

**UNIVERSIDAD METROPOLITANA
ESCUELA GRADUADA DE ASUNTOS AMBIENTALES
SAN JUAN, PUERTO RICO**

**ESTRATEGIAS RECOMENDADAS DE SIEMBRA DE MANGLE ROJO
(*RHIZOPHORA MANGLE*) EN EL ESTUARIO DE LA BAHÍA DE SAN JUAN,
PUERTO RICO**

Requisito parcial para la obtención del
Grado de Maestría en Ciencias en Gerencia Ambiental
en Conservación y Manejo de Recursos Naturales

Por
Diana M. Ferro Díaz

9 de diciembre del 2010

DEDICATORIA

*A todas aquellas personas
que han trabajado y luchado
por la conservación y
protección del medio ambiente.*

AGRADECIMIENTO

Esta tesis ha requerido de gran esfuerzo y dedicación de mi parte, así como la cooperación de otras personas que sin su valiosa aportación no hubiera sido posible su finalización. Agradezco a mi mentor de tesis el Dr. Jorge Bauzá, científico ambiental del Programa del Estuario de la Bahía de San Juan, por brindarme su ayuda, conocimientos, herramientas y aportar valiosas recomendaciones para llevar a cabo ésta investigación. Mi gratitud a los profesores de la Escuela de Asuntos Ambientales de la Universidad Metropolitana y lectores de este estudio, el Dr. Carlos Padín y el Dr. Juan Musa, por sus amplios consejos y correcciones al documento. De igual manera quisiera reconocer a la entidad ambiental el Corredor de Yaguazo y su presidente, el Sr. Pedro Carrión, por su cooperación y colaboración para llevar a cabo la siembra de mangle en el Parque Recreativo La Esperanza, y por su interés en el transcurso de la investigación. Además agradezco al personal del Programa del Estuario de la Bahía de San Juan por su ayuda desde el comienzo del estudio.

Gracias a mi familia que me acompañaron en esta etapa y que, a lo largo de toda mi vida, han apoyado y motivado mi formación académica. Por creer en mí en todo momento y por nunca dudar de mis habilidades para alcanzar mis metas y sueños. A mi abuela por la información que me brindó de sus artículos de periódico y referencias de años atrás, pero que sin su motivación, apoyo y oraciones no hubiera tenido las fuerzas para culminar. Para finalizar quisiera agradecer a todas y cada una de las personas que pusieron un granito de arena en la realización de esta tesis.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE APÉNDICES.....	ix
LISTA DE SÍMBOLOS O ABREVIATURAS	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT	xii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
Trasfondo del Problema de Estudio	1
Problema de estudio	6
Justificación del estudio	10
Pregunta de Investigación	10
Meta	11
Objetivo	12
CAPÍTULO II REVISIÓN DE LITERATURA	13
Trasfondo histórico	13
Tipos de mangles en Puerto Rico	13
Cambios en la cobertura vegetal de los mangles en Puerto Rico.....	13
Plan de Manejo para el Área de Planificación Especial de los Mangles de Puerto Rico.....	17
Historia del Estuario de la Bahía de San Juan	19
Problemas en el Estuario de la Bahía de San Juan	20
Plan Integral de Manejo y Conservación para el Estuario de la Bahía de San Juan	21
Marco teórico.....	25
Características del mangle rojo (<i>Rhizophora mangle</i>)	25
Factores estresores en los mangles	28
Manejo de los mangles	31
Conservación de los mangles	32
Restauración de los mangles	34
Técnicas de siembra de mangles	34
Estudios de Casos	41
Estudio de caso 1	41
Estudio de caso 2.....	44
Estudio de caso 3.....	44
Estudio de caso 4.....	47
Marco legal	50
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	59
Área de estudio	59

Período de estudio	60
Diseño metodológico	60
Objetivo: Comparar dos técnicas de siembra de mangle rojo (<i>Rhizophora mangle</i>) para determinar si hay alguna diferencia en la tasa de crecimiento de las plántulas y en el número de hojas por mes desarrolladas por técnica.	60
Técnica de Restauración Bauzá	61
Técnica Encapsulada de Riley	62
Análisis de datos	63
Análisis de las plántulas por técnica de siembra	64
Análisis del número de hojas desarrolladas por técnica de siembra	65
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	66
Comparación de dos técnicas de siembra de mangle rojo (<i>Rhizophora mangle</i>) para determinar si hay alguna diferencia en las tasas de crecimiento y en el número de hojas desarrolladas por mes de las plántulas de mangle rojo por técnica.....	66
Evaluación de las plántulas en las técnicas de siembra	66
Evaluación de las hojas desarrolladas en las técnicas de siembra.....	67
Factores limitantes al crecimiento de los propágulos o plántulas y número de hojas desarrolladas	68
Técnica de Restauración Bauzá	68
Técnica Encapsulada de Riley	70
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	72
Estrategias recomendadas.....	73
Técnica de Restauración Bauzá.....	73
Técnica Encapsulada de Riley	74
Manejo	75
Conservación.....	78
Investigación	78
Educación.....	79
Limitaciones	80
Conclusión.....	80
LITERATURA CITADA	82

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Medidas de las alturas iniciales (cm), finales (cm), crecimientos (cm) y tasa de crecimientos (cm/mes) de las plántulas escogidas de mangle rojo (<i>Rhizophora mangle</i>) en la Zona1 (Técnica de Restauración Bauzá)	94
Tabla 2.	Medidas de las alturas iniciales (cm), finales (cm), crecimientos (cm) y tasa de crecimientos (cm/mes) de las plántulas de mangle rojo (<i>Rhizophora mangle</i>) en la Zona 2 (Técnica Encapsulada de Riley)	97
Tabla 3.	Resultados de la prueba de varianza One Way ANOVA de las tasa de crecimientos de la plántulas de mangle rojo (<i>Rhizophora mangle</i>) por técnica de siembra	100
Tabla 4.	Promedios del número de hojas desarrolladas por mes de las plántulas de mangle rojo (<i>Rhizophora mangle</i>) en la Zona 1 (Técnica de Restauración Bauzá).....	101
Tabla 5.	Promedios del número de hojas desarrolladas por mes de las plántulas de mangle rojo (<i>Rhizophora mangle</i>) en la Zona 2 (Técnica Encapsulada de Riley)	104
Tabla 6.	Resultados de la prueba de varianza One Way ANOVA del número de hojas desarrollas de las plántulas de mangle rojo (<i>Rhizophora mangle</i>) por técnica de siembra	107

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio en el Parque Recreativo La Esperanza, José Álvarez Brunet en Cataño109
- Figura 2. Gráfica comparativa de los promedios y DS de las tasas de crecimiento (cm/mes) de las plántulas de mangle rojo (*Rhizophora mangle*) por técnica de siembra110
- Figura 3. Gráfica comparativa de los promedios y DS del número de hojas desarrolladas por mes de las plántulas de mangle rojo (*Rhizophora mangle*) por técnica de siembra111

LISTA DE APÉNDICES

Apéndice 1. Recolecta de los propágulos de mangle rojo (<i>Rhizophora mangle</i>)	113
Apéndice 2. Cuadrilla de 25.83 m ² dividida en las zonas de estudio: Zona 1 y Zona 2	115
Apéndice 3. Dispositivo de madera con propágulos de mangle rojo (<i>Rhizophora mangle</i>) atado con una cinta biodegradable	117
Apéndice 4. Dispositivos de madera instalados en el sedimento a una distancia de 58.42 cm uno de otros	119
Apéndice 5. Tubos de PVC instalados en el sedimento a una distancia de 38.10 cm uno de otro	121
Apéndice 6. Mezcla de arena con <i>putting soil</i> (50/50) dentro del tubo de PVC hasta llegar al nivel del agua	123
Apéndice 7. Tiesto de cartón biodegradable con la mezcla 50/50 y un propágulo de mangle rojo (<i>Rhizophora mangle</i>) a una distancia de 0.84 cm de profundidad del tiesto	125
Apéndice 8. Tiestos introducidos en el tubo hasta llegar al nivel del agua	127
Apéndice 9. Zonas de estudio con sus técnicas	129
Apéndice 10. Hoja de monitoreo	131

LISTA DE SÍMBOLOS O ABREVIATURAS

APE	Área de Planificación Especial
CCMP	Plan Integrado de Manejo y Conservación para el Estuario de la Bahía de San Juan
DRNA	Departamento de Recursos Naturales y Ambientales
EPA	Environmental Protection Agency
EBSJ	Estuario de la Bahía de San Juan
ha	hectárea
JP	Junta de Planificación
NEP	National Estuary Program
DS	desviación estándar
PMM	Plan de Manejo para el Área de Planificación Especial de los Manglares
PMZC	Programa de Manejo de la Zona Costanera
PVC	policloruro de vinilo
ups	unidades prácticas de salinidad

RESUMEN

Las comunidades de manglares en la Bahía de San Juan han sido degradadas por factores antropogénicos con el pasar de los años, disminuyendo la cobertura de los mismos en el Estuario de la Bahía de San Juan (EBSJ). El Programa de la Bahía de San Juan es una entidad que trabaja para restaurar las condiciones y ecosistemas en el estuario. Una actividad que el Programa ha realizado para aumentar la cobertura de manglares es la siembra de mangle rojo (*Rhizophora mangle*) empleando dos técnicas de siembra: Técnica Encapsulada de Riley y la Técnica de Restauración Bauzá. El objetivo principal de este estudio es comparar dos técnicas de siembra de mangle rojo (*Rhizophora mangle*) para determinar si hay alguna diferencia en las tasas de crecimiento de las plántulas y en el número de hojas desarrolladas por mes por técnica. Para lograr este objetivo, llevamos a cabo una siembra en una zona del Parque Recreativo La Esperanza José Álvarez Brunet en Cataño, empleando dos técnicas de siembra: la Técnica de Restauración Bauzá (Zona 1) y la Técnica Encapsulada de Riley (Zona 2). Estas zonas fueron monitoreadas semanal (primer mes) y mensualmente (segundo al quinto mes) durante un periodo de cinco meses. Al culminar este periodo, recopilamos, tabulamos y analizamos los datos del monitoreo utilizando el programa Microsoft Excel. Mediante este programa calculamos el crecimiento y la tasa de crecimiento de las plántulas en cada técnica, y el promedio y la desviación estándar de la tasa de crecimiento de las plántulas por técnica de siembra. Igualmente, calculamos el promedio del número de hojas desarrolladas por mes de cada plántula en cada técnica, y el promedio y la desviación estándar de hojas desarrolladas por técnica de siembra. Realizamos una prueba de varianza One Way ANOVA para la tasas de crecimiento de las plántulas y para el número de hojas desarrolladas de mangle rojo (*Rhizophora mangle*) por técnica de siembra. Esta prueba determinó que estadísticamente hubo una diferencia en las tasas de crecimiento de las plántulas y en el número de hojas desarrolladas por técnica de siembra. Las plántulas de mangle rojo en la Técnica Encapsulada de Riley exhibieron un mayor crecimiento y número de hojas desarrolladas. A base de estos hallazgos, desarrollamos estrategias recomendadas para las técnicas de siembra de mangle utilizadas en el estudio y para la conservación, manejo, investigación y educación de las áreas de manglares en el EBSJ.

ABSTRACT

Mangrove communities in the San Juan Bay have been degraded by anthropogenic factors with the passing of the years, reducing their coverage in the San Juan Bay Estuary (SJBE). The San Juan Bay Estuary Program is an organization working to restore the conditions and ecosystems in the estuary. One activity that the program has done to increase mangrove coverage is planting red mangrove (*Rhizophora mangle*) using two planting techniques: Riley Encapsulated Technique and Bauzá Restoration Technique. The main objective of this study is to compare two red mangrove (*Rhizophora mangle*) planting techniques to determine if there is any difference in growth rates of seedlings and number of leaves developed per month per technique. To achieve this goal, we conducted a crop in a zone of Parque Recreativo La Esperanza José Álvarez Brunet in Cataño, using two planting techniques: Bauzá Restoration Technique (Zone 1) and Riley Encapsulating Technique (Zone 2). These zones were monitored weekly (first month) and monthly (second to fifth month) during a period of five months. At the end of this period, we collected, tabulated and analyzed the monitoring data using Microsoft Excel program. With this program we calculated the growth of seedlings and the growth rate of seedlings in each technique, and the mean and standard deviation of the growth rate of seedlings per planting technique. Similarly, we calculated the average number of leaves developed per month for each seedling in each technique, and the mean and standard deviation of leaves developed per planting technique. We performed a variance One Way ANOVA test for growth rates of seedlings and the number of leaves developed of red mangrove (*Rhizophora mangle*) per planting technique. The test determined that statistically there was a difference in the rate of growth of seedlings and number of leaves developed per planting technique. The red mangrove seedlings on the Riley Encapsulated Technique exhibited a higher growth and number of leaves developed. Based on these findings, we developed recommended strategies for the mangrove planting techniques used in this study and for the conservation, management, research and education of the mangroves areas in the SJEB.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Trasfondo del Problema de Estudio

“El Caribe tiene un número de islas grandes y pequeñas que acogen especies endémicas y un clima tropical que promueve una alta diversidad de especies” (Gould et al., 2008, p.8). Entre estas islas podemos encontrar la isla tropical de Puerto Rico. Aunque esta isla es la más pequeña de las Antillas Mayores (8,870 km²), está dotada con prestigiosos recursos naturales en forma de vida silvestre, fauna, flora y en términos de comunidades y ecosistemas los cuales están dispersos en toda la Isla. Los recursos naturales son los elementos de la naturaleza que se pueden hallar en forma no modificada y que representan fuentes de aprovechamiento para beneficio del ser humano. Entre la diversidad de los recursos naturales que podemos hallar en la Isla, se encuentran las comunidades de manglares.

El manglar posee adaptaciones para colonizar y desarrollarse en terrenos anegados, sujetos a intrusiones de agua salada o salobre (Suárez, 2007). Al ser éste un ecosistema abierto (Carrera & Lugo, 1978) forma parte de las cinco unidades más productivas del mundo. De acuerdo a González, Urrego, Martínez, Polanía, & Yokoyam (2010) las comunidades de mangles son áreas de transición entre el continente y el océano. Quizhpe (2008, p. 2) nos indica que este recurso natural se puede encontrar “entre los trópicos de Cáncer y Capricornio, tanto en América, África, Asia y Oceanía”. La temperatura es el factor determinante en la distribución latitudinal de las especies de

mangles (Hoff, Hensel, Proffitt, Delgado, Shigenaka, Yender & Meams, 2010). El área global de manglares está distribuida en 117 países (Upadhyay, Ranjan & Singh, 2002), cerca de la desembocadura de ríos y arroyos o alrededor de esteros y lagunas costeras. Los manglares están compuestos de alrededor de 110 especies diferentes, incluyendo árboles, arbustos, palmas y helechos.

Según la FAO (2007) el primer estimado del área total de cobertura de mangle en el mundo fue realizado, en 1980, por la FAO/United Nations Environment Programme (UNEP) *Tropical Forest Resources Assessment*. Para esa fecha la cobertura de mangles se estimó en 15.6 millones de ha. Actualmente esta cobertura varía entre 12 a 20 millones de ha. Filipinas posee la mayor biodiversidad de manglares a nivel mundial (Polidoro et al., 2010). Las áreas de manglares más extensas en las Antillas Menores se encuentran en Martinica (Bahía de Fort-de-France) y Guadalupe (Grand Cul-de-sac Marin Laguna) y cubren un total de 4,800 ha (Imbert, Rousteau, & Scherrer, 2000). En comparación con las Filipinas, en la región de Caribe sólo encontramos 4 especies de mangle (Piou, Berger, Hildenbrandt & Feller, 2008).

Los bosques de manglares son importantes mundialmente tanto en el aspecto económico, como en el social y ambiental. En el aspecto económico, alrededor de 10 millones de personas en el trópico y subtrópico dependen de los productos que éstos proveen. Estos productos son: forestales, marinos y ecoturísticos (FAO, 1994). Las raíces de los manglares trabajan como un tipo de "vivero" ya que provee un entorno para la reproducción, cría y alimentación de la fauna marina cosechable. En Ecuador los manglares, desde la época prehispánica, han ejercido roles importantes en el sustento de distintas comunidades costeras (Bodero & Robadue, 1995). Costanza et al. (1997, p.

253) indica que “las economías de la Tierra se detendrían sin los servicios de los ecosistemas ecológicos que sustentan la vida, así que en cierto sentido, su valor total para la economía es infinito.” En el aspecto social, los mangles son importantes ya que su belleza natural y diversidad ecológica respaldan el turismo y las actividades acuáticas recreativas que se llevan a cabo en sus alrededores. En el aspecto ambiental los beneficios ecológicos incluyen la estabilidad de las costas, reducción de la energía de las olas y del viento y proveen hábitat a la vida silvestre. “El mosaico de hábitats de manglares provee gran variedad de componentes de biodiversidad que son importantes para la función y calidad ambiental de los ecosistemas estuarinos tropicales” (Yáñez-Arancibia, Twilley & Lara-Domínguez, 1998, p. 5). Según Mumby et al. (2004, p. 533), “los manglares en el Caribe influyen fuertemente en la estructura comunitaria de peces en los arrecifes de coral vecinos. Igualmente, la biomasa de algunas especies de importancia comercial es más del doble cuando el hábitat de los adultos está conectado a los manglares”. Los árboles de mangle atrapan los sedimentos, escombros y absorben contaminantes que son arrastrados por las corrientes de agua mediante su sistema de raíces, manteniendo así las bahías y los arrecifes de coral limpios y saludables.

Las regiones del Golfo de México y el Caribe se caracterizan por una baja riqueza de especies de mangle, con sólo cuatro especies dominantes: *Rhizophora mangle* (mangle rojo), *Avicennia germinans* (mangle negro), *Laguncularia racemosa* (mangle blanco), y *Conocarpus erectus* (mangle botón). Cuba posee un área total de manglares de aproximadamente 532,400 ha (Escobar, Fragas, Sánchez, Pérez, Riverón & Marrero, 2007).

“A pesar de estar localizado en la latitud 18°N, Puerto Rico, según el sistema de clasificación de Holdridge’s, está incluido en las Regiones Latitudinales Subtropicales” (Ewel & Whitmore, 1973, p.8). Las cuatro especies de mangles que se encuentran en la Isla son: mangle rojo, mangle negro, mangle blanco y mangle botón. De éstas, el mangle rojo suele ser la primera en establecerse, prefiriendo lugares más húmedos y aguas abiertas poco profundas (Heatwole, 1985). Alrededor de toda la Isla encontramos distribuidas 119 áreas de manglar, las cuales comprenden aproximadamente 22,971 cuerdas. Uno de los lugares en donde podemos encontrar la mayor concentración de manglares es en el Estuario de la Bahía de San Juan (EBSJ).

Localizado en la costa norte de la Isla, el EBSJ es un sistema estuarino semicerrado el cual está conectado al Océano Atlántico a través de una serie de bahías, canales y lagunas. La cuenca hidrográfica del EBSJ está compuesta por ocho municipios: Toa Baja, Cataño, Bayamón, San Juan, Guaynabo, Carolina, Loíza y Trujillo Alto. De acuerdo al *Plan Integral de Manejo y Conservación para el Estuario de la Bahía de San Juan* (Programa del Estuario de la Bahía de San Juan, 2001), el sistema estuarino está constituido por los siguientes elementos: Bahía de San Juan, Laguna del Condado, Laguna San José, Laguna los Corozos, Laguna la Torrecilla, Laguna de Piñones, Canal San Antonio, Canal Suárez y Caño Martín Peña. El agua dulce entra al sistema por el Río Puerto Nuevo, las quebradas Juan Méndez, San Antón y Blasina, el Canal de la Malaria y por inundaciones del Río Grande de Loíza. El agua de mar llega a través de la Boca del Morro, El Boquerón y Cangrejos.

Entre los diversos recursos naturales que componen el EBSJ podemos encontrar las comunidades de manglares. Los manglares del sistema constituyen hábitats

especialmente importantes que albergan una diversidad de especies tanto terrestres como acuáticas. Muchas de las especies endémicas vulnerables o en peligro de extinción utilizan el sistema como hábitat.

La población total en Puerto Rico para el año 2000 era de 3,808,610 habitantes. (Comisión Estatal de Elecciones, 1998-2002). La población de los municipios costeros que componen el EBSJ, para el año 1990, era de casi 622,000 de personas y la densidad poblacional era de 8,327 personas por milla². Estos habitantes residen en la cuenca hidrográfica o de drenaje de la Bahía de San Juan. La cuenca es relativamente pequeña (251.22 kilómetros) y se extiende sobre una amplia planicie costera que consiste de 214.96 kilómetros de terreno y 36.25 kilómetros de agua. Es en esta cuenca donde el mayor desarrollo de urbanizaciones residenciales, comercios y hoteles ha tomado lugar. Este desarrollo ha tenido como resultado la modificación y pérdida de algunos hábitats importantes de la Bahía de San Juan. El dragado y relleno en la bahía, las lagunas y los canales ha perturbado o trastornado una porción considerable de los recursos naturales asociados con las aguas del sistema estuarino, entre ellos las comunidades de manglares. Como resultado, gran cantidad del área de mangles en el estuario ha disminuido.

Una alternativa que muchos países están utilizando, incluyendo Puerto Rico, para mitigar el impacto que las distintas actividades antropogénicas y naturales han tenido sobre este ecosistema, es la ejecución de programas y técnicas de reforestación y restauración de las comunidades de manglares. Sin embargo, debido a las condiciones de la zona donde se encuentran los mangles del estuario, un programa de reforestación requiere de una planificación que implique un conocimiento detallado de los parámetros hidrológicos del sistema acuático donde se desarrollan, del patrón e intensidad del oleaje,

de la clasificación y química de los sedimentos y del conocimiento de la presencia o ausencia de contaminantes en agua y sedimentos. El problema mayor en una siembra exitosa es la dificultad de encontrar una localización con las condiciones ambientales adecuadas y apropiadas para la subsistencia del mangle durante sus etapas de desarrollo. Lamentablemente, los esfuerzos de reforestación a nivel mundial se han realizado en ausencia de un análisis previo del sitio de siembra (Kirui, Huxham, Kairo, & Skov, 2008). El ecosistema del manglar tarda 50 años en alcanzar su desarrollo óptimo por lo que un análisis del lugar de siembra es mandatorio para escoger las especies indicadas y asegurar el éxito de la reforestación (Calderón, Arbuto, & Ezcurra, 2009). La pérdida continua de los bosques de mangles mundialmente subraya la importancia de los proyectos enfocados a la restauración de la estructura y funciones del bosque. Este tipo de proyecto se ha realizado en lugares donde el manglar ha experimentado daños significativos (Duke & Allen, 2006, p.14).

Problema de estudio

Aun cuando existe una conciencia ambiental sobre la importancia y beneficios que los manglares proveen, continúa la reducción global de este tipo de bosque (Howari, Jordan, Bouhouche, & Wyllie-Echeverria, 2009). Según Valiela, Bowen & York (2001), esta disminución a partir del año 1980 se estima en un 35% de pérdida. Con el tiempo, esta disminución puede ocasionar grandes impactos ambientales. Algunas actividades antropogénicas responsables de esta pérdida son: modificaciones del terreno por el desarrollo urbano e industrial, la agricultura, la minería y la extracción de madera.

En Puerto Rico, la reducción de este recurso natural se ha observado desde el año 1800 por las malas estrategias de planificación en la Isla. La disminución y destrucción

de áreas de manglares ha sido resultado, principalmente, del corte y relleno y del desarrollo y construcción de hoteles, comercios y residencias (DRNA, 2003). Además de los impactos mencionados, la falta de datos y actualización de los mismos no ha permitido un manejo efectivo del recurso. Afortunadamente, la cobertura del ecosistema de mangle en Puerto Rico ha aumentado en un 12%, de 7,443 ha a 8,323 ha (Martinuzzi, Gould, Lugo, & Medina, 2009) debido al abandono de la industria agrícola en la Isla durante las últimas décadas. Este abandono ha permitido que algunos de los terrenos que una vez fueron utilizados para la agricultura hoy sean reforestados con bosques de manglar. Aunque ha ocurrido un aumento de mangle en la Isla, aún hay zonas que están experimentando algún tipo de pérdida o están siendo amenazadas por actividades que se realizan o se desarrollan en el área donde se encuentra este importante recurso natural.

Una de las áreas de mangle en la Isla que se ha visto afectada, en las últimas décadas, por el impacto antropogénico y natural ha sido el EBSJ. Aquí, los manglares cubren alrededor del 33% del total de los acres de mangles en Puerto Rico. Según el *Plan Integral de Manejo y Conservación para el Estuario de la Bahía de San Juan* (Programa del Estuario de la Bahía de San Juan, 2001, p.13), “el EBSJ es único en comparación con otros Programas Nacionales de Estuarios. Está localizado en una región tropical y fuera de los Estados Unidos continentales. Su naturaleza tropical queda evidenciada en la diversidad de hábitats y especies en el estuario. Sus múltiples aberturas aumentan las influencias que recibe de zonas costaneras cercanas así como las que ejerce sobre éstas.”

Algunos de los problemas principales que el sistema estuarino enfrenta son: las descargas de alcantarillados pluviales a la bahía, descargas sanitarias ilegales,

construcción de viviendas y hoteles, sedimentación proveniente de construcciones aledañas, dragados en la bahía, extracciones de arena, disposición ilegal de basura, corte de mangle para uso de su madera, entre otros. Además, el desparrame urbano en la cuenca del estuario ha ocasionado que se destruyan algunos de sus valores intrínsecos. Los sectores, en el EBSJ, donde se han observado u ocurrido una mayor reducción en las comunidades de manglares durante las últimas décadas son: la Bahía de San Juan y Laguna del Condado con 52 ha (30%), Caño Martín Peña con 278 ha (67%) y la Laguna San José y Canal Suarez con 153 ha (54%).

El Programa del Estuario de la Bahía de San Juan es una entidad que vela por la protección y conservación del EBSJ y sus recursos naturales, entre ellos los manglares. En el 2001, elaboró y desarrolló un *Plan Integrado de Manejo y Conservación para el Estuario de la Bahía de San Juan* (CCMP, por sus siglas en inglés), el cual contiene programas y actividades para la preservación y restauración de hábitats ecológicamente importantes que han sido impactados durante las últimas décadas.

Entre los objetivos que tiene el Programa del EBSJ es la restauración de 200 ha de mangles en distintos sectores del estuario. Para cumplir con el objetivo antes mencionado, el Programa durante los últimos años junto a voluntarios de escuelas, comunidades o personas que se preocupan por el medio ambiente han realizado restauraciones y siembras de mangle rojo (*Rhizophora mangle*) en distintas áreas. Las restauraciones y siembras han sido efectuadas empleando los métodos conocidos como la Técnica Encapsulada de Riley y en años recientes, la Técnica de Restauración Bauzá. En la Técnica Encapsulada de Riley la plántula del mangle rojo es sembrada en el interior de un tubo de policloruro de vinilo (PVC). “Esta técnica permite la protección de la plántula

del embate del oleaje, la acción de las mareas, la escorrentía y contacto con material flotante” (DRNA, 2007, p.7) hasta que las raíces se desarrollen y puedan sostenerse por sí mismas. Este método de siembra es uno de los más utilizados no tan solo en Puerto Rico sino alrededor del mundo para este tipo de actividad. Ha dado resultados positivos en la restauración de mangle rojo en las distintas áreas del estuario. El Programa del Estuario de la Bahía de San Juan (2009, p.46), nos indica que la Técnica de Restauración Bauzá consiste en “sembrar cuatro plántulas de mangle rojo alrededor y adheridas a un soporte. Esta técnica resultó ser una de rápido crecimiento y poco invasiva al entorno pues su gran éxito se debe a que se desarrolla tomando en consideración las condiciones particulares al medio estuarino.”

Aunque ambos métodos han sido eficientes, el Programa del EBSJ ha encontrado que éstos enfrentan algunas dificultades, tales como: no todos los suelos del estuario en donde se quiere realizar una siembra de mangle son los más apropiados para implantar dichos métodos y las personas, al no tener conocimiento del método y sus beneficios, “vandalizan” o destruyen el mismo por su apariencia o por conveniencia (esto aplica a la Técnica Encapsulada de Riley).

El Programa del EBSJ trabaja activamente para restaurar la mayor parte posible del manglar a través del estuario. La implantación de programas de restauración para este ecosistema abarca desde la recuperación del mismo, hasta restablecer su importancia como barrera natural contra huracanes, tsunamis e inundaciones. La importancia de la restauración de los manglares en un área son: la protección contra fenómenos atmosféricos, la disminución de contaminantes y la creación de hábitats para la vida silvestre de la región. “El factor más importante en el diseño de un proyecto de

restauración de mangles exitoso es determinar la hidrología normal (profundidad, duración, frecuencia de la inundación por marea) de las comunidades de mangles existentes naturalmente en el área que se desea restaurar” (Lewis, 2001, p.9). Por lo tanto esta investigación será beneficiosa ya que la misma ayudará a establecer nuevas estrategias recomendadas para actividades futuras de siembra de mangle rojo en el EBSJ.

Justificación del estudio

Lugo (2006, p.64) indica que “dada la topografía accidentada de Puerto Rico, la mayor parte de la actividad humana se ha llevado a cabo en las llanuras costaneras. Esto ha causado que la vegetación costera haya sufrido una reducción neta en su cobertura y cambios en su estructura y composición de especies.”

El EBSJ está localizado dentro de una zona costera de gran actividad urbana, lo cual ha provocado que los ecosistemas de manglar se vean afectados por las distintas actividades que se realizan en su cuenca. Durante los últimos siglos, el sistema del EBSJ ha brindado valiosos recursos naturales a los residentes de la región. Desafortunadamente, “las necesidades de una creciente población han tenido como resultado la explotación de los recursos naturales del sistema y la degradación y destrucción de muchos de los componentes del sistema” (Programa del Estuario de la Bahía de San Juan, 2001, p. 12).

Actualmente, el Programa no ha realizado una investigación comparativa sobre cuál de las técnicas de siembra de mangle rojo utilizadas en los proyectos de restauración y siembra de mangle en el estuario, tiene una mayor efectividad en la tasa de crecimiento y en el número de hojas desarrolladas de las plántulas de mangle rojo. El Programa está interesado en la evaluación y comparación de las técnicas para determinar si hay alguna

diferencia significativa en las tasas de crecimiento de las plántulas y en el número de hojas desarrolladas de mangle rojo por técnica de siembra.

El propósito de esta investigación es establecer estrategias recomendadas para futuras siembras de mangles en el área del Estuario de la Bahía de San Juan. Además, mediante esta investigación y los datos obtenidos se podrá: a) ayudar a futuros programas de reforestación promovidos por el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan o por otras organizaciones ambientales, b) los datos obtenidos podrán ser utilizados para futuras investigaciones científicas, c) actualizar los distintos métodos de siembra, reforestación y estrategias que pueden ser utilizadas para este tipo de actividad y, e) las estrategias recomendadas podrán ser utilizadas como una guía o marco de referencia para aminorar los efectos de las presiones a las que están expuestos los mangles del estuario.

En conclusión al culminar esta investigación, la misma nos proveerá las herramientas necesarias para hacer recomendaciones y considerar medidas de restauración adecuadas para las futuras siembras en el EBSJ.

Pregunta de Investigación

¿Cuales dos técnicas de siembra de mangle rojo, utilizadas por el Programa del EBSJ, tendrá la mayor efectividad en la tasa de crecimiento y en el número de hojas desarrolladas de las plántulas de mangle rojo (*Rhizophora mangle*)?

Meta

La meta de esta investigación es desarrollar estrategias recomendadas de siembra de mangle rojo (*Rhizophora mangle*) para futuras siembras en el Estuario de la Bahía de San Juan.

Objetivo

Comparar dos técnicas de siembra de mangle rojo (*Rhizophora mangle*) para determinar si hay alguna diferencia en las tasas de crecimiento de las plántulas y en el número de hojas desarrolladas por mes por técnica.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

Trasfondo histórico

Los recursos naturales de Puerto Rico están clasificados en recursos biológicos (organismos vivos), hídricos (el recurso agua y sus implicaciones), geológicos y geomorfológicos (los relacionados a la corteza terrestre, los que la componen y sus implicaciones) y los energéticos (de los que generamos energía). Entre los recursos naturales hídricos encontramos las comunidades de manglares de la Isla. Estas comunidades se pueden observar a través de las costas en: la orilla del mar, bordeando ríos costeros, y en cuencas costeras. Como se ha mencionado anteriormente la Isla cuenta con cuatro especies de mangles: *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus*.

Según Hoff et al. (2010, p. 9) “..., los manglares se definen por su ecología en lugar de su taxonomía”. Lugo & Snedaker (1974) desarrollaron una clasificación fisiográfica mundial de los manglares: de hamaca, de cuenca, de islote, borde, enanos y riberinos. De estos seis tipos, en Puerto Rico podemos encontrar cuatro: de cuenca, de islote, riberinos y de borde. De acuerdo el *Plan de Manejo para el Área de Planificación Especial de los Manglares de Puerto Rico* (DRNA, 2003, p.2) estos tipos de mangles se describen de la siguiente manera:

- “Manglar de borde: se desarrolla a lo largo de los márgenes de costas protegidas, de canales, ríos, lagunas u otros cuerpos marinos o

estuarinos. Este tipo de mangle está colonizado principalmente por el mangle rojo el cual domina en la parte extrema donde la energía es mayor. En el interior domina el mangle negro. Los manglares de borde se caracterizan por experimentar el lavado diario de las mareas, salinidad relativamente constante, concentraciones bajas de nutrientes, alta intensidad de oleaje, vientos fuertes y el rocío salado del mar. Entre las funciones que realiza este tipo de manglar se encuentra la protección de la costa y alta tasa de exportación de materia orgánica a los cuerpos de agua.

- **Islote de mangles:** los islotes de mangles se caracterizan por estar dominados por el mangle rojo y por ser bañados diariamente por las mareas. Estos se desarrollan sobre escollos, espigones o proyecciones de la costa. La importancia de este manglar radica en su valor como habitáculo para la vida silvestre y en su capacidad para disipar la energía rompiente del mar. Una función importante de los islotes es la de servir de habitáculo donde crecen y se desarrollan comunidades en sus raíces y en los fondos aledaños. Estos sustratos son importantes como criaderos de juveniles. Además, ofrecen protección y alimentan a muchos organismos marinos.
- **Manglar ribertino:** de los cuatro tipos fisiográficos los manglares ribertinos generalmente son los más productivos. Estos se encuentran en las áreas sujetas a intrusión salina en las planicies inundables. En la orilla de los cuerpos de agua, crece el mangle rojo; tierra adentro

existe una co-dominancia de mangle negro y mangle blanco. Helechos y otras especies asociadas a los mangles ocurren en las zonas de menos salinidad en el manglar. La alta productividad de este mangle se debe a la baja salinidad, la disponibilidad y el lavado y aeración que permite el flujo y reflujo de las mareas. El manglar ribertino actúa como exportador de materia orgánica, regulador de la calidad del agua y habitáculo para la vida silvestre, por lo que impacta positivamente a los sistemas aledaños a éste. Estos bosques generalmente, son excelentes para la producción de madera y leña. También protegen la orilla de la erosión y sostienen importantes poblaciones de peces y mariscos, muchos de los cuales son de importancia comercial.

- Manglar de cuenca: ocurre en depresiones de terrenos sujetos a intrusiones salinas e inundaciones estacionales. El terreno donde se encuentra este manglar puede tener una salinidad mayor que la prevaleciente en los otros tres tipos de manglar. Otra característica de los terrenos donde ocurre el manglar de cuenca es que las aguas están estancadas y son ambientes altamente reducidos. Estos bosques están formados mayormente por el mangle negro, aunque el mangle blanco también existe. Los manglares de cuenca son sensitivos a la sedimentación excesiva y a inundaciones prolongadas”.

Martinuzzi et al. (2009) evaluó 97 áreas de mangles en Puerto Rico y encontró la siguiente distribución: 14 en áreas urbanas, 62 en áreas rurales y 21 manglares rodeados por desarrollos de terrenos y espacios abiertos. Además, de las 97 áreas evaluadas, 33

estaban localizadas en terrenos protegidos, 40 fuera de reservas y 24 tenían una porción en ambas clasificaciones.

Los manglares en Puerto Rico están divididos en dos categorías: costa norte y costa sur. Para propósitos de esta investigación se describirá solamente la primera categoría ya que el EBSJ está localizado en esta región. El DRNA (2003, p.4) describe esta costa como una que se “caracteriza por tener un régimen de alta energía del oleaje. Este factor limita el establecimiento de manglares a localidades detrás de las dunas de arena, promontorios rocosos, o en tierras bajas riberinas en donde están protegidas del embate de las olas. Otra característica de esta costa es que recibe una precipitación y escorrentía considerable mayor que la que recibe la costa sur. Como resultado de estos factores los manglares de la costa norte usualmente no están en contacto directo con las aguas marinas. Predominan los de cuenca y riberinos”.

Cambios en la cobertura vegetal de los mangles en Puerto Rico

Los mangles en Puerto Rico han recibido enormes presiones las cuales han creado conflictos y cambios significativos en su cobertura vegetal durante los últimos años. Los científicos Martinuzzi et al. (2009) en su artículo *Conservation and recovery of Puerto Rican mangrove: 200 years of change*, determinaron que los mangles de la Isla han pasado por cuatro períodos de cambios en su cobertura en los últimos 200 años:

- Primer período: se desarrolla durante el período de la agricultura en los años 1800 a 1938. El área de cobertura de mangles se redujo de 11,791 a 6,475 ha, ya que fue deforestada para la agricultura y su hidrología alterada.

- Segundo período: este período marcó el fin de la era de la agricultura entre 1938 y 1959, lo cual ocasionó una recuperación natural leve con un aumento de 7,285 ha. En estos años comienza el período de la industria en Puerto Rico, ocasionando la migración de la población hacia los centros urbanos en las montañas y las costas.
- Tercer período: entre los años 1959 y 1971 se observa un aumento en el desparrame urbano hacia las costas. Esto tuvo como consecuencia una reducción en la cobertura de mangles de 540 a 6745 ha.
- Período vigente: este período se le conoce como el período de recuperación del mangle. A partir del 1971 surge una conciencia sobre los beneficios e importancia del recurso natural y se crean una serie de leyes y reglamentos para su conservación y protección. Para 1980 los terrenos que una vez habían sido utilizados para la producción de la caña de azúcar, son utilizados para prácticas leves de agricultura y pastoreo. En el 2000 la cobertura de mangles en Puerto Rico era de 8,323 ha.

Plan de Manejo para el Área de Planificación Especial de los Mangles de Puerto Rico

Debido a los diferentes conflictos o problemas, que enfrentan las distintas comunidades de manglares en las costas (e.g. desparrame urbano y desarrollo industrial), en septiembre de 1978, el Programa de Manejo de la Zona Costanera (PMZC) designó un Área de Planificación Especial (APE) que incluye a todos los manglares de Puerto Rico. Las APE fueron designadas luego de que, en 1974, el Departamento de Recursos

Naturales y Ambientales (DRNA) realizara unas investigaciones sobre la cobertura de los mangles en la Isla. Los resultados de esta investigación determinaron que hubo una pérdida mayor, 1,500 cuerdas de mangles hasta el año 1972. Luego en 1989 el DRNA llevó a cabo una segunda evaluación de los manglares. La misma fue realizada por el PMZC, con el fin de diseñar estrategias de manejo para su administración. Esta evaluación incluyó un inventario del área de mangles al 1989 y se utilizaron 12 áreas identificadas como críticas para documentar los problemas que enfrentaba dicho recurso (DRNA, 2003).

Como resultado de estas investigaciones y para garantizar la protección de los manglares de alto valor ecológico, el DRNA preparó el *Plan de Manejo para el Área de Planificación Especial de los Manglares de Puerto Rico* (PMM). Dicho plan fue sometido ante la Junta de Planificación el 18 de agosto del 1994 y fue adoptado el 5 de agosto del 2003. La meta del plan “es la utilización del gran potencial que tienen los manglares para la investigación científica, la educación, la recreación pasiva y el turismo, a la vez que se protegen valiosos aspectos naturales, ambientales y culturales que hacen de este recurso uno de carácter único” (DRNA, 2003, p.vi). Este plan sirve como una guía para futuros planes de manejo para áreas específicas. El PMM consta de cuatro capítulos, en los mismos se discuten: distintos usos y actividades que se pueden realizar en los manglares, el manejo adecuado para que se minimice el impacto que estos tensores puedan tener en el ecosistema y la base legal. Según el Plan, algunas actividades que afectan los manglares son: canalizaciones o desviaciones del flujo de agua hacia el manglar, edificación de diques, vertederos, construcciones de carreteras a través del manglar, construcciones de muelles y marinas, extracción de sal y corte del manglar.

Historia del Estuario de la Bahía de San Juan

En 1992 el EBSJ es nominado para formar parte del Programa Nacional Estuarino (NEP, por sus siglas en inglés) de la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) federal por los impactos o peligros inminentes que, durante las últimas décadas, el sistema estuarino había enfrentado (EPA, 2007). Como resultado de esta nominación se crea el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan. El NEP es un programa federal que reconoce la importancia de la protección de los estuarios nacionales que han sido impactados o afectados por distintas actividades antropogénicas. Al reconocer estos impactos, el programa promueve la preparación de planes de manejo comprensivos (Beller et al., 1999). El EBSJ juega un papel muy importante en el NEP, ya que es el primer estuario de isla tropical que forma parte de dicho programa. En abril de 1993, se convoca la Conferencia de Manejo, en donde se identificaron las áreas de preocupación o de prioridad en el sistema a ser atendidas para mejorar la calidad y las funciones de los distintos recursos naturales que se encuentran en el estuario. En febrero de 1994 se firma el Acuerdo de la Conferencia de Manejo y en el 1995 se inaugura la oficina del Programa del EBSJ.

En el sistema del estuario podemos encontrar una gran variedad de vida silvestre: 160 especies de aves, 19 especies de reptiles o anfibios, 124 especies de peces y 300 especies de plantas de humedal, aproximadamente. Dentro de las distintas especies de plantas de humedal que se encuentran en el estuario están los manglares. Estos están dominados por las especies de: mangle rojo (*Rhizophora mangle*), mangle negro (*Avicennia germinans*), y el mangle blanco (*Laguncularia racemosa*), los cuales componen 3,040 ha del total de mangles en Puerto Rico. El mayor bosque en cobertura

de mangle en la Isla se encuentra en el EBSJ, el Bosque Estatal de Piñones (aproximadamente 2,750 acres).

El ecosistema de mangles del estuario juega un papel muy importante en la Bahía de San Juan ya que el mismo: ayuda a proteger las costas de la erosión y las marejadas, crea terrenos, las raíces de los mangles atrapan y filtran sedimentos, nutrientes y contaminantes que llegan a las aguas de la bahía. También, sus raíces actúan como un “vivero natural” para diferentes especies que las utilizan en su ciclo de vida y, de las cuales, las personas pueden beneficiarse como una fuente de alimento. Además de las funciones anteriores, los mangles del sistema estuarino se utilizan o en ellos se pueden realizar diferentes tipos de actividades: pesca recreativa y deportiva, natación, cacería, pasadías, extracción de madera, educación e investigaciones científicas, producción de carbón y observación de vida silvestre.

Problemas en el Estuario de la Bahía de San Juan

“La Bahía de San Juan es el punto focal de la mayoría del desarrollo pasado y futuro en el Área Metropolitana de San Juan y la cuenca de drenaje de la bahía ha sido casi urbanizada” (Programa del Estuario de la Bahía de San Juan, 2001, p. 23). El período de actividad de dragado, relleno y canalización de los humedales comenzó en el Siglo 18, pero estas actividades tuvieron su período más intenso a finales de los años 50. Estos cambios en el terreno alteraron el contorno natural del área afectando no tan solo las lagunas y canales de la Bahía sino el sistema estuarino completo, ya que los resultados de estas actividades cambiaron los patrones y funciones hidrológicas de los cuerpos de agua dulce que componen el estuario.

La calidad del agua en el sistema se ha visto afectada por las actividades ya mencionadas, pero también se ha afectado por: la erosión y sedimentación, la contaminación térmica, las distintas construcciones en el área y las áreas adyacentes al sistema, la operación de vehículos acuáticos, descargas sanitarias sin tratar y los diversos contaminantes que llegan a las aguas del estuario a través de las distintas fuentes dispersas (e.g. escorrentía de áreas agrícolas y áreas residenciales e industriales). El puerto de la Bahía de San Juan, además de ser un puerto comercial, es utilizado por los cruceros turísticos que anclan en la Isla durante las distintas temporadas del año. El área de San Juan es el destino de preferencia de los turistas que llegan a nuestras costas.

De acuerdo al *Plan Integral de Manejo y Conservación para el Estuario de la Bahía de San Juan* (Programa del Estuario de la Bahía de San Juan, 2001, p. 44), “la alta densidad en el área del EBSJ ha contribuido a un aumento en el número de muelles, actividad de embarcaciones e infraestructura relacionada localizada en el estuario”. Esto trae como consecuencia impactos tales como: alteraciones de las orillas naturales y la contaminación generada por aceites de las embarcaciones que llegan a los muelles de la Bahía. Como resultado, los cuerpos de agua del estuario no son capaces de sostener sus funciones ecológicas teniendo como consecuencia la degradación de los componentes naturales del sistema, tales como las comunidades de mangles.

Plan Integral de Manejo y Conservación para el Estuario de la Bahía de San Juan

La salud y el uso equilibrado del sistema del EBSJ son cruciales para la sobrevivencia de nuestros peces, plantas y vida silvestre, así como para la subsistencia de los ciudadanos que dependen del sistema natural. Por tal razón, el Programa del Estuario

de la Bahía de San Juan identificó seis áreas de prioridad que contienen algún tipo de preocupación y deben ser atendidas lo antes posible para minimizar o eliminar los impactos presentes y futuros al sistema. Para cada área se han formulado distintas acciones o soluciones para atender los problemas identificados en el estuario y en los componentes del mismo. Las seis áreas de preocupación que el Programa identificó son: la capacidad de intercambio de agua, descargas sanitarias ilegales, contaminación tóxica y por nutrientes, desechos acuáticos, manejo del ecosistema, toma de conciencia y participación pública.

El NEP establece que todos los estuarios que formen parte del programa deben desarrollar un *Comprehensive Conservation and Management Plan* para alcanzar las metas de la Sección 320 del *Clean Water Act*. Para cumplir con este requisito y atender las necesidades o preocupaciones antes señaladas, el Programa desarrolló el *Plan Integral de Manejo y Conservación para el Estuario de la Bahía de San Juan* (CCMP, por sus siglas en inglés). Dicho plan contiene información general del estuario, la salud del mismo, acciones, actividades y soluciones a los distintos problemas que a diario enfrenta el sistema. Además, el Plan contiene medidas para mejorar la calidad del sistema estuarino y su entorno en los aspectos económicos, sociales y ambientales. En septiembre de 1999 se publicó un borrador del Plan a disposición del público para su revisión y comentarios. El plan final fue publicado en abril del 2000.

El CCMP final está organizado en cuatro volúmenes. El Volumen I está compuesto de ocho capítulos. En los capítulos tres a seis se revelan distintas acciones que se deben realizar para los temas preocupantes del EBSJ. El Capítulo 4 nos informa acerca de los hábitats, peces y vida silvestre en el sistema y las acciones que se deben

tomar para que los mismos no se vean perjudicados. También se discuten las metas, objetivos y acciones que se realizarán para promover el bienestar del ecosistema estuarino. La meta establecida para este capítulo, es el “mejorar y mantener un ecosistema que sustente una diversidad óptima de recursos vivos sobre una base sostenida” (Programa del Estuario de la Bahía de San Juan, 2001, p. 128). Entre los objetivos, que el plan establece para lograr esta meta están: “el preservar y restaurar hábitas ecológicamente importantes y proteger la diversidad y abundancia relativa de especies” (Programa del Estuario de la Bahía de San Juan, 2001, p.128-129).

Para cumplir con la meta y los objetivos propuestos en el Capítulo 4, el Programa desarrolló varias actividades de siembra de mangle rojo (*Rhizophora mangle*) en distintas áreas del EBSJ. Esta actividad fue desarrollada para restaurar las comunidades de manglares en el EBSJ que han sido destruidas, reducidas o deterioradas en su cobertura vegetal por tenses que actúan de manera negativa sobre ellas.

El Programa reconoce los beneficios que el recurso natural brinda, no tan solo en el aspecto ambiental, sino en el social y económico. Para promover las acciones establecidas en el CCMP, el Programa del Estuario organizó un grupo de voluntarios para realizar las distintas actividades, entre ellas las siembras de mangle rojo.

En los pasados años el Programa, junto a un sinnúmero de voluntarios con una conciencia ambiental procedentes de todas partes de la Isla, han ejecutado siembras de mangle rojo en distintas áreas del estuario: a lo largo de las orillas de la Laguna del Condado, en el lado oeste de la Bahía de San Juan y en la Península La Esperanza. Como hemos mencionado anteriormente este tipo de actividad ha sido ejecutada utilizando dos técnicas. La primera técnica, conocida como la Técnica Encapsulada de Riley, fue creada

por Robert Riley Jr. en Melbourne Beach, Florida. La segunda técnica es la Técnica de Restauración Bauzá, creada por el Dr. Jorge Bauzá-Ortega (asesor científico del Programa EBSJ). El proyecto de siembra de mangle rojo de la entidad resultó premiado en el 2008 con el *Environmental Quality Award* de la EPA.

Las siembras de mangle rojo a largo plazo redundarán en un mejoramiento de la calidad del agua, amplios hábitats para la vida silvestre y mayor protección para las costas. Los hábitats de manglares mantienen la calidad del agua atrapando los sedimentos o contaminantes químicos que llegan a las aguas en su sistema de raíces. Esta característica protege a otros ecosistemas costeros que se encuentran en el área. También esta acción mejorará la pesca y aumentará el potencial de actividades recreativas para residentes y turistas, en beneficio de la economía del país.

Aunque las restauraciones y siembras de mangle rojo, han resultado exitosas en las distintas áreas, el Programa del EBSJ ha determinado que las técnicas utilizadas enfrentan algunas dificultades: a) no todas las áreas y suelos del estuario, en donde se quiere realizar una siembra de mangle rojo, son las más apropiadas para implantar dichas técnicas, (e.g. energía del oleaje y el nivel del agua), b) una vez las raíces del mangle comienzan a desarrollarse, éstas se ven afectadas al no poder romper el tubo de PVC utilizado en la Técnica Encapsulada de Riley, ocasionando algún tipo de deterioro , c) las personas que utilizan el estuario al no tener conocimiento de las técnicas y sus beneficios, “vandalizan” o destruyen las mismas por su apariencia o por conveniencia. Como ejemplo de esta situación es la siembra utilizando la Técnica Encapsulada de Riley, que se realizó el 28 de abril del 2007, frente a la Urbanización Bay View en Cataño. Los

residentes en dicha área destruyeron la siembra, ya que los mismos expresaron que los tubos de PVC les obstruían la vista hacia la Bahía de San Juan.

Marco teórico

Características del mangle rojo (*Rhizophora mangle*)

Los terrenos de manglar que en el pasado se consideraban como "tierras baldías" actualmente se tratan como un ecosistema valioso, principalmente por sus características singulares. Los manglares colonizan las áreas protegidas a lo largo de la costa como los deltas, estuarios, lagunas e islas. Los bosques de manglares, el ecosistema dominante de costas protegidas en todas las regiones tropicales y subtropicales del mundo, surgen en una diversidad de entornos ambientales, y sus características estructurales y funcionales varían enormemente a escala mundial, regional y local. El parámetro de temperatura es el factor determinante, a escala mundial, en el desarrollo y crecimiento de los bosques de mangle (Sherman, Fahey, & Martinez, 2003). Por otro lado, la topografía y la hidrología son los parámetros que determinan la subespecie de mangle que se establecerá (Hoff et al., 2010). Además, cada subespecie se caracteriza por diferencias en la estructura forestal, productividad y biogeoquímica (Hoff et al., 2010).

Como hemos mencionado anteriormente, las especies de mangle que encontramos en las costas de la Isla son: *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus*. Cada especie de mangle tiene características particulares. Para efectos de esta investigación, solo se discutirán las características del mangle rojo, por ser la especie utilizada para las siembras en el área de estudio:

- Nombre taxonómico: *Rhizophora mangle*

- Nombre común: mangle rojo. Su nombre proviene del color rojo que caracterizan sus raíces y la corteza, las cuales contienen tanino. Este compuesto ayuda a la planta a mantenerse sumergida en el agua salada sin que se pudra.
- Hábitat: el mangle rojo es una comunidad costera estuarina de vegetación muy homogénea. Es tolerante a la presencia de agua salada y a periodos de inundación. En el estudio *Pruebas de reforestación de mangle en una ciénaga costera semiárida de Yucatán, México*, los científicos Febles-Patrón, López, & Sampedro (2009) determinaron que *Rhizophora mangle* sobrevive en ambientes con alta inundación y baja salinidad (3.28 ups \pm 0.32 ups). Su mejor desarrollo es en litorales con poca pendiente donde la marea entra con mayor facilidad y en sitios protegidos contra la acción del oleaje fuerte.
- Suelos: *Rhizophora* predomina en suelos que contienen porcentajes altos de materia orgánica porque se han desarrollado en estuarios con lodo fino y compuestos de cieno. Los suelos tienen un pH de 6.6 cuando están saturados de agua y de 2.2 a 3 al secarse.
- Raíces: esta especie contiene dos tipos de raíces: raíces de apoyo o sostén (se extienden desde el tronco) y las raíces adventicias (se extienden desde las ramas del árbol). Ambas proveen soporte al árbol para anclarse en el fondo marino y ayudan a fijar los lodos del suelo lo que permite aumentar el área de superficie alrededor del mangle. Las raíces son ramificadas, con curvas y arqueadas. Además contienen pequeños poros elípticos en el

periderm llamados lenticelas los cuales ayudan a realizar el intercambio de gases. Su sistema de raíces ha evolucionado para hacer frente a condiciones muy adversas (como la falta de oxígeno y el embate del oleaje), y esta característica los convierte en excelentes amortiguadores de tormentas y huracanes por lo que protegen la línea de costa de la erosión marina.

- Crecimiento y tamaño: crece menos de 1m/año en altura. Puede llegar a medir entre 25 a 30 m de altura y de 60 a 100 cm de diámetro. La tasa de crecimiento y tamaño de los árboles depende en gran medida de las características del lugar. Su óptimo crecimiento ocurre cuando existen niveles de salinidad bajos o moderados (Kirui et al., 2008).
- Corteza: su corteza es dura con una textura de lisa a rugosa, de color olivo pálido con manchas grises.
- Hojas: de color verde oscuro en la parte exterior y de color verde en la parte interior con forma elíptica. La hoja está cubierta con una cutícula que ayuda a conservar el agua evitando que se evapore. Puede llegar a medir de 8 a 13 cm de largo y 4 a 5.5cm de ancho.
- Flores: las flores de esta especie tienen cuatro pétalos de color amarillo-cremoso claro y pueden florecer durante todo el año.
- Fruto: se desarrolla un solo fruto al año en forma de grano cónico, de color marrón y mide de 2 a 3 cm de largo.
- Semilla o propágulo: una sola semilla germina en el interior del fruto (viviparidad). El propágulo es cilíndrico, alargado, de color verde a

marrón en la parte inferior y con numerosas lenticelas circulares pequeñas. Pueden llegar a medir entre 10 a 50 cm de largo y hasta 2 cm de diámetro. El desarrollo del propágulo toma alrededor de seis meses y al alcanzar su madurez se desprende del árbol. Cuando esto ocurre, el propágulo puede quedar enterrado en el suelo fangoso o dispersarse con las corrientes de agua hasta encontrar un lugar con las óptimas condiciones para su desarrollo. Coll, Fonseca & Cortés (2001, p.236) indican que “únicamente los propágulos de *R. mangle* son capaces de asentarse en las zonas donde los fenómenos de inmersión en agua salobre son mayores y la disposición de oxígeno en el sustrato es menor”.

Los mangles se encuentran entre los ecosistemas más productivos y uno de los recursos naturales renovables más importantes en los trópicos. De acuerdo a Lema-Vélez & Polanía (2007, p. 11) los manglares “son ecosistemas estratégicos y vitales para las comunidades adyacentes porque a través de las corrientes de agua exportan gran cantidad de material orgánico. La calidad y la cantidad de los sedimentos y la materia orgánica exportada dependen del tipo de bosque de manglar, de su productividad y de factores limitantes físicos y biológicos”.

Factores estresores en los mangles

Lamentablemente los manglares del mundo están siendo degradados o destruidos drásticamente, en su mayoría por actividades antropogénicas. Algunas de éstas son: las construcciones de represas, introducción de especies invasoras, la

agricultura, la acuicultura, la explotación desmedida para la elaboración de productos y la destrucción de la corteza terrestre, entre otras.

Uno de los impactos mayores al ecosistema ha sido el aumento de la población mundial que actualmente consta de seis billones de personas. La FAO (2007, p. vii) informa que “la presión de una alta densidad poblacional en el área costera ha llevado a la conversión de muchas de las áreas de mangle para otros usos, incluyendo la infraestructura, acuicultura y la producción de arroz y sal”. El efecto de la instalación de infraestructura urbana en áreas de mangle se ha observado en la costa occidental del Golfo Pérsico (Asif & Kumar, 2009). Además de los factores antropogénicos, la pérdida de las comunidades de mangles es ocasionada por factores estresores.

Aunque los mangles poseen tolerancia a diferentes condiciones, la sobrevivencia de todas las especies se ve influenciada por un conjunto de factores de estrés que también actúan sobre ellos y como consecuencia deterioran el ecosistema y sus componentes. Lugo & Snedaker (1974) describen este factor como “cualquier influencia o acción que retrasa o restringe el funcionamiento normal o el desarrollo de las unidades biológicas vivas”.

Algunos de los factores de estrés que actúan sobre las especies de mangles y que controlan la distribución del recurso natural en Puerto Rico y en otras partes del mundo son:

- Factores antropogénicos: canalización, desagües de las aguas residuales hacia el estuario en donde se encuentran los mangles, sobreexplotación para productos madereros y pesqueros, desarrollo urbano y costero, actividades recreativas.

- Fenómenos naturales: huracanes y tsunamis. En la Península de Yucatán, México, las comunidades de manglares han sido perjudicadas por los huracanes durante los pasados años (Zaldívar-Jiménez et al., 2010). Un tsunami puede destruir o afectar de 12 a 20 ha de mangles (Yanagisawa et al., 2009).
- Factores terrestres: pH, geomorfología, insolación, clima local, salinidad, distancia del mar, frecuencia y duración de las inundaciones (hidroperíodo), dinámica de las mareas, corrientes oceánicas, tipo de suelo, oleaje fuerte, agua dulce y nutrientes que entran al sistema. “Las condiciones impuestas por el hidroperíodo son muy importantes para el mantenimiento de la estructura y el funcionamiento de estos ecosistemas, debido a que crean condiciones físicas y químicas únicas que afectan varios factores como la anaerobiosis del suelo, la acumulación de materia orgánica, la disponibilidad de nutrientes, la riqueza y composición de especies y la productividad primaria”. (Flores-Verdugo et al., 2007, p.S34).
La salinidad determina la producción de raíces en los propágulos. (Febles-Patrón, López & Sampedro, 2007).
- Contaminación: por aceites, desperdicios sólidos, herbicidas y otras sustancias provenientes de las fuentes dispersas.

La destrucción de los bosques de manglares ha ocurrido desde hace años en un sinnúmero de países. “México ocupa un lugar entre los cinco países con mayor número de manglares a nivel mundial, pero también es uno de los primeros en cuanto a la

desaparición de estos ecosistemas” (Calderón et al., 2009, p.2). El total de pérdida o desaparición del ecosistema en Filipinas, Tailandia, Vietnam y Malasia se estima en 7,445 kilómetros cuadrados (Lewis, 2001).

“Puerto Rico se encuentra entre la espalda y la pared en términos de transición de uso de terrenos ya que las tierras, que en el pasado estaban destinadas a la agricultura, hoy en día están experimentando un uso más intenso, posiblemente irreversible, relacionado al desarrollo urbano” (Gould et al., 2008, p. xii). Afortunadamente en los últimos años ha surgido en el pueblo puertorriqueño una conciencia ambiental en lo relacionado a la conservación, preservación y uso sabio de nuestros recursos naturales, especialmente sobre la importancia de los manglares como ecosistemas de gran valor para una variedad de recursos acuáticos, terrestres y para el beneficio humano. Debido a las presiones en las poblaciones de mangles y el aumento de contaminantes que llegan a las aguas costeras ha surgido un nuevo interés en la protección de estos ecosistemas. A través de esta conciencia ambiental y de una serie de estudios sobre la ecología y función del manglar es que se han desarrollado distintas estrategias de manejo y conservación para este recurso natural.

Manejo de los mangles

Debido a que los bosques de manglares desde la perspectiva ambiental, económica y social son importantes, muchas personas han optado por el manejo apropiado o eficiente de éstos. La FAO (1994, p. 1) indica que “técnicamente, los manglares son más fáciles de manejar en comparación con las especies ricas de los bosques húmedos tropicales”. Chong (2006, p. 259) en su artículo *Sustainable utilization*

and management of mangrove ecosystems of Malaysia concluyó que debido a que “... el ecosistema de manglar está inextricablemente ligado a los elementos de tierra y mar, es necesario que el manejo de las zona costera sea uno holístico e integral con el fin de resolver los múltiples conflictos de uso”.

Para poder establecer unas técnicas de manejo exitosas se deben identificar las causas principales de los problemas que afectan las funciones biológicas que juegan los manglares. El DRNA (2003) ha identificado varias acciones para el manejo de estos sistemas: estrategias de manejo, programas de reforestación, programas de investigación, programas educativos y programas recreativos.

Además de las actividades mencionadas anteriormente, el gobierno de Puerto Rico y el gobierno federal reconocen el valor tanto ecológico como económico de los manglares en la Isla. En el PMM podemos encontrar una serie de mecanismos de protección para las comunidades de manglares distribuidas en la Isla. Estos mecanismos son: notificación, transferencia de título, designación de terrenos públicos, acuerdo de manejo, arrendamiento, servidumbre de conservación, dedicación, permuta, donación, transferencia de derechos de desarrollo, zonificación, mitigación y compra. El emplear los mecanismos y actividades mencionadas evitaría que las comunidades de mangles y sus componentes se vean eliminados, deteriorados o perjudicados por las actividades antropogénicas que se desarrollan en o alrededor de los mismos.

Conservación de los mangles

Cada vez más se manifiesta la necesidad de reducir los daños al ambiente para la conservación de la naturaleza y sus recursos. En el libro *Environmental Science: Toward*

a Sustainable Future (Wright & Nebel, 2002, p.650) se define *conservación* como “el manejo de los recursos naturales para asegurar que continuarán proveyendo el beneficio máximo a los humanos”. Según la FAO (1994, p. 1), “la protección de hábitats es la meta primordial de la conservación, en la cual todos los acercamientos deben ser complementarios”

Los sistemas ecológicos nos proveen una serie de servicios que se reflejan en la calidad de nuestras vidas. Los mangles cumplen unas funciones importantes ya que se encuentran dentro de un gran sistema que tiene una conectividad con las zonas costeras y marinas, el estuario. Para que el ecosistema de manglar pueda realizar sus funciones adecuadamente se requiere un balance entre las actividades productivas del hombre y la conservación de este recurso natural.

En estudios realizados por Martinuzzi, et al. (2009, p.75) se determinó que la clave de la conservación es “una combinación del tipo de actividad humana en las cuencas de los mangles en combinación con una fuerte protección legal”. Martinuzzi, et al. (2009, p.75) recomiendan que se realicen los siguientes pasos: “a) identificación de las áreas que satisfagan los requerimientos ecológicos del desarrollo del mangle, b) incorporación de reglamentos de zonificación para mantener estas áreas naturales y proteger los flujos de agua, los nutrientes y organismos dentro y fuera del sistema y c) monitorear los resultados”. Además de las recomendaciones establecidas anteriormente se puede integrar la educación ambiental como un medio para la conservación de las comunidades de manglares. La *educación ambiental* es “una alternativa para la conservación de la zona costera en su conjunto, por lo que se debe utilizar con fines

preventivos para evitar el deterioro y agotamiento de los recursos de nuestras costas” (Linares-Mazariegos, Hernández, & De la Presa Pérez, 2004, p.113).

“El propósito de la conservación es manejar o regular el uso para que no exceda la capacidad de renovación de las especies o el sistema” (Wright & Nebel, 2002, p. 291). Las estrategias de conservación son vitales para garantizar y mejorar el futuro de las distintas especies de mangles a través del mundo. En América Central, el gobierno de Costa Rica adoptó planes de manejo para cada área prioritaria de manglar (Carmona-Díaz, Morales-Mávil & Rodríguez-Luna, 2004).

Restauración de los mangles

Una estrategia para el manejo y conservación de las comunidades de mangles que muchos países llevan a cabo es la restauración. Se define *restauración* como un proceso preciso para la recuperación de la forma y los detalles de una propiedad y sus componentes como habían aparecido durante un tiempo en específico. Es un tipo de intento para devolver un ecosistema a su trayectoria original. Se recomienda esta estrategia cuando el ecosistema ya no pueda auto renovarse (Lewis, 2005).

Los procesos de restauración han sido estudiados por varios científicos que han expresado que revertir el bosque de mangle a su condición original es un proceso muy difícil o casi imposible (Islam & Wahab, 2005). Otros indican que la regeneración de manglares seriamente degradados no puede ocurrir sin la intervención del hombre (Ren et al., 2008).

Lewis & Marshall (1998) determinaron que para que haya una restauración de mangles exitosa se deben observar cinco criterios: “1) entendimiento de la autoecología

de las especies de mangles en el área, en particular los parámetros de reproducción, distribución de los propágulos y el establecimiento exitoso de las semillas, 2) entendimiento de los patrones de hidrología que controlan la distribución y el establecimiento exitoso y crecimiento de las especies de mangles, 3) evaluar las modificaciones del ambiente de los mangles anteriores que ocurrieron que actualmente impiden la sucesión secundaria, 4) diseñar los programas de restauración para iniciar la restauración hidrológica apropiada y utilizar propágulos de mangles naturales para el establecimiento de las plantas, 5) solo utilizar plantaciones actuales de propágulos, coleccionar las semillas o cultivar las semillas luego de haber determinado los criterios 1 al 4”.

El factor más importante para una restauración exitosa es la determinación de los parámetros de hidrología del área. La rehabilitación hidrológica va dirigida a facilitar la recuperación del hidropedimento y reducir la salinidad de los sedimentos mediante la construcción y extracción de sedimentos en los canales (Zaldívar-Jiménez et al., 2010). Además, las restauraciones de mangles requieren un entendimiento de las especificaciones fisiológicas y biológicas de las especies y de las interacciones entre las plantas y animales que determinan los patrones de distribución y abundancia. El factor sombra es un parámetro crítico a considerar durante la fase de diseño de una restauración de un ecosistema de manglar (Febles-Patrón et al., 2007).

Para que un bosque de manglar se considere restaurado debe ser parecido en estructura y funciones a las de un bosque de manglar “natural” (McKee & Faulkner, 2000). Según Gould et al. (2008), los terrenos agrícolas abandonados, convertidos en espacios verdes y abiertos, poseen un potencial de restauración.

La reforestación de este recurso ha sido una necesidad para lugares como Vietnam, Costa Rica, Filipinas, y la Florida, entre otros. Los proyectos de reforestación en el estado de la Florida y en el Caribe en ocasiones envuelven el restablecimiento de los regímenes de hidrología natural y las mareas, la siembra de los propágulos de mangles o la siembra de mangles que crecieron en viveros. En Puerto Rico la reforestación de mangles, especialmente de mangle rojo, se ha realizado en La Parguera en Lajas, Isla de Ratones en Cabo Rojo, Laguna del Condado en San Juan y Cataño. “Se ha reportado que los costos para restaurar exitosamente tanto la cobertura vegetal y las funciones ecológicas de un bosque de mangles varían entre \$3,000 y \$510,000 por cada hectárea, dependiendo del plan de reforestación que se realice” (Calderón et al., 2009, p.5). Luego del tsunami en la India, el gobierno anunció la inversión de \$22 millones para sembrar 1.5 millones de acres de bosques de mangles y educar a la comunidad sobre la importancia que proveen los ecosistemas costeros.

La educación es un agente fortalecedor integral que promueve el conocimiento de los problemas del medio natural y social y los vincula sólidamente con sus causas. A través de la educación se puede enseñar a los habitantes a hacer un aprovechamiento racional del ecosistema (Linares-Mazariegos et al., 2004). En los países en desarrollo el éxito de un programa de rehabilitación dependerá de la integración de las comunidades locales en el manejo del sistema (Ronnback, Crona & Ingwall, 2007). “La gente local es generalmente vista como potenciales socios en los esfuerzos de reforestación, y comúnmente se asume que su participación va a aumentar el éxito de la reforestación mediante el cultivo de la administración local de los bosques recién plantados” (Walters, 2004, p.179).

Algunos de los beneficiosos que tendrá la reforestación de mangles son: el aumento en la industria pesquera beneficiando así las comunidades que dependen de ella, disminución en la erosión costera, mejoras en la calidad del agua, protección contra las tormentas al actuar como barreras, disminución de los gases de invernadero, protección de corales, entre otros.

La restauración del manglar puede tener éxito siempre y cuando se reconozcan las condiciones particulares del área en donde se quiere realizar este tipo de actividad. Es necesario que antes de realizar una siembra se tomen las debidas precauciones para que los mangles que se generen no se vean degradados o afectados en el futuro: eliminar todo tipo de tensores que se encuentren en el área, elegir especies de acuerdo a su tolerancia a la inundación y salinidad del suelo; y elegir la técnica de siembra óptima para el área.

La restauración de áreas de manglares alteradas, deterioradas o colapsadas es posible con buenas perspectivas de éxito si ésta es considerada como una aproximación gradual a las condiciones que predominaban en el sistema natural.

Técnicas de siembra de mangles

Para llevar a cabo la reforestación o restauración de mangles en las costas, se han desarrollado y diseñado distintas técnicas de siembra de mangle. *Rhizophora mangle* es la especie que a menudo es seleccionada para los proyectos de restauración por sus adaptaciones. Las siembras de mangles solo serán necesarias si la regeneración natural no se puede realizar por la falta de propágulos o la presencia de condiciones del suelo que prohíben el establecimiento natural. Las técnicas de siembra más utilizadas son: la

Técnica Encapsulada de Riley, Técnica Encapsulada de Riley de dos piezas, siembra directa de propágulos y las plántulas germinadas en vivero.

Técnica Encapsulada de Riley

La Técnica Encapsulada de Riley fue desarrollada con el propósito de establecer mangles rojos alrededor de las costas con alta energía, revestimiento y *bulkheads* en donde no ocurre el establecimiento natural y donde los métodos de siembra no han sido exitosos. Para esta técnica se utiliza un tubo de PVC de 100 a 150 cm de largo y 3.81 cm de ancho para encapsular la semilla del mangle y protegerla de la energía que producen la marea y las corrientes marinas, así como también de los peces, cangrejos y otras especies marinas que pudieran alimentarse de ella. La semilla se siembra en el sustrato dentro del tubo de PVC para que tenga contacto con nutrientes para su alimentación durante el proceso de desarrollo. El tubo de PVC posee una hendidura a lo largo del mismo y su extremo inferior es cortado de manera sesgada para permitir la entrada del agua necesaria para alimentar la semilla. La hendidura además permitirá que al crecer la planta sus raíces puedan salir del tubo con facilidad hasta que se anclen en el suelo. El tubo se entierra de 30.48 a 60.96 cm dentro del sustrato y es rellenado con sedimento hasta donde llega el agua. Luego se introduce la plántula de mangle rojo. El tubo debe ser lo suficiente alto para sobresalir por encima del agua y cubrir la plántula por completo, quedando protegida de la marea alta, el viento y el sol excesivo.

Al cabo de un tiempo la plántula comienza a desarrollarse dentro del tubo y sus raíces van creciendo y ramificándose hasta llegar al suelo más allá del tubo y comienzan a anclarse. Al principio las raíces que se ramifican crecen dentro del tubo, pero llega el

momento en que no hay espacio disponible. El tronco comienza a ensancharse y empuja el tubo. Como resultado del empuje, la hendidura se abre y las raíces comienzan a crecer fuera del tubo. Luego nacen raíces aéreas que estabilizan más la planta de mangle. Esto significa que el mangle alcanza su etapa madura y puede sostenerse sin ayuda.

La última etapa en el desarrollo ocurre cuando la planta alcanza su madurez reproductiva y produce flores y semillas. El tubo de PVC es un material que no produce químicos tóxicos que puedan afectar a plantas, animales o el agua. La Técnica Encapsulada de Riley ha sido eficiente en el aumento del índice de supervivencia de los mangles plantados en áreas expuestas, ya que las plántulas protegidas crecen el doble de rápido y sobreviven más que las que son sembradas sin protección alguna. Esta técnica no está sujeta a las limitaciones de las técnicas convencionales. Su uso permite que los mangles se puedan establecer en áreas sujetas a la acción de marejadas, actividad de oleaje y escorrentías.

Técnica Encapsulada de Riley de dos piezas

En la Técnica Encapsulada de Riley de dos piezas, creada también por Robert Riley Jr., se utiliza un tubo de PVC de diferentes largos. La misma pieza es separada longitudinalmente permitiendo el drenaje, manteniendo el equilibrio del nivel del agua y la migración de las raíces. Se crea un fondo artificial al llenar el tubo con sedimentos al nivel de la marea alta. Esta pieza se separará una vez el árbol crezca y se expanda. Cuando la abertura se torne más ancha, el material del fondo artificial baja, permitiendo que las raíces migren al sustrato natural y anclen el árbol ya germinado. La pieza superior del tubo es de altura uniforme y compensa por los períodos de marea alta y las

escorrentías. Una vez el árbol joven ha establecido sus raíces, la parte superior del tubo de PVC puede ser removida, pero la parte inferior no se puede remover. Con el pasar del tiempo la parte del tubo que no fue removida será cubierta de organismos, reduciendo así su apariencia (Rothenberger, 1999).

Siembra directa de propágulos

La siembra directa de propágulos es la técnica menos costosa y ha dado buenos resultados. Los propágulos son sembrados a unas profundidades de un cuarto a un tercio de su altura. La supervivencia de los propágulos es mayor si son plantados en áreas protegidas con oleajes de baja energía. Esta técnica solo funciona con los propágulos de *Rhizophora mangle*. En un estudio realizado por Febles-Patrón et al. (2009) utilizando esta técnica, las plántulas de mangle rojo exhibieron una tasa de crecimiento neto de 14.2 cm un término de un año. De acuerdo a Lewis & Streever (2000) la siembra directa puede acelerar el establecimiento de la especie en un área.

Técnica de plantas germinadas en viveros

Para la técnica de plantas germinadas en viveros, Clarke & Johns (2002, p.2) establecieron que antes de comenzar a construir un vivero hay que tomar en consideración los siguientes componentes: “mecanismos que permitan inundaciones periódicas, acceso a agua salada y dulce de buena calidad, bombas para la aeración y circulación del agua a través de los estanques, fuente de energía, reglamentos de sombra y reservas de propágulos de buena calidad”. El vivero debe localizarse cercano a las mareas y al lugar de la restauración para reducir los costos de transporte. Aunque es fácil

crecer plantas de mangles en los viveros, éstas pueden ser dañadas por herbívoros o infecciones de hongos.

“Desafortunadamente, muchos proyectos de restauración de mangle se han movido inmediatamente a la siembra de mangle sin determinar por qué la recuperación natural no ha ocurrido (Lewis, 2005, p.408). Existen factores que actúan sobre las semillas sembradas ocasionando que se pierdan o no se generen: erosión, predación, muerte por causas naturales, siembras en elevaciones incorrectas y la toxicidad de aceites usados.

Estudios de Casos

En diferentes partes del mundo, incluyendo Puerto Rico, se han llevado a cabo investigaciones sobre las técnicas de siembra de mangle rojo. Estos estudios sirvieron de guía para la investigación que realizamos.

Estudio de caso 1: The Encased Replanting Technique for Red Mangrove Propagation as a Mitigation Technique (López-Ortíz, Pérez, Suárez & Ríos-Dávila, 1999)

El proyecto de siembra de mangle rojo de EcoEléctrica en Punta Guayanilla, Peñuelas, fue realizado con el propósito de probar si la Técnica Encapsulada de Riley puede ser mejorada para la recuperación de los ecosistemas de mangles en Puerto Rico y Estados Unidos. La Técnica Encapsulada de Riley se caracteriza por el uso de un tubo de PVC que protege los propágulos de mangle en sitios donde hay marejadas altas.

Para este estudio se utilizó un tubo de PVC de 1.6 m de largo y 1.5 pulgadas de diámetro para las Zonas 1 y 3. Para la Zonas 2 y 4 se añadió una extensión en la parte superior del tubo, la cual protege al propágulo de los impactos de los vientos y del fuerte oleaje en las zonas.

En el estudio se establecieron cuatro zonas alrededor de la Península de Punta Guayanilla en donde se colocaron 40 propágulos de mangles y se observaron los siguientes factores: energía de las olas, el sustrato y la profundidad. Los resultados en cada zona para estos factores fueron los siguientes:

Zona 1: localizada en el área oeste de la península, protegida del impacto directo de las olas, profundidad de 0.1 a 1.0 m.

Zona 2: localizada en el lado este de la península, recibía un impacto alto de las olas, profundidad de 0.6 a 1.2 m.

Zona 3: localizada en el área sureste, recibía el impacto directo de las olas, profundidad de 0.6 a 1.0 m.

Zona 4: localizada al lado este, recibía un impacto de alta energía de las olas pero no era de forma directa, profundidad de 0.3 a 1.2 m.

Alrededor de 500 propágulos de mangle rojo fueron recolectados del piso del bosque de mangle y de los árboles en Guánica y Lajas. Luego de que se sembraron los propágulos, si morían o se deterioraban, eran remplazados por nuevos (provenientes de un vivero) en el mismo tubo en donde se encontraban. Si en el transcurso del proyecto algún tubo se perdía, éste era remplazado y se le colocaba un número relativo a la zona. Cada tubo se identificaba con un código numérico en una placa de aluminio.

En el análisis se evaluaron:

- La eficiencia de la técnica en cuanto a la resistencia de los tubos contra el impacto de las olas en las diferentes Zonas. La diferencia en el índice de supervivencia de los tubos de PVC pudo haber sido

ocasionada por la profundidad a que éstos fueron implantados, los escombros que flotaban en cada zona o la actividad del oleaje.

Zona 1: se retuvo un 90.9% de los tubos

Zona 4: perdió la mayor cantidad (57%) por estar más expuesta al impacto directo de las olas

- La eficiencia de los tubos en retener los propágulos

Zona 2: se retuvo un 26.1% de los propágulos

Zona 1: se registró el mayor número 42.6%, por estar protegida del impacto directo de las olas.

La siembra comenzó en septiembre de 1996 y al cabo de dos meses, no se obtuvo crecimiento en las Zonas. En los siguientes cinco meses aun no se habían registrado crecimiento en las Zonas 2, 3 y 4. Solo en la Zona 1 se pudo observar un crecimiento medio de 1.6cm/mes. Para mayo en las Zonas 2, 3 y 4 no se habían desarrollado los propágulos, pero sí en la Zona 1. Al año siguiente se pudo observar un crecimiento medio en la Zona 1 y para la Zona 2 hubo un crecimiento de 0.9cm/mes.

La investigación determinó que la técnica utilizada es exitosa para el crecimiento de mangles en áreas donde hay un impacto de las olas. También la investigación concluyó que en zonas con menor oleaje, los propágulos de mangle rojo tienen un índice de crecimiento medio y una probabilidad mayor de supervivencia. En las zonas donde haya un impacto directo del oleaje, los propágulos van a tener un índice de supervivencia bajo. Mediante estos resultados se estableció que las diferencias de supervivencia de los propágulos de mangles sembrados por la Técnica Encapsulada de Riley, se deben a las variaciones en la energía del oleaje y a la profundidad que fueron enterrados.

Estudio de caso 2: Utilisation of Encasement Technology in Restoration of Mangrove Forest on St. Croix U.S. Virgin Islands (Rothenberger, 1999)

El estudio fue realizado para verificar cuan efectiva es la Técnica Encapsulada de Riley, en la restauración de bosques de mangles en Sugar Bay, St. Croix, previo a realizar el proyecto de reforestación principal. Los bosques de mangles en esta bahía fueron destruidos por el paso del Huracán Hugo en 1989, que afectó hábitats de alto valor ecológico y zonas de amortiguamiento en la bahía. El proyecto fue realizado por el Virgen Island Marine Advisory Service (VIMAS) de St. Croix, el Programa Sea Grant de la Universidad de Puerto Rico y la Unidad de Investigación Ambiental y Marina de la Universidad de las Islas Vírgenes, los cuales trabajaron en conjunto con la Asociación Ambiental de St. Croix.

En el proyecto principal se sembraron 3,000 propágulos de mangle negro (*Avicennia germinans*) y 18,000 propágulos de mangle rojo. Primeramente se realizó un proyecto piloto de siembra de propágulos de mangle rojo (500), utilizando la Técnica Encapsulada de Riley de una pieza. En el monitoreo de la parcela de prueba, el índice de supervivencia fue de tan solo 31.7% debido a la temporada de marea alta y eventos de lluvia. Por esta razón, los socios del proyecto determinaron utilizar la Técnica Encapsulada de Riley de dos piezas para el proyecto principal. Esta técnica encapsula y protege mejor a los propágulos durante su desarrollo.

Estudio de caso 3: Restauración de áreas alteradas de manglar con *Rhizophora mangle* en la Costa de Chiapas, Méjico (Reyes-Chargoy & Tovilla-Hernández, 2002)

Para mitigar las áreas alteradas de mangle rojo en la Costa de Chiapas, se realizó una restauración de 2.0 hectáreas en las Lagunas de Pozuelos y Cabildo, utilizando las

técnicas de siembra directa y de plántulas generadas en vivero. Ambas lagunas se caracterizan por tener distintas condiciones ambientales. La Laguna de Pozuelos es un área de carácter tipo humedal y la Laguna de Cabildo es una zona que carece del elemento agua y por esta razón el suelo queda expuesto y se agrieta.

Para realizar las siembras se colectaron de forma directa propágulos de mangle rojo, se recuperaron 5,427 y fueron analizados para tener un conocimiento respecto a las características morfológicas del material. Al cabo de 90 días y cuando los propágulos alcanzaban una altura de 1.5 m eran trasladados a la siembra en la Laguna de Pozuelos (3,019 propágulos). La siembra en la Laguna de Cabildo se llevó a cabo con 19,345 propágulos que fueron sembrados en cuatro etapas en meses diferentes.

En ambas áreas, al aparecer las primeras hojas, se midió mensualmente la altura y el desarrollo foliar de las plantas. Los resultados de las siembras en las lagunas fue el siguiente:

- Laguna de Cabildo: la mortalidad vario desde un 45.38%, en las plántulas de la tercera etapa, hasta un máximo de 67.46% en la cuarta etapa. El desarrollo de las plántulas de la segunda y cuarta etapa fue de forma robusta. En esta laguna las plántulas alcanzaron su máxima altura ya que estaba situada en una zona de inundación que favorece el desarrollo de las plántulas. La aparición de las primeras ramas se produjo aproximadamente a los 120 días en un 60% de las plántulas y sus raíces aparecieron a los 210 días en un 8% de ellas.

- Laguna de Pozuelos: no hubo mortalidad en las plantas. A los 120 días de haber realizado la siembra se observó un incremento de 151.2% en el número de plantas con una altura de 32.6cm. A los 240 días la altura aumentó a 65.0cm. Las raíces de las plántulas aparecieron a los 150 días en más del 18% de ellas.

Algunos de los factores que influenciaron en el desarrollo de las plántulas en las lagunas fueron:

- Laguna de Cabildo: temperatura, insolación y evapotranspiración. La evapotranspiración en la laguna ocurre durante la época seca. En esta época el área se va quedando sin agua, ocasionando que la temperatura del suelo aumente y quede seco. Estos factores tuvieron un impacto significativo en la mortalidad y la altura de las plantas.
- Laguna de Pozuelos: esta laguna posee características de humedal, lo que disminuyó la mortalidad de las plántulas sembradas, obteniendo así una altura máxima. Este factor no representa un límite en la supervivencia de las mismas.

La técnica de siembra directa de mangle rojo es una técnica exitosa si se selecciona adecuadamente los sitios o las áreas en donde se desea realizar una restauración de mangle, ya que no todos contienen las condiciones y los factores ambientales óptimos para este tipo de actividad. Además este tipo de técnica es de bajo costo en comparación a la siembras de mangles que se realizan utilizando la técnica de plántulas germinadas en viveros. En el experimento se concluyó que las plantas de

mangle rojo (*Rhizophora mangle*) que se desarrollan en los viveros tienen un bajo índice de mortalidad y una altura mayor que aquellas que se desarrollan en el campo.

Estudio de caso 4: Recuperación del manglar en la Barra del Río Cahoacán, en la costa de Chiapas, Méjico (Tovilla-Hernández, Román-Salazar, Simuta-Morales & Linares-Mazariegos, 2004).

La investigación tenía como objetivo el restaurar la zona costanera en la desembocadura del Río Cahoacán, en Chiapas la cual ha sido impactada por las actividades humanas. Esta restauración se realizó por medio de la siembra directa de propágulos de *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* y *Avicennia germinans* y de plantas generadas en un vivero. Los bosques de manglar en esta región han sido alterados por la introducción de agroquímicos, desechos sólidos de las plantaciones adyacentes que llegan al río provocando la eliminación gradual de la vegetación que se encuentra en la desembocadura, uso desmedido del agua para la agricultura y la tala del bosque.

El proyecto se basó en la construcción de un vivero de mangle, el manejo y trasplante de las plantas, y la colecta de los propágulos para la siembra directa en campo y en vivero de las tres especies. Para las siembras del vivero se recolectaron botellas plásticas para ser utilizadas como tiestos para los propágulos. Luego se recolectaron 7,900 propágulos de mangle rojo, 10 kg de mangle blanco y 6 kg de madresal para ser sembrados en el vivero. Además, se colectaron 210 kg de semilla de mangle botoncillo (*C. erectus*) para luego ser regados en el área de la siembra. Antes de realizar las siembras con las plantas germinadas del vivero, se limpió el área donde se llevaría a cabo la siembra. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- Germinación de las especies de mangles en el vivero:

R. mangle: esta especie tuvo una mortalidad inicial en el vivero de 1.2 %, con un crecimiento de 0.14 cm/día. Unas 7,104 plantas con una altura de 49.3cm fueron transportadas al sitio de siembra para ser sembradas con el envase. El área estaba al descubierto y sujeta al movimiento de la marea. Después de 204 días se desarrollaron 5,818 plantas con una altura de 97.5 cm, una mortalidad de 8.4 % y una velocidad de crecimiento de 0.47 cm/día.

L.racemosa: para esta especie se sembraron 10,000 propágulos. La mortalidad inicial fue de 37.8 %, se redujo a 12 %, quedando un total de 4,147 plantas. El crecimiento promedio de éstas fue de 0.22 cm/día. Al germinar se transportaron al campo 3,000 plántulas con una altura de 16.7cm, de las cuales sobrevivieron 2,471. Del lote inicial de plantas germinadas en el vivero, 1,712 permanecieron allí, para luego ser transportadas a un sitio húmedo. En este período la mortalidad se redujo a menos de 9 %, algunas plantas después de 257 días superaban los 148 cm de altura. Al final del estudio sobrevivieron 1,507 plantas.

A. germinans: en el vivero se sembraron 3,600 propágulos, los cuales registraron una mortalidad inicial de 1.2%. Al cabo de un tiempo esta mortalidad aumentó a 69.6 % ya que los propágulos se vieron afectados por una oruga que consumió sus hojas. Las plantas fueron llevadas a la isla La Esperanza, en donde fueron

plantadas en las partes más salobres. Por el factor de salinidad y por las lluvias, que aumentaron el mismo, solo sobrevivieron 314 plantas de las 1,071 que fueron sembradas.

- Siembra directa de las especies de mangles en el campo:

R. mangle: se sembraron alrededor de 48,500 propágulos en dos áreas distintas: en Isla la Esperanza (35,500) y el Estero de Barra Cahoacán (13,000). En el campo se registró una mortalidad total de 38.3 %, después de 242 días lograron sobrevivir 29,924 plantas con una altura promedio de 156.2 cm. El 19.3% de la mortalidad de los propágulos se debió al movimiento provocado por las mareas y corrientes.

Mediante la siembra directa de propágulos y de las plántulas germinadas en vivero se cubrió un área total de 41,900m². Al finalizar el experimento las plantas que sobrevivieron cubrían un 78.6% (mayormente de la especie *R. mangle*). En el caso de *Rhizophora* la diferencia en el desarrollo de la especie se debió a que las plantas del vivero fueron sembradas en un sitio abierto con una gran insolación, en comparación con la siembra directa realizada en un área cubierta y con sedimento de limo/arena. También se pudo observar una diferencia significativa en la sobrevivencia de las plantas germinadas en el vivero y las del campo (78.5% vs. 61.7%). En el caso del crecimiento de las plantas, la altura alcanzada al final del experimento fue superior en aquellas desarrolladas por siembra directa (156.2 cm) vs las de vivero (97.6 cm). Para *Laguncularia racemosa* se registró una mortalidad mayor en el campo que en el vivero.

En *Avicennia germinans* la mortalidad y sobrevivencia se debió a la oruga y a la reducción del nivel de inundación del suelo en el área que fue plantada.

Marco legal

Constitución del Estado Libre Asociado de Puerto Rico, Artículo VI, Sección 19

Este inciso de la Constitución del Estado Libre Asociado de Puerto Rico establece que “será política pública del Estado la más eficaz conservación de los recursos naturales, así como el mayor desarrollo y aprovechamiento de los mismos para el beneficio de la comunidad”. De esta forma se garantiza la conservación y protección de los distintos recursos naturales que se encuentran distribuidos en la Isla para que estén en óptimas condiciones para el beneficio de las generaciones presentes y futuras.

“El conocimiento ecológico de una región es el elemento fundamental para la aplicación viable de técnicas y políticas públicas de manejo de los hábitats y recursos naturales críticos que busquen incidir en el horizonte del desarrollo sustentable de dicha región geográfica” (Villalobos, Yáñez-Arancibia, Day & Lara-Domínguez, 1999, p. 264). Durante las últimas décadas los mangles en las costas de Puerto Rico han experimentado un alto grado de deterioro como resultado del descuido y mal uso por el ser humano. Para controlar esta situación se han desarrollado un conjunto de leyes y reglamentos, tanto estatales como federales, para la protección, conservación y manejo de tan valioso recurso. El DRNA es la agencia gubernamental en la cual se ha delegado la custodia de nuestros manglares y es la responsable su protección y conservación. Los mangles del EBSJ forman parte los recursos naturales que el DRNA tiene que proteger y conservar. Además, las restauraciones, voluntarias o mitigaciones, deben ser evaluadas por dicha agencia.

Ley 416 de 22 de septiembre del 2004, según enmendada, “Ley sobre Política Pública Ambiental”

Esta ley establece que “El Estado Libre Asociado de Puerto Rico procurará lograr su desarrollo sustentable basándose en los siguientes cuatro amplios objetivos: 1) la más eficaz protección del ambiente y de sus recursos naturales; 2) el uso más prudente y eficaz de los recursos naturales para beneficio de toda la ciudadanía; 3) un progreso social que reconozca las necesidades de todos; y 4) el logro y mantenimiento de altos y estables niveles de crecimiento económico y empleos”. Al ser los mangles un recurso sustentable, deben ser protegidos y conservados para lograr su rendimiento máximo, sin ser afectados por las personas que utilizan los distintos productos que éstos brindan y así establecer un balance entre los aspectos social, económico y ambiental. Las siembras de mangle amplían las áreas de manglares en las costas y por ende, los productos que se pueden extraer del recurso, generando nuevos empleos para las comunidades adyacentes.

Ley 23 de 20 de junio de 1972, según enmendada, “Ley Orgánica del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales”

La ley crea y establece al Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. El DRNA es responsable de la planificación y manejo de todos los recursos naturales de la Isla. Además, dicha ley ordena al departamento a “ejercer la vigilancia y conservación de las aguas territoriales, los terrenos sumergidos bajo éstas y la zona marítimo terrestre, conceder franquicias, permisos y licencias de carácter público para su uso y aprovechamiento y establecer mediante reglamento los derechos a pagarse por los mismos”. Los mangles se desarrollan en zonas intermareales alrededor de las costas de Puerto Rico. Las zonas intermareales forman parte de la zona marítima terrestre, por lo que los mangles son recursos que están protegidos por dicha Ley.

Bajo el DRNA existen otros estatutos que promueven la conservación de los manglares:

- Ley 278 de 29 de noviembre 1998, según enmendada, “Ley de Pesquería”

El propósito principal de esta Ley es “reglamentar las actividades que tengan efectos en los recursos pesqueros dentro de los límites territoriales del Estado Libre Asociado de Puerto Rico”. Los manglares son un elemento esencial para el ciclo de vida de una variedad de especies de peces que son capturados en la pesca comercial y deportiva. Los mangles que se han sembrado en el EBSJ y se desarrollen exitosamente serán hábitat para un sin número de peces aumentando así la pesca en el área.

- Ley 6 de 29 de febrero de 1968, según enmendada, “Ley sobre prevención de inundaciones y conservación de playas y ríos”

Esta ley hace responsable al DRNA de la “vigilancia y atención de los manglares pertenecientes al Estado Libre Asociado de Puerto Rico”. El resultado de esta vigilancia permitirá que el DRNA tome las debidas precauciones al observar personas perjudicando los mangles al realizar cualquier tipo de actividad en ellos.

- Ley 133 de 1 de julio de 1975, según enmendada, “Ley de Bosques”

Esta ley describe los bosques como “un recurso natural y único por su capacidad para conservar y restaurar el balance ecológico del medio ambiente; conservar el suelo, el agua, la flora y la fauna; proveen productos madereros; proporcionan un ambiente sano para la

recreación al aire libre y para la inspiración y expansión espiritual del hombre; y el manejo forestal provee una fuente de empleo rural...”. Mediante esta ley el DRNA tiene la obligación de conservar, proteger, mantener y administrar las áreas forestales que han sido declaradas como patrimonio natural. Los manglares que son declarados como bosques estatales quedan protegidos por esta ley.

- Ley 241 de 15 de agosto de 1999, según enmendada, “Nueva Ley de Vida Silvestre de Puerto Rico”

El Artículo 3 de esta ley indica “se declara que es política pública del Gobernador de Puerto Rico la protección de la vida silvestre y en particular del hábitat de dichas especies”. Además, “esta ley establece una prohibición de modificación de aquellos hábitats naturales críticos esenciales de especies vulnerables o en peligro de extinción”. El principal objetivo de esta ley es promover la conservación y el manejo de los recursos de vida silvestre. Gran parte de la vida silvestre que habita en nuestras tierras depende de las funciones que los manglares brindan en alguna etapa de su desarrollo. De manera que al conservar y proteger la vida silvestre estaremos protegiendo, de manera indirecta, las comunidades de manglares.

- Ley 1 de 29 de junio de 1977, según enmendada “Ley de Vigilantes de Recursos Naturales del Departamento de Recursos Naturales”

El Cuerpo de Vigilantes de Recursos Naturales del DRNA deben “ejercer la vigilancia y conservación de los manglares pertenecientes al Estado Libre Asociado de Puerto Rico y bajo la supervisión del

Departamento de Recursos Naturales según establecido en la Ley Núm. 6 de 29 de febrero de 1968, según enmendada”. Los vigilantes tienen el poder de realizar arrestos y buscar órdenes judiciales al observar algún tipo de impacto negativo en los manglares por las personas que utilizan el área para algún tipo de actividad.

- Ley 150 de 4 de agosto de 1988, “Ley del Programa de Patrimonio Natural”

Esta ley provee al DRNA las herramientas necesarias para la adquisición, restauración y el manejo de las áreas con un valor natural. Estos valores están identificados en la Lista de Áreas con Prioridad de Conservación de la División de Patrimonio Natural. Los manglares al estar bajo la categoría de los humedales, los cuales forman parte de la lista, serán protegidos por la ley.

- Reglamento 4860 de 29 de diciembre de 1992, según enmendado, Reglamento para el Aprovechamiento, Vigilancia, Conservación y Administración de las Aguas Territoriales, los Terrenos Sumergidos bajo éstas y la Zona Marítimo Terrestre
- Reglamento 6766 de 12 de marzo del 2004, Reglamento para Regir las Especies Vulnerables y en Peligro de Extinción en el Estado Libre Asociado de Puerto Rico.
- Reglamento 6765 de 12 de marzo del 2004, Reglamento para Regir la Conservación y el Manejo de la Vida Silvestre, las Especies Exóticas y la Caza en el Estado Libre Asociado de Puerto Rico.
- Reglamento 6916 del 17 de diciembre del 2004, Reglamento para Regir la Extracción, Excavación, Remoción y Dragados de los Componentes de la Corteza Terrestre.

Ley 314 de 24 de diciembre de 1998, según enmendada, “Ley de la Política Pública sobre los Humedales en Puerto Rico”

La Ley 314 de 24 de diciembre de 1998 declara la política pública sobre los humedales en el Estado Libre Asociado de Puerto Rico. Esta reconoce la importancia y los valores de los humedales en la Isla; por esta razón, ordena su protección, preservación, conservación, restauración y manejo. La protección de los humedales en Puerto Rico permite la conservación de una de las áreas más importantes de descanso y alimentación para la vida silvestre. Al proteger estos recursos naturales se estará promoviendo una mayor biodiversidad en la Isla.

Los humedales son sistemas de alta productividad ya que estos son hábitats para un sinnúmero de organismos, en especial las distintas especies de plantas. Las especies de plantas que más abundan en los humedales son los manglares. Por lo tanto, al proteger los humedales en la Isla, estaremos protegiendo indirectamente las comunidades de mangles que se encuentran en éstos.

Ley 75 de 24 de junio de 1975, según enmendada, “Ley Orgánica de la Junta de Planificación”

Bajo esta ley la Junta de Planificación (JP) está facultada para coordinar todas las actividades gubernamentales y poder dirigir al sector privado hacia un desarrollo balanceado de los recursos naturales del país. Esta agencia ha desarrollado una serie de reglamentos que inciden sobre los manglares.

- Reglamento Núm. 13 de 7 de enero del 2010, Reglamento sobre Áreas Especiales de Riesgos a Inundaciones

El Reglamento Núm. 13 tiene como propósito “las disposiciones de este Reglamento establecen las medidas de seguridad para controlar las edificaciones y el desarrollo de terrenos en las áreas declaradas

susceptibles a inundaciones o zonas provisionales inundables...”. Los manglares están catalogados como zonas inundables, por lo cual se le aplicará lo establecido en este reglamento.

- Reglamento Núm. 17 del 31 de marzo del 1983, Reglamento de Zonificación de la Zona Costanera y Accesos a las Playas y Costas de Puerto Rico.

Puerto Rico, al formar parte de los Estados Unidos de Norte América, está sujeto al cumplimiento de leyes y reglamentos federales sobre los recursos naturales y el ambiente:

Clean Water Act de 18 de octubre de 1972 (33 USCA 1251-1387)

La Ley de Agua Limpia fue creada para la restauración y mantenimiento de la integridad química, física y biológica de las aguas de los Estados Unidos de Norte América. Uno de los problemas que enfrentan los manglares en Puerto Rico son los distintos contaminantes que llegan a los cuerpos de agua. La mayoría de estos contaminantes alteran la calidad de las aguas en donde se desarrollan las comunidades de manglares, perjudicando sus funciones biológicas de los mismos. La implantación de esta ley ayuda a evitar que los contaminantes de las distintas fuentes lleguen a las aguas que nutren a los manglares.

Endangered Species Act de 28 de diciembre de 1973 (16 USCA 1531-1544)

Esta ley establece la protección de las especies vulnerables o en peligro de extinción. Varios de estos animales protegidos por ley, utilizan los manglares como habitáculo o como parte de su ciclo de vida. Al proteger esta fauna estaríamos protegiendo el ecosistema de manglar utilizados por ellos.

Marine Mammal Protection Act de 1972, según enmendada (16 USCA §§ 1361-1407)

La Ley de Protección de Mamíferos Marinos tiene como propósito la protección de todas las especies de mamíferos marinos. Al proteger aquellos que utilizan los manglares como hábitat, estaríamos protegiendo el recurso natural en forma indirecta.

“Emergency Wetlands Resource Act” de 1986 (16 USCA 3901-3932)

Esta ley persigue la conservación de los terrenos anegadizos, manteniendo los beneficios públicos que éstos proveen y para ayudar a cumplir con los tratados relacionados con aves migratorias.

Coastal Zone Management Act de 27 de octubre de 1972, según enmendada (16 USCA §§ 1451-1464)

Esta ley establece un balance eficiente entre la preservación y desarrollo de la zona costera. Mediante esta ley federal, para el 18 de septiembre de 1978, se establece el Programa de Manejo de la Zona Costanera de Puerto Rico, administrado por el DRNA. Este programa establece como política pública para los manglares lo siguiente:

“...restringir nuevos desarrollos en los manglares; y
...preparar e implementar planes más extensos para los manglares”

El PMZC establece lo antes mencionado para minimizar el impacto de los distintos proyectos de infraestructura que se realizan en o cerca de áreas donde las comunidades de mangles se encuentran y así disminuir el impacto que puedan tener sobre el recurso.

“Protecting America’s Wetlands: An Action Agenda”

Este documento no es una ley, el mismo comprende el informe final del “National Wetlands Policy Forum” realizado en noviembre de 1988. Constituye la base de la

política pública federal respecto a humedales los cuales incluyen a los ecosistemas de mangles.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

La meta de esta investigación es desarrollar estrategias recomendadas de siembra de mangle rojo (*Rhizophora mangle*) para futuras siembras en el Estuario de la Bahía de San Juan. Para llevar a cabo la investigación y lograr la meta establecida desarrollamos una metodología para determinar si hay una diferencia en cuanto a la tasa de crecimiento de las plántulas de mangle rojo y en el número de hojas desarrolladas al mes por técnica de siembra. A base de los resultados obtenidos, desarrollamos una serie de estrategias recomendadas para futuras siembras de mangle rojo en el Estuario de la Bahía de San Juan.

Área de estudio

El EBSJ, localizado en la costa norte de la Isla, está constituido por los siguientes elementos: Bahía de San Juan, Laguna del Condado, Laguna San José, Laguna los Corozos, Laguna la Torrecilla, Laguna de Piñones, Canal San Antonio, Canal Suárez y Caño Martín Peña. El área de estudio que designamos para la siembra de mangle rojo fue el Parque Recreativo La Esperanza José Álvarez Brunet en Cataño (Figura 1).

El Parque Recreativo La Esperanza bordea la costa sur de la Bahía de San Juan y está ubicado en las latitudes 18.457 °N y 66.135 °O (*datum* NAD 83) con una elevación de 2 m sobre el nivel del mar. Su acceso es a través de la carretera PR-165, entrando por la Calle Palo Seco y está localizado al lado de las instalaciones de la Destilería Bacardí.

La comunidad más cercana es la Urbanización Bay View a tan solo 0.58 millas. Las instalaciones del parque cuentan con áreas de estacionamiento, gazebos, piscinas, juegos para niños y veredas para caminar.

El Parque es un cayo producto del dragado de la bahía, que creó un banco de arena en el cual se desarrolló abundante vida silvestre, particularmente las comunidades de manglar. Este sitio turístico fue escogido ya que posee las condiciones adecuadas (aguas protegidas y calmadas, sustrato compuesto de cieno oscuro, arcilla y arena) para la siembra de mangle rojo (*Rhizophora mangle*).

Período de estudio

El estudio lo realizamos durante un período de cinco meses, comenzando desde el 6 de marzo del 2010 con la siembra de mangle y el primer monitoreo y culminó el 8 de agosto del mismo año con el último día de monitoreo.

Diseño metodológico

Objetivo: Comparar dos técnicas de siembra de mangle rojo (*Rhizophora mangle*) para determinar si hay alguna diferencia en la tasa de crecimiento de las plántulas y en el número de hojas desarrolladas por mes por técnica.

El 6 de marzo del 2010 marcó la fecha de la ejecución de la siembra de mangle rojo (*Rhizophora mangle*) principal y el comienzo de su monitoreo. Realizamos la siembra en colaboración con la entidad ambiental el Corredor de Yaguazo, Inc.

Al llegar al parque, y antes de comenzar la siembra, recolectamos propágulos de mangle rojo (Apéndice 1), aproximadamente del mismo tamaño, del suelo y de los árboles de mangle en el área de estudio para cada una de las técnicas. Luego, determinamos la zona de estudio en el parque a utilizar para realizar la siembra. Esta zona fue escogida

porque se encuentra aislada/no visible para evitar que el público que visite o utilice el parque sea perturbado por la investigación. Además, es una zona en donde las actividades recreativas realizadas en el parque no intervendrán con el estudio, minimizando el impacto que éstas puedan tener en las técnicas de siembras de la investigación y en el desarrollo de las plántulas del mangle.

Una vez determinamos la zona de estudio, establecimos en ella una cuadrilla de 25.83 m² la cual fue dividida en dos zonas de estudio: Zona 1 y Zona 2 (Apéndice 2). Estas zonas tenían una separación de 1.72 m, una frente de la otra. En cada zona, establecimos las dos técnicas de siembra de mangle rojo (*Rhizophora mangle*) a utilizarse en esta etapa del estudio, las cuales serán descritas a continuación con la metodología que utilizamos para lograr la siembra.

Técnica de Restauración Bauzá (Zona 1):

Para esta técnica, la cual estaba localizada en el litoral del área de estudio, utilizamos 30 dispositivos de madera ($n = 30$) de 30.48 cm de altura y 1.12 cm de diámetro. A cada dispositivo le colocamos de cuatro a cinco propágulos de mangle rojo atados con una cinta biodegradable (Apéndice 3). Además, les colocamos una placa de aluminio la cual representa, en la hoja de monitoreo, la enumeración del dispositivo y la plántula a ser monitoreada. Los dispositivos fueron instalados en el sedimento hasta estar firmes y hasta que la parte de abajo del hipocotilo del mangle tocara el mismo a una distancia de 58.42 cm uno de los otros (Apéndice 4). Luego todos los propágulos de mangle rojo fueron medidos desde el sedimento hasta la punta de la plúmula. De los cuatro o cinco propágulos atados al dispositivo de madera, seleccionamos un propágulo,

el cual se le ató un cable plástico. Este representaba el propágulo que fue monitoreado durante la investigación.

Una vez los propágulos desarrollaron sus primeras hojas (hojas embrionarias), éstos fueron medidos desde el sedimento hasta su última hoja (esta medida la realizamos alargando la última hoja). Además, al desarrollar sus primeras hojas, comenzamos el monitoreo del conteo del número de hojas por mes de las plántulas. También anotamos las observaciones adicionales de los otros propágulos atados al dispositivo de madera.

Técnica Encapsulada de Riley (Zona 2):

La localización de esta zona se adentra hacia el mar, alejándose del litoral y paralela a la Técnica de Restauración Bauzá. En esta técnica utilizamos 30 tubos de PVC ($n = 30$) de 73.02 cm de largo y 3.81 cm de diámetro, a los cuales se les hizo un corte longitudinal de 45°C para facilitar la recolección de los sedimentos luego de ser instalados. Utilizamos un martillo de goma con un peso de 3 lbs. para instalar los tubos a una profundidad de 30.48 a 60.96 cm hasta estar firmes en el sedimento a una distancia de 38.10 cm entre ellos (Apéndice 5). Cada tubo fue enumerado con una placa de plástico, la cual fue atada alrededor de éste utilizando un cable plástico. Esta placa representa la enumeración del tubo y de la plántula en la hoja de monitoreo. Una vez enterrados los tubos, les colocamos dentro de cada uno, suficiente mezcla de arena con *putting soil* (50/50) hasta llegar al nivel del agua (Apéndice 6). Luego de depositar la mezcla dentro de los tubos de PVC, utilizamos una varilla de madera para afirmar la mezcla. Sobre la mezcla colocamos un tiesto de cartón biodegradable *jiffi -strips* el cual contenía la mezcla 50/50 y un propágulo de mangle rojo a una distancia de 0.84 cm de

profundidad del tiesto (Apéndice 7). Los tiestos fueron introducidos en los tubos de PVC utilizando una varilla de madera o los dedos para empujarlos o presionarlos hasta el nivel del agua dentro del tubo (Apéndice 8).

Luego de haber colocado los tiestos con los propágulos dentro de los tubos, éstos fueron medidos desde la tierra dentro del tubo hasta la punta de la plúmula. Una vez los propágulos desarrollaron sus primeras hojas (hojas embrionarias), medimos los mismos desde la tierra dentro del tubo hasta la última hoja (esta medida la realizamos alargando la última hoja). Además, al desarrollar sus primeras hojas, comenzamos el monitoreo del conteo del número de hojas por mes de las plántulas.

En el primer mes de la siembra ambas zonas de estudio, con sus técnicas, (Apéndice 9) fueron monitoreadas semanalmente. Una vez culminado el primer mes, visitamos el área mensualmente para monitorear el progreso, crecimiento y número de hojas desarrolladas de las plántulas de mangle rojo en las distintas zonas. Durante la visita recopilamos información y datos necesarios en una hoja de monitoreo (Apéndice 10) desarrollada por el asesor científico del EBSJ, Dr. Jorge Bauzá. Los propágulos o plántulas que se extraviaron o murieron durante la investigación no fueron reemplazados por unos nuevos. Igualmente, los dispositivos de madera o tubos de PVC extraviados no fueron reemplazados en las zonas de estudio. Esta información fue recopilada en la hoja de monitoreo.

Análisis de datos

Al culminar los cinco meses de monitoreo, recopilamos todas las hojas de monitoreo utilizadas en el diseño metodológico. Utilizamos el programa “Microsoft Excel” para tabular los datos recopilados de acuerdo a la fecha de monitoreo, zona

(técnica de siembra) y enumeración de la plántula. Una vez tabulados los datos, procedimos a realizarles los análisis pertinentes.

Análisis de las plántulas por técnica de siembra

El programa Excel lo utilizamos en el análisis de las plántulas para calcular los crecimientos (cm) de cada plántula, la tasa de crecimiento (cm/mes) de cada plántula en cada técnica, el promedio de crecimiento (cm) y la desviación estándar (DS) de las tasas de crecimiento por técnica de siembra.

El crecimiento total de la plántula lo determinamos restando la medida de altura final (cm) de la medida de altura obtenida inicialmente (cm) para cada plántula. Para la tasa de crecimiento de la plántula en cada técnica, dividimos el crecimiento total de la plántula entre cinco meses (tiempo de duración del monitoreo). Los resultados obtenidos los colocamos en una columna, de acuerdo a su técnica, para calcular el promedio y la DS de las tasas de crecimiento por técnica de siembra.

Las tasas de crecimiento fueron agrupadas y analizadas mediante la prueba de varianza One Way ANOVA para determinar si hubo algún tipo de diferencia estadística en la tasa de crecimiento de las plántulas por técnicas de siembra. Mediante los resultados obtenidos en la prueba determinamos cuál de las técnicas de siembra exhibió un mayor crecimiento de las plántulas.

Análisis del número de hojas desarrolladas por técnica de siembra

Igualmente para este análisis, utilizamos el programa Excel para calcular el promedio del número de hojas desarrolladas por mes de cada plántula en cada técnica, el promedio y DS de hojas desarrolladas por mes por técnica de siembra.

Para calcular el promedio del número de hojas desarrolladas por mes de cada plántula en cada técnica, escogimos las plántulas que desarrollaron hojas durante cuatro meses y las dividimos entre cinco meses (tiempo de duración del monitoreo). Luego los resultados los colocados en columna, de acuerdo a su técnica, para calcular el promedio y la DS del número de hojas desarrolladas por mes por técnica de siembra. Los promedios del número de hojas desarrolladas por mes de cada plántula en cada técnica fueron analizados por la prueba de varianza One Way ANOVA para determinar si hubo diferencias estadísticas en el número de hojas desarrolladas por técnica de siembra.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo presentamos los resultados de la investigación realizada durante el transcurso de cinco meses en las Zonas de estudio, con sus respectivas técnicas de siembra. Evaluamos y analizamos las tasas de crecimiento de las plántulas y el número de hojas desarrolladas por mes en cada técnica. También realizamos una prueba de varianza One Way ANOVA para determinar si hay una diferencia estadística en las tasas de crecimiento de las plántulas y en el número de hojas desarrolladas por mes de mangle rojo por técnica de siembra.

Comparación de dos técnicas de siembra de mangle rojo (*Rhizophora mangle*) para determinar si hay alguna diferencia en las tasas de crecimiento y en el número de hojas desarrolladas por mes de las plántulas de mangle rojo por técnica

Evaluación de las plántulas en las técnicas de siembra

Las medidas iniciales, finales, los resultados de los crecimientos y de las tasas de crecimientos de las plántulas de mangle rojo en cada zona se encuentran resumidos en las Tablas 1 y 2. En la Figura 2 observamos la comparación de los promedios y DS de las tasas de crecimiento (cm/mes) de las plántulas de mangle rojo por técnica de siembra. Para la Zona 1 (Técnica de Restauración Bauzá) obtuvimos un promedio de 6.14 cm/mes y una desviación estándar de 1.59. En la Zona 2 (Técnica Encapsulada de Riley) obtuvimos un promedio de 7.03 cm/mes y una DS de 1.12.

Los resultados de las tasas de crecimiento por técnica de siembra fueron analizados mediante una prueba de One Way ANOVA. Esta prueba determinó que

estadísticamente a un nivel de 0.05 hay una diferencias entre la Técnica Encapsulada de Riley y la Técnica de Restauración Bauzá ($F = 4.92207$, $p = 0.03172$). La Técnica Encapsulada de Riley exhibió un crecimiento mayor de las plántulas de *Rhizophora mangle* en comparación con las de la Técnica de Restauración Bauzá (Tabla 3).

Evaluación de las hojas desarrolladas en las técnicas de siembra

De las 22 plántulas en la Zona 1, dos de ellas no fueron utilizadas en los cálculos de promedio del número de hojas desarrolladas por mes de cada plántula en cada técnica, del promedio y desviación estándar de hojas desarrolladas por mes por técnica de siembra, y de la prueba de One Way ANOVA. Esto es así, ya que éstas desarrollaron sus primeras hojas en tres meses.

Los promedios mensuales del número de hojas desarrolladas de las plántulas en las zonas se observan en las Tablas 4 y 5. El promedio y la DS del número de hojas desarrolladas por mes por técnica de siembra fueron mayores en la Zona 2 en comparación con la Zona 1. La Zona 1 obtuvo un promedio de 0.99 con una DS de 0.19. Para la Zona 2 obtuvimos un promedio de 1.21 con una DS de 0.17 (Figura 3). La prueba de One Way ANOVA del número de hojas desarrolladas por mes por técnica de siembra demostró que, estadísticamente, hay una diferencia significativa entre ambas técnicas ($F = 17.56857$, $p = 1.39517E-4$) a un nivel de 0.05. Nuevamente la prueba muestra que en la Técnica Encapsulada de Riley, las hojas de las plántulas exhibieron un mayor desarrollo en cuanto al número de hojas (Tabla 6).

Según los resultados de las comparaciones de las técnicas de siembra de mangle rojo (*Rhizophora mangle*) encontramos que las plántulas sembradas en la Zona 2,

empleando la Técnica Encapsulada de Riley, tuvieron una tasas de crecimiento y un desarrollo de hojas por mes mayor que las plántulas sembradas en la Zona 1 (Técnica de Restauración Bauzá). Esta diferencia de crecimiento y número de hojas desarrolladas pudo ser ocasionada por distintos factores.

Factores limitantes al crecimiento de los propágulos o plántulas y número de hojas desarrolladas

Técnica de Restauración Bauzá (Zona 1)

La diferencia en el crecimiento de las plántulas y número de hojas desarrolladas en esta zona pudo ser resultado del diseño experimental que utilizamos. La Zona 1 estaba localizada en el litoral detrás de un rodal de manglar previamente establecido en la zona de estudio. Al estar ubicadas detrás de los manglares, las plántulas en la Técnica de Restauración Bauzá, estuvieron mayormente bajo el efecto de sombra de los doseles cerrados de estos árboles. Este efecto pudo causar un impacto en el crecimiento de las plántulas y en el número de hojas, ya que están compitiendo con el rodal de manglar por la penetración de la luz solar, la cual promueve el crecimiento de los propágulos y las plántulas. En su artículo *Gap-dependence in mangrove life-history strategies: a consideration of the entire life cycle and patch dynamics* los científicos López-Hoffman, Ackerly, Anten, Denoyer, & Martínez-Ramos (2007) indicaron que las plántulas de mangle rojo necesitan espacios y altos niveles de luz para lograr su desarrollo a etapa juvenil. Ellison & Farnsworth (1993), determinaron que las semillas de mangle que se encuentran bajo los doseles tienen un nivel de sobrevivencia menor que las semillas que se encuentran en los doseles con espacios (78% vs. 90%). Además concluyeron que las semillas que no se encuentran bajo los efectos constantes de doseles producen más hojas

($P=0.003$), son más pesadas ($P=0.040$) y crecen mayor que las semillas ubicadas bajo los doseles.

Otro efecto del rodal en el crecimiento de las plántulas pudo ser la competencia entre ambos por los nutrientes en el sedimento de la zona. McKee (1995, p.299) 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”.

El efecto de la salinidad es un factor que debe ser considerado al evaluar el desarrollo y crecimiento de los propágulos y plántulas. La plúmula de *Rhizophora mangle* es sensitiva a altos niveles de salinidad. La marea alta que se producía en algunas ocasiones en la zona de estudio, pudo haber jugado un papel importante en el crecimiento de los propágulos y plántulas en esta técnica. En marea alta, los dispositivos de madera quedaban sumergidos y la salinidad entraba en contacto con la plúmula. Este efecto pudo haber ocasionado la mortandad de algunas semillas y plántulas (cuatro propágulos o plántulas murieron). Este factor no se observó en la Zona 2 porque los propágulos o plántulas estaban a una mayor elevación y sobrepasaban el nivel del agua, disminuyendo así el impacto de la marea alta y salinidad sobre sus plúmulas.

Los factores antes mencionados pudieron haber ocasionado las bajas del conteo final. De los 30 dispositivos sembrados originalmente con sus propágulos o plántulas, cuatro se extraviaron y cuatro murieron disminuyendo el número a 22. Esta reducción afecta los cálculos finales en las tasas de crecimiento y número de hojas desarrolladas en esta técnica.

Técnica Encapsulada de Riley (Zona 2)

En comparación con la Zona 1, en esta zona al culminar la investigación quedaron 24 plántulas (cinco extraviadas y una muerta) de las 30 sembradas originalmente. Durante el transcurso de los cinco meses, esta zona estuvo expuesta a un alto nivel de luz solar, el cual pudo haber influenciado en el crecimiento acelerado de las plántulas y en el número de hojas desarrolladas. El crecimiento pudo haber sido resultado del efecto de fototropismo. En su estudio *Phototropism: mechanisms and ecological implications*, Iino (1990, p. 633), menciona que “los retoños jóvenes de las plantas que están expuestos a un ambiente de luz uniforme, a menudo expresan una flexión a lo largo de sus ejes de crecimiento, por último apuntando su ápice hacia el lado más brillante”. Este científico define *fototropismo* como “las respuestas directas de flexión de los órganos de las plantas crecientes inducidas por el estímulo de la luz directa. La flexión resulta del crecimiento y alargamiento desigual entre las dos partes de un órgano (o, en algunas plantas inferiores, de un cambio del punto de crecimiento)” (Iino, 1990, p. 633).

Farnsworth & Ellison (1996) indican que las semillas de *Rhizophora* expuestas a un grado mayor de luz solar tienen un crecimiento más rápido, más alto y obtuvieron un número de hojas mayor que las semillas que se encontraban en la sombra. Esto concuerda con nuestros hallazgos, ya que las semillas en esta Zona estaban bajo los efectos constantes de la luz solar. Por esta razón obtuvieron un promedio de tasa de crecimiento de 7.03cm/mes y un promedio de número de hojas desarrolladas por mes de 1.21 en comparación con la Zona 1 (tasa de crecimiento de 6.14 cm/mes y promedio de número de hojas de 0.17).

Un factor que pudo haber ayudado a que las plántulas en esta zona tuvieran un crecimiento y número de hojas mayor fue que éstas no competían entre sí por la luz solar y por los nutrientes en el sedimento. Esto se debe al aislamiento de los propágulos o plántulas del entorno adyacente y de ellas mismas por el tubo.

En nuestra investigación solamente ocurrió la mortandad de una plántula de mangle rojo para esta técnica. Esto no concuerda con los resultados obtenidos por Farnsworth & Ellison (1996), que indican que las semillas de mangle que estuvieron completamente expuestas a la luz solar obtuvieron un mayor nivel de mortandad que las semillas que se encontraban en la sombra.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Puerto Rico posee con una diversidad de recursos naturales que hacen de nuestra Isla una de encantos sin igual. A través de los años estos recursos nos han brindado y provisto una serie de servicios económicos, sociales y ambientales. Las comunidades de mangles que se encuentran dispersos en las costas norte y sur de la Isla son uno de estos recursos. El EBSJ es el lugar donde encontramos la mayor concentración de manglares. Los manglares del estuario componen un entorno importante para una abundancia de especies que se benefician utilizándolo como albergue o como parte de su ciclo de vida. Igualmente el ecosistema de manglares del EBSJ es utilizado para distintas actividades recreacionales. Algunas de las funciones que ejerce los manglares son: protegen las costas de la erosión y las marejadas, forman terrenos, sus raíces atrapan y filtran sedimentos, nutrientes y contaminantes.

Como parte de su compromiso de restaurar o reforestar las comunidades de mangles que han sido modificadas y degradadas por distintos factores, el Programa del EBSJ ha realizado numerosas actividades de siembra de mangle rojo empleando la Técnica Encapsulada de Riley y la Técnica de Restauración Bauzá. Estas siembras ayudan al aumento del recurso natural en los litorales de la bahía.

Tomando en cuenta el éxito de las siembras de mangles realizadas por el Programa del EBSJ han sido exitosas, la orientación de este estudio va dirigida a establecer una comparación de técnicas de siembras de mangle rojo para determinar si

hay una diferencia en la efectividad de las técnicas en cuanto a las tasas de crecimiento y en el número de hojas desarrolladas de las plántulas de mangle rojo.

Estrategias recomendadas

Al finalizar el estudio investigativo de las comparaciones entre la Técnica de Restauración Bauzá con la Técnica Encapsulada de Riley y los resultados obtenidos, procedimos al desarrollo de una serie de estrategias recomendadas sobre cada una de las técnicas de siembra de mangle rojo utilizadas. Además establecimos otras estrategias recomendadas en el ámbito de manejo, conservación, investigación y educación para los mangles en el EBSJ. Las estrategias presentadas a continuación comprenden un aporte o una guía para futuras actividades de siembra de mangle rojo en el Estuario de la Bahía de San Juan.

Técnica de Restauración Bauzá

- La Técnica de Restauración Bauzá debe ser empleada en los litorales, a través del estuario, en donde ocurran mareas y oleajes bajos para que los dispositivos de madera no queden sumergidos por la marea y no se extravíen, evitando afectar el crecimiento de las plántulas.
- La técnica puede ser instalada en lugares tanto visibles como no visibles ya que los dispositivos de madera no afectan la visual de las personas hacia el litoral costero o la estética del área.

- Los dispositivos de madera con las plántulas de mangle rojo deben ser instalados en litorales donde no hayan rodales de manglares previamente establecidos para evitar la competencia por la luz solar y los nutrientes.
- En siembras existentes que se encuentren bajo doseles de manglares, se puede talar una sección del área foliar del dosel para abrir un espacio y permitir la penetración de la luz solar a las plántulas en los dispositivos de madera. Esta tala limitada ayudará a que las plántulas se estimulen con la luz solar aumentando su crecimiento.
- Se recomienda la colocación de algún tipo de barrera alrededor de los dispositivos de madera como camas de sedimento, piedras o rocas para la protección de las plántulas del embate del oleaje o de la marea alta ya que no tiene ningún tipo de protección. Esto ayudará a proteger las plántulas y servirá de soporte a las mismas o a los dispositivos de madera.
- La Técnica de Restauración Bauzá puede ser utilizada para llevar a cabo una siembra o restauración de mangle con el fin de establecer un área con mayor densidad de manglar. Esta estrategia se basa en que a cada dispositivo de madera se le pueden colocar hasta 4 propágulos de mangle, en comparación con la Técnica Encapsulada de Riley donde solo podemos colocar un propágulo dentro del tubo de PVC.

Técnica Encapsulada de Riley

- Antes de realizar o llevar a cabo una siembra con esta técnica se debe de tomar en consideración el suelo del área para determinar si la misma puede ser empleada o no.
- La Técnica Encapsulada de Riley puede ser utilizada tanto en costas de baja energía como en costas de alta energía.

- La técnica puede ser instalada en sitios o áreas tanto visibles como no visibles. Sin embargo se recomienda que sea ejecutada en áreas no visibles para disminuir el impacto visual de los tubos y la estética del área desde el litoral costero.
- Emplear esta técnica a una distancia del litoral costero para que el mangle contribuya a la formación de terrenos adicionales y extender o ampliar la línea de costa.
- Se recomienda que se utilice o se desarrolle otro tipo de material, mayormente biodegradable, como un remplazo del tubo de PVC para evitar que éste, al extraviarse, contamine el medio ambiente.
- Crear o elaborar modificaciones a la técnica Encapsulada de Riley para facilitar el crecimiento de la plántula de mangle rojo dentro del tubo de PVC. Una modificación que se puede utilizar es la de un apertura en la parte inferior del tubo, la cual fue utilizada en un proyecto de restablecimiento en el Indian River Lagoon (Johnson & Herren, 2008). Esta apertura ayudará a que penetre un mayor nivel de luz solar y permitirá el desarrollo lateral de las raíces.
- En las áreas de fuerte oleaje o marea alta se puede utilizar, en vez de la Técnica Encapsulada de Riley de una pieza, la Técnica Encapsulada de Riley de dos piezas que protege mejor el propágulo de mangle rojo en su etapa de desarrollo.

Manejo

- En términos de costo - efectividad (materiales) la Técnica de Restauración Bauzá resulta más económica. El costo estimado para la siembra de 30 plántulas mediante

la Técnica de Restauración Bauzá es de \$30. Para la Técnica Encapsulada de Riley el costo estimado es de \$60.

- Un factor a considerar para el manejo de una siembra en el EBSJ es las horas - hombre que se invierten en la preparación de los materiales y en la siembra de los propágulos por técnica. Una preparación y ejecución de una siembra de mangle de 30 propágulos realizada por cuatro personas empleando la Técnica Encapsulada de Riley se estimó en alrededor de dos horas. Para una siembra utilizando la Técnica de Restauración Bauzá es de una hora.
- Realizar las siembras de mangles, empleando las Técnicas de Restauración Bauzá y la Técnica Encapsulada de Riley, perpendicular a la costa para que las condiciones del área en donde estén instaladas sean las mismas (e.g. patrones de luz solar, niveles de nutrientes y salinidad).
- Realizar siembras de mangle, mayormente, en áreas del estuario no visibles o aisladas de las actividades humanas para disminuir el impacto que éstas tengan sobre la siembra y en el desarrollo de las plántulas de mangle rojo.
- Determinar la capacidad de acarreo de los mangles en el EBSJ para sostener varios tipos y niveles de actividad humana.
- Identificar, evaluar y mejorar distintas áreas en el EBSJ que contengan condiciones óptimas para realizar una siembra de mangle exitosa.
- Utilizar fotos aéreas de años previos para identificar distintas áreas en el EBSJ donde existió mangle y verificar, realizando distintas pruebas, si aun en estos lugares existen las condiciones óptimas para realizar una siembra.

- Identificar y documentar los problemas específicos de cada sitio, los cambios ocurridos en el ecosistema para crear un ambiente adecuado al manejo integrado para la futura área de siembra en el EBSJ.
- Colocación de barreras de bambú frente a las siembras de mangles establecidas o a establecerse en el EBSJ para disminuir el impacto de la energía del oleaje. Esta recomendación está basada en el estudio de Halide, Brikman & Ridd (2004) quienes diseñaron un método y modelo numérico para disminuir la energía de las olas y proteger las plantaciones de mangles costeras utilizando barreras de bambú. Este modelo predijo que a mayor densidad y diámetro del bambú, mayor será la disminución de la energía de la ola que impacta la siembra de mangle establecida. Además se determinó que la disminución de la ola aumentará con el aumento del ancho de la banda del bambú.
- Las actividades de siembra se deben programar fuera de la época de huracanes para tratar de minimizar la pérdida de las plántulas, los materiales y la mano de obra.
- Se aconseja la construcción de un vivero de mangle rojo en un punto fijo en el EBSJ. Esta técnica de siembra, aunque es más costosa, ha dado buenos resultados en la sobrevivencia de las plántulas de mangle rojo. En el estudio del caso 4, presentado en esta investigación, Tovilla- Hernández et al. (2004) encontró que hay una diferencia en sobrevivencia entre las plantas germinadas en el vivero y las del campo (78.5% vs 61.7%).
- Establecer un programa de monitoreo permanente de las comunidades de manglares localizadas en el EBSJ para determinar las condiciones en que se encuentran.

Conservación

- Elaborar campañas de educación que permitan crear una base de apoyo para la conservación del manglar y el medio ambiente en el EBSJ.
- Crear o desarrollar nuevos incentivos para la protección del manglar.

Investigación

- Continuar el estudio del crecimiento de las plántulas sembradas en el Parque Recreativo La Esperanza por un periodo de varios años para levantar una base más amplia de información sobre su desarrollo y el éxito de las técnicas.
- Desarrollar estudios comparativos de las tasas de sobrevivencia de los mangles sembrados en el EBSJ para determinar cuál de las técnicas exhibe una tasa mayor.
- Antes de realizar una siembra estudiar y analizar el porqué, en el área escogida, no ocurre una regeneración natural para determinar si es necesario una siembra, restauración o reforestación del área.
- Evaluar, antes de ejecutar una siembra, la hidrología del área en donde se desea llevar a cabo para que la misma sea exitosa. Lewis (2005, p.406) en su estudio *Ecological engineering for successful management and restoration of mangrove forests* determinó que “las profundidades, duraciones y frecuencias de las inundaciones son factores críticos para la supervivencia de las semillas de los mangles y del árbol maduro”.
- Previo a una siembra de mangle, realizar un muestreo y análisis químicos y físicos del agua (temperatura, pH, nitrato, fósforo, oxígeno disuelto, salinidad) en el área y

determinar si los parámetros y condiciones son favorables para el crecimiento de los propágulos.

- Elaborar o desarrollar un estudio de los suelos en el EBSJ para determinar que técnica de siembra se ha de utilizar en cada área de acuerdo al tipo de suelo.

Educación

- Aumentar la promoción de las actividades de siembra de mangle en el EBSJ a través de los medios de comunicación (e.g. periódicos, televisión, radio, internet,) para que las personas tengan conocimiento de este tipo de actividad y sean estimulados a participar en ellas.
- Colocar rótulos o letreros en las áreas de siembra de mangle y a través del EBSJ para educar a los visitantes sobre los trabajos de siembra realizados y los beneficios que este recurso natural nos brinda.
- Coordinar con escuelas talleres para que los estudiantes realicen una siembra de mangle y la monitoreen como parte de su clase de ciencias o proyecto de investigación científica. Al finalizar el año académico los estudiantes pueden presentar sus hallazgos y conclusiones a su escuela y al Programa del EBSJ y ser reconocidos o premiados por su investigación y aporte científico. De esta forma los estudiantes entrarán en contacto directo con el ciclo de vida del mangle y aprenderán la importancia que juega en el ecosistema del EBSJ, contribuyendo a la formación de una conciencia ambiental.

Limitaciones

A continuación se describirán algunas limitaciones que ocurrieron durante el transcurso de la investigación. Estas influyen en la ejecución de la misma y en los resultados obtenidos.

En ocasiones, la condición natural de marea alta dificultaba la toma de las medidas de los propágulos y plántulas en la Zona 1 (Técnica de Restauración Bauzá), ya que estaban sumergidos y no se observaban. El período de estudio de la investigación (5 meses) pudo ser un factor limitante en cuanto a poder documentar más extensamente el crecimiento de las plántulas en cada técnica.

Conclusión

Los manglares, como todo ecosistema, tienen un cierto grado de capacidad para su uso antes de llegar a su límite. La degradación y deforestación de las comunidades de mangles contribuyen a una pérdida de biodiversidad y una disminución en la calidad de los recursos físicos, químicos y biológicos del EBSJ. Esta situación genera una serie de efectos directos o indirectos al bienestar de la población que habita en los alrededores y en la cuenca hidrográfica de la Bahía de San Juan. Por ello es necesario tomar las medidas con el fin de restaurar los procesos ecológicos para garantizar el mejoramiento de la diversidad biológica y cultural del EBSJ.

Una de estas medidas es las actividades de siembra de mangle empleando los métodos mencionados y estudiados en la investigación o desarrollando nuevas técnicas de siembra de mangle. La conservación y el manejo de los manglares consisten en utilizarlos sabiamente para garantizar los distintos beneficios que dicho recurso brinda, y de esta manera preservar la belleza de la naturaleza puertorriqueña. Este estudio, los

resultados y las estrategias recomendadas pueden ser una guía para futuras siembras y para la recuperación, manejo y conservación de las comunidades de mangle rojo en el EBSJ.

En esta investigación concluimos que la siembra mediante la Técnica Encapsulada de Riley exhibió un mayor crecimiento en las plántulas y aumento en el número de hojas desarrolladas de mangle rojo en comparación con la Técnica de Restauración Bauzá. A pesar que estadísticamente hubo una diferencia en las tasas de crecimiento y en el número de hojas desarrolladas entre las técnicas, el grado de diferencia de promedios en las tasas de crecimiento (0.89 cm) y número de hojas desarrolladas (0.22) es mínimo. Esto indica que ambas técnicas son efectivas para llevar a cabo una siembra de mangle rojo en el EBSJ. Por lo tanto, concluimos que se deben considerar otros criterios para establecer que técnica de siembra es más efectiva.

La Técnica de Restauración Bauzá puede ser establecida en los litorales del estuario con poco oleaje y en áreas tanto visibles como no visibles. Esta técnica es más costo-efectiva, la siembra se ejecuta en un tiempo más corto y es más eficiente en términos de densidad por área. La Técnica Encapsulada de Riley tiene un costo más elevado y su implantación requiere mayor tiempo. Sin embargo, ésta última puede ser empleada en áreas del EBSJ con poco o alto oleaje, en áreas más allá de la línea de costa y las plántulas tiene un grado mayor de sobrevivencia.

LITERATURA CITADA

- Asif, M., & Kumar, A. (2009). Impact of “urban development” on mangrove forests along the west coast of the Arabian Gulf. *Earth Science India*, 2(3), 159- 173. Recuperado de http://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:nq7ulHNVO0QJ:www.earthscienceindia.info/pdfupload/download.php?file%3Dtech_pdf-35.pdf+Impact+of+%E2%80%9Curban+development%E2%80%9D+on+mangrove+forests+along+the+west+coast+of+the+Arabian+Gulf.&hl=en&pid=bl&srcid=ADGESj33BM35Ox1bJ1zh6iGZ1E8kMqrEzs6Od_wGXAgDCYZtGm0k8K9_8uwvujUbj32xTtZbsuJBXWmXISxvkiGLUzBeLBstkuj40TQUNHYrsR8rHkpuMJ9Kn4vpZHnlb6BNnpjLQeN&sig=AHIEtbTgF7-w4y_jRphw3sWBrb-ktie4DA&pli=1
- Beller, W., Casellas, M., Cerame-Vivas, M., Duffy L, El Koury, J., Gelabert, P., González-Liboy, J., Hernández-Avila, M., Maldonado, N., Matos, C., Mignucci-Giannoni, A., Pantojas-García, E., Rigau, J., Shelley, D., Tacher-Roffe, M., & Zerbi, N. (1999). *Puerto Rico and the Sea-1999: An action program for marine affairs. A report to the Governor*. San Juan, Puerto Rico: Departamento de Recursos Naturales y Ambientales.
- Bodero, A., & Robadue, D. (1995). Strategies for Managing Mangrove Ecosystems. En Robadue, D. (Eds. and trans), *Eight Years in Ecuador: The Road to Integrated Coastal Management*. Narragansett, RI: Coastal Resources Center, University of Rhode Island. Recuperado de http://www.crc.uri.edu/download/8YRSTO_1s7.pdf
- Calderón, C., Arbutó, O., & Ezcurra, E. (2009, Febrero-Enero). El valor de los manglares. *Biodiversitas*, 82, 1-6. Recuperado de <http://www.biodiversidad.gob.mx/Biodiversitas/Articulos/biodiv82art1.pdf>
- Carmona-Díaz, G., Morales-Mávil, J., & Rodríguez-Luna, E. (2004). Plan de manejo para el manglar de Sontecomapan, Catemaco, Veracruz, México: una estrategia para la conservación de sus recursos naturales. (Spanish). *Madera y Bosques*, 5-23. Recuperado de Academic Search Complete database.
- Carrera, C., & Lugo, A. (1978). Los sistemas de mangles de Puerto Rico. Programa de la Zona Costanera, San Juan, Puerto Rico: Departamento de Recursos Naturales y Ambientales.

- Chong, V. (2006). Sustainable utilization and management of Mangrove ecosystems of Malaysia. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 9(2), 249-260. doi:10.1080/14634980600717084.
- Clarke, A., & Johns, L. (2002). *Mangrove Nurseries: Construction, Propagation and Planting: Fisheries Guidelines* (FHG 004). Queensland Fisheries Service: Department of Primary Industries. Recuperado de http://www.dpi.qld.gov.au/documents/Fisheries_Habitats/FHG004-Fish-Habitat-Guideline.pdf
- Coll, A., Fonseca, C., & Cortés, J. (2001). El manglar y otras asociaciones vegetales de la laguna de Gandoca, Limón, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 49(2), 321-329. Recuperado de <http://www.biologia.ucr.ac.cr/rbt/attachments/suppls/sup49-2%20EACR%20II/31-COLLEL.pdf>
- Comisión Estatal de Elecciones. (1998-2002). Censo 2000: Población de Puerto Rico por distritos legislativos, precintos y municipios, 1990 y 2000. Estado Libre Asociado de Puerto Rico. Recuperado de <http://www.ceepur.org/censo2000/2000vs90.html>
- Costanza, R., de 'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K... van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253- 260. Recuperado de http://www.uvm.edu/giee/publications/Nature_Paper.pdf
- Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. (1968). *Ley Núm.6 de 29 de febrero. Ley Sobre la Prevención de Inundaciones y Conservación de Playas y Ríos*. Estado Libre Asociado de Puerto Rico. 12 LPRA § § 1101 - 1103.
- Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. (1972). *Ley Núm. 23 de 20 de junio. Ley Orgánica del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales*. Estado Libre Asociado de Puerto Rico. 12 LPRA § § 151 - 165.
- Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. (1975). *Ley Núm. 133 de 1 de julio. Ley de Bosque*. Estado Libre Asociado de Puerto Rico. 12 LPRA § § 191 - 204.
- Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. (1977). *Ley Núm.1 de 29 de junio. Ley de Vigilante de Recursos Naturales del Departamento de Recursos Naturales*. Estado Libre Asociado de Puerto Rico. 12 LPRA § § 1201 - 1210.

Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. (1988). *Ley Núm. 150 de 4 de agosto. Ley del Programan del Patrimonio Natural*. Estado Libre Asociado de Puerto Rico. 12 LPRA § § 1225 - 1241.

Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. (1992). *Reglamento Núm. 4860 de 29 de diciembre. Reglamento para el Aprovechamiento, Vigilancia, Conservación y Administración de las Aguas Territoriales, los Terrenos Sumergidos bajo éstas y la Zona Marítimo Terrestre*. Estado Libre Asociado de Puerto Rico.

Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. (1998). *Ley Núm. 278 de 29 de noviembre. Ley de Pesquería*. Estado Libre Asociado de Puerto Rico. 12 LPRA § § _____.

Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. (1998). *Ley Núm. 314 de 24 de diciembre. Ley de la Política Pública sobre los Humedales en Puerto Rico*. Estado Libre Asociado de Puerto Rico. 12 LPRA § § _____.

Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. (1999). *Ley Núm. 241 de 15 de agosto. Nueva Ley de vida silvestre de Puerto Rico*. Estado Libre Asociado de Puerto Rico. 12 LPRA § § _____.

Departamento de Recursos Naturales y Ambientales [DRNA]. (2003). *Plan de manejo para el Área de Planificación Especial de los Manglares de Puerto Rico*. San Juan, Puerto Rico: Departamento de Recursos Naturales y Ambientales.

Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. (2004). *Reglamento Núm.6766 de 12 de marzo. Reglamento para Regir las Especies Vulnerables y en Peligro de Extinción en el Estado Libre Asociado de Puerto Rico*. Estado Libre Asociado de Puerto Rico.

Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. (2004). *Reglamento Núm. 6765 de 12 de marzo. Reglamento para Regir la Conservación y el Manejo de la Vida Silvestre, las Especies Exóticas y la Caza en el Estado Libre Asociado de Puerto Rico*. Estado Libre Asociado de Puerto Rico.

Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. (2004). *Reglamento Núm. 6916 de 17 de diciembre. Reglamento para Regir la Extracción, Excavación, Remoción y*

Dragados de los Componentes de la Corteza Terrestre. Estado Libre Asociado de Puerto Rico.

Departamento de Recursos Naturales y Ambientales [DRNA]. (2007, Mayo). Siembran mangle rojo en la Bahía de San Juan. *Ambiente Natural*, 2(12). Recuperado de: <http://www.drna.gobierno.pr/oficinas/oficina-de-prensa-y-comunicaciones/boletin-ambiente-natural-2/boletin-ambiente-natural-2007-1/Ambiente%20Natural%20mayo%202007.pdf>

Duke, N., & Allen, J. (2006). *Rhizophora mangle*, *R. samoensis*, *R. racemosa*, *R. × harrisonii* (Atlantic–East Pacific red mangroves). En Elevitch, C. (Eds.), *Traditional Trees of Pacific Islands: Their Culture, Environment, and Use* (pp.816). Recuperado de <http://www.agroforestry.net/tti/Rhizophora-AEP.pdf>

Ellison, A., & Farnsworth, E. (1993). Seedling Survivorship, Growth, and Response to Disturbance in Belizean Mangal. *American Journal of Botany*, 80(10), 1137-1145. Recuperado de http://harvardforest.fas.harvard.edu/personnel/web/aellison/publications/1993/ellison_and_farnsworth_1993ajb.pdf

Environmental Protection Agency [EPA]. (2007). Puerto Rico: San Juan Bay Estuary Partnership Coastal Condition. En *National Estuary Program Coastal Condition Report*. Washington DC: Office of Water/Office of Research Development.

Escobar, A., Fragas, I., Sánchez, L., Pérez, T., Riverón, Y., & Marrero, E. (2007). Evaluation of *Rhizophora mangle* bark coming from the western area of Cuba for biomedical destination. *Revista de Salud Animal*, 29(1), 53-57. Recuperado de Academic Search Complete database.

Ewel, J., & Whitmore, J. (1973). *The ecological life zone of Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands* (Research. Paper ITF-18). Río Piedras, Puerto Rico: USDA Forest Service, Institute of Tropical Forestry Recuperado de http://www.srs.fs.usda.gov/pubs/rp/rp_itf018.pdf

Farnsworth, E., & Ellison, A. (1996). Sun-Shade Adaptability of the Red Mangrove, *Rhizophora mangle* (Rhizophoraceae): Changes Through Ontogeny at Several Levels of Biological Organization. *American Journal of Botany*, 83(9), 1131-1143. Recuperado de

http://harvardforest.fas.harvard.edu/personnel/web/aellison_old/publications/farnsworth_and_ellison_1996ajb.pdf

Febles-Patrón, J., López, J., & Sampedro, E. (2007). Efecto de factores abióticos en el desarrollo de raíces primarias, crecimiento y supervivencia de propágulos en *Rhizophora mangle* L. (Spanish). *Madera y Bosques*, 13(2), 15-27. Recuperado de Academic Search Complete database.

Febles-Patrón, J., López, J., & Sampedro, E. (2009). Pruebas de reforestación de mangle en una ciénaga costera semiárida de Yucatán, México (Spanish). *Madera y Bosques*, 15(3), 65-86. Recuperado de Academic Search Complete database.

Flores-Verdugo, F., Moreno-Casasola, P., Agraz-Hernández, C., López-Rosas, H., Benítez-Pardo, D., & Travieso-Bello, A. (2007). La topografía y el hidroperiodo: dos factores que condicionan la restauración de los humedales costeros. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 80 (Suplemento), 33-47. Recuperado de <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=57708005>

Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (1994). *Mangrove forest management guidelines* (FAO Forestry Paper No. 117). Recuperado de <http://www.archive.org/details/mangroveforestma034845mbp>

Food and Agriculture Organization of the United Nation [FAO]. (2007). *The world's mangroves, 1980-2005: A thematic study prepared in the framework of the Global Forest Resources Assessment 2005* (FAO Forestry Paper No.153). Recuperado de <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1427e/a1427e00.pdf>

González, C., Urrego, L., Martínez, J., Polanía, J., & Yokoyama, Y. (2010). Mangrove dynamics in the southwestern Caribbean since the 'Little Ice Age': A history of human and natural disturbances. *Holocene*, 20(6), 849-861. doi:10.1177/0959683610365941.

Gould, W.A., Alarcón, C., Fevold, B., Jiménez, M.E., Martinuzzi, S., Potts, G., Quiñones, M., Solorzano, M., & Ventosa, E. (2008). *Puerto Rico Gap Analysis Project, Vol I: Land cover, vertebrate species distribution, and land stewardship* (IITF-GTR-39). Río Piedras, Puerto Rico: USDA Forest

Halide, H., Brikman, R., & Ridd, P. (2004). Designing bamboo wave attenuators for

- mangrove plantations. *Indian Journal of Marine Science*, 33(3), 220-225. Recuperado de [http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/1671/1/IJMS%2033\(3\)%20220-225.pdf](http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/1671/1/IJMS%2033(3)%20220-225.pdf)
- Heatwole, H. (1985). Survey of the Mangroves of Puerto Rico: A Benchmark Study. *Caribbean Journal of Science*, 21(3-4), 85-99. Recuperado de <http://academic.uprm.edu/publications/cjs/VOL21/P085-100.PDF>
- Hoff, R., Hensel, P., Proffitt, E., Delgado, P., Shigenaka, G., Yender, R., & Meams, A. (2010). *Oil spills in mangroves: planning & response considerations*. Washington, DC: U.S. Department of Commerce. Recuperado de http://response.restoration.noaa.gov/book_shelf/34_mangrove_complete.pdf
- Howari, F., Jordan, B., Bouhouche, N., & Wyllie-Echeverria, S. (2009). Field and Remote-Sensing Assessment of Mangrove Forests and Seagrass Beds in the Northwestern Part of the United Arab Emirates. *Journal of Coastal Research*, 25(1), 48-56. doi: 10.2112/07-0867.1.
- Iino, M. (1990). Phototropism: mechanisms and ecological implications. *Plant, Cell & Environment*, 13(7), 633-650. doi: 10.1111/j.1365-3040.1990.tb01080.x.
- Imbert, D., Rousteau, A., & Scherrer, P. (2000). Ecology of Mangrove Growth and Recovery in the Lesser Antilles: State of Knowledge and Basis for Restoration Projects. *Restoration Ecology*, 8(3), 230-236. doi:10.1046/j.1526-100X.2000.80034.x.
- Islam, S., & Wahab, A. (2005). A review on the present status and management of mangrove wetland habitat resources in Bangladesh with emphasis on mangrove fisheries and aquaculture. *Hydrobiologia*, 542(1-3), 165-190. doi:10.1007/s10750-004-0756-y.
- Johnson, L., & Herren, L. (2008). *Re-establishment of Fringing Mangrove Habitat in the Indian River Lagoon Shoreline Restoration Project 2007-2008 Final Report*. Office of Coastal and Aquatic Managed Areas Southeast Aquatic Preserves Field Office, Florida: Florida Department of Environmental Protection. Recuperado de <http://www.mangroverestoration.com/downloads/Johnson%20and%20Herren%202008%20Main%20Body%20Text%20Only.pdf>

- Junta de Calidad Ambiental. (2004). *Ley Núm. 416 de 22 de septiembre del 2004. Ley sobre la Política Pública Ambiental de Puerto Rico*. Estado Libre Asociado. 12 LPRA § § 121 – 1142.
- Junta de Planificación. (1975). *Ley Núm. 75 de 24 de junio. Ley Orgánica de la Junta de Planificación de Puerto Rico*. Estado Libre Asociado de Puerto Rico. 23 LPRA § § 62 – 64H.
- Junta de Planificación. (1983). *Reglamento Núm. 17 de 31 de marzo. Reglamento de Zonificación de la Zona Costanera y Accesos a las Playas y Costas de Puerto Rico*. Estado Libre Asociado de Puerto Rico.
- Junta de Planificación. (2010). *Reglamento Núm. 13 de 7 de enero. Reglamento sobre Áreas Especiales de Riesgos a Inundaciones*. Estado Libre Asociado de Puerto Rico.
- Kirui, B., Huxham, M., Kairo, J., & Skov, M. (2008). Influence of species richness and environmental context on early survival of replanted mangroves at Gazi bay, Kenya. *Hydrobiologia*, 603(1), 171-181. doi:10.1007/s10750-007-9270-3.
- Lema-Vélez, L., & Polanía, J. (2007). Estructura y dinámica del manglar del delta del río Ranchería, Caribe colombiano. (Spanish). *Revista de Biología Tropical*, 55(1), 11-21. Recuperado de Academic Search Complete database.
- Lewis, R.R., & Marshall, M.J. (1998). Principles of successful restoration of shrimp aquaculture ponds back to mangrove forests. [Abstract]. *Aquaculture '98 Book of Abstracts*, 327.
- Lewis, R., & Streever, B. (2000). Restoration of mangrove habitat, *WRP Technical Notes Collection* (ERDC TN-WRP-VN-RS-3.2). Vicksburg, MS: U.S. Army Engineer Research and Development Center. Recuperado de <http://el.erdc.usace.army.mil/elpubs/pdf/vnrs3-2.pdf>
- Lewis, R. (2001, Abril). Mangrove Restoration - Costs and Benefits of Successful Ecological. Proceedings of the Mangrove Valuation Workshop, Universiti Sains Malaysia, Penang, Bejir International Institue of Ecological Economics, Stockholm, Sweden. Recuperado de <http://www.fao.org/forestry/10560-0fe87b898806287615fceb95a76f613cf.pdf>

- Lewis, R. (2005). Ecological engineering for successful management and restoration of mangrove forests. *Ecological Engineering*, 24(4), 403-418. doi:10.1016/j.ecoleng.2004.10.003.
- Linares-Mazariegos, R., Hernández, C., & De la Presa Pérez, J. (2004). Educación ambiental: una alternativa para la conservación del manglar. (Spanish). *Madera y Bosques*, 105-114. Recuperado de Academic Search Complete database.
- López-Hoffman, L., Ackerly, D., Anten, N., Denoyer, J., & Martínez-Ramos, M. (2007). Gap-dependence in mangrove life-history strategies: a consideration of the entire life cycle and patch dynamics. *Journal of Ecology*, 95(6), 1222-1233. doi:10.1111/j.1365-2745.2007.01298.
- López-Ortíz, M., Pérez, C., Suárez, E., & Ríos-Dávila, R. (1999). The Encased Replanting Technique for Red Mangrove Propagation as a Mitigation Technique. *Puerto Rico Sciences Journal*, 18, 387-395.
- Lugo, A., & Snedaker, S. (1974). The ecology of mangrove. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 5, 39-63. doi:10.1146/annurev.es.05.110174.000351.
- Lugo, A. (2006). Lecciones Ecológicas de una Isla que lo ha visto todo. *Ecotropicos*, 19(2), 57-71. Recuperado de <http://www.ambiental.net/noticias/reportes/LugoLeccionesEcologicasPRico.pdf>
- Martinuzzi, S., Gould, W., Lugo, A., & Medina, E. (2009). Conversion and Recovery of Puerto Rican Mangroves: 200 Years of Change. *Forest Ecology and Management*, 257, 75-84. doi: 10.1016/j.foreco.2008.08.037.
- McKee, K. (1995). Interspecific Variation in Growth, Biomass Partitioning, and Defensive Characteristics of Neotropical Mangrove Seedlings: Response to Light and Nutrient Availability. *American Journal of Botany*, 82(3), 299-307. [Abstract] Recuperado de <http://www.jstor.org/stable/2445575>
- McKee, K., & Faulkner, P. (2000). Restoration of Biogeochemical Function in Mangrove Forests. *Restoration Ecology*, 8(3), 247-259. doi:10.1046/j.1526-100X.2000.80036.x.

- Mumby, P., Edwards, A., Arias-González, J., Lindeman, K., Blackwell, P., Gall, A., ... Llewellyn, G.(2004). Mangroves enhance the biomass of coral reef fish communities in the Caribbean. *Nature*, 427(6974), 533-536. doi:10.1038/nature02286.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (1972). *Marine Mammal Protection Act de 1972*. (16 U.S.C.A. §§ 1361-1407).
- National Oceanic and Atmospheric Administration (1972). *Coastal Zone Management Act de 27 de octubre*. (16 USCA §§ 1451-1464).
- Piou, C., Berger, U., Hildenbrandt, H., & Feller, I. (2008). Testing the intermediate disturbance hypothesis in species-poor systems: A simulation experiment for mangrove forests. *Journal of Vegetation Science*, 19(3), 417-424. doi: 10.3170/2008-8-18384.
- Polidoro, B., Carpenter, E., Collins, L., Duke, N., Ellison, A., Ellison, J., ... Yong, J. (2010). The Loss of Species: Mangrove Extinction Risk and Geographic Areas of Global Concern. *PLoS ONE* 5(4). doi:10.1371/journal.pone.0010095.
- Programa del Estuario de la Bahía de San Juan. (2001). *Plan Integral de Manejo y Conservación para el Estuario de la Bahía de San Juan, Volumen 1*. United State Environmental Protection Agency: San Juan, Puerto Rico.
- Programa del Estuario de la Bahía de San Juan. (2009). Proyecto de Restauración del mangle rojo (*Rhizophora mangle*). *Segundo informe de la condición ambiental del Estuario de la Bahía de San Juan Edición 2009*. San Juan, Puerto Rico: Programa del Estuario de la Bahía de San Juan.
- Quizhpe, P. (2008). Áreas de ecosistemas de manglar concesionadas en la provincia de el oro – Ecuador. *DELOS: Desarrollo Local Sostenible*, 1 (2). Recuperado de <http://www.eumed.net/rev/delos/02/pqc.pdf>
- Ren, H., Jian, S., Lu, H., Zhang, Q., Shen, W., Han, W., ... Guo, Q. (2008). Restoration of mangrove plantations and colonisation by native species in Leizhou bay, South China. *Ecological Research*, 23(2), 401-407. doi:10.1007/s11284-007-0393-9.

- Reyes-Chargoy, M., & Tovilla- Hernández, C. (2002). Restauración de áreas alteradas de manglar con *Rhizophora mangle* en la Costa de Chiapas. *Madera y Bosques* Número especial, 103-114. Recuperado de http://comunidades.imacmexico.org/c7/IMG/pdf/Reyes_20y_20Tovilla_202002_1_.pdf
- Ronnback P., Crona, B., & Ingwall, L. (2007). The return of ecosystem goods and services in replanted mangrove forests: perspectives from local communities in Kenya. *Environmental Conservation*, 34(4), 313–324. doi:10.1017/S0376892907004225.
- Rothenberger, P. (1999). Utilisation of Encasement Technology in Rostoration of Mangrove Forest on St. Croix U.S. Virgin Islands. *Reef Research*, 9(3). Recuperado de http://mangrove.org/video/St_Croix.pdf
- Sherman, R., Fahey, T., & Martinez, P. (2003). Spatial Patterns of Biomass and Aboveground Net Primary Productivity in a Mangrove Ecosystem in the Dominican Republic. *Ecosystems*, 6(4), 384-398. doi:10.1007/s10021-002-0191-8.
- Suárez, V. (2007). Importancia de los ecosistemas marinos. En *Programa de Manejo de Zona Costanera: Los primeros 25 años* (pp. 1-56). San Juan, Puerto Rico: Programa de Manejo de Zona Costanera, Departamento de Recursos Naturales y Ambientales.
- Tovilla-Hernández, C., Román-Salazar, A., Simuta-Morales, G., & Linares-Mazariegos, R. (2004). Recuperación del manglar en la Barra del Río Cahoacán, en la costa de Chiapas. (Spanish). *Madera y Bosques*, 77-91. Recuperado de Academic Search Complete database.
- Upadhyay, V., Ranjan, R., & Singh, J. (2002). Human - mangrove conflicts: The way out. *Current Science*, 83(11), 1328 – 1336. Recuperado de <http://www.ias.ac.in/currsci/dec102002/1328.pdf>
- U.S. Fish and Wild Life Service. (1973). *Endengered Species Act de 28 de diciembre*. 16 USCA § § 1531-1541.
- U.S. Environmental Protection Agency. (1972). *Clean Water Act de 18 de octubre*. 33 USCA §§ 1251-1387.

- Valiela, I., Bowen, J., & York, J. (2001). Mangrove Forests: One of the World's Threatened Major Tropical Environments. *Bioscience*, *51*(10), 807-815. doi: 10.1641/0006-3568(2001)051[0807:MFOOTW]2.0.CO;2.
- Villalobos, G., Yáñez-Arancibia, A., Day, J., & Lara-Domínguez, A. (1999). Ecología y manejo de los manglares en la Laguna de Términos, Campeche, México, 263-274. En: Yáñez-Arancibia, A. & Lara-Domínguez, A. (Eds.), *Ecosistemas de Manglar en América Tropical* (p.380). Instituto de Ecología A.C. México, UICN/ORMA, Costa Rica, NOAA/NMFS Silver Spring MD USA: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) del U.S. Department of Commerce y por la Unión Mundial para la Naturaleza (UICN).
- Walters, B. (2004). Local Management of Mangrove Forests in the Philippines: Successful Conservation or Efficient Resource Exploitation?. *Human Ecology: An Interdisciplinary Journal*, *32*(2), 177-195. Recuperado de http://www.mta.ca/faculty/socsci/geograph/Walters/local_management_of_mangroves_human_ecology.pdf
- Wright, R., & Nebel, B. (2002). *Environmental Science: Toward a Sustainable Future*. New Jersey: Pearson Education.
- Yanagisawa, H., Koshimura, S., Goto, K., Miyagi, T., Imamura, F., Ruangrassamee, A., & Tanavud, C. (2009). Damage to Mangrove Forest by 2004 Tsunami at Pakarang Cape and Namkem, Thailand. *Polish Journal of Environmental Studies*, *18*(1), 35-42. Recuperado de Academic Search Complete database.
- Yáñez-Arancibia, A., Twilley, R., & Lara-Domínguez, A. (1998). Los ecosistemas de manglar frente al cambio climático global. *Madera y Bosques*, *4*(2), 3-19. Recuperado de <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=61740202>
- Zaldívar-Jiménez, M., Herrera-Silveira, J., Teutli-Hernández, C., Comín, F., Andrade, J., Coronado^Molina, C., & Pérez-Ceballos, R. (2010). Conceptual Framework for Mangrove Restoration in the Yucatán Peninsula. *Ecological Restoration*, *28*(3), 333-342. Recuperado de Academic Search Complete database.

TABLAS

Tabla 1.

Medidas de las alturas iniciales (cm), finales (cm), crecimientos (cm) y tasas de crecimientos (cm/mes) de las plántulas escogidas de mangle rojo (Rhizophora mangle) en la Zona 1 (Técnica de Restauración Bauzá)

Numero Dispositivo de madera (n=30)	Altura inicial (cm)	Altura final (cm)	Crecimiento (cm)	Tasa de crecimiento (cm/mes)
693	15.72	34.29	18.57	3.71
691	18.89	59.69	40.80	8.16
690	20.32	47.31	26.99	5.40
689	16.03	M	M	M
688	18.42	43.18	24.77	4.95
679	20.32	52.39	32.07	6.41
674	18.73	39.05	20.32	4.06
668	18.57	46.04	27.46	5.49
672	19.05	50.64	31.59	6.32
673	16.19	64.14	47.94	9.59
670	18.73	44.77	26.04	5.21
669	19.21	54.13	34.93	6.99

Continuación Tabla 1.

Medidas de las alturas iniciales (cm), finales (cm), crecimientos (cm) y tasas de crecimientos (cm/mes) de las plántulas escogidas de mangle rojo (Rhizophora mangle) en la Zona 1 (Técnica de Restauración Bauzá)

Numero Dispositivo de madera (n=30)	Altura inicial (cm)	Altura final (cm)	Crecimiento (cm)	Tasa de crecimiento (cm/mes)
667	17.78	M	M	M
671	17.78	46.04	28.26	5.65
664	20.32	D.M.E.	D.M.E.	D.M.E.
685	22.86	61.28	38.42	7.68
686	18.42	M	M	M
684	18.57	D.M.E.	D.M.E.	D.M.E.
687	19.53	37.15	17.62	3.52
692	18.10	M	M	M
680	23.97	45.24	21.27	4.25
675	24.45	D.M.E.	D.M.E.	D.M.E.
677	19.21	54.93	35.72	7.14
683	18.26	46.67	28.42	5.68

Continuación Tabla 1.

Medidas de las alturas iniciales (cm), finales (cm), crecimientos (cm) y tasas de crecimientos (cm/mes) de las plántulas escogidas de mangle rojo (Rhizophora mangle) en la Zona 1 (Técnica de Restauración Bauzá)

Numero Dispositivo de madera (n=30)	Altura inicial (cm)	Altura final (cm)	Crecimiento (cm)	Tasa de crecimiento (cm/mes)
678	22.23	51.59	29.37	5.87
682	21.59	54.61	33.02	6.60
666	20.64	50.80	30.16	6.03
676	20.32	61.75	41.43	8.29
665	20.64	60.96	40.32	8.06
681	20.96	D.M.E.	D.M.E.	D.M.E.

Nota. D.M.E. = Dispositivo de madera extraviado; M = Plántula muerta.

Tabla 2.

Medidas de las alturas iniciales (cm), finales (cm), crecimientos (cm) y tasas de crecimientos (cm/mes) de las plántulas de mangle rojo (Rhizophora mangle) en la Zona 2 (Técnica Encapsulada de Riley)

Numero tubo	Altura inicial	Altura final	Crecimiento	Tasa de crecimiento
PVC				
(n=30)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm/mes)
26	14.29	50.96	36.67	7.33
27	13.34	52.71	39.37	7.87
28	15.40	P.E.	P.E.	P.E.
29	15.56	51.28	35.72	7.14
30	20.64	P.E.	P.E.	P.E.
31	16.83	P.E.	P.E.	P.E.
32	22.70	51.12	28.42	5.68
33	17.62	M	M	M
34	15.40	59.06	43.66	8.73
35	16.99	51.91	34.93	6.99
36	13.49	44.61	31.12	6.22
37	19.53	44.61	25.08	5.02

Continuación Tabla 2.

Medidas de las alturas iniciales (cm), finales (cm), crecimientos (cm) y tasas de crecimientos (cm/mes) de las plántulas de mangle rojo (Rhizophora mangle) en la Zona 2 (Técnica Encapsulada de Riley)

Numero tubo PVC (n=30)	Altura inicial (cm)	Altura final (cm)	Crecimiento (cm)	Tasa de crecimiento (cm/mes)
38	18.10	P.E.	P.E.	P.E.
39	22.23	56.83	34.61	6.92
40	15.24	43.18	27.94	5.59
41	17.62	56.36	38.74	7.75
42	13.97	55.09	41.12	8.22
43	22.23	61.12	38.89	7.78
44	13.97	59.21	45.24	9.05
45	16.19	42.55	26.35	5.27
46	19.05	50.96	31.91	6.38
47	17.30	52.86	35.56	7.11
48	17.62	P.E.	P.E.	P.E.
49	18.89	51.28	32.39	6.48

Continuación Tabla 2.

Medidas de las alturas iniciales (cm), finales (cm), crecimientos (cm) y tasas de crecimientos (cm/mes) de las plántulas de mangle rojo (Rhizophora mangle) en la Zona 2 (Técnica Encapsulada de Riley)

Numero tubo PVC (n=30)	Altura inicial (cm)	Altura final (cm)	Crecimiento (cm)	Tasa de crecimiento (cm/mes)
50	16.35	54.45	38.10	7.62
51	20.80	54.61	33.81	6.76
52	15.88	43.18	27.31	5.46
53	15.08	49.53	34.45	6.89
54	15.72	57.79	42.07	8.41
55	18.89	59.37	40.48	8.10

Nota. P.E. = Plántula extraviada; M = Plántula muerta

Tabla 3.

Resultados de la prueba de varianza One Way ANOVA de las tasa de crecimiento de las plántulas de mangle rojo (Rhizophora mangle) por técnica de siembra

Data	Media	Varianza	N
A	6.13	2.53	22
B	7.03	1.24	24

F = 4.92207

p = 0.03172

A un nivel de 0.05, las medias son significativamente diferentes

Nota. N = Individuos; A = Técnica de Restauración Bauzá; B = Técnica Encapsulada de Riley

Tabla 4.

Promedios del número de hojas desarrolladas por mes de las plántulas de mangle rojo (Rhizophora mangle) en la Zona 1 (Técnica de Restauración Bauzá)

Número dispositivo de madera (n=30)	Fechas de Visita										Promedio (hojas/mes)
	6 marzo	11 marzo	14 marzo	25 marzo	3 abril	8 abril	8 mayo	8 junio	8 julio	8 agosto	
(número de hojas)											
693	0	0	0	0	0	0	0	2	2	4	0.53
691	0	0	0	0	0	0	4	6	6	8	1.20
690	0	0	0	0	0	0	4	6	7	7	1.20
689	0	0	0	0	0	0	2	3	2	M	
688	0	0	0	0	0	0	2	4	5	4	0.75
679	0	0	0	0	0	0	2	4	3	5	0.70
674	0	0	0	0	0	0	2	4	4	5	0.75
668	0	0	0	0	0	0	2	4	6	6	0.90
672	0	0	0	0	0	0	2	4	6	8	1.00
673	0	0	0	0	0	0	2	6	8	8	1.20
670	0	0	0	0	0	0	2	4	4	5	0.75

Continuación Tabla 4.

Promedios del número de hojas desarrolladas por mes de las plántulas de mangle rojo (Rhizophora mangle) en la Zona 1 (Técnica de Restauración Bauzá)

Número dispositivo de madera (n=30)	Fechas de Visita										Promedio (hojas/mes)
	6 marzo	11 marzo	14 marzo	25 marzo	3 abril	8 abril	8 mayo	8 junio	8 julio	8 agosto	
	(número de hojas)										
669	0	0	0	0	0	0	4	6	6	5	1.05
667	0	0	0	0	0	0	2	M	M	M	
671	0	0	0	0	0	0	2	4	6	7	0.95
664	0	D.M.E.	D.M.E.	D.M.E.	D.M.E.	D.M.E.	D.M.E.	D.M.E.	D.M.E.	D.M.E.	
685	0	0	0	0	0	0	4	6	7	8	1.25
686	0	0	0	0	0	0	2	2	1	M	
684	0	D.M.E.	D.M.E.	D.M.E.	D.M.E.	D.M.E.	D.M.E.	D.M.E.	D.M.E.	D.M.E.	
687	0	0	0	0	0	0	2	4	4	6	0.80
692	0	M	M	M	M	M	M	M	M	M	
680	0	0	0	0	0	0	0	2	3	4	0.60
675	0	D.M.E.	D.M.E.	D.M.E.	D.M.E.	D.M.E.	D.M.E.	D.M.E.	D.M.E.	D.M.E.	

Continuación Tabla 4.

Promedios del número de hojas desarrolladas por mes de las plántulas de mangle rojo (Rhizophora mangle) en la Zona 1 (Técnica de Restauración Bauzá)

Número dispositivo de madera (n=30)	Fechas de Visita										Promedio (hojas/mes)
	6 marzo	11 marzo	14 marzo	25 marzo	3 abril	8 abril	8 mayo	8 junio	8 julio	8 agosto	
(número de hojas)											
677	0	0	0	0	0	0	3	4	5	7	0.95
683	0	0	0	0	0	0	2	4	6	4	0.80
678	0	0	0	0	0	0	4	6	6	8	1.20
682	0	0	0	0	0	0	4	6	5	4	0.95
666	0	0	0	0	0	0	4	6	4	7	1.05
676	0	0	0	0	0	0	4	6	6	8	1.20
665	0	0	0	0	0	0	4	6	5	8	1.15
681	0	D.M.E.	D.M.E.	D.M.E.	D.M.E.	D.M.E.	D.M.E.	D.M.E.	D.M.E.	D.M.E.	

Nota. D.M.E. = Dispositivo de madera extraviado; M = Plántula muerta

Tabla 5.

Promedios del número de hojas desarrolladas por mes de las plántulas de mangle rojo (Rhizophora mangle) en la Zona 2 (Técnica Encapsulada de Riley)

Número tubo PVC (n=30)	Fechas de Visita										Promedio (hojas/mes)
	6 marzo	11 marzo	14 marzo	25 marzo	3 abril	8 abril	8 mayo	8 junio	8 julio	8 agosto	
(número de hojas)											
26	0	0	0	0	0	0	2	6	8	10	1.30
27	0	0	0	0	0	0	2	6	6	8	1.10
28	0	P.E.	P.E.	P.E.	P.E.	P.E.	P.E.	P.E.	P.E.	P.E.	
29	0	0	0	0	0	0	4	6	7	8	1.25
30	0	P.E.	P.E.	P.E.	P.E.	P.E.	P.E.	P.E.	P.E.	P.E.	
31	0	P.E.	P.E.	P.E.	P.E.	P.E.	P.E.	P.E.	P.E.	P.E.	
32	0	0	0	0	0	0	3	4	5	7	0.95
33	0	0	0	0	0	0	2	2	4	M	
34	0	0	0	0	0	0	2	4	6	4	0.80
35	0	0	0	0	0	0	4	6	6	8	1.20
36	0	0	0	0	0	0	4	6	6	8	1.20

Continuación Tabla 5.

Promedios del número de hojas desarrolladas por mes de las plántulas de mangle rojo (Rhizophora mangle) en la Zona 2 (Técnica Encapsulada de Riley)

Número tubo PVC (n=30)	Fechas de Visita										Promedio (hojas/mes)
	6 marzo	11 marzo	14 marzo	25 marzo	3 abril	8 abril	8 mayo	8 junio	8 julio	8 agosto	
(número de hojas)											
37	0	0	0	0	0	0	4	6	6	8	1.20
38	0	P.E.	P.E.	P.E.	P.E.	P.E.	P.E.	P.E.	P.E.	P.E.	
39	0	0	0	0	0	0	4	6	6	8	1.20
40	0	0	0	0	0	0	4	6	8	10	1.40
41	0	0	0	0	0	0	4	6	6	8	1.20
42	0	0	0	0	0	0	2	6	8	9	1.25
43	0	0	0	0	0	0	4	8	8	10	1.50
44	0	0	0	0	0	0	2	6	8	8	1.20
45	0	0	0	0	0	0	2	4	6	8	1.00
46	0	0	0	0	0	0	4	6	8	8	1.30
47	0	0	0	0	0	0	4	6	8	8	1.30

Continuación Tabla 5.

Promedios del número de hojas desarrolladas por mes de las plántulas de mangle rojo (Rhizophora mangle) en la Zona 2 (Técnica Encapsulada de Riley)

Número tubo PVC (n=30)	Fechas de Visita										Promedio (hojas/mes)
	6 marzo	11 marzo	14 marzo	25 marzo	3 abril	8 abril	8 mayo	8 junio	8 julio	8 agosto	
(número de hojas)											
48	0	P.E.	P.E.	P.E.	P.E.	P.E.	P.E.	P.E.	P.E.	P.E.	
49	0	0	0	0	0	0	2	6	7	8	1.15
50	0	0	0	0	0	0	4	6	6	10	1.30
51	0	0	0	0	0	0	4	6	8	10	1.40
52	0	0	0	0	0	0	4	6	6	7	1.15
53	0	0	0	0	0	0	4	6	8	10	1.40
54	0	0	0	0	0	0	4	6	9	10	1.45
55	0	0	0	0	0	0	2	4	6	7	0.95

Nota. P.E. = Plántula extraviada; M = Plántula muerta

Tabla 6.

Resultado de la prueba de One Way ANOVA del número de hojas desarrolladas de mangle rojo (Rhizophora mangle) por técnica de siembra

Data	Media	Varianza	N
A	0.99	0.03	20
B	1.21	0.02	24

F = 17.56857

p = 1.39517E-4

A un nivel de 0.05, las medias son significativamente diferentes

Nota. N = Individuos; A = Técnica de Restauración Bauzá; B = Técnica Encapsulada de Riley

FIGURAS



Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio en el Parque Recreativo La Esperanza, José Álvarez Brunet en Cataño.

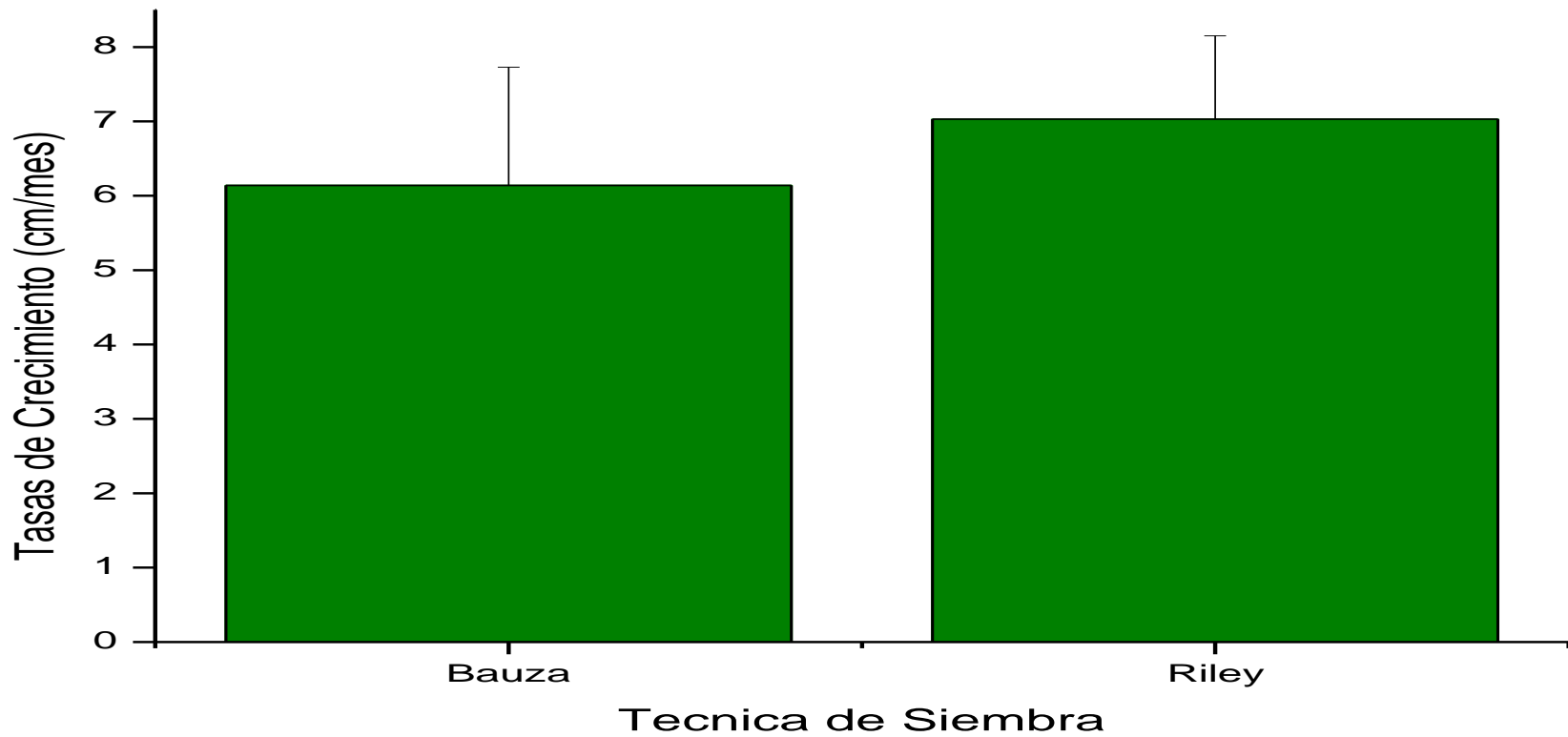


Figura 2. Gráfica comparativa de los promedios y DS de las tasas de crecimiento (cm/mes) de las plántulas de mangle rojo (*Rhizophora mangle*) por técnica de siembra.

Nota. Las barras de error representan la DS (n=30).

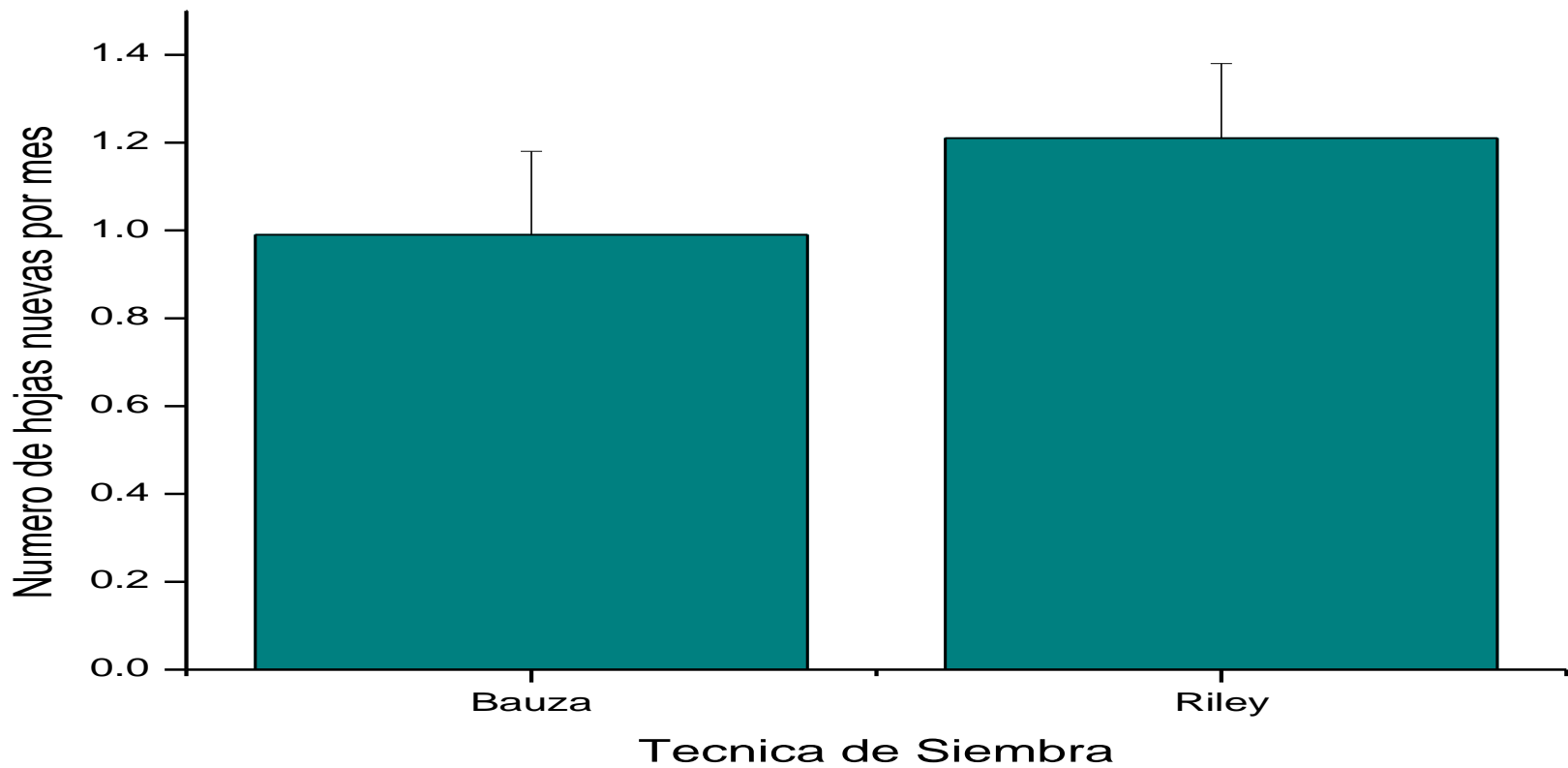


Figura 3. Gráfica comparativa de los promedios y DS del número de hojas desarrolladas al mes de las plántulas de mangle rojo (*Rhizophora mangle*) por técnica de siembra.

Nota. Las barras de error representan las SD (n = 30)

APÉNDICES

APÉNDICE 1

Recolecta de los propágulos de mangle rojo (*Rhizophora mangle*)



APÉNDICE 2

**Cuadrilla de 25.83 m² dividida en las zonas
de estudio: Zona 1 y Zona 2**



Zona 1: Técnica de Restauración Bauzá

Zona 2: Técnica Encapsulada de Riley

APÉNDICE 3

**Dispositivo de madera con propágulo de mangle rojo (*Rhizophora mangle*)
atado con una cinta biodegradable**



APÉNDICE 4

**Dispositivos de madera instalados en el sedimento a una
distancia de 58.42 cm uno de otro**



APÉNDICE 5

**Tubos de PVC instalados en el sedimento a una distancia de 38.10 cm
uno de otro**



APÉNDICE 6

Mezcla de arena con *putting soil* (50/50) dentro del tubo de PVC hasta llegar al nivel del agua



APÉNDICE 7

Tiesto de cartón biodegradable con la mezcla 50/50 y un propágulo de mangle rojo (*Rhizophora mangle*) a una distancia de 0.84 cm de profundidad del tiesto



APÉNDICE 8

Tiesto introducido dentro del tubo de PVC hasta el nivel del agua



APÉNDICE 9

Zonas de estudio con sus técnicas



APÉNDICE 10
Hoja de monitoreo

Hoja de monitoreo

Fecha:

Hora de llegada:

Hora de salida:

Observaciones en la zona de estudio:

- a) Tiempo:
- b) Turbidez en el agua:
- c) Marea:
- d) Oleaje:
- e) Fauna:
- f) Otras:

Foto de la Zona de estudio:

Medidas por Zonas:

Zona 1: Técnica de Restauración Bauzá

Número dispositivo de madera	Altura de la plántula (cm)	Número de hojas	Plántula viva	Plántula muerta	Dispositivo de madera extraviado	Observaciones de la plántula escogida	Observaciones adicionales de las otras plántulas

Foto:

Zona 2: Técnica Encapsulada de Riley

Número del tubo PVC	Altura de la plántula (cm)	Número de hojas	Plántula viva	Plántula muerta	Plántula extraviada	Tubo PVC extraviado	Observaciones adicionales

Foto: