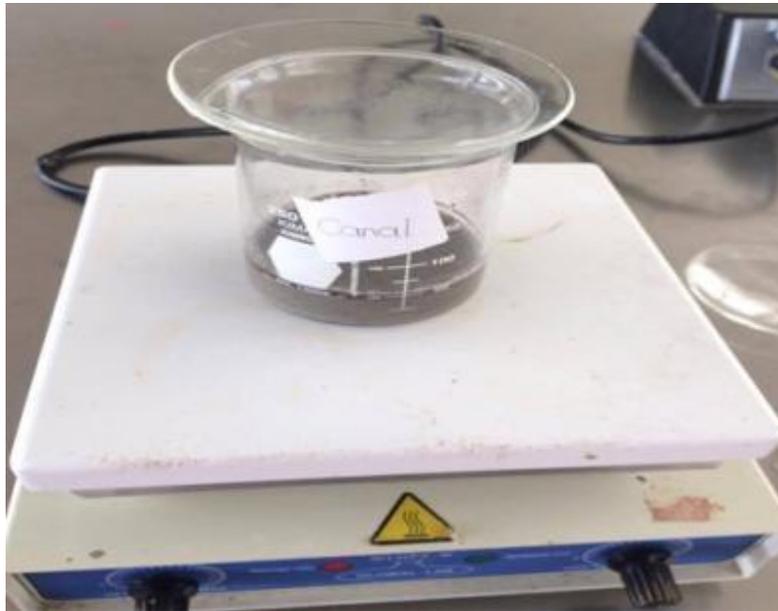


Figura 13. Mezcla del sustrato y agua destilada

3 Pasando el tiempo de agitación, se realizó la filtración (Fig.14).

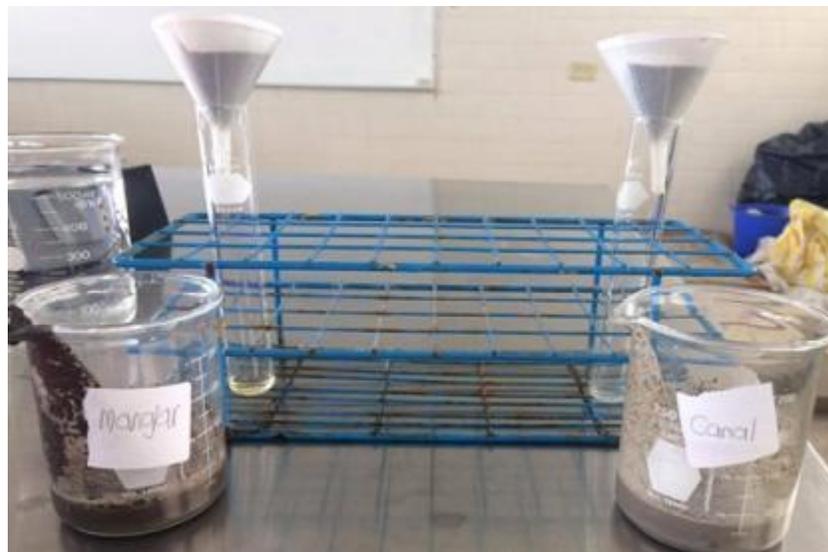


Figura14. Filtración de los sustratos A, B y C

3. Una vez terminado el filtrado se procedió a medir la conductividad eléctrica de la muestra introduciendo el electrodo en la suspensión del

suelo, esperando 20 segundos para tomar la lectura de conductividad eléctrica (Fig.15).



Figura 15. Lectura de la conductividad eléctrica

Una vez obtenidas, las tres muestras de los sustratos se introdujo el electrodo verificando que esté en contacto íntimo con el suelo (Fig.16).



Figura 16. Sustratos A, B y C.

El cuarto análisis que se realizó fue el potencial redox del sustrato A, B y C mediante la técnica de análisis de suelos con la solución ZoBell.

Se verifica, el contenido de la solución de inmersión de referencia (KCl), al menos una pulgada por arriba del nivel en que se tomará la lectura. Se enjuaga el electrodo con agua desionizada y se seca con un papel suave. Verter la solución ZoBell, introducir el electrodo y el termómetro y registrar la temperatura y el potencial después de 15 a 30 minutos de estabilización (+/- 5 mV). 4) Enjuagar el electrodo y el termómetro con agua desionizada y secarlos con un papel suave.

Para el Cálculo del potencial óxido reducción con respecto al hidrógeno (Eh) es mediante las siguiente formula

$$E_h = E_{\text{medido}} + E_{\text{ref.}}$$

E_h = potencial relativo al electrodo de hidrógeno (mV).

E_{medido} = potencial redox medido en milivolts.

E_{ref} = potencial redox de referencia

PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL SUELO *IN SITU* Y EN MÓDULOS DE REFORESTACIÓN

6.2.1. Textura

a) Sustrato de apertura de canales.

La textura encontrada en los sitios de colecta de sustrato de los canales del terraplén, al establecer su %Arena (4.04), %Arcilla (81.84) y %Limo (14.12) en el Triángulo textural (USDA), fue de tipo **Arcilla** (Fig. 17a y 18a); pasado un período de un mes se realizó el mismo estudio, pero ahora del sustrato colocado en los módulos, reportándose una modificación en su % arena (53.16), %arcilla (46.52) y % limo (-0.32), que, resultando, **Arcillo arenoso** (Fig. 17b y 18b).

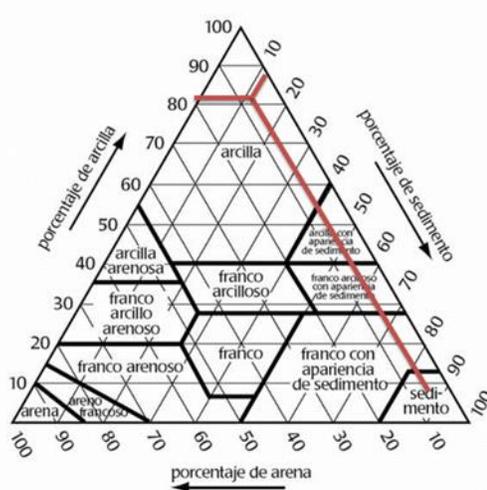


Figura 87a. Textura de sustrato de canales de apertura de terraplenes obtenido *IN SITU*

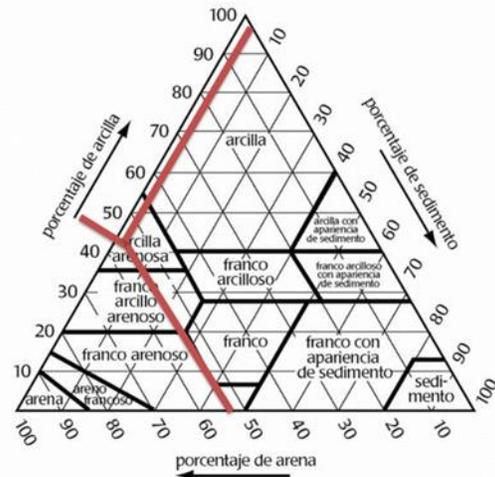


Figura 97b. Textura de sustrato de canales de apertura de terraplenes en módulos

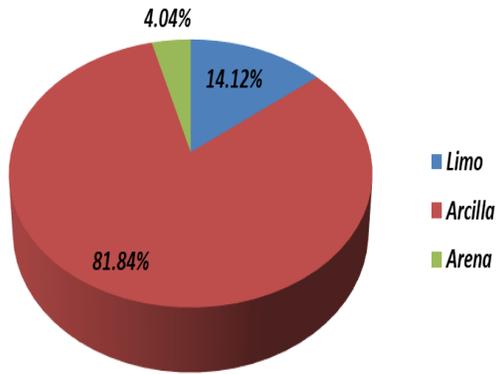


Figura 108a. Porcentaje de sustratos de canales de apertura de terraplenes obtenido *IN SITU*

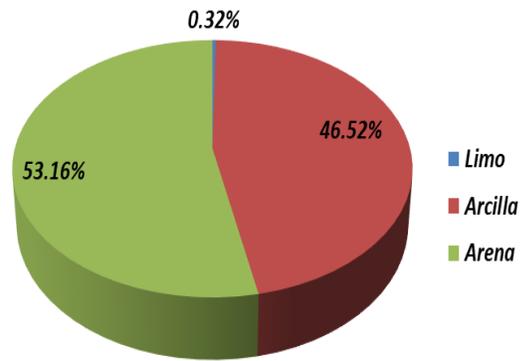


Figura 118b. Porcentaje de sustratos de canales de apertura de terraplenes en módulos

a) Sustrato de manglar

Para el sustrato que se obtuvo directamente del manglar, la textura encontrada se conformó de un %Arena con 42.04, %Arcilla obtuvo 33.96 y %Limo fue de 24, por lo que el triángulo textural (USDA), mostró la textura, Franco **Arcilloso** (Fig. 19a y 20a). Al realizar el análisis del sustrato en los módulos, un mes después, se obtuvo un valor de %arena fue de 52.44, el %arcilla de 17.56 y %limo de 30, resultando **Franco arenoso** (Fig. 19b y 20b).

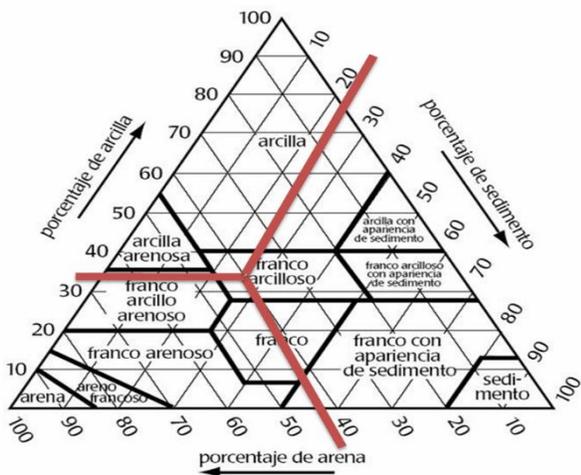


Figura 19a. Porcentaje de sustratos de canales de apertura de terraplenes obtenido *IN SITU*

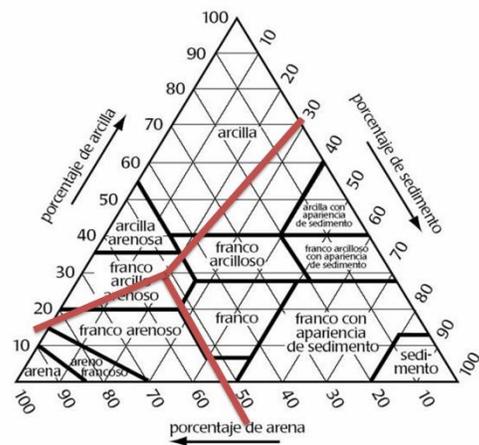


Figura 19b. Porcentaje de sustratos de canales de apertura de terraplenes en módulos

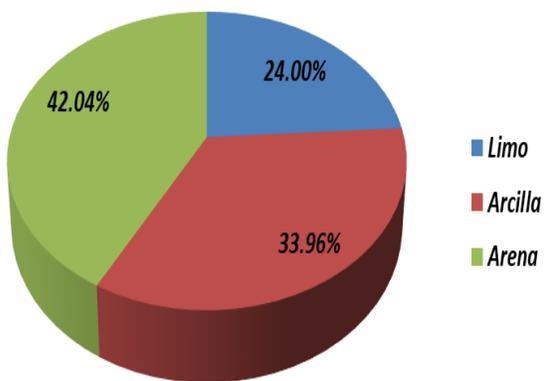


Figura 20a. Textura de sustrato manglar obtenido *in situ*

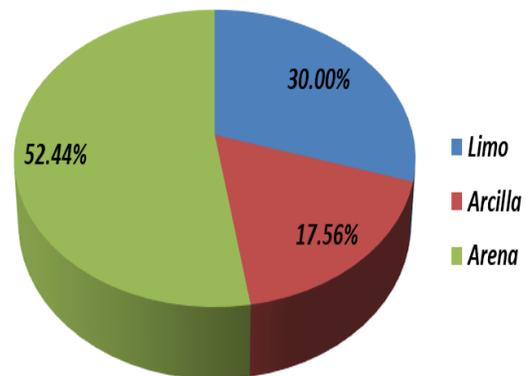


Figura 20b. Textura de sustrato manglar en módulos

a) Sustrato de la Poligonal ZIII

Por último, la textura reportada en el sustrato de esta poligonal Z III fue con un %Arena de 43.16, el %Arcilla de 14.84 y el %Limo con 42, trasladado al Triángulo textural (USDA), resultó Suelo **franco** (Fig.21 y 22).

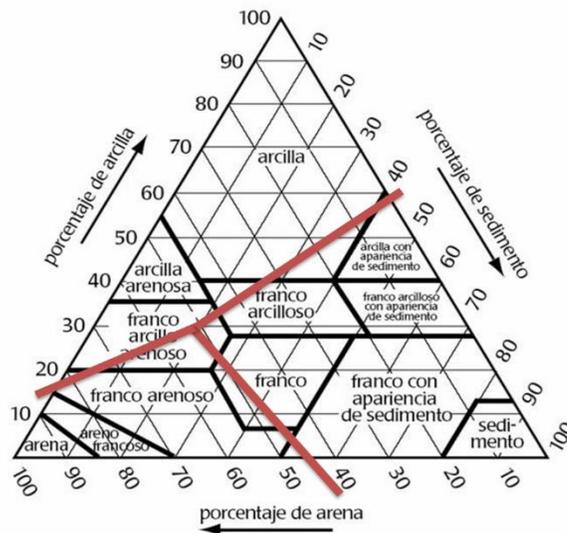


Figura 21. Textura de sustrato de la Poligonal ZIII

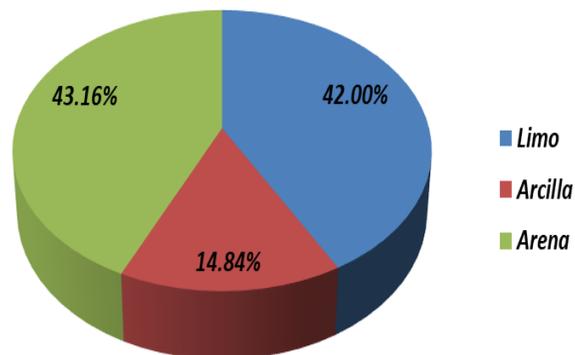


Figura 22. Porcentaje de sustratos de Poligonal Z III obtenido *IN SITU*