

Informe final* del Proyecto HH002

Mejoramiento de humedales de zonas cársticas y semiáridas de la Península de Yucatán - subzona de recuperación II de la Reserva de la Biosfera Ría Celestún (Isla Arena)

Responsable: Biól. David Alonzo Parra
Institución: Ducks Unlimited de México A.C.
Dirección: Vasconcelos # 209 Oriente, Residencial San Agustín, San Pedro Garza García, NL, 66200 , México

Correo electrónico: dalonzo@dumac.org

Teléfono/Fax: (999) 946 8684 y 946 7203

Fecha de inicio: Junio 15, 2009

Fecha de término: Septiembre 20, 2011

Principales resultados: Hojas de cálculo, fotografías, informe final.

Forma de citar el informe final y otros resultados:** Alonzo Parra, D. 2011. Mejoramiento de humedales de zonas cársticas y semiáridas de la Península de Yucatán - subzona de recuperación II de la Reserva de la Biosfera Ría Celestún (Isla Arena). Ducks Unlimited de México A.C. **Informe Final SNIB-CONABIO. Proyecto HH002.** México, D.F.

Forma de citar hojas de cálculo: Alonzo Parra, D. 2011. Mejoramiento de humedales de zonas cársticas y semiáridas de la Península de Yucatán - subzona de recuperación II de la Reserva de la Biosfera Ría Celestún (Isla Arena). Ducks Unlimited de México A.C. **Hojas de cálculo SNIB-CONABIO. Proyecto HH002.** México, D.F.

Resumen:

La Subzona de Recuperación II de la Reserva de la Biosfera Ría Celestún (RBRC), se localiza al noroeste del Municipio de Calkiní, Campeche, en línea paralela a la costa en el tramo de la carretera El Remate - Isla Arena, entre las coordenada 20° 32' 00" y 20° 41' 30" N; y 90° 20' 00" y 90° 28' 00" W. Es la parte sur de la Reserva Federal de la Biosfera Ría Celestún y Colinda con la Reserva de la Biosfera Los Petenes de Campeche.

Debido a la construcción de la carretera El Remate?Isla Arena, el flujo hidrológico del sector suroeste con una superficie de 6,187 ha fue interrumpido, ocasionando principalmente el aumento de la salinidad intersticial, lo cual ha propiciado la pérdida de 464 ha de vegetación de manglar.

En coordinación con la Dirección de la Reserva de la Biosfera Ría Celestún, el CINVESTAV - Unidad Mérida y DUMAC con el apoyo financiero de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) se desarrollaron acciones vinculadas a la rehabilitación del hidropedimento y al monitoreo hidrobiológico. Estos proyectos consisten en la construcción de 1,125 m de canales, la generación de una base de datos de las condiciones hidrobiológicas del área de recuperación y un análisis de la cobertura y condición del manglar con imágenes satelitales de la zona.

-
- * El presente documento no necesariamente contiene los principales resultados del proyecto correspondiente o la descripción de los mismos. Los proyectos apoyados por la CONABIO así como información adicional sobre ellos, pueden consultarse en www.conabio.gob.mx
 - ** El usuario tiene la obligación, de conformidad con el artículo 57 de la LFDA, de citar a los autores de obras individuales, así como a los compiladores. De manera que deberán citarse todos los responsables de los proyectos, que proveyeron datos, así como a la CONABIO como depositaria, compiladora y proveedora de la información. En su caso, el usuario deberá obtener del proveedor la información complementaria sobre la autoría específica de los datos.

**MEJORAMIENTO DE HUMEDALES DE ZONAS CÁRSTICAS Y SEMIÁRIDAS
DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN – SUBZONA DE RECUPERACIÓN II DE LA
RESERVA DE LA BIOSFERA RÍA CELESTÚN (ISLA ARENA)**



**Convenio FB1387/HH002/09.
Informe Final**

Representante legal:

Biól. Eduardo Carrera González – Director Nacional. Ducks Unlimited de México, A.C.

Responsable del proyecto:

Biól. David E. Alonzo Parra – Coordinador Regional Sureste. Ducks Unlimited de México, A.C.

Febrero del 2011

Mejoramiento de humedales de zonas cársticas y semiáridas de la P. de Yucatán – Subzona de recuperación II de la Reserva de la Biosfera Ría Celestún (Isla Arena).

Resumen. La Subzona de Recuperación II de la Reserva de la Biosfera Ría Celestún (RBRC), se localiza al noroeste del Municipio de Calkiní, Campeche, en línea paralela a la costa en el tramo de la carretera El Remate – Isla Arena, entre las coordenada 20° 32' 00" y 20° 41' 30" N; y 90° 20' 00" y 90° 28' 00" W. Es la parte sur de la Reserva Federal de la Biosfera Ría Celestún y Colinda con la Reserva de la Biosfera Los Petenes de Campeche.

Debido a la construcción de la carretera El Remate-Isla Arena, el flujo hidrológico del sector suroeste con una superficie de 6,187 ha fue interrumpido, ocasionando principalmente el aumento de la salinidad intersticial, lo cual ha propiciado la pérdida de 464 ha de vegetación de manglar.

En coordinación con la Dirección de la Reserva de la Biosfera Ría Celestún, el CINVESTAV – Unidad Mérida y DUMAC con el apoyo financiero de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) se desarrollaron acciones vinculadas a la rehabilitación del hidroperiodo y al monitoreo hidrobiológico. Estos proyectos consisten en la construcción de 1,125 m de canales, la generación de una base de datos de las condiciones hidrobiológicas del área de recuperación y un análisis de la cobertura y condición del manglar con imágenes satelitales de la zona.

Palabras clave: (*Restauración, Hidrología, Microtopografía, Reforestación, Humedales, Manglar*).

Introducción.

Los humedales costeros en la Península de Yucatán (PY) son ecosistemas fundamentales por su valor ecológico, económico y cultural. Estos humedales realizan importantes funciones como la retención de nutrientes y materia orgánica; la protección y estabilización de la línea de costa; mantienen la calidad de agua; constituyen zonas de desove, crianza y desarrollo de especies de importancia pesquera para la región como el camarón, la jaiba, la mojarra, el caracol; así como de especies de fauna silvestre como es el caso de las aves

acuáticas, reptiles y algunos mamíferos (Herrera-Silveira y Ceballos 1998).

Actualmente, se pierden áreas de manglar en la costa de Yucatán como resultado de los cambios en la hidrología producidos por la construcción de carreteras, alcantarillas, apertura y mantenimiento de bocas que conectan la ciénaga con el mar, que con el paso de los años han producido incremento en la salinización del suelo y por tanto muerte del manglar. Otras actividades que también han impactado, son el cambio del uso del suelo, rellenos para asentamiento humanos irregulares, uso

como basureros suburbanos, incendios y la tala para la construcción de viviendas y artes de pesca (Batllori *et al.*, 1999; Eúan y Witter, 2002). En adición se pueden añadir los eventos naturales como huracanes, y como ejemplo el impacto del Huracán Isidoro en el año de 2002 que afectó el 70% de cobertura de manglares en la zona de Dzilam (Liceaga-Correa *et al.*, 2004).

Los humedales de la región noroccidental del Estado de Campeche, conocidos como “La región de los Petenes de Campeche”, constituyen una unidad ecológica con la Reserva de la Biosfera Ría Celestún (Yucatán – Campeche) y con la “Reserva Estatal de El Palmar” en Yucatán. Esta región es un mosaico de vegetación con elementos florísticos de manglar, de selva baja inundable y de selva alta que cambia dependiendo de la cantidad de agua dulce, el tipo de suelo y la microtopografía. Esto explica la alta diversidad de ambientes costeros y la presencia de hábitats críticos donde se localizan selvas con sistemas acuáticos palustres, salobres y marinos.

Estos humedales constituyen el hábitat de un gran número de especies de fauna silvestre que se encuentran bajo protección especial. El principal grupo faunístico de vertebrados por su riqueza específica y abundancia en el área es el de las aves entre los que destacan el grupo de las Aves Playeras (36 especies, entre ellas *Calidris alba*, *Pluvialis squatarola*, *Tringa semipalmata*, *Arenaria interpres*, *Limnodromus griseus*, *Calidris pusilla*, *C. mauri* y *Charadrius alexandrinus*) (Correa-Sandoval y García Berrón, 1993). Dentro del grupo de las aves residentes en toda la zona existen especies que tienen consideración especial en la normatividad mexicana:

Flamenco (*Phoenicopterus ruber*), Garza Tigre (*Tigrisoma mexicanum*) y Pato Real Mexicano (*Cairina moschata*).

En cuanto a los otros grupos de vida silvestre se tienen reportados entre los reptiles al cocodrilo de pantano (*Crocodylus moreletii*) y mamíferos como el oso hormiguero (*Tamandua americana*), el cuatí (*Nasua narica*).

En la zona existen las cuatro especies de mangle descritas para la región: Mangle rojo (*Rhizophora mangle*) Mangle Blanco (*Laguncularia racemosa*), Mangle Negro (*Avicennia germinans*) y Mangle Botoncillo (*Conocarpus erectus*), siendo las dos primeras especies, las más importantes de la zona ya que son aprovechadas por los habitantes de la comunidad, como madera para la fabricación de herramientas de trabajo y construcción de casas (CONANP, 2000). Las especies de flora y fauna antes mencionadas están protegidas bajo las Normas Oficiales Mexicanas: NOM – 059 - SEMARNAT-2001 y NOM – 022 – SEMARNAT - 2003 que prohíbe el uso y aprovechamiento de cualquiera estas especies.

La subzona de recuperación II (zona del proyecto) es una zona de manglares que se ha degradado debido a los cambios en la hidrología producidos por la construcción de la Carretera El Remate-Isla Arena, la cual aceleró el proceso de salinización provocando la pérdida de una amplia cobertura de vegetación de manglar.

El mejoramiento del flujo hidrológico de oriente a poniente de la cuenca de Isla Arena, permitirá tiempos de residencia del agua estuarina más prolongados y la disminución de la salinidad intersticial de los sedimentos, estableciéndose

condiciones para la regeneración natural de las especies de manglar y frenar la muerte del manglar existente. Con estas acciones se están recuperando los valores y funciones de este humedal, que inciden a corto plazo en el crecimiento de macrófitos (*Chara fibrosa* y *Ruppia maritima*) y en el incremento de fauna bentónica que son importantes recursos alimenticios para las aves migratorias que llegan a la zona durante el invierno boreal.

La rehabilitación hidrológica y recuperación del manglar de la zona también eliminaría las posibilidades en un futuro para que esta zona sea utilizada para rellenos y posteriormente la instalación de infraestructura urbana. Con las acciones realizadas se está dando continuidad a los procesos experimentales y de ingeniería ecológica necesarios para establecer proyectos de conservación de manglares en regiones cársticas de la PY.

Características y funciones del ecosistema en rehabilitación.

El área de rehabilitación es la parte noroeste de la Península, dentro de la región conocida como “Los Petenes de Campeche”. Esta región, es una planicie costera calcárea, con afloramiento del manto freático de aproximadamente 15 Km de ancho y 100 Km de largo. Tiene una intensa dinámica con el mar por el drenaje subterráneo y la influencia mareal. Es básicamente una ciénaga salina inundada nueve meses del año y que permite la existencia de muy diversas asociaciones vegetales con un gradiente mar-tierra. Las principales comunidades son: manglares, tulares, pastos salobres, Petenes y selvas.

Los aportes de agua dulce (precipitación pluvial y afloramientos) y salada (marea) aunado a los rangos de marea (0.588 m) y la suave pendiente de la extensa plataforma continental, así como a los vientos mayormente unidireccionales que acompañan a los “Nortes” favorecen la inundación de estos sistemas durante

el otoño y el invierno con aguas salobres que favorece el crecimiento de macrófitos importantes para la alimentación de aves acuáticas migratorias.

Los Petenes es uno de los ecosistemas más representativos del área y es uno de los valores ecológicos más importantes de la zona, ya que únicamente se localizan en las Penínsulas de Yucatán, Florida y Cuba, por lo que es considerado como un ecosistema único. Estos ecosistemas también son importantes por su diversidad biológica y por ser hábitat críticos para especies de flora y fauna silvestre de la región. Además del valor ecológico de la zona, hay que destacar que estos ecosistemas también juegan un importante papel en la manutención de la calidad del agua del manto freático y en la productividad primaria y pesquera de la región marino-costera adyacente.

Antecedentes.

Actualmente existe una afectación de 6,187.62 hectáreas en la zona de humedales de Isla Arena, debido a la barrera física que provocó la construcción del camino El Remate – Punta Arena hace más de 30 años, el cual obstruye el drenaje natural modificando en esta forma los patrones hidrológicos. Con el paso de los años esto ha provocando que en la zona oeste del camino exista una alta mortalidad de la comunidad de manglar y que se aceleren los procesos de azolvamiento.

En marzo de 1993 la Secretaría de obras Públicas y Comunicaciones del Estado de Campeche pavimentó el tramo de la carretera El Remate – Isla Arena que es de 15,676.98 m, instalando 19 alcantarillas ubicadas 5 de estas en los primeros 1,310 m y las otras 14 en la otra parte de la trayectoria (sur – norte). Las primeras 5 alcantarillas son de 4 m de longitud de claro y los 14 restantes se encuentran de forma alternada alcantarillas de 8 y 4 m. Las primeras 5 alcantarillas se encuentran una de otra a una distancia promedio de 261 m y los 14 restantes a una distancia promedio de 1,025 m. Tomando en cuenta la longitud de 15,676 m del terraplén y el total de las alcantarillas existentes, se tiene un 0.66% de área de libre para el flujo laminar. Sin embargo, las alcantarillas no coinciden con las áreas de drenaje natural (zonas micro topográficamente mas bajas) y se han generado procesos de azolvamiento

como consecuencia del efecto de barrera que ejerce el cuerpo de la carretera.

Otra de las acciones que han propiciado la modificación hidrológica del área, es la construcción de los piedraplenes que modifica y reduce el flujo; así como, la dirección hidráulica de estos manantiales de agua dulce que provienen de los Petenes. Estas obras fueron construidas para el acceso de pescadores al mar de la comunidad de Tankuche y para la extracción de agua dulce para la comunidad de Isla Arena. Estas estructura han tenido efectos sobre el nivel, frecuencia y tiempo de inundación (hidroperíodo) de la zona y en consecuencia se ha incrementando los procesos de evaporación y salinización, y por consiguiente la muerte de la vegetación de manglar de la parte oeste del sitio (tomando en cuenta la orientación sur-norte de la carretera).

Actualmente, DUMAC con el apoyo del Acta Norteamericana para la Conservación de Humedales (NAWCA) ha construido 7 alcantarillas en las zonas de mayor drenaje identificados mediante los trabajos de topografía. Se ha cuantificando el proceso de recuperación y manejo del sistema mediante la determinación preliminar de la caracterización de la estructura forestal y variables físico-químicos del suelo en el manglar y el monitoreo de estos parámetros posterior a la construcción de las alcantarillas. También se vienen realizando estudios micro topográfico del

área para conocer las zonas preferenciales de flujo hidrológico de la subcuenca, que en conjunto con el monitoreo hidrobiológico están definiendo las estrategias de rehabilitación del área afectada (Herrera-Silveira, J. A. *et. al.* 2009).

Por su parte, la Dirección de la Reserva de la Biosfera Ría Celestún en colaboración con la agencia de cooperación internacional de Japón (JICA), viene realizando acciones experimentales para la reforestación y apertura de canales de circulación. Así mismo, el CINVESTAV – Unidad Mérida, realiza estudios dirigidos al seguimiento de las variables físico químicas de los sedimentos y la evaluación estructural del manglar.

En el 2001 DUMAC inicia las acciones de rehabilitación de la sub zona II de la Reserva Ría Celestún y a partir del 2006 la dirección de la Reserva, en Colaboración con la Agencia de

Cooperación de Japón (JICA), la participación de especialistas en manglar del CINVESTAV- Mérida y el personal técnico de la oficina regional sureste de DUMAC, se suman a esta iniciativa conformando un grupo de trabajo para generar proyectos de conservación y restauración de áreas cársticas y semiáridas de la Península de Yucatán, que considere las acciones ya iniciadas por estas organizaciones, siendo este proyecto el resultado de la discusión y análisis realizados por DUMAC y de este grupo de trabajo. Otros esfuerzos y trabajos vinculados al proyecto son los cursos de capacitación para interesados en desarrollar acciones de rehabilitación y/o mejoramiento de humedales con manglares impartidos por instructores del CINVESTAV y la Universidad de Louisiana; y programas de participación ciudadana en la reforestación de manglar desarrollados por parte de la dirección de la RBRC, JICA y CONAFOR (CONANP-JICA, 2009).

Objetivos del Proyecto:

Objetivo general.

- Mejoramiento hidrológico de la subzona de recuperación II de la Reserva de la Biosfera Ría Celestún (Isla Arena).

Objetivo particular.

- Apertura canales para mejorar el hidro-periodo de la zona.

Ubicación del proyecto.

El proyecto se desarrolló dentro del polígono de la Reserva de la Biosfera Ría Celestún de competencia federal y la zona denominada como Subzona de recuperación II dentro del plan de manejo. Esta zona se localiza al noroeste del municipio de Calkiní, Campeche, entre las coordenadas 20o 41' 30'' latitud norte y el meridiano 20o 32' 00'' longitud este, y el paralelo 90o 28' 00'' latitud oeste y el meridiano 90o 20' 00'' longitud este. El área es paralela a la carretera "El Remate – Isla arena" y colinda al sur con la Reserva de la Biosfera los Petenes, posee una extensión aproximada de 6,187 ha (Figura 1).

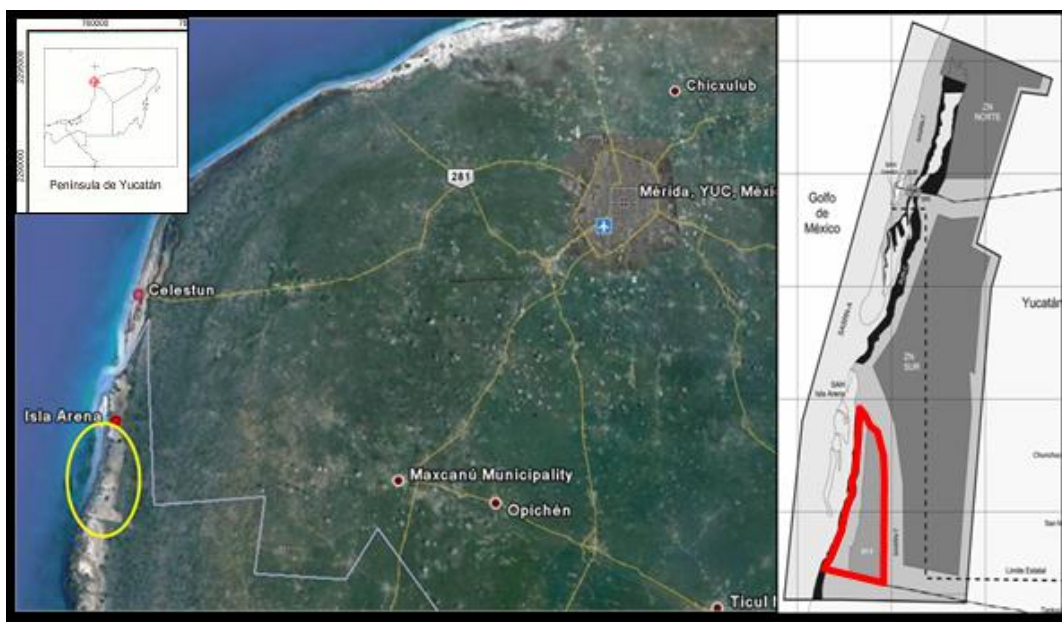


Figura 1. Área del proyecto (polígono en amarillo y rojo) dentro de la subzona de recuperación II Reserva de la biosfera Ría Celestún.

En esta área la temperatura media anual fue mayor de 25 °C durante el 2001 y de 26 °C durante el 2006, con una precipitación media anual de 124 mm en el 2001 y de 127 mm en el 2006 (<http://smn.cna.gob.mx>). El clima de la región está asociado a la variación de la precipitación, reconociéndose tres épocas climáticas: secas (marzo-mayo), lluvias (junio-octubre) y de noviembre a febrero los "nortes" (Herrera-Silveira, 1998).

La región presenta una vegetación de manglar compuesta por *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus*. Presenta islas de vegetación (petenes) de forma circular, en donde es frecuente la presencia de manantiales (Herrera-Silveira et al., 2002).

Métodos y procedimientos.

A) Desazolve de Canales

- **Construcción de 1,125 m lineales de canales de circulación.**

Para favorecer la restitución del hidroperiodo y así reducir la salinidad intersticial, se realizó la reapertura y el desazolve de canales naturales. Estas acciones de rehabilitación se decidieron a partir de los resultados de levantamientos topográficos, el análisis de imágenes satelitales (detectando canales naturales) y de prospecciones en el área.

El trabajo de topografía consistió en transectos topográficos para la nivelación del terreno en la zona del terraplén de la carretera y zonas perpendiculares a los caminos. Para esto se elaboro el trazo de una línea base de 16 km, ubicándola en el camino existente del tramo el Remate – Punta Arena, iniciando (0+000) en la curva del camino adyacente al canal del remate, hasta el puente a Isla Arena (16+000). Se establecieron puntos a cada kilómetro del trazo, así como puntos intermedios de apoyo entre kilómetros. La nivelación de esta línea base y los puntos intermedios, fueron establecidos según el banco de nivel de Bajamar del puente de Isla Arena (+1.437 msnbm) (Figura 2).



Figura 2. Trabajos de topografía en la subzona de recuperación II de la Reserva de la Biosfera Ría Celestún (Isla Arena, Campeche) Diciembre 2009 - Febrero 2010.

Las zonas más bajas del trazo del terraplén de la carretera, se determinaron respecto a la nivelación de esta línea base, lográndose ubicar 6 puntos divididos en 2 áreas principales, en los tramos (0+700 a 2+000, 2+500 a 3+500, 5+800 a 6+300, 8+000 a 8+500 y de 9+000 a 10+000), estos puntos fueron considerados y verificados como zonas de drenaje natural (Figura 3).

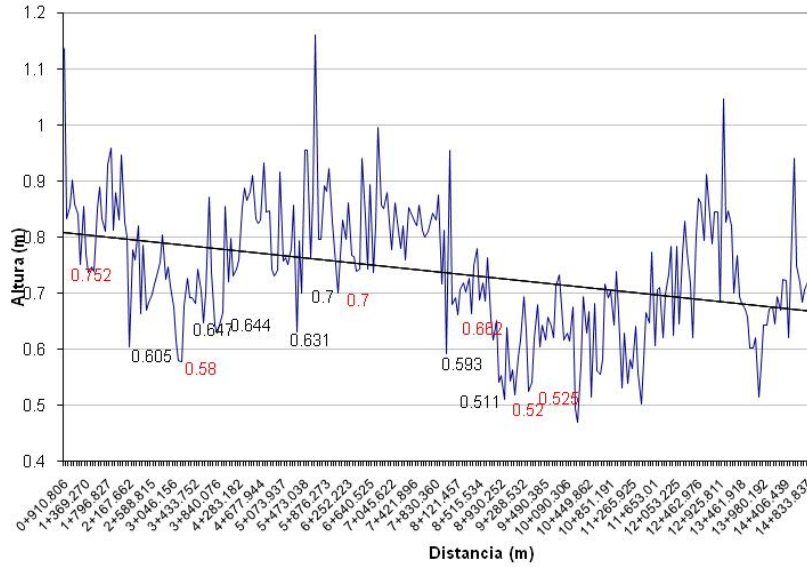


Figura 3. Nivelación del terreno natural paralelo al terraplén de la carretera el Remate-Isla arena. Se señala en color rojo las cotas de nivel (zonas bajas) donde se ubicaron los trabajos de limpieza y desazolve de canales.

Con esto se determinó la dirección de flujo y se propusieron las zonas para la apertura y desazolve de canales. Con el apoyo de imágenes satelitales y la verificación en campo, se corroboraron los canales de los Petenes ubicados en estas dos zonas bajas del camino Remate-Isla Arena (Figura 4).



Figura 4. Verificación en campo de canales naturales de los Petenes (drenajes) y zonas topográficamente bajas identificadas en las imágenes satelitales.

Finalmente se seleccionaron para la reapertura 1,125 metros de canal divididos en 6 sitios, la longitud y la ubicación para cada uno de ellos, fue elegido tomando en cuentas: 1) La existencia de alcantarillas en el punto, 2) la presencia de canales naturales, y 3) áreas de bajos naturales identificados. (Tabla 1). Estos últimos sitios, fueron los mismos que se seleccionaron para la construcción de 4 alcantarillas (Figura 5).

Tabla 1. Metros de canales desazolvados

Canal	Lado Poniente	Lado Oriente	Metros Totales
1	150	126	276
2	50	190	240
3	45	21	66
4	163	170	333
5	50	40	90
6	70	50	120
Subtotal:	528	597	1,125



Figura 5. Ubicación de los canales desazolvados y las alcantarillas.

B) Monitoreo

- **Indicadores de éxito**

Para llevar a cabo el monitoreo se hicieron mediciones de las variables de hidroperiodo (frecuencia, nivel y tiempo de inundación), salinidad intersticial y superficial, así como el establecimiento de nuevos reclutas de la comunidad del manglar como indicadores de éxito. Los sitios de muestreo fueron distribuidos a diferentes distancias con respecto al canal, así como también se establecieron sitios de referencia (sitios conservados) ó sitios control como se muestra en la (Figura 6).

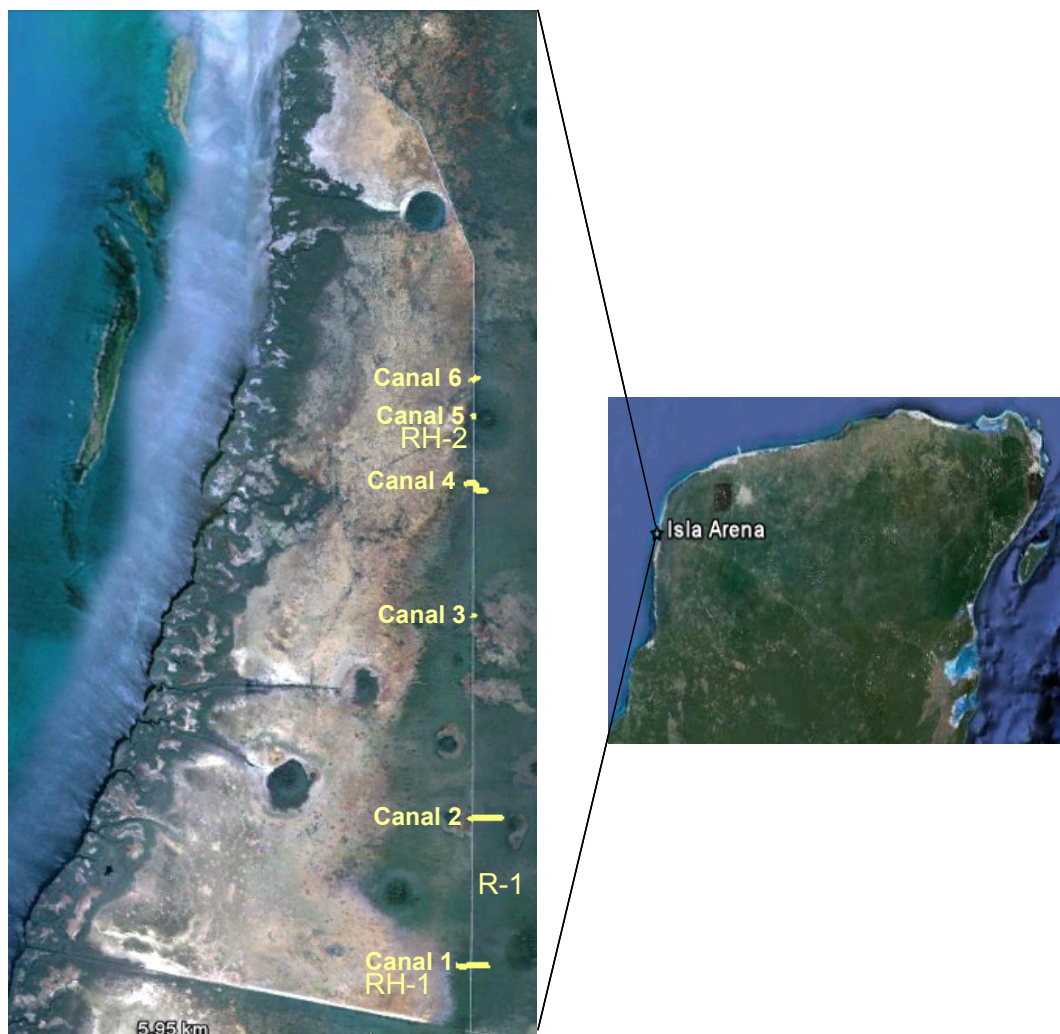


Figura 6. Ubicación de los canales, sitios de rehabilitación (RH-1 y RH-2) y referencia (R-1) en la zona de rehabilitación de Isla Arena.

Hidroperíodo. Se llevo a cabo la instalación de 2 medidores electrónicos de nivel de agua (Levellogger), de los cuales uno fue instalado en la zona de rehabilitación (Figura 7) cerca del canal desazolvado, mientras que el otro fue colocado en el sitio de referencia, esto con la finalidad de medir el nivel, periodo de inundación y la temperatura, que es otra variable que tiene efecto en el establecimiento del manglar.



Figura 7. Instalación de medidores electrónicos de nivel de agua.

Salinidad intersticial. La medición de la salinidad intersticial y superficial fue llevada a cabo por medio de los medidores electrónicos de nivel de agua (Levellogger), debido a que miden conductividad y temperatura. Se establecieron transectos donde la salinidad intersticial fue medida en puntos discretos para tener una mejor representación espacial de los efectos de la rehabilitación del sitio. La salinidad fue medida con una sonda multiparámetros YSI 30. La colecta de las muestras para llevar a cabo la medición fue bimensual considerando tener información de antes, durante y después de los trabajos de desazolve. En cada una de las estaciones discretas se tomaron muestras de agua intersticial a 40 cm (Figura 8).



Figura 8. Colecta de agua intersticial y medición de la salinidad.

Análisis de sedimento. Las muestras de sedimento fueron colectadas en zonas que representaran la variabilidad y los efectos de la rehabilitación, además de ser un precedente para estudios de largo-plazo. Se colectaron 8 muestras en el área de influencia de la rehabilitación y 2 muestras en el sitio de referencia. Esto se realizó utilizando un nucleador de 6 cm de diámetro y 40 cm de largo. A las muestras colectadas se les realizó el análisis de nutrientes (Nitrógeno y Fosforo total), contenido de materia orgánica y densidad aparente (“bulk density”). El análisis de sedimentos se llevó a cabo en el Laboratorio de Producción Primaria del CINVESTAV, las muestras fueron tomadas al inicio y al final del proyecto (Figura 9).



Figura 9. Toma de núcleos para la determinación de las características del suelo.

Análisis de nutrientes en agua intersticial. Las muestras de agua intersticial fueron colectadas con ayuda de un tubo de acrílico a una profundidad de 30 cm, las cuales fueron transportadas en botellas previamente rotuladas especificando el lugar y fecha de muestreo y se mantuvieron en obscuridad y congeladas hasta su análisis. En el laboratorio fueron analizadas mediante técnicas espectrofotométricas propuestas por Strickland y Parsons (1972) donde se determinó la concentración de nutrientes en el agua intersticial (nitritos, nitratos, fosfatos y silicatos).

Estructura forestal. La estructura del manglar se determinó utilizando la técnica de cuadrados (“parcelas”) de 10 X 30 m, siguiendo las especificaciones estándar de estudios forestales, las parcelas fueron establecidas en los sitios de rehabilitación (1 y 2), así como en el sitio de referencia.

Los atributos estructurales que se seleccionaron para este estudio fueron los sugeridos por Schaeffer-Novelli y Cintrón (1990), y que han sido ampliamente utilizados para el estudio de los manglares, los cuales incluyen:

- *Diámetro a la altura de pecho (DAP):* a partir de esta medición se calculó el área basal, además de que permitió determinar la condición o estabilidad de la comunidad del manglar a través de la distribución de los diámetros de sus troncos,

o mejor conocido como un análisis de cohorte. Se utilizó una cinta diamétrica para medir el DAP de todos los individuos mayores a 2.5 cm en DAP (Figura 10).

- *Área basal*: es el área que ocupa un tronco en un espacio conocido; en una comunidad de manglar es la suma de las áreas basales de todos los troncos en una unidad de área expresándose en m² por hectárea (ha) para los árboles mayores o iguales a 2.5 cm de diámetro (8 cm. de circunferencia). Esta medida es un excelente índice del grado de desarrollo adquirido por una comunidad de manglar, ya que está relacionado con el volumen de los troncos y la biomasa de la comunidad.
- *Densidad*: es el número de árboles por unidad de área, se expresa en individuos (ind.) por hectárea (ha). La densidad de una comunidad de manglar es el reflejo de su edad y madurez. Los manglares pasan durante su desarrollo una etapa en que el espacio es ocupado por un gran número de árboles de pequeño diámetro, cuando se presenta la etapa de mayor madurez es cuando existen menos árboles pero de mayor diámetro. Esta variable también funciona como indicador de vulnerabilidad y capacidad de respuesta ante impactos.
- *Altura*: es la distancia vertical entre la base del tronco a la punta de la copa. El instrumento que fue utilizado para medir la altura fue una varilla telescópica graduada. Aunque este método solo es práctico para árboles con alturas menores o iguales de 7 m.
- *Índice de complejidad (IC)*: Es una medida descriptiva-cuantitativa de la complejidad estructural de la vegetación tropical. El índice integra las características estructurales y florísticas, y cuantifica el grado de desarrollo de la estructura: (número de especies, densidad total, área basal total y altura) (Holdridge *et.al.*, 1971).



Figura 10. Medición de las variables estructurales del manglar.

Regeneración potencial. Para llevar a cabo la descripción de juveniles (de alturas >50 cm y con dbh < a 2.5 cm) se establecieron parcelas de 5 x 5 m, dentro de las sub-parcelas se establecieron cuadrantes de 1 x 1 m para llevar la medición de plántulas (de alturas < a 50 cm) midiendo la altura de cada uno de los individuos presentes dentro del cuadrante, así como la identificación de la especie (Figura 11).



Figura 11. Medición de plántulas de manglar.

Cobertura Forestal (Cartografía).

Se determinó la cobertura de manglar en la zona de restauración de Isla Arena a partir del análisis de una imagen de satélite tipo Spot 5 HRG (multi espectral) del año 2005, con una resolución espacial de 100 m², utilizando una combinación entre técnicas de clasificación supervisada y no supervisada. Los Software utilizados para el procesamiento de la imagen fueron *ArcGis V.9.2* y *Erdas Imagine V.9.2*.

Para el procesamiento de las imágenes se desarrollaron las siguientes actividades:

- a) Georreferenciación. Las imágenes fueron adquiridas ya rectificadas y georreferenciadas. El error medio cuadrático (RMS) se procuró mantener alrededor de ± 1 a 2 pixel de acuerdo a la resolución de la imagen.
- b) La clasificación no supervisada (CNS) se realizó utilizando el algoritmo ISODATA para la imagen (2005), creándose un archivo con aproximadamente 150 firmas espectrales. Con la técnica de siembra se generaron áreas espectralmente únicas dentro de la zona de estudio. Estas áreas fueron seleccionadas como sitios de muestreo para el trabajo de campo. Las clases espectralmente únicas fueron impresas en mapas escala 1:50,000 para su utilización durante la verificación en campo. Dichos mapas presentaban la imagen de satélite con los polígonos para cada uno de los sitios de muestreo con las coordenadas del punto central para ayudar a su ubicación en el campo con los GPS.
- c) Verificación en campo. Con ayuda de los mapas impresos y las coordenadas geográficas de los puntos, se realizó la verificación en la zona de estudio, los datos

colectados *in situ* sirvieron para la evaluación, medición y documentación de la variación de la vegetación dentro del área de estudio. Esta variación se correlaciono con la variación espectral de las imágenes de satélite durante los procesos de clasificación. Una vez localizado el sitio exacto de muestreo y haber verificado el tipo de vegetación presente en ese punto, se registro la información tomando en cuenta los demás parámetros que son incluidos en la base de datos. Para obtener muestras confiables y consistentes, se creó una hoja de campo para registrar dicha información.

Para la clasificación de la imagen:

1. Se generaron nuevas bandas a partir de análisis crudos con operaciones simples o con operaciones estadísticas complejas tales como las transformaciones de componentes principales. Las nuevas bandas se generaron para derivar información única de estos procesos y se mejorará la calidad de la clasificación (Ducks Unlimited Inc., 1998). Se hicieron pruebas para determinar cuál de los diferentes métodos de creación de nuevas bandas era el óptimo a utilizarse en la clasificación del área de estudio.

- El Índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI)
- El Índice de vegetación transformado (TVI)

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) (Rouse *et al.*, 1974), es el índice espectral que separa la vegetación verde del suelo utilizando datos digitales. Éste se expresa como la diferencia entre la banda infrarroja cercana y roja normalizada, por la suma de esas bandas, es decir:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Se utilizó este índice porque retiene la habilidad para minimizar los efectos topográficos y a su vez producir una escala de medida lineal; además reduce en gran medida los errores de división por cero, oscilando los valores de -1 a 1 con el 0 representando el valor aproximado de la falta de vegetación. De esta forma, los valores negativos representan las superficies sin vegetación. Este índice se utiliza además para estimar el crecimiento en plantas (vigor), la cobertura de vegetación y producción de biomasa aparente.

El Índice de Vegetación Transformado (TVI) (Deering *et al.*, 1975) modifica el NDVI agregando una constante de 0,50 a todos sus valores y calculando la raíz cuadrada de los resultados. La constante 0,50 se introduce para evitar operar con valores negativos del NDVI. El cálculo de la raíz cuadrada se emplea para corregir los valores del NDVI que se aproximan a una distribución Poisson e introducir una distribución normal.

2. Proceso de sembrado (match). Los sitios de campo designados como áreas de entrenamiento fueron "sembrados" en ERDAS Imagine, utilizaron lazos espectrales como límites de crecimiento. El archivo que se obtuvo, se empleo en el proceso modificado de clasificación supervisada / no supervisada.

3. Generación de Firmas no Supervisadas. Se realizó una clasificación no supervisada utilizando las bandas seleccionadas (incluyendo las bandas nuevas que fueron creadas). Utilizando el programa ISODATA de Imagine se creó un archivo con aproximadamente 150 firmas espectrales derivadas de la clasificación no supervisada. Posteriormente se genero una clasificación de máximo parecido de las 150 firmas utilizando el programa de clasificación supervisada de Imagine (Ducks Unlimited Inc., 1998).

4. Clasificación Supervisada / no Supervisada. Se utilizó un proceso modificado de una clasificación supervisada / no supervisada para realizar la clasificación de cada imagen. Se empleo un programa estadístico para agrupar las firmas espectrales únicas de la clasificación no supervisada con las firmas supervisadas de las clases de entrenamiento (Ducks Unlimited Inc., 1998). De esta manera, las áreas espectralmente únicas se etiquetaron de acuerdo a los sitios de entrenamiento supervisados. Este proceso se realizo de manera repetitiva, ya que no todas las firmas espectrales supervisadas empataron perfectamente con las firmas no supervisadas en la primera ocasión de empalme. Cada vez que una firma no supervisada correspondía a una de las supervisadas, era removida del proceso de clasificación, etiquetándose con la clase a la cual representaba, todo este proceso se hizo de manera repetitiva, para lograr que todas las firmas no supervisadas estuvieran correctamente etiquetadas, acorde a los sitios de campo.

5. Modelos y Edición. El paso final del proceso de clasificación fue hacer modelos con las firmas confusas remanentes y establecer ediciones finales. Por último, aquellos pequeños problemas en la clasificación que no pudieron resolverse con los diversos procesos de separación espectral, y que basados en el conocimiento del analista sobre información confiable, se remedio haciendo una edición manual (Ducks Unlimited Inc., 1998).

Posteriormente, se generaron los vectores mismos que fueron procesados con el software ArgGis, el cálculo de superficies y eliminación de polígonos de acuerdo a la Mínima Unidad Cartografiable, que fue de 500 m², La MUC se determinó para una escala 1:25,000, así como por las características propias de la imagen y los requerimientos del proyecto.

De la clasificación de combinaciones de valores espectrales entre bandas, para la imagen del año 2005, se determinaron 9 categorías de cobertura basándose en la clasificación de Cowardin *et al.* 1979, modificada por DUMAC.

Resultados.

A) Construcción de 1,125 m lineales de canales de circulación.

Los trabajos de reapertura de canales fueron realizados en los meses de marzo, abril y mayo (temporada de secas). Estas obras fueron desarrolladas por 59 personas de la comunidad de Isla Arena, utilizando herramientas manuales tales como palas, picos, hachas, cubetas y barretas (Figura 12).



Figura 12. Trabajos de apertura y desazolve de canales en el tramo el Remate – Isla Arena, Campeche.

Se desazolvaban en total 1,125 m lineales de canales con un ancho de 3 m y 0.80 m de profundidad. Los canales fueron conformados con taludes de 45° en las laterales, con el fin de evitar en la medida de lo posible los azolvamientos futuros. Después de los trabajos de apertura, se ha notado para los meses de lluvias una mayor transferencia de agua de un sector a otro, aún en meses de secas continuo la transferencia de agua (Figura 13).



Figura 13. Funcionamiento actual de canales desazolvados, canal 1 y 2; los cuales coinciden con las alcantarillas 1 y 2 construidas por DUMAC.

B) Monitoreo (caracterización)

Estructura forestal

De acuerdo a las variables estructurales se observó un mayor desarrollo del bosque de manglar en el sitio de referencia de acuerdo al índice de complejidad (1.04), este es una descripción cuantitativa de la complejidad estructural de la vegetación siendo un indicador del estado de conservación general del bosque de manglar. El sitio de referencia presentó las mayores alturas (> 4.5 m) en ambos tiempos (Ti y Tf), aunque la mayor tasa de crecimiento se registró en el sitio de rehabilitación 1 (0.008 cm/día) seguido de rehabilitación 2 (0.007 cm/día), mientras que el menos desarrollado pero en buen estado de conservación es el sitio de rehabilitación 2 con un índice de complejidad de 0.039. El área basal es el área que ocupa un tronco en un espacio conocido, por lo tanto los mayores valores se ven reflejados en la zona de referencia (0.35 m² ha⁻¹) en el tiempo final. La densidad de los árboles es el reflejo de su edad y madurez, registrándose la mayor densidad en el sitio de referencia (>185 ind ha⁻¹) y la menor en el sitio de rehabilitación 1 (<113 árbol ha⁻¹). A pesar de que en la región presenta una vegetación de manglar compuesta por *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus*. Las plantas que predominaron en los tres sitios de estudio fueron: *Rhizophora mangle* y *Avicennia germinans*.

Se presentaron cambios en todas las variables a excepción de la densidad, reflejándose los mayores cambios en los sitios de rehabilitación, por lo tanto, las acciones de rehabilitación que se están llevando a cabo en esta zona están dando resultados que indican síntomas de recuperación de los sitios de rehabilitación por los cambios registrados en las variables estructurales (Figura 14).

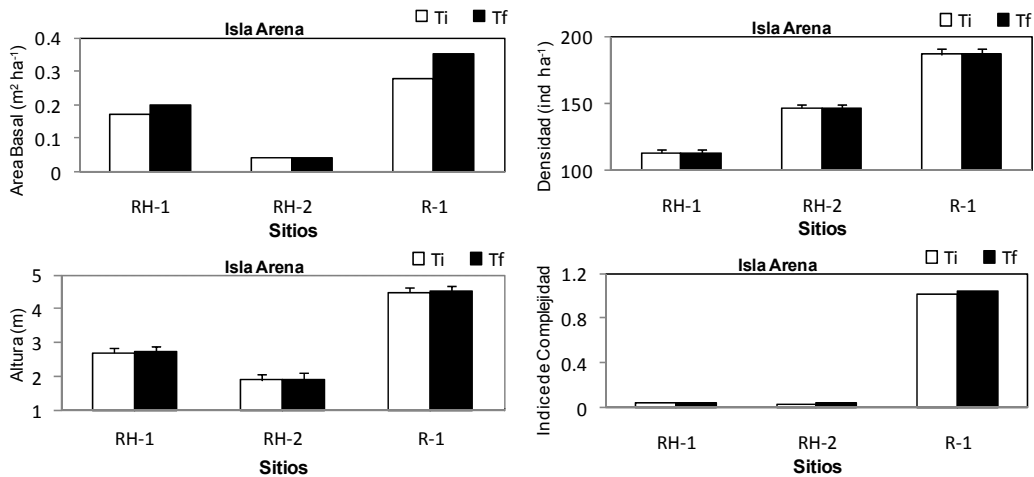


Figura 14. Variables estructurales de los sitios de Rehabilitación 1 (RH-1), Rehabilitación 2 (RH-2) y Referencia 1 (R-1), de la zona de rehabilitación de Isla Arena. Donde: Ti: Tiempo inicial y Tf: tiempo final.

Regeneración del manglar

El proceso de reclutamiento o la capacidad de recuperación de un bosque es un reflejo de la regeneración natural, a través de la densidad de plántulas y juveniles. Los ecosistemas de manglar tienen una limitada capacidad reproductiva vegetativa, ellos dependen del exitoso establecimiento y sobrevivencia de plántulas para la regeneración y desarrollo de los bosques. Las mayores alturas de los juveniles de manglar se registraron en el sitio de Referencia con valores de 62.36 cm en el tiempo cero (To) hasta llegar a los 69.7 cm en el tiempo tres (T3), mientras que las menores alturas se presentaron en el sitio de Rehabilitación 1 con un valor en el tiempo cero de 52 cm y de 57.3 en el tiempo tres (Figura 15). La mayor tasa de crecimiento se registró en el sitio de Rehabilitación 2 (0.0173 cm/día), en tanto que la menor fue en el sitio de Referencia (0.0104 cm/día). El crecimiento de plántulas de manglar es un reflejo de las condiciones de cada sitio, las mayores alturas de plántulas se presentaron en el sitio de referencia (>34 cm), mientras que el sitio de rehabilitación 1 registró los menores valores con alturas menores a 30.7 cm como se observa en la figura 15. Las tasas de crecimiento de juveniles estuvieron entre 0.0102 y 0.0158 cm/día, la mayor tasa de crecimiento (0.0158 cm/día) se registró en el sitio de Rehabilitación 1 y la menor en el sitio de referencia (0.0102 cm/día).

La temperatura superficial del agua, la densidad aparente del suelo y el porcentaje de materia orgánica del sedimento se han determinado como factores que afectan el crecimiento de las plántulas durante su desarrollo y en todos los sitios se observó el crecimiento de plántulas, por lo que los trabajos de rehabilitación en este sitio están teniendo éxito al determinarse una supervivencia de 100% en los juveniles y plántulas en los tres sitios de la zona de estudio.

Cuando un ecosistema de manglar presenta un disturbio (natural o entrópico), si las condiciones ambientales son apropiadas y el ecosistema es resiliente, el manglar será capaz de recuperarse por medio de la disponibilidad de semillas y crecimiento vegetativo, reiniciando un nuevo ciclo y con ello el restablecimiento de la estructura y función del mismo.

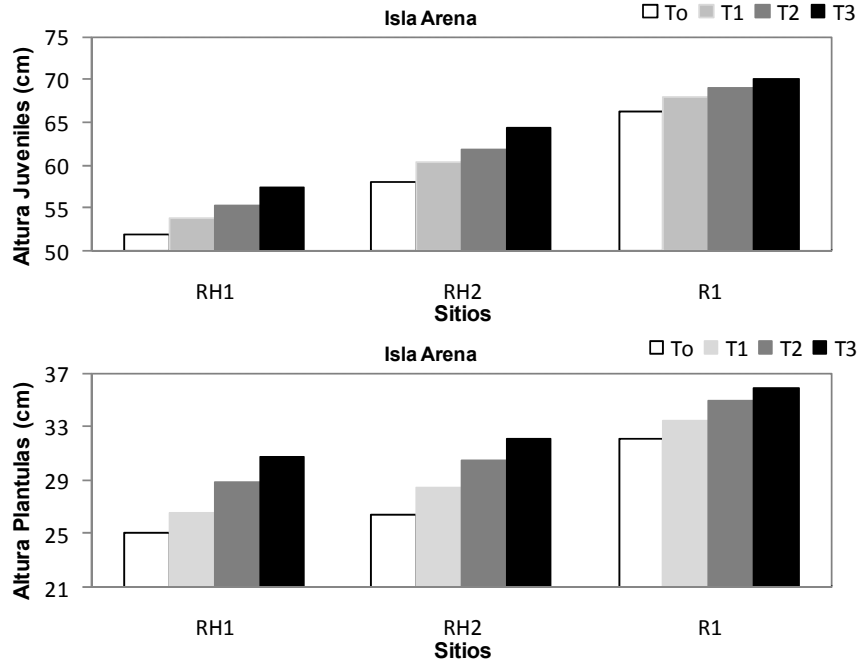


Figura 15. Altura de juveniles y plántulas en los sitios de Rehabilitación 1 (RH1), Rehabilitación 2 (RH2) y Referencia 1 (R1), de la zona de rehabilitación de Isla Arena. Donde: To: Tiempo cero, T1: tiempo uno, T2: tiempo dos y T3: tiempo tres.

Temperatura y Salinidad del agua Intersticial. La temperatura regula numerosos procesos energéticos internos incluyendo la regulación y excreción de sal, y respiración de las raíces. La temperatura mayor se observó en el sitio de referencia en el tiempo 2 (28.86 °C) y la menor en el sitio de referencia (26.51 °C) en el tiempo 0, debido a que en el tiempo inicial o cero se mantuvo inundado el sitio (Figura 16). La salinidad es un indicador de la condición del sitio, la cual influye en la zonación y en el grado de desarrollo de estos ecosistemas. El sitio de referencia registro menor salinidad intersticial (60.34 g/kg) en el tiempo 2, siendo el sitio de rehabilitación 2 en el tiempo 1 donde se registró la salinidad más alta (64.33 g/kg). Cuando la salinidad intersticial es alta (> 70 g/kg) se favorece la disminución en el desarrollo del manglar o muerte de este ecosistema (Figura 16).

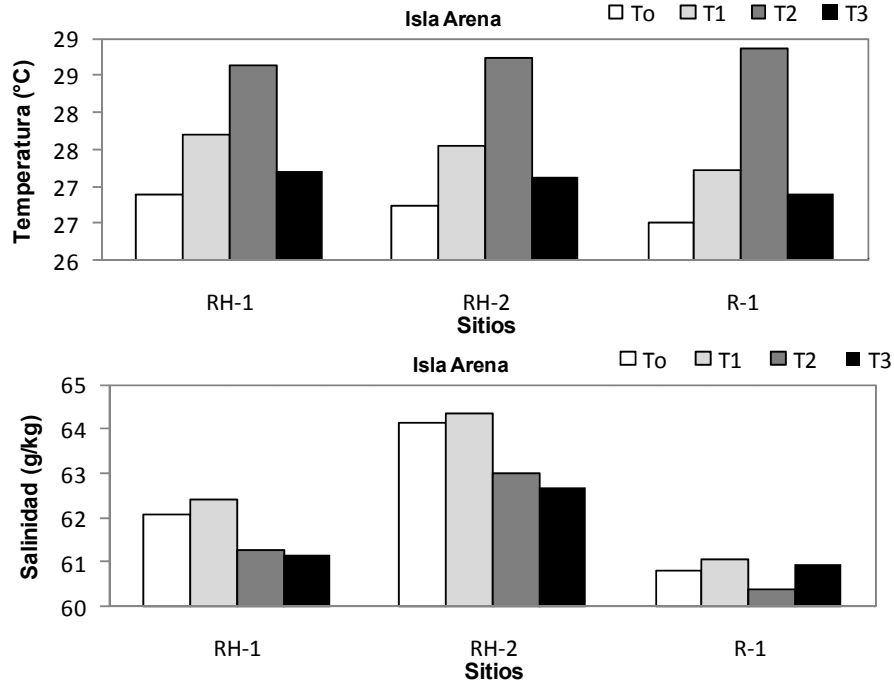


Figura 16. Temperatura y Salinidad del agua intersticial de los sitios de Rehabilitación 1 (RH1), Rehabilitación 2 (RH2) y Referencia 1 (R1), de la zona de rehabilitación de Isla Arena. Donde: T0: Tiempo cero, T1: tiempo uno, T2: tiempo dos y T3: tiempo tres.

Nutrientes inorgánicos en agua intersticial

Los nutrientes inorgánicos disueltos del agua intersticial son un referente de los procesos que se dan en el suelo, por ejemplo el ciclo del nitrógeno. La concentración y las variaciones de los nutrientes inorgánicos permiten explicar la conexión que hay entre las variables fisicoquímicas del sedimento y la hidrología. Las mayores concentraciones de nitritos se observaron en el sitio de referencia (R-1) en el tiempo 0 con un valor de $0.43 \mu\text{M}$. El sitio de rehabilitación 2 presentó las concentraciones menores con valores de $0.30 \mu\text{M}$ en el tiempo 2. Con respecto a los nitratos el sitio de rehabilitación 2 ($1.79 \mu\text{M}$) en el tiempo 2 registró las menores concentraciones y las mayores se observaron en el sitio de referencia (R-1) con $2.10 \mu\text{M}$ en el tiempo 0. El amonio es el nutriente dominante, sugiriendo que las condiciones ambientales son propicias para provocar los procesos de descomposición de materia orgánica, y favoreciendo condiciones anóxicas, observándose las mayores concentraciones de amonio en el sitio de referencia ($169.71 \mu\text{M}$) en el tiempo 3 (Figura 17).

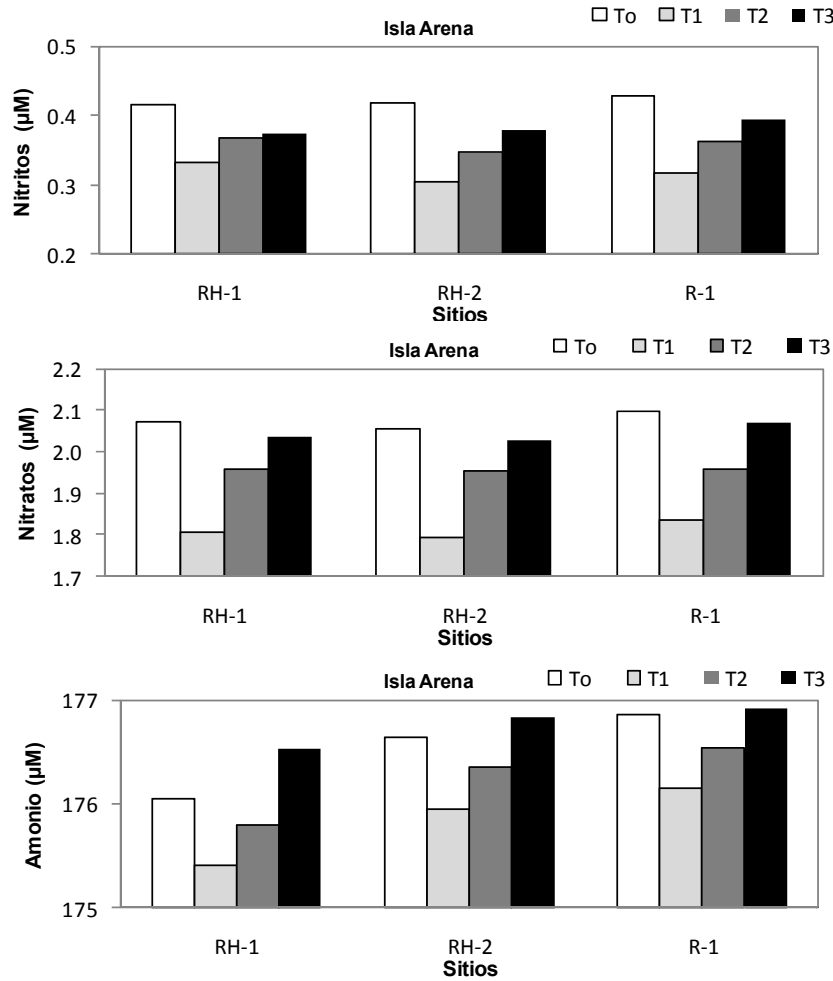


Figura 17. Nitritos, Nitratos y Amonio en agua intersticial de los sitios de Rehabilitación 1 (RH1), Rehabilitación 2 (RH2) y Referencia 1 (R1), de la zona de rehabilitación de Isla Arena. Donde: To: Tiempo cero, T1: tiempo uno, T2: tiempo dos y T3: tiempo tres.

El mayor valor de Fosfatos se presentó en el sitio de referencia (12.63 µM) en el tiempo 1 y los menores valores se registraron en el sitio de rehabilitación 1 (<10.52 µM) en el tiempo 0 (Figura 18), estos valores observados fueron en general bajos probablemente explicados a través de los procesos de adsorción o precipitación en los sedimentos, ya que el sustrato cárstico-carbonatado de la zona favorece estos procesos en el caso de los fosfatos. Las concentraciones mayores de silicato se registraron en el sitio de referencia 1 (182.87 µM) en el tiempo 3 y los menores valores se observaron en el sitio de rehabilitación 2 con valores de 169.89 µM en el tiempo 1 (Figura 18). La concentración elevada de silicato en Isla Arena indica que existe una entrada de agua subterránea que acarrea el silicato en esta zona.

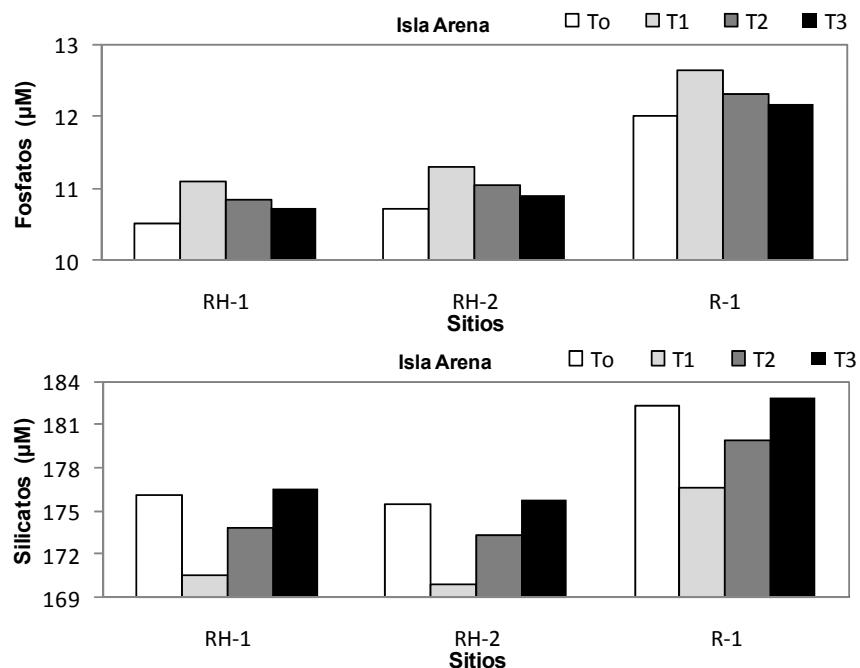


Figura 18. Fosfatos y Silicatos en agua intersticial de los sitios de Rehabilitación 1 (RH1), Rehabilitación 2 (RH2) y Referencia 1 (R1), de la zona de rehabilitación de Isla Arena. Donde: To: Tiempo cero, T1: tiempo uno, T2: tiempo dos y T3: tiempo tres.

Hidroperíodo

La modificación del hidroperíodo (nivel, frecuencia y periodo de las inundaciones) es la principal causa del deterioro y muerte del manglar. Por lo tanto, las estrategias de restauración se encuentran enfocadas a la recuperación del hidroperíodo y disminución de la salinidad (condición del suelo).

El nivel de inundación en la zona de referencia presento el mayor valor (41.69 cm) el 5 de octubre de 2010 a las 9:00 horas y el menor el 16 de mayo de 2010 (-47.16 cm) a las 15:00 horas. El mayor tiempo de inundación se registro en los meses de Julio, Agosto y Octubre de 2010 con 744 horas en cada uno de ellos, en los meses de Abril y Mayo de 2010 no se observó inundación y el mes de Junio solamente presento un tiempo de inundación de 3 horas. El mes de marzo de 2010 registro la mayor frecuencia de inundación con un total de 15 eventos al mes, los meses de Abril y Mayo no presentaron eventos de inundación, y la menor frecuencia fue de 1 evento y se observó en los meses de Diciembre de 2009, Junio, Julio, Agosto, Septiembre y Octubre de 2010 (Figura 19).

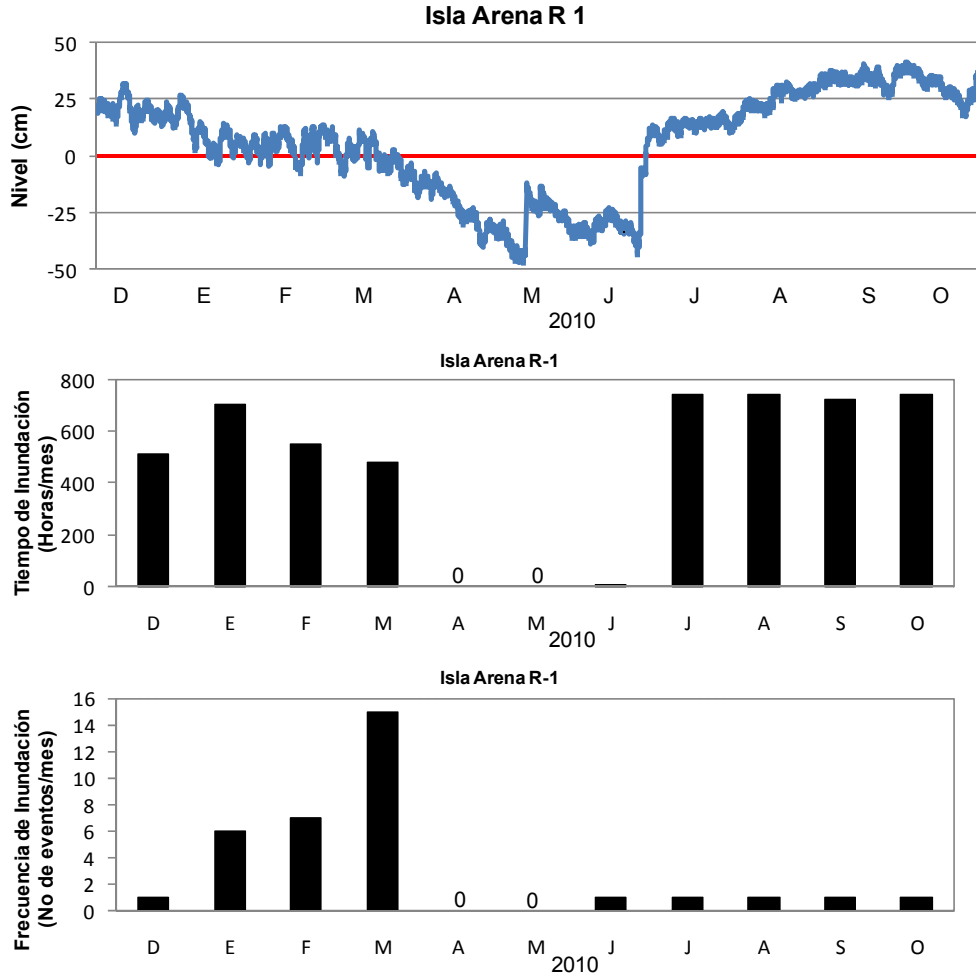


Figura 19. Datos de nivel, tiempo y frecuencia de inundación en la zona de referencia 1 (R-1) de Isla Arena. La línea roja continua representa el nivel del suelo, los valores (+) indican el tiempo que el manglar se mantuvo inundado, los valores (-) indican el periodo de tiempo en que el manglar estuvo seco.

La zona de rehabilitación 2 registro el menor nivel de inundación (-50.89 cm) el 2 de mayo de 2010 a las 17:00 horas y el 1 de Octubre de 2010 se presento el mayor valor (29.90 cm) a las 5:00 horas. En los meses de Abril y Mayo de 2010 no se presento inundación, solamente el mes de Junio registro un tiempo de inundación de 28 horas y en los meses de Julio y Agosto de 2010 se observo el tiempo mayor de inundación con un total de 744 horas en cada mes. No se registro ninguna frecuencia en los meses de Abril y Mayo de 2010, en los meses de Diciembre de 2009, Junio, Julio, Agosto, y Septiembre de 2010 se registraron las menores frecuencias con 1 evento por mes y la mayor frecuencia de inundación con un total de 14 eventos perteneció al mes de Febrero 2010 (Figura 20).

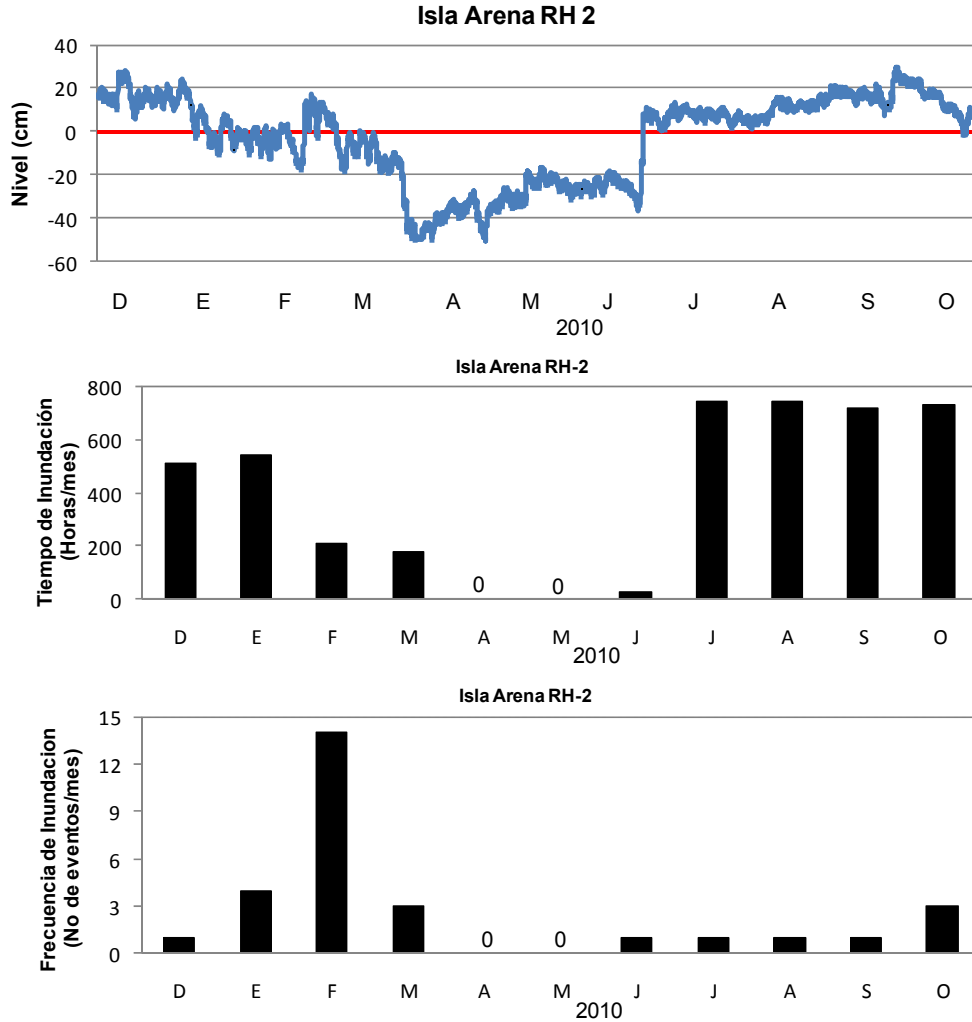


Figura 20. Datos de nivel, tiempo y frecuencia de inundación en la zona de rehabilitación 2 (R-2) de Isla Arena. La línea roja continua representa el nivel del suelo, los valores (+) indican el tiempo que el manglar se mantuvo inundado, los valores (-) indican el periodo de tiempo en que el manglar estuvo seco.

Análisis de sedimentos

Materia orgánica y Carbono Total

Las estaciones 2 y 6 presentaron los porcentajes menores de materia orgánica (41.13 a 42.38%), mientras que en la estación de referencia es mayor (>58 %). En las estaciones 3 y 4 de rehabilitación y la estación de referencia el contenido de M.O. es alto (>49%). La formación de suelo en los ecosistemas de manglar es una combinación de procesos ecológicos incluyendo la producción, exportación y descomposición de materia orgánica. La dinámica de la materia

orgánica en sedimentos está fuertemente relacionada con los aportes internos y externos a los que están sujetos estos ecosistemas (Figura 21). En relación a los porcentajes de Carbono se presentaron los mayores en la estación de referencia con 33.16% y los menores en las estaciones 2 y 6 con porcentajes de 28.43% y 28.35% respectivamente (Figura 21). Para el carbono total se mantuvieron los porcentajes sin variación

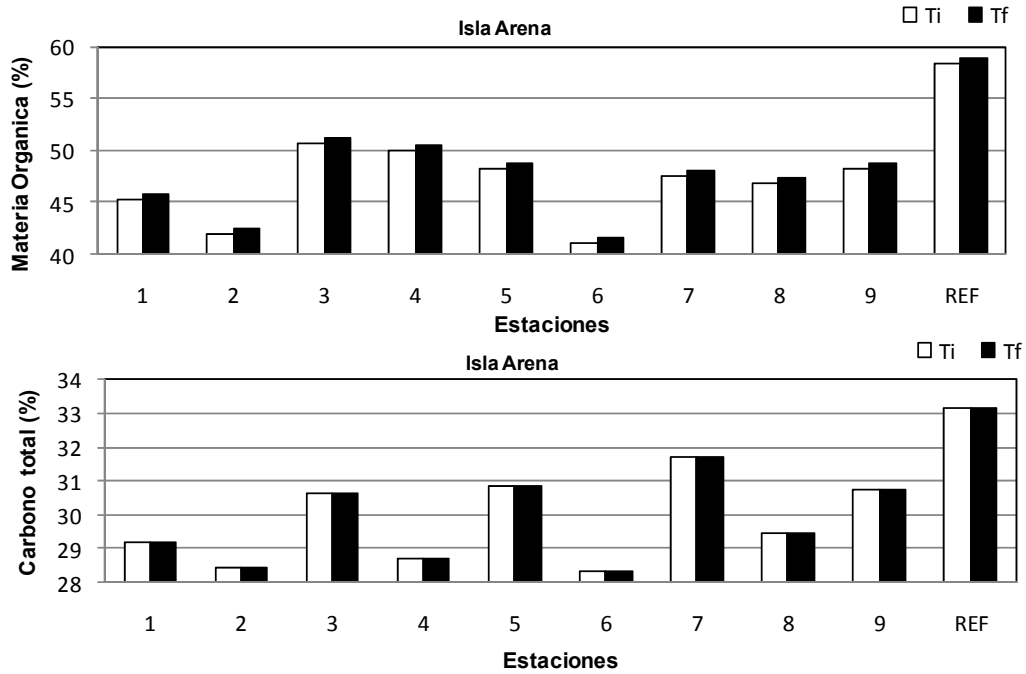


Figura 21. Contenido de Materia Orgánica y Carbono Total en sedimentos en estaciones de la zona de Rehabilitación (1 a 9) y zona de referencia (REF) en diferentes tiempos: Ti (Tiempo inicial) y Tf (tiempo final).

Nitrógeno total y Fósforo total

En general el contenido de NT de los sedimentos de las estaciones de rehabilitación es <1.5%, mientras que en la estación de de referencia el contenido de NT es >1.5%. La estación de referencia presentó el mayor porcentaje de NT (>1.57%), mientras que la estación 8 en el tiempo inicial (Ti) presentó el menor porcentaje de NT (0.93%) (Fig. 22). La dinámica de la materia orgánica esta en relación con los procesos biogeoquímicos del nitrógeno y fósforo en los sedimentos por los procesos de descomposición, mineralización y en una forma disponible para la planta. En la mayoría de las estaciones de rehabilitación el contenido de fosforo total es <0.12%, sólo en las estaciones 1 y 6 es mayor que 0.12 % (Figura 22), estas concentraciones son en general bajas, esto probablemente a los procesos de absorción o precipitación de este elemento en sedimentos de tipo cárstico-carbonatado donde el aporte de nutrientes alóctonos es mayor para nitrógeno y bajo para fósforo, este último podría ser limitante para el desarrollo y recuperación de los manglares en la zona de rehabilitación.

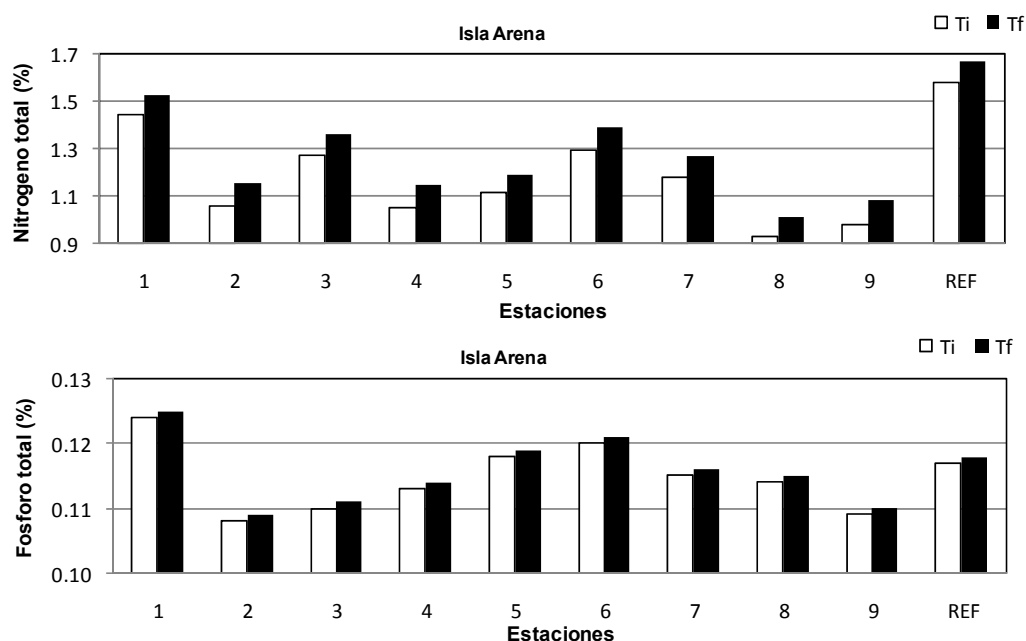


Figura 22. Contenido Porcentaje de nitrógeno total y Fósforo total en estaciones de la zona de Rehabilitación (1 a 9) y zona de referencia (REF) en diferentes tiempos: Ti (Tiempo inicial) y Tf (tiempo final).

C) Cobertura Forestal (Cartografía)

Del análisis de clasificación realizado a la imagen de satélite se definieron nueve clases, las cuales presentan las siguientes características:

- 1) Submareal vegetación acuática: representa el 0.12% del área de estudio e incluye las áreas de aguas profundas o humedales dominados por plantas que crecen principalmente debajo de la superficie del agua y que están sujetas al sustrato.
- 2) Llanura costera inundable (llamado localmente "Blanquizal"): Son humedales con un suelo que consiste con un 25% de partículas más pequeñas que las piedras (arena, cieno y materia orgánica), que se pueden encontrar expuestos o inundados en diferentes periodos y dependiendo del régimen hidrológico, poseen una cubierta vegetativa menor a 30%. Esta clase representa el 0.84% del la zona del proyecto.
- 3) Estuarino vegetación acuática: incluye las áreas dominadas por plantas que crecen principalmente debajo de la superficie del agua, que están sujetas al sustrato y se desarrollan de mejor manera en aguas semipermanentes o bajo condiciones de inundaciones frecuentes. Se presentan en un amplio rango de profundidades y texturas del sedimento. Esta clase representa el 49.24% del área de estudio.
- 4) Vegetación emergente bajo litoral: representa el 0.77% del área de estudio y está caracterizada por plantas herbáceas acuáticas erguidas y enraizadas, sin incluir los musgos y líquenes. Este tipo de humedales están comúnmente dominados por plantas

perennes. En esta clase las especies dominantes son *Typha domingensis*, pudiéndose encontrar como masas puras o en asociación con otras especies tales como *Eleocharis cellulosa* y *Cladium jamaicensis*. También es común la asociación de *Cladium sp.* y *Typha sp.* con *Phragmites australis*.

- 5) Manglar: Esta clase representa el 34.39% de la zona del proyecto y comprende las diferentes tipologías de manglar (manglares de franja marina, manglares de franja lagunar, manglar de cuenca). Las especies presentes son *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erecta*.
- 6) Manglar muerto / Sucesión de Manglar: Son las áreas donde hay presencia de troncos de manglar, indicando la anterior vegetación del sitio. En la zona del proyecto representa el 0.99% y se encuentra de forma dispersa en los bordes de los petenes y en las franjas de manglar cercanas a la carretera.
- 7) Manglar escaso: Representa el 11.95% del área de estudio, esta clase está constituida en áreas de la llanura costera inundable, en donde la cobertura de individuos de manglar es discontinua de forma parecida a una sabana. Pueden encontrarse con individuos de *Rhizophora mangle*, de *Laguncularia racemosa* o de *Avicennia germinans*, o en asociación de hasta 5 individuos.
- 8) Petén: En los petenes la composición florística es más rica y la estructura de la vegetación es mayor que la vegetación circundante, presentando alturas que van de 18 a 25 metros. Aquellos petenes de tamaño pequeño y cercanos a la costa, están formados por *Rhizophora mangle* y *Laguncularia racemosa*. Esta clase representa el 1.26% del área de estudio
- 9) Desarrollo - Incluye las áreas con desarrollo urbano y en la zona del proyecto se conforma por el cuerpo de los caminos y la línea de transmisión eléctrica. Esta clase representa el 0.44% del la zona de estudio.

El análisis de cobertura indica que la clase Estuarino Intermareal Vegetación Acuática es la clase con mayor superficie (2,955.03 ha), seguida de la clase Estuarino Intermareal Manglar con 2,064.11 ha (Tabla 2 y Figura 23).

Clase	Área (Has.)	%
Marino Submareal Vegetación Acuática	6.91	0.12
Desarrollo	26.21	0.44
Estuarino Intermareal Vegetación Emergente Bajo Litoral	46.47	0.77
Estuarino Intermareal Llanura Costera Inundable	50.52	0.84
Estuarino Intermareal Manglar Muerto/Sucesión	59.32	0.99
Estuarino Intermareal Peten	75.80	1.26
Estuarino Intermareal Manglar de Distribución Dispersa	717.25	11.95
Estuarino Intermareal Manglar	2,064.11	34.39
Estuarino Intermareal Vegetación Acuática	2,955.03	49.24
Total	6,001.62	100.00

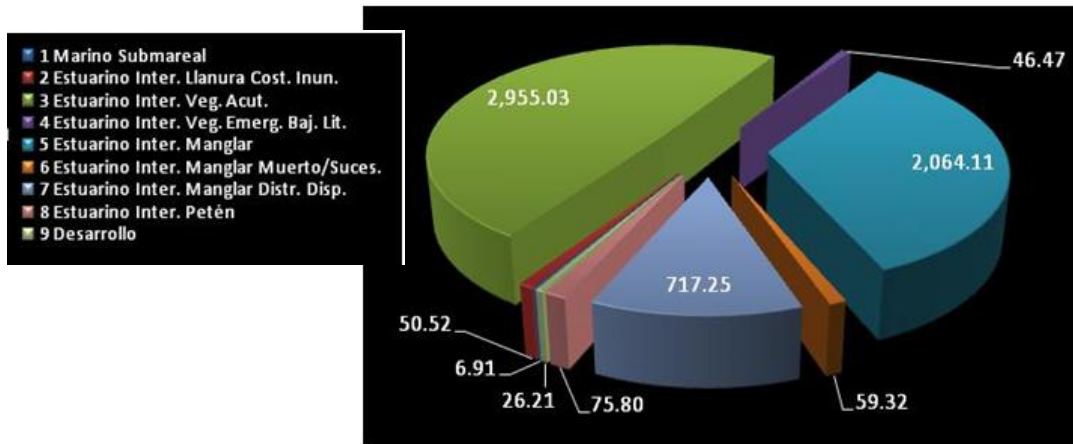


Tabla 2 y Figura 23. Superficie en hectáreas y porcentajes de cada una de las clases de humedales en la zona del proyecto de Isla Arena, Campeche.

La aplicación del índice TVI permitió determinar un índice de la biomasa aparente de la vegetación arbórea (Manglar) y de la vegetación acuática sumergida (*Ruppia maritima* y *Chara fibrosa*). Así mismo, la aplicación del índice NDVI permitió diferenciar entre ambas clases y los errores que se pudiesen generar del relieve topográfico, ya que este último índice determina el vigor de vegetación.

Los valores obtenidos a través de los índices permitieron diferenciar la vegetación arbórea de la no arbórea y así dar mayor precisión entre las clases de humedales. Los índices calculados permitirán determinar cambios en la estructura del manglar a largo plazo, pudiendo comparar los índices de vigor y biomasa aparente del manglar determinados en el 2005 con imágenes del 2010 ó 2015 y así evaluar los procesos de rehabilitación del manglar.

Conclusiones y Consideraciones finales.

Este proyecto tuvo como objetivo rehabilitar la hidrología de los sitios para recuperar sus funciones ecológicas (calidad de hábitat, calidad de agua, producción de materia orgánica) y funciones sociales (valor escénico, turismo de naturaleza, educación y fortalecimiento de las capacidades locales).

Los efectos combinados de los cambios en la hidrología como resultado de la construcción de carreteras, han tenido sus efectos sobre los manglares causando su deterioro y destrucción en muchos casos.

La modificación del hidropériodo (nivel, frecuencia y periodo de las inundaciones) es la principal causa del deterioro y muerte del manglar. Por lo tanto, las estrategias de rehabilitación están enfocadas en la recuperación del hidropériodo y la disminución de la salinidad (condición del suelo).

No se considera actualmente implementar programas de reforestación, ya que en muchas ocasiones la recuperación hidrológica permite por sí sola la recuperación y reclutamiento del manglar, reduciendo los gastos de cualquier programa de reforestación.

Se identificó que las especies de manglar *Rhizophora mangle* y *Avicennia germinas* son las que están colonizando las áreas de rehabilitación, debido a que la sobrevivencia de plántulas y juveniles fue del 100% en este periodo de estudio.

Actualmente se están desarrollando también proyectos en Celestún y Progreso (Herrera-Silveira et al., 2009) que tienen como objetivo la rehabilitación hidrológica que favorezca la regeneración natural. Siendo la acción principal la construcción y desazolve de canales que favorezcan la recuperación del hidropériodo y reduzca las condiciones de estrés salino de los sedimentos, y estimule la regeneración natural.

Es bajo este contexto, que el presente proyecto se fundamenta: recuperar la hidrología de las áreas de manglar deteriorado, y favorecer con ello la regeneración natural, dejando como última acción de restauración la reforestación, y esta última en el contexto de “sitios de dispersión”.

Por otra parte y como se ha mencionado, el proyecto se ubica en la región conocida como “Los Petenes de Campeche”. Los Petenes es una asociación vegetal representativa del área y uno de los valores ecológicos más importantes de la zona, ya que únicamente se localizan en Yucatán, Florida y Cuba.

Actualmente la comunidad de Isla Arena esta tomando interés en el desarrollo de actividades turísticas como la pesca de liberación de Robalo (*Centropomus undecimalis* / Common Snook), la visita a los sitios de manglar y la cría de cocodrilos (*Crocodylus moreletii*). Todas estas actividades están estrechamente vinculadas con la salud de los manglares de Isla Arena, Campeche.

Todas las personas que visitan este sitio, así como los pobladores de la Reserva de la Biosfera, tienen claro la importancia de la restauración ecológica del lugar; ya sea por el pescado que se ofrecen, el agua dulce que usan de los manantiales, la madera que se extrae de los manglares o la protección contra los huracanes, todos de alguna forma están interesados en la conservación de este humedal.

Por ultimo es importante mencionar que para el desarrollo de este tipo de proyectos, es necesario contar con organizaciones que tengan la capacidad de desarrollar procesos de restauración a largo plazo. Actualmente, las organizaciones financiadoras de proyectos de conservación de recursos naturales, por lo general están facultadas para financiar proyectos con una duración de uno ó dos años. Es claro que los procesos de conservación como los mostrados, requieren de financiamientos a mayor plazo y de la suma de esfuerzos de instituciones financiadoras, centros de investigación, universidades, organizaciones gubernamentales y organizaciones con capacidad para la dirección de estos procesos de conservación.

Literatura citada.

Batlloori, E., Febles J.J., Díaz J. 1999. Landscape change on Yucatan northwest coastal wetlands (1984 – 1991). *Human Ecology Review*. (6)1.

CONANP. 2000. Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera de Ría Celestún

CONANP-JICA. 2009. Manual práctico para la rehabilitación del ecosistema de manglares en Yucatán, México. Herrera-Silveira, J. A.; T. Miyagi y K. Tsuruda., México, 101 Pp.

Correa-Sandoval, J. y J. García-Barrón. 1993. Avifauna de Ría Celestún y Ría Lagartos. En: Biodiversidad Marina y Costera de México. S. I. Salazar Vallejo y N. E. González (eds.) CONABIO y CIQRO, México, 865 Pp.

Cowardin, L.M., V. Carter, F.C. Golet and E.T. La Roe. 1979. Classification of Wetlands and Deepwater Habitats of the United States. U.S. Department of the Interior. FWS/OBS-79/31.

Deering, D. W., Rouse, J. W., Haas, R. H., y Schell, J. A., 1975. Measuring "Forage Production" of Grazing Units From LANDSAT MSS Data, Proceedings of the 10th International Symposium on Remote Sensing of Environment, II, 1169-1178.

Duck Unlimited Inc. 1998. Earth Cover Classification System Report. 54 pp.

Eúan - Avila Jorge L. and Witter-Scott G. 2002. Promoting integrated coastal management in the Yucatán Peninsula, México. *Journal of Policy Studies*.

Herrera-Silveira J. A., Teutli H. C., Jimenez J.A., Rivera, M. V., Coronado M. C., Hernandez S. R. y Caamal S. J. 2009. Marco conceptual de la rehabilitación de bosques de manglar en la península de Yucatán. En: Manual práctico para la rehabilitación del ecosistema de manglares en Yucatán, México. Herrera-Silveira J. A.; Miyagi T y Tsuruda K. CONANP-JICA

Herrera-Silveira, J. A., y Ceballos E. 1998. Los manglares de México. *Biodiversitas* 4(19): 1-10

Herrera-Silveira, J.A. Zaldívar, J. y Teutli, C. y Alonzo, D. 2002. Restauración hidrológica del manglar de cuenca de isla arena: construcción de alcantarillas en la carretera el remate-punta arena, Campeche: indicadores de éxito de la obra. CINVESTAV-DUMAC. 25 p.

Holdridge, L.R., Grenke, W. C., Hathaway, W. H., Liang, T., Tosi, J. (1971). Forest environments in tropical life zones, a pilot study. Pergamon press, New York.

Liceaga-Correa, M.A., Herrera-Silveira, J. Zaldívar-Jiménez, A., Hernández-Núñez, E. y Teutli Hernández, C. 2004. Evaluación de daños en las zonas costeras de la Península de Yucatán por el huracán "Isidoro". Desarrollo de Propuestas de Investigación y Mitigación en Manejo Integrado de Recursos Costeros. CINVESTAV-Unidad Mérida y SISIERRA. 188 p

Rouse, J. W. Jr., Haas, R., H., Deering, D. W., Schell, J. A., y Harlan, J. C., 1974. Monitoring the Vernal Advancement and Retrogradation (Green Wave Effect) of Natural Vegetation. NASA/GSFC Type III Final Report, Greenbelt, MD., 371.

Shaeffer-Novelli, Y Cintrón, G. 1990. Métodos para la descripción y estudio de áreas de manglar. Ingeniería marítima, Ciencias del mar. Escuela superior Politécnica del Litoral. Puerto Rico.

Strickland, J.D. and Parsons, T.R. 1972. A Practical Handbook of Sea Water Analysis. Fish. Res. Board. Canada Bull. 122 : 311.