



Universidad de Quintana Roo

División de Ciencias e Ingeniería

Licenciatura en Manejo de Recursos Naturales

“PRODUCTIVIDAD PRIMARIA EN HOJARASCA DEL ECOSISTEMA DE MANGLAR UBICADO EN LA ZONA DE MAHAHUAL E XCALAK, QUINTANA ROO: BASES ECOLÓGICAS PARA SU MANEJO”

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el grado de Licenciado en
Manejo de Recursos Naturales por:

Romel Gibran Cano Alvarez

Director de Tesis:

M. en C. Claudia Teutli Hernández

Asesores Propietarios:

Dr. Ricardo Torres Lara

Dr. Jorge A. Herrera Silveira

Asesores Suplentes:

M.C. Jennifer Denisse Ruiz Ramírez

Dr. Carlos Alberto Niño Torres

Chetumal, Quintana Roo; Julio de 2014



Universidad de Quintana Roo

División de Ciencias e Ingeniería

Licenciatura en Manejo de Recursos Naturales

“PRODUCTIVIDAD PRIMARIA EN HOJARASCA DEL ECOSISTEMA DE MANGLAR UBICADO EN LA ZONA DE MAHAHUAL E XCALAK, QUINTANA ROO: BASES ECOLÓGICAS PARA SU MANEJO”

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el grado de Licenciado en
Manejo de Recursos Naturales por:

Romel Gibran Cano Alvarez

Director de Tesis:

M. en C. Claudia Teutli Hernández

Asesores Propietarios:

Dr. Ricardo Torres Lara

Dr. Jorge A. Herrera Silveira

Asesores Suplentes:

M.C. Jennifer Denisse Ruiz Ramírez

Dr. Carlos Alberto Niño Torres

Chetumal, Quintana Roo;



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

División de Ciencias e Ingenierías

Tesis elaborada bajo la supervisión del comité y aprobada como requisito para obtener el grado de:

LICENCIADO EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES

COMITÉ DE TESIS

Directora:

M. en C. Claudia Teutli Hernández

Asesor titular:

Dr. Ricardo Torres Lara

Asesor titular:

Dr. Jorge A. Herrera Silveira

Asesor suplente:

Dr. Carlos Alberto Niño Torres

Asesor suplente:

M. en C. Jennifer Denisse Ruiz Ramírez

Chetumal, Quintana Roo, México, julio de 2014

DEDICATORIA

A ti Vane, por hacerme feliz cada día con tu Amor incondicional. A mi hijo Jorge, que con solo una sonrisa me recuerda la razón de mi existir.

A mi Mamá y mi Papá, por haberme apoyado en todo momento permitiendo que mis sueños se vuelvan realidad... Por darme las oportunidades que nunca tuvieron... Pero sobre todo por su gran Amor.

A mis hermanos Aremy, Edwin, Jeovany, Yahir, cada uno de Ustedes forma parte de los momentos más hermosos en mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al proyecto “Vulnerabilidad de los ecosistemas, la sociedad y la infraestructura costera, ante el cambio climático global” por el financiamiento para llevar a cabo este trabajo y al laboratorio de Productividad Primaria del CINVESTAV Mérida.

A M. en C. Claudia Teutli, por haber aceptado guiarme en este proceso tan importante, por su apoyo incondicional y por dedicar su valioso tiempo para culminar este trabajo. Siempre voy a estar agradecido contigo Claudia!

Al Dr. Ricardo Torres, por abrirme las puertas en este proyecto, permitiéndome conocer a grandes personas e investigadores. Por su apoyo, tanto académico, como personal; por ser más que un profesor, un amigo que siempre estuvo dispuesto a escuchar. Todo el Éxito que tenga en mi vida profesional, es y será, gracias a que inicié mi experiencia como Manejador de Recursos Naturales con la persona indicada. Las palabras faltan para expresar todo mi agradecimiento!

Al Dr. Jorge Herrera, por presentarme al segundo Amor de mi vida: **LOS MANGLARES!**. Ahora me es difícil concebir mi vida profesional sin ellos! Le agradezco infinitamente todos los apoyos recibidos de su persona.

A la Maestra Jenni, por haberme guiado a lo largo de mi carrera. Por ser una amiga que siempre me escuchó en los momentos buenos y malos, por ser partícipe de los momentos más memorables que tengo de la UQRoo. El camino hubiera sido difícil sin su apoyo! Mil gracias Maestra Jennifer!

Al Dr. Carlos, por creer en mí en todo momento, por haberme motivado a seguir hasta culminar este trabajo. Usted es parte fundamental de todo esto. Gracias por todos sus consejos y por ser un Profesor que se interesa en todo momento por sus alumnos!

A todos los profesores de la Carrera, en especial a la Maestra Lidia, Maestro Benito, Maestra Roberta, y Maestro Juan Antonio. A todos mis compañeros y amigos, en especial a Isabel, Lulu, Narciso, Suri, Dary, Addy, Bobby, Sheila, Yanin, Carmelina, Eli, Esther, **GRACIAS POR PERMITIRME ENTRAR EN SUS VIDAS, POR SER MIS AMIGOS A PESAR DE LAS DISTANCIAS Y POR NUNCA DEJARME CAER! SON PARTE IMPORTANTE DE MI VIDA!**

Y a todas las personas que contribuyeron a este logro.

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS	vi
Tablas	vi
Figuras	vi
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	6
MARCO CONCEPTUAL	9
Manglares	9
Especies de Manglar de la Península de Yucatán	12
Tipos de manglar	15
Estructura y Productividad Primaria	16
Manejo de Recursos Naturales	19
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	22
JUSTIFICACIÓN	24
HIPÓTESIS	24
OBJETIVO GENERAL	25
Objetivos particulares	25
METODOLOGÍA	25
Área de estudio	25
Métodos	28
RESULTADOS	38
Clima	38
Estructura	39
Inundación	41
Salinidad Intersticial	46
Productividad	50
Análisis estadístico	57
DISCUSIÓN	65
CONCLUSIONES	68
RECOMENDACIONES	69
BIBLIOGRAFÍA CITADA	71

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Tablas

Tabla 1. Coordenadas de los sitios de estudio	32
Tabla 2. Características estructurales de la vegetación de manglar por sitio	40
Tabla 3. Prueba post-hoc entre los sitios de estudio	59
Tabla 4. Comparación de la productividad entre diferentes sitios	66

Figuras

Figura 1. Ubicación del sitio de estudio	26
Figura 2. Ubicación de los sitios de muestreo	29
Figura 3. Xcalak 1	30
Figura 4. Xcalak 2	30
Figura 5. Mahahual 1	31
Figura 6. Mahahual 2	31
Figura 7. Mahahual 3	31
Figura 8. Diseño de parcelas	33
Figura 9. Modelo para medición del Diámetro a la Altura del Pecho	34
Figura 10. Diseño de colocación de canastas	35
Figura 11. Colocación de canasta	36
Figura 12. Proceso para la medición de biomasa de la hojarasca	37
Figura 13. Climograma de las localidades de Mahahual e Xcalak	39
Figura 14. Inundación del sitio de Mahahual 1	42
Figura 15. Inundación del sitio de Mahahual 2	43
Figura 16. Inundación del sitio de Mahahual 3	44
Figura 17. Inundación de los sitios de Xcalak 1(A) y Xcalak 2 (B)	45
Figura 18. Salinidad intersticial del sitio de Mahahual 1	46
Figura 19. Salinidad intersticial del sitio de Mahahual 2	47
Figura 20. Salinidad intersticial del sitio de Mahahual 3	48
Figura 21. Salinidad intersticial del sitio de Xcalak 1	49
Figura 22. Salinidad intersticial del sitio de Xcalak 2	50
Figura 23. Productividad total (A) y por componente (B) del sitio de Mahahual 1	51
Figura 24. Productividad total (A) y por componente (B) del sitio de Mahahual 2	52
Figura 25. Productividad total (A) y por componente (B) del sitio de Mahahual 3	54
Figura 26. Productividad total (A) y por componente (B) del sitio de Xcalak 1	55
Figura 27. Productividad total (A) y por componente (B) del sitio de Xcalak 2	56
Figura 28. Anova productividad Mahahual	57
Figura 29. Anova productividad Xcalak	58
Figura 30. Anova de todos los sitios de estudio	59
Figura 31. Salinidad vs Hojarasca del sitio Mahahual 1	60
Figura 32. Inundación vs Hojarasca del sitio Mahahual 1	60
Figura 33. Salinidad vs Hojarasca del sitio Mahahual 2	61
Figura 34. Inundación vs Hojarasca del sitio Mahahual 2	61
Figura 35. Salinidad vs Hojarasca del sitio Mahahual 3	62

Figura 36. Inundación vs Hojarasca del sitio Mahahual 3	61
Figura 37. Salinidad vs Hojarasca del sitio Xcalak 1	63
Figura 38. Inundación vs Hojarasca del sitio Xcalak 1	63
Figura 39. Salinidad vs Hojarasca del sitio Xcalak 2	64
Figura 40. Inundación vs Hojarasca del sitio Xcalak 2	64

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, las sociedades han adoptado diferentes formas de uso y manejo de los recursos naturales, involucrando aquellos factores bióticos y abióticos que contribuyen a su bienestar y desarrollo de manera directa (materias primas, alimentos) o indirecta (servicios ecológicos), para satisfacer sus necesidades, vinculado los intereses que imperan en los distintos periodos históricos (Ovalles, 2006). Lo que ha llevado al deterioro de los recursos, hasta lo que hoy conocemos como contaminación ambiental. Como respuesta hace 30 años, aproximadamente, surge la idea de vincular el concepto de “cuidado del ambiente” y “utilización de los recursos”, la que hace frente al problema de la contaminación ambiental y busca alternativas de utilización de los recursos sin degradar el ecosistema. Esta nueva acción se conoce como Manejo sustentable de los Recursos Naturales, donde se hacen grandes esfuerzos en el país, desarrollando conocimientos y tecnología.

El Manejo de los Recursos Naturales, busca evitar los procesos de degradación, pérdida de biodiversidad, de hábitats, degradación del suelo, contaminación de las aguas, deforestación, cambio climático, todas vinculadas a las presiones antrópicas, bajo distintas formas como el turismo, la industria petrolera, pesquerías, acuicultura, agricultura, entre muchas otras (Ovalles, 2006).

Vinculado a ello se ha comprobado que la población mundial tiende a radicar a lo largo de la franja costera del litoral de los continentes que según estimaciones demográficas oscila entre el 30 y 50% del total de la población. Este proceso es de alcance global y motivo de preocupación de los países con litoral marítimo de ahí que el manejo costero sostenible sea de gran actualidad (Capurro et al., 2002).

La zona costera se caracteriza por una intensa actividad humana y por una gran riqueza ecológica. Es una zona en que se tiene lugar a procesos interdependientes físicos, biológicos, sociales, económicos y culturales, esta complejidad sistemática de relaciones multidireccionales es lo que identifica al conjunto biofísico llamado Zona

Costera. Una de las características de esta zona es la gran productividad natural de los ecosistemas que la componen, lo cual es especialmente cierto para los sistemas tropicales, donde se ubica la región centroamericana. Dada la importancia que los recursos marinos tienen para el desarrollo social y económico.

El desarrollo antrópico hacia la zona costera ha aumentado en los últimos años, cada día más espacio es ocupado por los asentamientos humanos para construcción de carreteras, puertos de abrigo y bocas artificiales que han alterado el equilibrio entre las entradas de agua dulce y salada, flujo, nivel de las mareas y la calidad del agua; esto aumenta las zonas áridas, en donde la evaporación supera a la precipitación, provocando la salinización del suelo. El cual se ve reflejado en el deterioro y muerte del manglar (Pozo, 2011), La falta de un reconocimiento de la importancia ecológica, económica y social de los manglares, ha fomentado que actividades antropogénicas estén llevando a la pérdida de los servicios ambientales que estos ecosistemas proveen, como prevenir la erosión del suelo y las playas, proveer hábitat a fauna silvestre, proteger la línea de costa de tormentas, oleaje e inundaciones, y permitir actividades recreativas (UNEP-WCMC, 2006).

Se han identificado 2 grandes énfasis acerca de los impactos humanos sobre los ecosistemas marinos y costeros en el Caribe. Uno es la falta de información acerca de los procesos que controlan la productividad de diversos ecosistemas y segundo es el impacto negativo a largo plazo de las perturbaciones humanas sobre los bienes y servicios que los ecosistemas costeros proveen (Rivera-Monroy et al. 2004).

Dentro de la zona costera los ecosistemas de manglar son uno de los ecosistemas dominantes, debido a su ubicación los manglares son vulnerables a agentes de disturbio naturales (huracanes y tormentas) y agentes antropogénicas tales como urbanización, construcción de carreteras, contaminación, turismo y acuicultura (Ellison y Fearnsworth 1996, Valiela et al. 2001). Pese a que se han identificado los impactos ambientales, sociales y económicos asociados a la disminución y degradación de los ecosistemas de manglar los cuales están siendo abordados a través de esfuerzos legislativos, de gestión,

conservación y rehabilitación las cuales están siendo dirigidas a la mitigación de impactos negativos.

Un enfoque integrado para la gestión de estos ecosistemas es cada vez más considerado como una forma de lograr la conservación y uso sostenible de los recursos costeros de manglar. La gestión de las zonas costeras debe basarse en un enfoque ecosistémico, el cual considere las interacciones físicas, químicas y biológicas entre diversos componentes del sistema en función de los insumos naturales y antropogénicos (Fabbri, 1998)

Pese que se han hecho estimaciones recientes de los recursos naturales de los manglares a nivel mundial (Spalding et al. 1997), se requiere de una mejor evaluación de los ecosistemas de manglar a nivel país y a nivel región, siendo esto de vital importancia para la formulación de políticas de planificación y gestión de los recursos del manglar. Al ser los ecosistemas de manglar muy dinámicos y ocupan ambientes específicos de la costa, es necesario actualizar los datos de evaluación de los recursos con frecuencia, dando información de las condiciones del hábitat (ejemplo: estructura forestal).

Mucho de los problemas y causas de la pérdida de la cobertura de manglar es el fracaso en la política, gestión, manejo y ejecución, identificándose las siguientes causas:

Las políticas existentes para la utilización y conservación de los ecosistemas de manglar son ambiguas e inconsistentes, la mala planificación del uso del suelo costero y mala implementación de los planes de desarrollo así como la falta del conocimiento de la estructura y función de estos ecosistemas. La falta de reconocimiento de la importancia ecológica, económica y social de los ecosistemas de manglar ha fomentado a que actividades antropogénicas estén llevando a la pérdida de estos ecosistemas y como consecuencia a la pérdida de los servicios ambientales que estos proveen, tales como la erosión de suelos, protección de la línea de costa, disminución de fuertes vientos debido a huracanes, oleajes, inundaciones y así como actividades recreativas (Hirales-Cota, 2010).

Los manglares son árboles tropicales que se presentan a lo largo de la línea de costa alrededor del mundo. Se encuentran frecuentemente inundados por mareas, presentan adaptaciones fisiológicas para tolerar la salinidad, así como también presentan adaptaciones en su sistema de raíces para estar en sedimentos limosos y para el transporte de oxígeno, ya que son sedimentos anaeróbicos, así como una estrategia reproductiva vivípara, algunas especies han desarrollado glándulas secretoras de sal (Odum, 1985)

Estos ecosistemas presentan un uso y un valor cultural y económico, varias áreas de manglar han sido utilizadas para maricultura, producción de madera, salineras, agricultura así como ecoturismo, estas actividades están teniendo un impacto ambiental modificando las propiedades de estos ecosistemas tales como: Hábitat de varias especies, productividad primaria, sedimentación, biomasa. Esto a su vez modifica los bienes y servicios que prestan (calidad de agua, sumidero de nutrientes, protección de la línea de costa) los bosques de manglar.

Los manglares entre otros ecosistemas son los más productivos y realizan funciones ecológicas para la productividad y biodiversidad de los estuarios (Twilley 1988). A pesar de su relativa simplicidad estructural, son pocas las especies de árboles adaptadas a la zona intermareal tropical, los mecanismos que explican los patrones en los bosques de manglar son complejos porque la complejidad de interacciones es el resultado de varios factores ambientales simultáneos que están influenciando en estos sistemas (Smith 1992; Twilley 1995). Los patrones espaciales y temporales de manglares y otros humedales costeros son el resultado de la interacción entre la vegetación, sedimentos y agua superficial (Woodroffe 1992; Twilley 1995). La dinámica de la vegetación de manglar está fuertemente influenciada por reguladores ambientales (Thom 1967, 1992, Ball 1996).

A pesar de lo anterior, el desarrollo y las alarmantes tasas de crecimiento de la población mundial, se han identificado como las principales causas de deterioro de estos ecosistemas, pues de manera directa o indirecta, el hombre siempre ha dependido de los recursos naturales para su desarrollo y bienestar. Sin embargo ocasiona en algunos casos

daños ecológicos irreversibles, de difícil cuantificación y con repercusiones ambientales negativas (Field, 1995). Es difícil cuantificar a nivel mundial la disminución de la cobertura de los ecosistemas de manglar (Field, 1998). Valiela (2001) menciona que la cobertura del bosque de manglar a lo largo de la línea de costa en el mundo es de 1.7×10^5 km². Para México el área de manglar en el año de 1983 es de 6,600 km² (Saenger et al. 1993 en Valiela et al. 2001) y en 1992 de 5246 km² (Yañez-Arancibia et al. 1993). Yañez – Arancibia (1994) calcula que para México en 1994 se consideraba una extensión de 92,681 hectáreas donde esta vegetación había sido eliminada por el cambio del uso de suelo, como consecuencia de las diferentes actividades humanas en la zona costera. Para el estado de Yucatán se calcula aproximadamente en 1994 una cobertura de 628 km². Loa Loza (1994) y Contreras and Warmer (2004) mencionan que son 136 km² de cobertura de manglar. La pérdida en kilómetros por año a nivel mundial es de 2834 km². Para el estado de Yucatán se calcula aproximadamente en 1994 una cobertura de 628 km². Loa Loza (1994) y Contreras and Warmer (2004) mencionan que son 136 km² de cobertura de manglar. En este sentido y basándose en el crecimiento urbano y turístico la zona costera del Caribe Mexicano, se ha identificado que la tasa anual de pérdida de manglar es más alta con respecto a la del pacífico Mexicano y el golfo de México.

Considerando los factores mencionados, así como la escasa información para la península de Yucatán y el Caribe Mexicano, es necesario tener una línea base para el futuro manejo sustentable del ecosistema de manglar. Por lo que este trabajo tiene como propósito generar la información base tales como la estructura y productividad para la zona de Xcalac y Mahaual.

ANTECEDENTES

Se ha observado que la tasa de producción de hojarasca presenta una gran variabilidad entre tipos de manglar. La producción de hojarasca varía a nivel mundial con valores bajos como el de los manglares chaparros de la Florida con 1.20 ton/ha/año, hasta valores altos con 23.4 ton/ha/año reportados en Malasia donde hay grandes extensiones de manglares cuya madera se utiliza comercialmente (Twilley, 1986). En México los datos varían desde 6.14 ton/ha/año en un manglar dominado por *Avicennia germinans* en la Laguna de Mecoacán en Tabasco (López-Portillo y Ezcurra, 1985) hasta 12.65 ton/ha/año en un manglar dominado por *Rhizophora mangle* y *Avicennia germinans* en la Laguna de Términos, Campeche (Day, 1987).

Tasas de hojarasca en la Florida y Puerto Rico son más bajas en comparación con un bosque de manglar *Avicennia* dominado en Australia, donde la tasa media de hojarasca fue 831 g m⁻² año⁻¹ (Mackey y Smail 1995).

Las diferencias en las tasas de hojarasca entre estas dos regiones contrasta con el patrón estacional similar en el que los picos de hojarasca durante los meses de verano (Clough 1992). Las altas tasas de hojarasca que caracterizan a los manglares mejor desarrollados en climas más cálidos implican altas tasas de producción de hojas. Gill y Tomlinson (1971) encontraron que las tasas de producción de hoja fueron 1,8 hojas por brote al mes durante la temporada de lluvias, mientras que durante la producción de hoja seca era sólo 0,25 hojas por brote. Basado en este estudio, la media de la hoja de vida útil se estima en 6-12 meses, una vida útil más corta en comparación con la de *Rizophora apiculata* en Tailandia, donde se estima en 17-18 meses (Christensen 1978).

Tasas de hojarasca para una amplia gama de los manglares en la franja sur de la Florida y en Puerto Rico son muy uniforme con una velocidad de aproximadamente 700 g m⁻² año⁻¹. Sin embargo, existe una gran variabilidad entre los tipos de manglar en que empequeñecen los manglares tienen las tasas más bajas.

En México se han hecho estudios de producción de hojarasca, en el Golfo de México por Rico (1979), Rico y Lot (1983), López Portillo y Ezcurra (1985) y Day et al. (1988). En la costa del Pacífico dichos estudios han sido Publicados por Flores et al. (1987), Ramírez (1987) y Hernández y Espino (1999).

Rico (1979) registró una caída media de hojarasca $2.80 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ($1\ 025 \text{ g m}^{-2} \text{ año}^{-1}$) en una laguna costera en Veracruz, siendo un bosque de manglar mixto. López Portillo y Ezcurra (1985) estudiaron un manglar mono específico de *Avicennia germinans* en Laguna de Mecoacán, Tabasco en una planicie lodosa registrando una caída media de $1.68 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ($614 \text{ g m}^{-2} \text{ año}^{-1}$). Day et al. (1988) determinó una caída de hojarasca de $835 \text{ g m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ en una zona dominada por *Rhizophora* y $1\ 252 \text{ g m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ en un manglar ribereño con *Avicennia germinans* como especie dominante.

En el Pacífico, la caída de hojarasca fue de $1,100 \text{ g m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ en un manglar de *Laguncularia racemosa* ubicado en una laguna de Sinaloa cuya boca de entrada es efímera (Flores et al., 1987), mientras que en el Estado de Nayarit se registraron valores de $1\ 417$, $1\ 263$ y $1\ 015 \text{ g m}^{-2} \text{ año}^{-1}$, en tres localidades dentro de la Laguna Agua Brava, donde *Laguncularia racemosa* es también la especie dominante (Ramírez, 1987).

En la zona del Golfo de México, la Península de Florida ha recibido gran atención (Miller, 1972; Carter et al; 1973, Lugo y Snedaker, 1975; Twilley, 1982, Coronado-Molina, 2000). Sin embargo, el sur del Golfo de México laguna de Términos cuenta con estudios sistemáticos (Day et al. 1982; Day et al; 1987; Rivera-Monroy et al; 1995a; Rivera-Monroy et al; 1995b; Day et al; 1996; Coronado-Molina, 2000. Para el caso de la Península de Yucatán solo se conocen los trabajos de Herrera-Silveira et al; (1998) y Zaldívar, et al; (2000).

En la zona de estudio comprendida por la zona sur del estado de Quintana Roo se carece de información suficiente publicada y que sirva como punto de partida para futuros estudios de productividad en manglares presentes en suelos cársticos (CONABIO, 2009).

Para el caso específico de zonas cercanas a Xcalak y Mahahual, es escasa la información publicada. Existe un estudio de Degradación y servicios del ecosistema manglar, que resalta la necesidad de realizar medidas de conservación urgentes, y como primer paso esclarecer la situación de las zonas de manglar actualmente en propiedad privada y por tanto con mayor susceptibilidad a ser deforestadas. El estudio concluye que ésto se debe a planes de desarrollo de la zona costera incompatibles con la conservación de los manglares y su biodiversidad asociada (Hirales-Cota, et al., 2010),

En 2002, Navarrete y Oliva describen la producción de hojarasca en el canal de Bacalar Chico, al sur de Quintana Roo, como factor importante para el buen estado de conservación de los manglares.

El estudio de Hirales demuestra que la deforestación de manglar en la zona Mahahual-Xcalak está alcanzado niveles similares a aquellos registrados para el norte de Quintana Roo, donde el desarrollo urbano y turístico es mucho más alto. También, es notable que la tasa de deforestación en el área de estudio es más alta comparada con otras regiones de México, particularmente del Pacífico. Los resultados y el análisis de cambios indican que los principales agentes de deforestación están relacionados al desarrollo de instalaciones turísticas, más que al crecimiento poblacional (Hirales-Cota, et al., 2010). Esto es cierto si consideramos que el desarrollo turístico de Mahahual es un detonante significativo para la zona sur de Quintana Roo, ya que genera una gran cantidad de empleos y una derrama económica muy importante (Pozo, 2011).

Sin embargo, el incremento de la demanda de espacios hoteleros implica, actualmente, la fragmentación del paisaje, al reducirse las áreas de cobertura de los manglares, disminuyendo consigo los bienes y servicios proporcionados, tales como ser espacios de crianza para múltiples especies pesqueras de importancia comercial; protección del hábitat de especies de mamíferos, reptiles, crustáceos y especialmente de aves residentes y migratorias; captura, almacenamiento y liberación de carbono; protección de la línea de costa contra la erosión que genera el oleaje y el impacto de los huracanes; filtrado de aguas residuales; además de ser fuente de leña, material para construcción de viviendas, entre muchos otros (Sanjurjo Rivera & Welsh Casas, 2005).

Es así que se puede afirmar que la falta de información base por parte de los tomadores de decisiones sobre el papel importante que juegan los manglares para el sostenimiento de toda la actividad turística, ha propiciado el relleno indiscriminado de los humedales, dando lugar a la disminución de los servicios ecosistémicos que nos brindan, y acentuando que el principal problema de la deforestación de los manglares es la actividad antrópica mal planeada. Porque si bien es cierto que el área de Xcalak-Mahahual ha sido fuertemente impactada por la frecuencia e intensidad de fenómenos meteorológicos como huracanes y tormentas tropicales, los humedales han mostrado su capacidad de recuperación (Hirales, 2008).

MARCO CONCEPTUAL

Manglares

Los manglares son árboles tropicales que se presentan a lo largo de la línea de costa alrededor del mundo. Se encuentran frecuentemente inundados por mareas, presentan adaptaciones fisiológicas para tolerar la salinidad, así como también presentan adaptaciones en su sistema de raíces para estar en sedimentos limosos y para el transporte de oxígeno, ya que son sedimentos anaeróbicos, así como una estrategia reproductiva vivípara, algunas especies han desarrollado glándulas secretoras de sal (Odúm, 1985)

A nivel mundial los manglares se distribuyen en la franja tropical entre los 25° latitud norte y los 25° latitud sur. En América, los manglares se distribuyen en la costa del Atlántico se extienden desde el estado de Florida (Estados Unidos), hasta Brasil; y en la costa del Pacífico se encuentran desde Baja California en México, hasta Perú (Herrera-Silveira y Cevallos, 1998). Los manglares presentan una gran variedad de formas fisonómicas que varían desde un bosque bien desarrollado hasta matorrales dispersos en las marismas o formando asociaciones vegetales únicas como los "pédenes" para el caso de la Península de Yucatán (Flores, 1996).

Los ecosistemas de manglar se organizan de una manera particular que determina una zonación, lo que a su vez constituye comunidades bastante diferentes, estructuradas por las características edáficas, topográficas y algunas variables físico-químicas del suelo (Sánchez-Paéz et al. 2000). Estos sistemas son lugares donde las mareas y las corrientes costeras causan variaciones al bosque y donde las plantas y los animales se adaptan a las cambiantes características químicas, físicas y biológicas de su entorno. Los límites de este ecosistema litoral pueden ser definidos razonablemente por los ecosistemas terrestres y oceánico colindantes (Field, 1995).

Algunos autores han descrito una zonificación dentro del manglar, iniciando con el mangle rojo en el borde, en contacto directo con los aportes de agua; luego el mangle negro y el blanco; y por último el mangle botoncillo. Esta zonación no se cumple en muchos sitios debido a que tanto la ubicación como la composición, la estructura y el funcionamiento del manglar dependen de la combinación de un conjunto de factores físicos, químicos y biológicos que actúan a diferentes escalas espaciales y temporales. Estos factores son la radiación solar, la temperatura, la precipitación, las fluctuaciones de la marea, el aporte de los ríos, la inundación, la salinidad, la forma del terreno, el tipo de sustrato, los vientos, las tormentas así como los huracanes, la capacidad de dispersión de los propágulos en función de su peso y las interacciones vegetación fauna (Twilley, 1995).

Los manglares para su sobrevivencia requieren de ciertas fluctuaciones de la inundación (hidroperíodo) y la salinidad. Éstas son garantizadas por el aporte de las mareas y los ríos. Ambos ingresan al manglar agua, nutrientes, sedimentos y organismos, los cuales pueden ser exportados a los ecosistemas vecinos con los que están interconectados, como son estuarios, pastos marinos, arrecifes de coral, tular, popal, entre otros (Twilley, 1995).

Por otra parte, existen diferencias entre las especies de mangle en su tolerancia a la inundación y a la salinidad. En ambientes de mayor frecuencia de inundación y mayor altura en el nivel de agua, se favorece el desarrollo del mangle rojo, mientras que en

zonas menos inundadas y de mayor salinidad se favorece el establecimiento del mangle negro, el cual soporta salinidades hasta de 90 ppm (Jiménez, 1994).

El mangle rojo tiene mecanismos de exclusión de sal, evitando su entrada a las células en 99%, mientras que los mangles negro y blanco ingresan hasta 10% de sales (Jiménez, 1994), las cuales eliminan a través de estructuras excretoras de sal (glándulas) ubicadas en las hojas, así como a través de las raíces. Además, estas especies transportan las sales hacia las hojas más viejas, las cuales al desprenderse de la planta, eliminan la sal de la misma.

Las raíces aéreas en forma de zancos (presentes sólo en el mangle rojo), le ayudan a la planta a sostenerse en el sustrato lodoso y generalmente inundado. Al estar en contacto directo con la atmósfera, permiten oxigenar el sistema vascular de la planta, al menos en marea baja. Además, éstas presentan estructuras llamadas lenticelas que facilitan el intercambio gaseoso (Jiménez, 1994).

Dichas estructuras también se encuentran en los neumatóforos (raíces adventicias, aéreas), característicos de los mangles negro y blanco. Además, las semillas de estas tres especies presentan cierto grado de viviparidad, es decir, sus propágulos (semillas) germinan antes de desprenderse de la planta progenitora, aumentando la probabilidad de establecimiento una vez que llegan al suelo, el cual muchas veces se encuentra inundado (Jiménez, 1994).

El sustrato del manglar puede estar compuesto por fracciones finas (limo-arcillosas) y fracciones gruesas (arenosas) en diferentes proporciones, así como turbas orgánicas (material orgánico en descomposición) en función de los aportes de sedimentos que existan en el lugar. Por lo general estos suelos son ácidos, carentes de oxígeno y sufren variaciones importantes en el contenido de sales. Por tanto, cuando se modifica la hidrología y no llegan los aportes de agua con la cantidad y frecuencia característica de este sistema, las sales pueden acumularse en el suelo, produciéndose la salinización del mismo.

Los huracanes pueden llegar a eliminar parte de la cobertura arbórea, por ello en las zonas donde con frecuencia se presentan vientos y tormentas fuertes, el manglar no logra recuperarse completamente, manteniéndose achaparrado.

La tasa de reproducción y establecimiento de los mangles es alta, sin embargo, la sobrevivencia es baja debido al estrés y a los cambios que resultan del ambiente en cuanto a insolación, salinidad, inundación, ataque de plagas, entre otras. Por otra parte, la reproducción vegetativa es muy limitada (McKee, 1995) y el crecimiento de la mayoría de las especies de mangle es lento, así como el inicio de la floración y fructificación (Tobilla, 2002).

La hojarasca una vez que cae al suelo tiene tres posibles destinos:

a) es particulada por la macrofauna (ejemplo: cangrejos) y luego descompuesta por microorganismos;

b) es descompuesta por microorganismos directamente, ocurriendo en ambos casos (a y b) cuando el suelo del manglar es inundado por las mareas y/o por agua dulce (ríos, precipitación); o

c) es exportada a las comunidades adyacentes con poca degradación (ejemplo: los estuarios).

La hojarasca del manglar al caer al suelo es colonizada rápidamente por gran cantidad de microorganismos que la descomponen, lo que aumenta las colonias de microorganismos y su valor nutritivo, al transformar la celulosa vegetal y la lignina en proteína animal (Jiménez, 1994).

Especies de Manglar de la Península de Yucatán

Taxonómicamente los manglares cuentan con aproximadamente 54 especies a escala mundial, de las cuales 10 se encuentran en América (Tomlinson, 1986). En México esta comunidad está representada por cinco especies: *Rhizophora mangle* L. (mangle rojo), *Rhizophora harrisoni* L., *Avicenia germinans* standl (mangle negro), *Laguncularia racemosa* (mangle blanco) y *Conocarpus erectus* L. (mangle de botoncillo). Los

humedales de la Península de Yucatán, cubren aproximadamente 8,000 Km² a través de una banda de casi 550 kilómetros que se extienden sobre los estados de Yucatán, Campeche y Quintana Roo. Esta área comprende uno de los humedales más largos del hemisferio occidental. En Yucatán, los humedales costeros se extienden por 378 Km con una cobertura de poco más de 4,000 Km², desde Celestún por el occidente, hasta el Cuyo por el oriente. Los valores, atributos y productos de estos humedales han sido documentados como zona de crianza y reproducción de aves y peces, algunos con importancia comercial, así como también representa un ambiente propicio para la práctica del ecoturismo (Gobierno de Yucatán, 1997). En la península de Yucatán, se desarrollan cuatro de las cinco especies presentes en México, las cuales son: *R. mangle*, *A. germinans*, *L. racemosa* y *C. erectus* (Zaldivar, 1999).

Las características físicas y fenológicas de las especies de mangles, permiten diferenciarlas fácilmente, a continuación se describe las características de las especies de mangle presente en la Península de Yucatán:

Mangle rojo (*Rhizophora mangle*). Es la especie que generalmente vemos de frente al espejo de agua, la característica más llamativa de esta especie, es el conjunto de raíces que sobresalen del agua y suelo, formando un intrincado sistema de anclaje. Los tallos suelen ser rectos por encima del conjunto de raíces aéreas, son de color claro y esbeltos, alcanzando en algunos sitios con abundantes precipitaciones grandes alturas. Las hojas son grandes, suculentas y opuestas sobre los tallos, presentan un pecíolo pronunciado. En *R. mangle* la floración se realiza en forma continua durante el año, aunque durante el inicio de las lluvias y al final de este periodo se registran grandes floraciones en los bosques de mangle rojo tanto en la costa del Pacífico como en el Golfo de México (Tovilla, 1998).

El fruto es muy distintivo, se forma a partir de la flor polinizada durante los siguientes dos o tres meses, a partir de este se constituye el embrión o propágulo, el cual se forma y madura durante unos ocho a 13 meses, hasta que se desprende (Tovilla 1998).

Mangle blanco (*Laguncularia racemosa*). Carece de raíces aéreas, sin embargo esta especie presenta unas estructuras en forma de “clavos” llamadas pneumatóforos que

emergen del suelo formando grandes conjuntos alrededor de los árboles, estas estructuras permiten a los árboles ventilar el sistema radical. Las hojas presentan la punta redondeada, son de tamaño mediano y muy succulento, con un par de glándulas en la base de la hoja. El tallo suele ser muy recto, está fisurado y tiene una corteza de color claro. Las flores son diminutas y muy numerosas; tienen forma de tubo con cinco costillas prominentes y son de un color blanquecino (Tomlinson, 1986). Es una especie de floración estacional masiva. La floración se inicia a finales de abril-mayo, con maduración rápida y muy abundante de propágulos entre julio y octubre.

Los propágulos se arraigan fácilmente en cualquier sustrato con una elevada germinación, lo que permite formar grandes manchones de plántulas en algunos sitios de los manglares, en condiciones de sol directo y a la sombra del bosque, presenta amplia capacidad de regeneración vegetativa. (Tovilla, 1998)

Mangle negro (*Avicennia germinans*). Presenta un sistema radical con abundantes pneumatóforos muy desarrollados, los fustes son de color gris, con corteza lisa y sin fisuras, el cual desarrolla grandes fustes a mediana altura. El mangle negro es una especie de floración estacional a principio de la época de lluvias. La floración se inicia a finales de abril-mayo, con un segundo periodo entre enero y febrero en años con lluvias ocasionales en invierno (Tovilla, 1998).

Mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*). A diferencia de las especies anteriores en el mangle botoncillo las hojas son alternadas y terminadas en punta, con dos glándulas en la base de la hoja. Presenta flores y semillas típicas verdaderas y reproducción vegetativa, por lo que algunos autores afirman que esta especie es una planta terrestre típica y no un mangle. Las flores a diferencia del resto de mangles son de color azul-violeta, lo que para algunos autores le confiere más características de planta terrestre que ninguna otra especie de mangle.

Las semillas son diminutas y están ordenadas en forma de piñas de color amarillentas, estas semillas generalmente maduran en las piñas permaneciendo adheridas hasta por un año en este momento se vuelven de color café o negro, después de ello, se desprenden y son dispersadas por el viento y la lluvia. Debido a su ubicación en las

frangas de manglar en esta especie, la mayoría de semillas caen sobre tierra (Tovilla, 1999).

Tipos de manglar

Los manglares han sido clasificados de acuerdo a sus características ecológicas en: Manglar tipo riverino, franja, de cuenca, y achaparrado (Cintrón et. al., 1985).

Bosque de borde o franja. Se localiza en la línea de costa, y en las orillas de canales, ríos y lagunas. Todas las especies pueden estar presentes, aunque la dominante es *R. mangle* y *L. racemosa*. La estructura está modificada constantemente por el oleaje y las mareas, con frecuencia se ven azolvados por bancos de arena; también la frecuencia de vientos y huracanes provoca la caída de árboles y defoliaciones constantes. Tiene aportes constantes de agua de agua dulce, lo que ocasiona grandes niveles de inundación y un decremento en la salinidad intersticial. La combinación de entradas de agua dulce y de nutrientes provenientes del estuario, lo que hace a este sistema muy productivo.

Bosque de cuenca. Se localiza en las depresiones tierra adentro, por lo general detrás del manglar tipo franja. El agua se acumula por largos períodos y la fuerza de las mareas es baja y solamente se da cuando la marea es muy alta. Esto ocasiona altas salinidades y bajos valores de potencial redox en los sedimentos. Son dominados por mangles de la especie *Avicenia germinans* y *Laguncularia racemosa*, la superficie de estos manglares está cubierta por una alta densidad de pneumatóforos de estas especies. El grado de desarrollo de estos bosques depende de la magnitud del escurrimiento y frecuencia de la inundación.

Bosque ribereño o riverino. Este tipo de bosque se desarrolla en los bordes de los márgenes de ríos, esteros y canales con influencia de agua dulce constante; esta vegetación se ubica más allá del punto donde llega la intrusión salina. En este ambiente, los flujos de agua son intensos y ricos en nutrientes, lo cual provoca un alto desarrollo de la vegetación.

Tiene aportes constantes de agua de agua dulce, lo que ocasiona grandes niveles de inundación y un decremento en la salinidad intersticial, lo que también favorece la

oxigenación del sistema radicular; el aporte de materia orgánica hacia la zona marina es constante. En ocasiones, durante la temporada de secas aumenta la salinidad como consecuencia de intrusiones; sin embargo ésta no excede los 15; en los márgenes y cerca de las desembocadura, la especie dominante es *R. mangle*. Las raíces aéreas y el completo entrelazamiento de éstas permiten el desarrollo de árboles de gran porte en suelos limo-arcillosos. La combinación de entradas de agua dulce y de nutrientes provenientes del estuario, lo que hace a este sistema muy productivo.

Bosques arbustivos o enanos. Por lo general son localizados lejos de la costa, detrás del manglar de cuenca. Son poco productivos y crecen bajo condiciones de altas salinidades y deficiencia de nutrientes en el sedimento. Bajo tensiones naturales extremos como el exceso de salinidad, la anoxia y bajo contenido de nutrientes, algunas comunidades de manglar pueden adquirir características diferentes a las descritas para los tipos anteriores. Por ejemplo, congregaciones de *R. mangle*, cuando se desarrollan en suelos de turba bañados por agua oligotróficas, producen manglares enanos, menores a 2 m de altura; este desarrollo parece ser propiciado por factores edáficos. Llevan su nombre porque no crecen más allá de los 3 m. Pueden ser muy densos y ocupar grandes áreas o formar pequeñas islas de vegetación entre pastizales, las cuales tienen características de manglar de cuenca y de achaparrado. Esto ocurre por la acumulación de materia orgánica y lodo que se eleva hasta 15 cm del nivel del suelo.

Estructura y Productividad Primaria

Para entender la dinámica de la vegetación de los bosques de manglar es necesario entender la función y morfología de estos ecosistemas, así como las propiedades físicas del hábitat. Los árboles son la forma de vida dominante en los bosques de manglar (Tomlinson 1986 en Cardona 2004), y crecen en ambientes caracterizados por ser fuertemente influenciados por mareas, descarga de ríos, disponibilidad de luz, clima y geomorfología (Thom 1982, Twilley 1995, 1998).

Los factores geofísicos y procesos ecológicos y geomorfológicos, controlan la estructura y función de los bosques de manglar (Twilley 1995). La interacción de los contrastes ambientales sobre los procesos ecológicos incluye gradientes reguladores,

gradientes de recursos, hidroperiodo sobre el crecimiento del manglar. Estas tres categorías de gradientes ambientales incluyen las variables que controlan la estructura y función de los ecosistemas de manglar (Twilley 1995, Twilley 1997). Los gradientes reguladores incluyen salinidad, ácido sulfídico, pH, potencial redox, estos influyen en el crecimiento de los manglares. Los gradientes reguladores incluyen nutrientes, luz espacio y otras variables que son consumidas y contribuyen a la productividad del manglar (Tilman 1982, en Twilley 2005). El hidroperiodo es una característica crítica de los humedales ya que controla la productividad del mismo (Gosselink and Turner 1978 en Twilley et al. 2005). Los tipos ecológicos de manglares presentan una estructura y función específicas, los efectos de la topografía modifican las características ambientales a nivel regional. La combinación de factores a nivel global (clima y biogeografía), regional (geomorfología y energía geofísica) y local (topografía) determinan los gradientes de recursos, reguladores e hidroperiodo para algunas unidades de hábitat (Twilley et al. 2005).

Los procesos geofísicos y geomorfológicos determinan la firma ambiental de estos sistemas costeros, donde interviene el flujo de energía y el ciclo de materia que controlan el status de recursos y reguladores ambientales en los bosques de manglar (Twilley 1995). Estos procesos pueden afectar a diferentes escalas espaciales. Estas tres categorías de gradientes ambientales incluyen más variables que controlan la estructura y función de los ecosistemas de manglar (Twilley, 1995; Twilley, 1997 en Twilley and Rivera 2005).

La estructura y la productividad de los bosques de manglar está controlado por factores como: clima, geomorfología, hidrología, nivel de marea, escorrentía y tipo de suelo (Thom, 1982) Los procesos geofísicos y geomorfológicos determinan las características ambientales de costa, afectando el flujo de energía, controlando el ciclo de materia orgánica, el estatus de recursos y reguladores ambientales en los bosques de manglar (Twilley, 1995).

La dinámica de la hojarasca de manglar, incluyendo la productividad, la descomposición y la exportación, pueden determinar el acoplamiento de los manglares a

la productividad secundaria y la biogeoquímica de los ecosistemas costeros (Twilley 1988, 1995,. Alongi et al 1992;. Robertson et al 1992). Las tasas de rotación de la hojarasca pueden ser diferentes con respecto al tipo ecológico de manglar tales como riberino>franja>cuenta, bajo el supuesto que se produce mayor exportación de hojarasca en sitios con mayor inundación por la influencia de la marea (Twilley et al. 1986).

La producción de hojas en el dosel y la posterior caída de hojarasca a la superficie del suelo a lo largo de los procesos de descomposición y exportación describen la dinámica de hojarasca en diferentes tipos de ecosistemas de manglar (Twilley et al. 1996). Tanto la producción y la pérdida de hojas, como la caída de hojarasca, tienen gran relevancia para los estudios de producción primaria en los ecosistemas de manglar. La importancia de la hojarasca se encuentra en su contribución como fuente primaria de energía para los consumidores, la producción de hojas también mantiene y expande el potencial fotosintético y proporciona la base para el suministro constante de hojarasca (Clough y Attiwill 1982).

La producción primaria (PP) en los ecosistemas de manglar se suele evaluar midiendo las tasas de hojarasca. Es importante tener en cuenta que la hojarasca representa sólo una fracción de la producción total de materia seca. Producción primaria neta total de los ecosistemas de manglar se obtiene sumando todos acumulación de biomasa, tanto por encima y por debajo, además de todas las pérdidas de materia seca

Se presentan dos tipos de PP, la bruta y neta, la primera se define como la asimilación de materia orgánica por una comunidad durante un periodo específico e incluye la cantidad usada también durante la respiración de la planta; la segunda es la biomasa que se incorpora a la comunidad vegetal durante un período específico y a la cual se resta la cantidad perdida con la respiración. Esta última es la cantidad que se mide cuando se hace una colecta y a la que se refiere la presente tesis (Moreno, 2009).

Frecuentemente también se divide a la PP en aérea (ramas, tronco, tallos, hojas, flores etc. es decir toda la parte de la planta sobre la superficie del suelo) y la biomasa subterránea (raíces, rizomas, tubérculos, etc.) (Moreno, 2009).

La importancia de la PP es que a través de ella se genera para el ecosistema todo el material orgánico que se almacena en un área y en un periodo de tiempo determinado, entre estos el incremento en biomasa (hojas, incremento de ramas, raíces, etc), además de materiales reproductivos (flores, frutos), que benefician a todos los organismos y al ecosistema en general. (Clark, 2001).

Dentro de la productividad de un ecosistema, la producción de hojarasca es un componente fundamental, ya que en términos generales la producción de hojarasca representa entre un 20% y un 30% de la producción neta total, por tal razón la caída de hojarasca ha sido utilizada como una medida de la productividad primaria neta, (Margalef, 1980), y está regulada fundamentalmente por procesos biológicos y climáticos, aunque también son relevantes la topografía, condiciones edáficas, especie vegetal, edad y densidad del bosque (Hernández, 1992).

Por lo tanto estimar la PP de un ecosistema de manglar, es parte fundamental en el desarrollo de adecuados planes de manejo sustentable de los recursos naturales (Magurran, 1988).

Manejo de Recursos Naturales

Los retos que actualmente enfrenta el manejo de los recursos naturales (MRN) son complejos debido al desequilibrio cada vez mayor entre el aumento de la población y la capacidad de los recursos para sustentar el crecimiento de la demanda. La mayoría de los procesos de planificación hasta ahora se han enfocado en la conservación de los recursos naturales (biocentrismo), dejando de lado los intereses y necesidades de las poblaciones locales (antropocentrismo); con este enfoque lo que se ha conseguido es el enfrentamiento entre conservacionistas y productores (Andino, 2006).

Es así que la búsqueda del desarrollo sostenible ha obligado a probar diferentes estrategias de uso de los recursos naturales de manera que: se puedan aprovechar sin poner en riesgo su existencia y calidad; se puedan manejar para asegurar un flujo continuo de productos y servicios, pero con la menor alteración de las dinámicas y procesos naturales (muchos aún desconocidos); se puedan establecer reservas, respetar

acuerdos internacionales, establecer nuevas políticas internas y principios de uso (Morán, 2006).

Frente a estos desafíos, surge el concepto de “manejo adaptativo”, conforme al cual el manejo de los recursos se realiza a través de un proceso de aprendizaje permanente y la planeación de actividades es retroalimentada mediante el monitoreo de resultados. Se implementa el plan inicial; se monitorean los resultados, impactos y cambios en el entorno; se evalúan los resultados del monitoreo y se ajusta el plan inicial (Morán, 2006).

El ciclo se repite partiendo del nuevo estado del entorno; este proceso tiene diferentes componentes: diagnóstico con el cual se realiza la planificación del manejo, se implementa las acciones, se monitorea y evalúa los resultados de las acciones y se comienza una nueva planificación incorporando las lecciones aprendidas. El diagnóstico sirve para valorar, evaluar y analizar variables, causas, efectos y tendencias; se deben considerar las dimensiones ambiental, social, institucional, política y económica (Morán, 2006).

Por otro lado, las zonas costeras tienen un enfoque de manejo especial, el cual se denomina Manejo Integrado de Zonas Costeras (MIZC), el cual es un mecanismo para reunir a múltiples usuarios, interesados directos y encargados de tomar decisiones en las zonas costeras para asegurar un manejo más efectivo de los ecosistemas logrando al mismo tiempo el desarrollo económico y la equidad entre generaciones y dentro de una misma generación gracias a la aplicación de los principios de sostenibilidad (Ramsar, 2007).

Es así que el MIZC es un proceso continuo, dinámico y adaptable de gestión de recursos para el desarrollo ecológicamente sostenible de las zonas costeras y que sus metas han de alcanzarse dentro de las limitaciones físicas, sociales y económicas, así como jurídicas y financieras, y de los sistemas e instituciones administrativos (Ramsar, 2007)..

Los fines del MIZC son:

1. Orientar el grado de los usos o intervenciones en las zonas costeras para no sobrepasar la capacidad de sustentación de la base de recursos determinando qué recursos es necesario aprovechar sin provocar su degradación o agotamiento y qué recursos es preciso renovar o rehabilitar para destinarlos a usos tradicionales o nuevos;
2. respetar los procesos dinámicos naturales fomentando los procesos provechosos y evitando las intervenciones perjudiciales;
3. reducir los riesgos para los recursos vulnerables;
4. asegurar la diversidad biológica de los ecosistemas costeros;
5. fomentar las actividades complementarias en vez de competitivas;
6. velar por que los objetivos ambientales y económicos se alcancen con un costo aceptable para la sociedad;
7. proteger los usos y derechos tradicionales y el acceso equitativo a los recursos; y
8. resolver los problemas y conflictos sectoriales.

Hay muchas formas de MRN, pero en forma general las opciones de manejo se pueden resumir en las siguientes categorías (que no estén expuestas por orden de prioridad), cabe aclarar que puede ser apropiada la zonificación, para regular las actividades en distintas partes de un mismo lugar (Ramsar, 2007):

- Manejo del hábitat (incluyendo aspectos tales como hidrología y paisaje). Opciones: no intervención (que no obstante supone un monitoreo); intervención limitada; manejo activo.
- Manejo de las especies. Opciones: no intervención; control y reducción o erradicación; fomento e incremento; reintroducción; introducción (ha de utilizarse con el máximo cuidado).

- Utilización. Opciones: ningún tipo de utilización; utilización tradicional; utilización por los habitantes teniendo en cuenta el concepto de uso racional.
- Acceso general. Opciones: cerrado; acceso restringido; acceso parcialmente abierto; acceso abierto.
- Educación, interpretación y comunicación. Opciones: ausencia de instalaciones; poca publicidad; publicidad activa; promoción especial, incluyendo acciones para los responsables de toma de decisiones.
- Investigación. Opciones: ausencia de instalaciones; instalaciones especializadas; instalaciones controladas; instalaciones abiertas.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Debido a su ubicación, los manglares son vulnerables a agentes de disturbio naturales como los huracanes y tormentas (Smith et al. 1994), y también están expuestos a agentes de disturbio antropogénicos como la urbanización, la construcción de carreteras, la contaminación, la acuacultura, el turismo y el aumento de la población en las zonas costeras (Ellison y Fearnsworth 1996, Valiela et al. 2001).

Con el aumento de la población humana, se incrementa la demanda de agua dulce para consumo humano, disminuyéndose la disponibilidad de este recurso, esto incrementa la salinidad y genera estrés, pudiéndose ocasionar importantes efectos negativos sobre los ecosistemas de manglar. Además, los desarrollos urbanísticos constituyen una barrera para la expansión tierra dentro de los ecosistemas de manglar frente al aumento del nivel del mar (Uribe Pérez & Urrego Giraldo, 2009).

La falta de un reconocimiento por parte de la sociedad en general, de la importancia ecológica, económica y social de los manglares, ha fomentado que actividades antropogénicas estén llevando a la pérdida de los servicios ambientales que

estos ecosistemas proveen, como prevenir la erosión del suelo y las playas, proteger la línea de costa de tormentas, oleaje e inundaciones, y permitir actividades recreativas, entre otras muchas (UNEP-WCMC 2006).

Actualmente, en la zona de estudio de Xcalak y Mahahual la principal actividad económica es el turismo con la denominada “Costa Maya”, lo cual está cambiando rápidamente el paisaje local, transformando ecosistemas como los bosques de manglar y dañando ambientes marinos con el aumento de la infraestructura turística (camino, cuartos de hospedaje y puertos) (Bailey, 2007) mal planificados alterando los procesos hidrológicos y geomorfológicos, seguidos por los cambios estructurales y alteraciones de las funciones ecológicas de los ecosistemas de manglar.

Además de las fuentes antropogénicas de degradación, el manglar de la zona de estudio está expuesto a agentes de disturbio naturales, como las tormentas y los huracanes, que son frecuentes en las temporadas de lluvia, de junio a noviembre (Vidal-Zepeda, 2005) y que causan estrés, afectando la recuperación del ecosistema de manglar al impedir el reclutamiento de plántulas, debido al cambio en la elevación de los sedimentos y a los consecuentes cambio hidrológicos. Sin embargo es oportuno aclarar que los huracanes no son los causantes de la degradación de los manglares, ya que si estos se encuentran en buen estado de conservación son capaces de recuperarse de manera natural de los fenómenos hidrometeorológicos.

Es así, que a pesar de verse amenazados los ecosistemas de manglar de Xcalak y Mahahual, persiste la falta de estudios e información incompleta y escasa acerca de las características del manglar, como su estructura o productividad, provocando que no haya una línea base para el manejo del manglar.

JUSTIFICACIÓN

Los mangles son característicos de humedales costeros en la costa de Quintana Roo, y son de gran trascendencia debido a los numerosos bienes y servicios ambientales que proporcionan. Desafortunadamente actualmente se encuentran fuertemente impactados por factores antrópicos.

Aunado a lo anterior, se tiene un conocimiento limitado de las variaciones de los factores y procesos determinantes de la productividad primaria en Mahahual y Xcalak, que además de las perturbaciones naturales y antrópicas a los que están sometidos, se encuentran localizados en un escenario ambiental cárstico-carbonatado con aportes de agua subterránea, en el que es común observar el limitado desarrollo estructural y productividad del manglar (Zaldívar, 2003).

Por lo anterior, contar con información sobre la productividad primaria de los manglares en la zona de estudio señalada, es de interés primordial para avanzar en el conocimiento de la regeneración natural sujeta a diferentes condiciones ambientales y su capacidad de resistencia a cierto tipo de perturbaciones, para poder así contar con información confiable que permita llevar a cabo una planeación objetiva que enfoque su interés en la conservación prioritaria de zonas altamente productivas, es decir, para mantener el flujo de nutrientes y energía que tienen los manglares hacia todo el ecosistema.

HIPÓTESIS

La productividad de los ecosistemas de manglar está determinada por la salinidad intersticial, nivel de inundación y estaciones climáticas de la región, por lo que el bosque de manglar presente en las localidades de Mahahual y Xcalak presentan una alta productividad a través de la caída hojarasca.

OBJETIVO GENERAL

Estimar la productividad primaria anual, basada en la producción de hojarasca de las comunidades de Xcalak y Mahahual, Quintana Roo, durante los meses de febrero de 2010 a enero de 2011.

Objetivos particulares

- Determinar la productividad mensual por medio de la caída de hojarasca en las localidades de Xcalak y Mahahual
- Determinar la salinidad en las localidades de Xcalak y Mahahual
- Determinar el nivel de inundación de cada una de las localidades
- Determinar si las variables fisicoquímicas del sedimento tienen un efecto significativo en la productividad de hojarasca en la comunidad de manglar de las localidades de Xcalak y Mahahual.
- Generar información base para la propuesta de recomendaciones de manejo para los ecosistemas de manglar de las localidades de Xcalak y Mahahual.

METODOLOGÍA

Área de estudio

Mahahual e Xcalak se ubican en la costa sur de Quintana Roo conocidos como el desarrollo turístico “Costa Maya”, corresponden al municipio de Othón Pompeyo Blanco (figura 1).

El Estado de Quintana Roo se sitúa en la provincia fisiográfica XI denominada Península de Yucatán, la cual consiste en una gran plataforma de rocas calcáreas marinas que ha venido emergiendo del mar Caribe desde hace millones de años. A su vez esta provincia comprende tres subprovincias: 1) Carso y Lomeríos de Campeche, 2) Carso Yucateco y 3) Costa Baja de Quintana Roo en la que se ubican las localidades de estudio (Pozo, 2011).

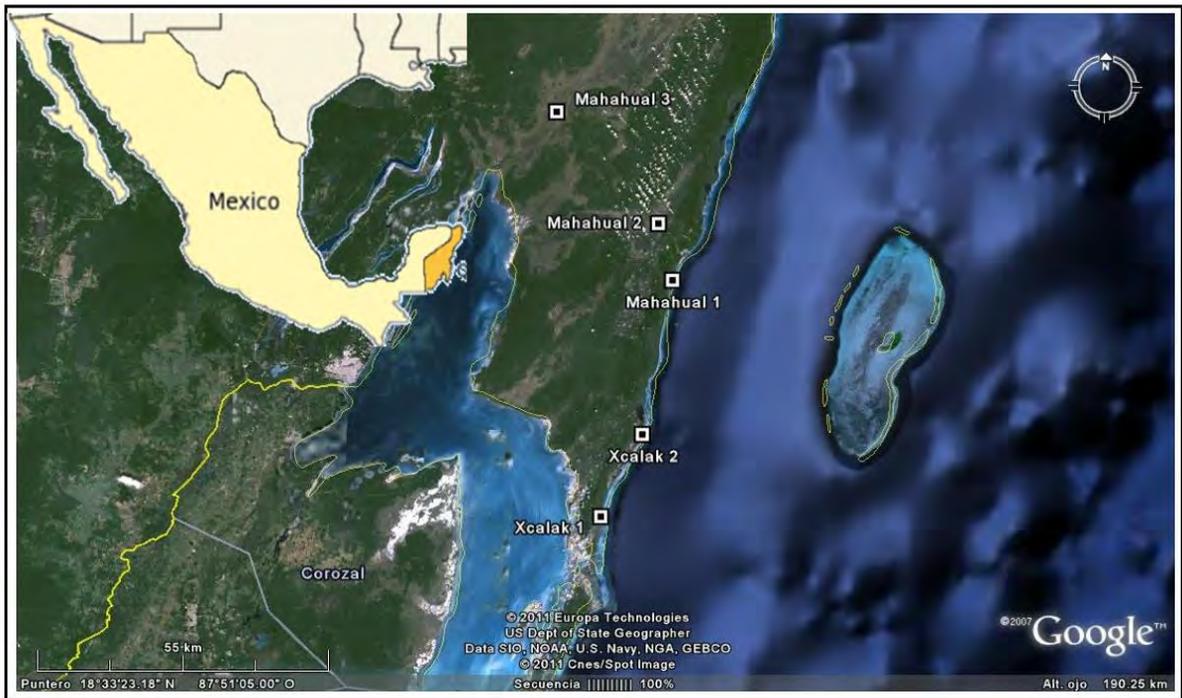


Figura 1. Ubicación del área de estudio

Las localidades de Xcalak y Mahahual se ubican en una masa de roca caliza, compacta poco fracturada, con finas láminas de yeso llamadas localmente sascab. Un sistema de fallas en dirección noreste-suroeste ocasiona una gran fractura y una serie de escalones orientados hacia esa misma dirección, además, las rocas tienen una gran disolución característica de las calizas (Pozo, 2011).

En esta zona, el acuífero es de tipo libre. El agua extraída se destina para agua potable, usos agropecuarios y servicios, se considera un acuífero subexplotado. El flujo del agua subterránea se dirige hacia el este, tiene una profundidad promedio de entre 20 y 50 m, aunque cerca de las costas es hasta de un metro (Pozo, 2011). De acuerdo al contenido de sales las descargas de agua son principalmente salobre, aunque unos brazos por tener contacto con el mar presentan mayores contracciones de salinidad (Pozo, 2011).

Los meses más calientes son de mayo a septiembre con temperaturas que oscilan de 25° a 29° C; los más fríos van de diciembre a febrero, fluctuando entre los 21° C y 24° C (Pozo, 2011).

La época de lluvias comprende los meses de mayo a octubre, aunque a veces comprende hasta el mes de noviembre; la precipitación anual varía entre los 800 a 1 500 mm, con tendencia creciente en sentido norte-sur y oeste-este, con mayores precipitaciones en la costa este, en una franja de 35 km de ancho, desde Playa del Carmen hasta la península de Xcalak (Pozo, 2011).

La temporada de secas abarca los meses de noviembre a abril, y esta época se puede dividir en dos subperiodos: época de nortes, de noviembre a febrero, ocasionado por masas de aire y nubes con vientos polares acompañados de rachas violentas y temperaturas bajas; y de sequía, que comprende de febrero al mes de abril. La evaporación potencial media anual es de 1 650 mm con una variación mensual de entre 104.9 mm en diciembre a 192.9 mm en mayo (Pozo, 2011).

Mahahual

Mahahual se localiza a una latitud de 18° 42'58"N y una longitud de 87° 42'26"W. Con una temperatura media anual de 28.1°C y una precipitación media anual de 1 200 y 1 500 mm (Estación Climatológica Mahahual, Comisión Nacional del Agua, 2000, en Datlabuit, 2007).

Es una región plana, a 5 m por encima del nivel del mar y pertenece a la provincia fisiográfica Costa Baja de Quintana Roo. La cobertura vegetal corresponde a selvas, sabanas, zonas de manglar, dunas costeras y zonas perturbadas. La fauna es

relativamente escasa, representada principalmente por los grupos de aves y reptiles (Datlabuit, 2007).

Cuenta con 920 habitantes de los cuales 483 son hombres y 437 mujeres (INEGI, 2010). Las actividades económicas que principalmente se desarrollan son la pesca, el turismo y el comercio (Datlabuit, 2007).

Xcalak

Xcalak se ubica a una latitud de 18°16'10"N, en una longitud de 87°50'10"W. Presenta una temperatura media anual de 26.8° C y una precipitación media anual de 1 560 mm (Estación Climatológica Xcalak, Comisión Nacional del Agua, 2000, en Datlabuit, 2007)

Es una región plana con 10 m por encima del nivel del mar, pertenece a la misma provincia fisiográfica que Mahahual. En la zona se localizan tres lagunas (Huache, Santa Rosa y Santa Julia) y el río Huache. La vegetación terrestre predominante es de selva baja inundable y baja caducifolia, acahual, manglar, duna, playa, lagunas costeras, cenotes, aguadas y zacatal. Los ecosistemas marinos existentes son los arrecifes y pastos marinos (Datlabuit, 2007).

Xcalak se ubica en una extensión territorial de 87 103 ha. En 2010 Xcalak contaba con 375 habitantes de los cuales 189 son hombres y 186 mujeres (INEGI, 2010).

La actividad económica principal es la pesca siendo el sustento básico para la mayoría de los pobladores de esta localidad, complementariamente se desarrollan las actividades de comercio, albañilería, la agricultura, y el turismo nacional e internacional (Datlabuit, 2007).

Métodos

Para llevar a cabo este estudio en cada una de las localidades se ubicaron sitios específicos (figura 2), evitando espacios en los que existiera actividad antropica.

La ubicación de los sitios corresponde a 2 transecos, uno paralelo a la costa y otro perpendicular a la misma, con el objetivo de explorar la variabilidad de la productividad conforme los ecosistemas de manglar se encuentran cercanos a la costa y la forma en la que varía al encontrarse más cercanos a la zona continental.

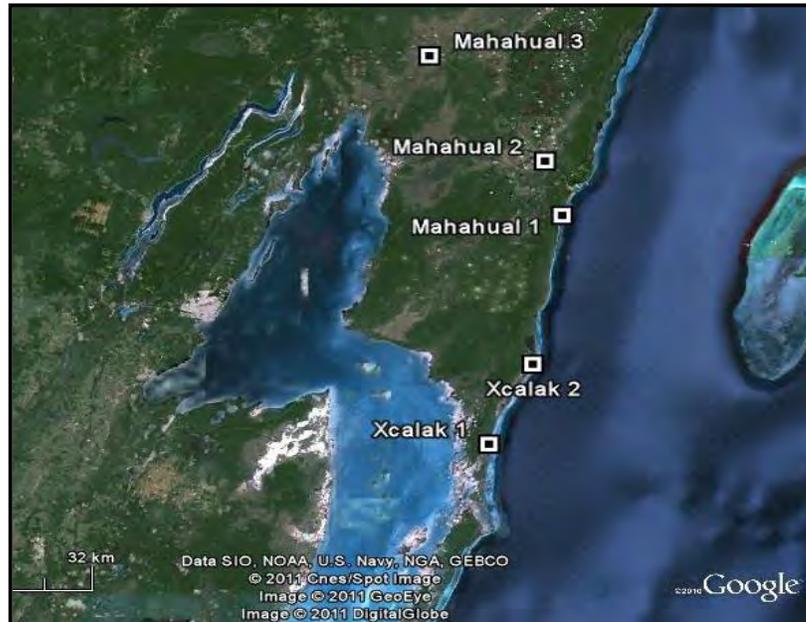


Figura 2. Ubicación de los sitios de muestreo

En la localidad de Xcalak se establecieron 2 sitios, siendo estos Xcalak 1 e Xcalak 2. Xcalak 1 (figura 3) se caracteriza por ubicarse en un parche de manglar dentro del pueblo, cercano a un escurrimiento de agua y presentando una comunidad de manglar conformada por las especies *R. mangle*, *A. germinans*, *C. erectus* y *L. racemosa*. Xcalak 2 (figura 4) se sitúa en un lugar aislado y a un lado de una corriente de agua, donde recibe aportes continuos de agua dulce por medio del Río Huach. Es un bosque monoespecífico de *R. mangle*.



Figura 3. Xcalak 1



Figura 4. Xcalak 2

En la localidad de Mahahual se ubicaron 3 sitios: Mahahual 1, Mahahual 2 y Mahahual 3, esto debido a la heterogeneidad de la cobertura del manglar. Mahahual 1 (figura 5) se encuentra cercano a la laguna arrecifal y a un costado de un escurriente de agua dulce, por lo que el agua es de tipo salobre; las especies que se encuentran son *R. mangle*, *L. racemosa* y *C. erectus*. Mahahual 2 (figura 6) y 3 (figura 7) se ubican cada uno en un lugar con condiciones ambientales específicas donde la cobertura que predomina es manglar tipo chaparro monoespecífico de *R. mangle*. La principal fuente de agua de estos dos últimos sitios es por la vía subterránea y por precipitaciones.



Figura 5. Mahahual 1



Figura 6. Mahahual 2



Figura 7. Mahahual 3

Tabla 1. Coordenadas de los sitios de estudio

Sitio	ID-Sitio	Plot	Latitud	Longitud
Mahahual	Sitio 1	A	18°41'10.60"N	87°43'7.10"O
Mahahual	Sitio 1	B	18°41'10.30"N	87°43'6.80"O
Mahahual	Sitio 2	A	18°47'5.90"N	87°44'56.10"O
Mahahual	Sitio 2	B	18°47'5.80"N	87°44'56.60"O
Mahahual	Sitio 3	A	18°58'12.10"N	87°55'49.40"O
Mahahual	Sitio 3	B	18°58'12.10"N	87°55'49.10"O
Xcalak	Sitio 1	A	18°16'41.43"N	87°50'8.21"O
Xcalak	Sitio 2	A	18°25'14.90"N	87°45'55.90"O

Primera Etapa: Revisión de información bibliográfica y capacitación

Se recopiló y analizó información bibliográfica y en sitios WEB relacionados con el tema de los manglares, como por ejemplo la CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad) y RAMSAR (Convención sobre los Humedales).

Se asistió a una estancia de capacitación en el laboratorio de Producción Primaria del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Mérida (CINVESTAV), donde se aprendió cómo se realiza una campaña de muestreo: identificar y clasificar los distintos tipos de mangle en estado vegetativo e inerte; clasificar raíces por tamaños; determinar la estructura de la vegetación de manglar, muestrear agua intersticial y superficial; realizar mediciones de inundación, salinidad y pH, así como a aplicar el Método de “Bulk Density” en suelos.

Segunda Etapa: Preparación de equipo

Se elaboraron canastas para la colecta de hojarasca, estas fueron hechas con tela mosquetera de un área de 50 por 50 cm de largo dándole forma de hamaca a la canasta y con ello evitar pérdidas de material (Herrera et al., 2009).

Para la extracción del agua intersticial se llevó a cabo mediante un tubo de acrílico de 50 cm de longitud, perforado de la parte inferior para permitir la entrada de

agua, En la parte superior se conecta a una manguera la cual a su vez va conectado a una jeringa de 60 ml y así realizar la extracción de agua, para posteriormente medir la salinidad intersticial (partes por mil) y temperatura (grados celcius), esto con ayuda de una sonda multiparamétrica Ysi

Tercera Etapa: Establecimiento de parcelas permanentes e instalación de canastas

Se estableció en cada uno de los sitios una parcela permanente de 5 x 5 m (figura 8) con una réplica del mismo tamaño (0.0025 Ha). 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.

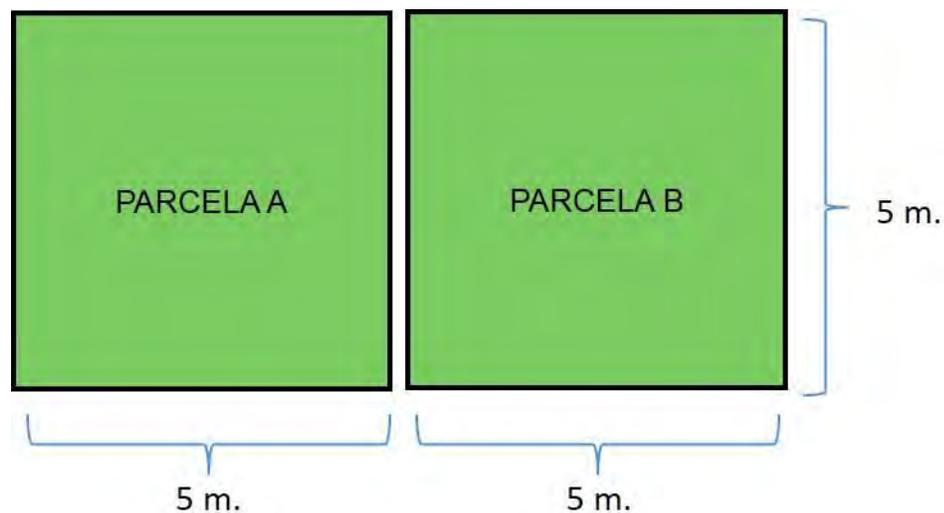


Figura 8. Diseño de parcelas

Para la medición de la estructura de cada sitio se registró la composición florística, además se midió altura y diámetro a la altura del pecho (DAP) (1.5 m del suelo) de todos los árboles mayores a 2.5 cm en DAP (figura 9), usando el método de parcelas (Schaeffer-Novelli y Cintrón, 1990).

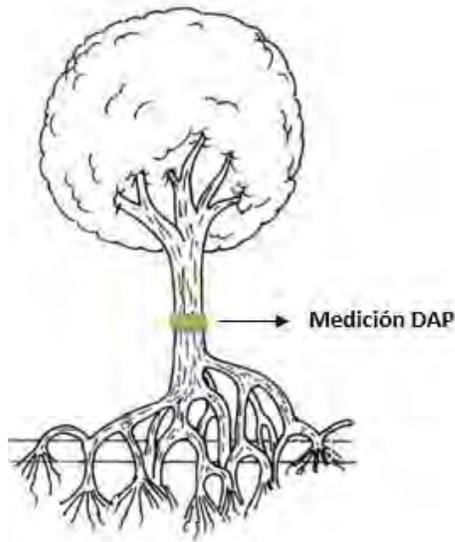


Figura 9. Modelo para medición del Diámetro a la Altura del Pecho

Los atributos estructurales incluyen:

- Diámetro a la altura de pecho (DAP): a partir de esta medición se calcula el área basal. Se utilizó una cinta diamétrica para medir el DAP de todos los individuos mayores a 2.5 cm en DAP
- 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 m^2 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. El área se obtuvo a partir de los valores del diámetro, elevando el diámetro al cuadrado y multiplicándolo por 0.78×10^{-5} . Luego se suman todas las áreas basales de la unidad de área determinada
- 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
- **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).
- **Índice de valor de importancia (IVI):** indica la importancia de las especies de acuerdo a diferentes variables (frecuencia relativa + densidad relativa + dominancia relativa) (Teutli, 2008).

Para llevar a cabo la colecta de hojarasca se instalaron 5 canastas por plot distribuidas aleatoriamente (figura 10), dando un total de 10 canastas por sitio estas fueron colocadas a una altura de 1.30 m sobre el sedimento. Cabe mencionar que en el sitio de Mahahual 1 se colocaron únicamente 5 canastas. La colecta de hojarasca se realizó de manera mensual por un periodo de un año (figura 11).

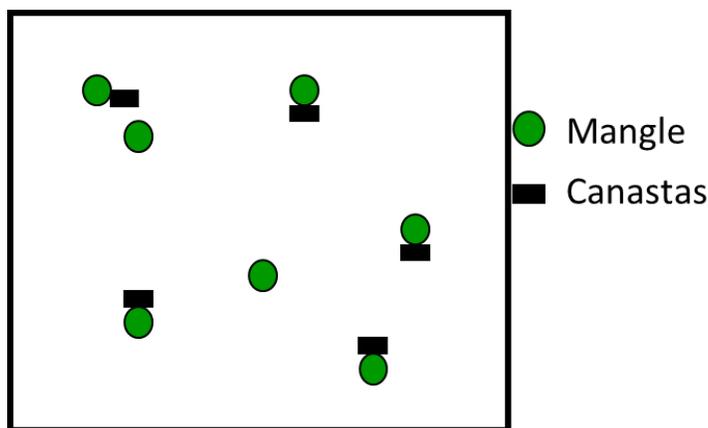


Figura 10. Diseño de colocación de canastas



Figura 11. Colocación de canasta

Cuarta Etapa: Colecta

Las hojas de manglar presentes en las canastas instaladas fueron colectadas con ayuda de unas bolsas ziploc para su transportación y posterior análisis en el laboratorio, la colecta de hojarasca se realizó de manera mensual, obteniéndose un total de 45 muestras por mes de cada sitio, esto durante un año.

En cada una de las parcelas se llevó a cabo la medición de salinidad y temperatura intersticial en cinco puntos dentro del plot, así como en nivel de inundación esta medición se realizó de manera mensual.

Quinta Etapa: Trabajo en laboratorio

Las muestras transportadas en bolsas ziploc fueron vaciadas en bolsas de papel para posteriormente colocarlas en una estufa a 75 °C durante un tiempo de 72 horas, estando el material seco se continuó a separar la muestra en los siguientes componentes: hojas, flores y frutos (clasificadas por especie), estipulas, trozos de ramas y misceláneo (Herrera et al., 2009). Ya clasificada la muestra por componentes por especie se pesó la muestra en una balanza analítica, los datos fueron expresados en $\text{g m}^{-2}\text{dia}^{-1}$. Estos datos representan una estimación de la productividad de hojarasca de los árboles de manglar seleccionados por sitio y por mes (figura 12).

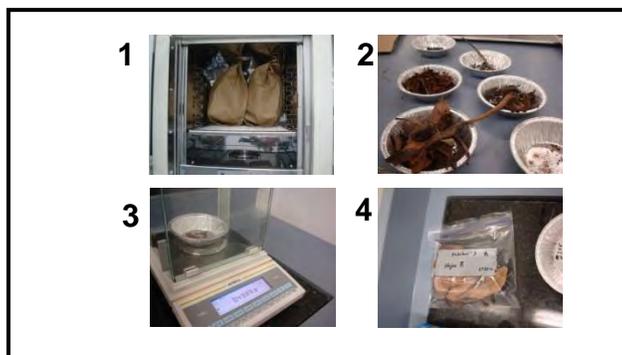


Figura 12. Proceso para la medición de biomasa de la hojarasca

Sexta Etapa: Análisis de información y elaboración de recomendaciones de manejo

Para determinar si la caída de hojarasca del manglar presenta un comportamiento temporal, se graficó los valores promedio mensual de la productividad a lo largo del tiempo de estudio.

Para determinar si la salinidad y nivel de inundación presentan un efecto en la productividad del manglar se realizó un análisis de variabilidad de factores ambientales, además de realizar un análisis de correlación de Pearson entre la productividad - la salinidad, y entre productividad – inundación. Lo anterior con el fin de determinar el grado de relación entre las dos variables. Se seleccionó la correlación de Pearson debido a que es independiente de la escala de medida de las variables.

De igual forma se realizó un análisis de medidas repetidas (ANOVA) para encontrar diferencias significativas entre la productividad de los sitios de muestreo.

Las recomendaciones de manejo se realizaron a partir de los resultados y con referencia en estudios de caso, el manual marco sobre manejo de Humedales de RAMSAR, y guías de manejo de Recursos Naturales, tales como el Manual de métodos para del sistema arrecifal mesoamericano

RESULTADOS

Clima

Las medias de temperatura y precipitación durante el año de estudio tuvieron una variación de acuerdo al periodo en el que se registraron, coincidiendo con las épocas climáticas de la región: secas (marzo a mayo), lluvias (junio a septiembre) y nortes (noviembre a febrero).

En la figura 13, se puede observar que las temperaturas más cálidas registradas tuvieron lugar en el mes de mayo (26.8°C), y en el mes de agosto (26.9°C) la primera en la época de secas y la segunda en la de lluvias. Lo anterior en contraste con las temperaturas más bajas del año que se dieron en el mes de (22.5°C) durante el periodo de nortes.

Por otro lado, las mayores precipitaciones (figura 13) se observaron de mayo a agosto, siendo el mes de julio el de mayor precipitación (150 mm) correspondiendo a la temporada de lluvias; el periodo de mayor precipitación del año va de mayo a agosto marcado gráficamente con un valle en la línea de la temperatura.

Las precipitaciones más bajas (figura 13) se registraron en los meses de febrero (3 mm), octubre (3.2 mm), noviembre (2.8 mm) y diciembre (2.6 mm), siendo este último el menor registro de lluvia del año; la época climática con menores registros de precipitación fue la de nortes. En el mes de mayo, correspondiente a las secas el registro fue de 0 mm.

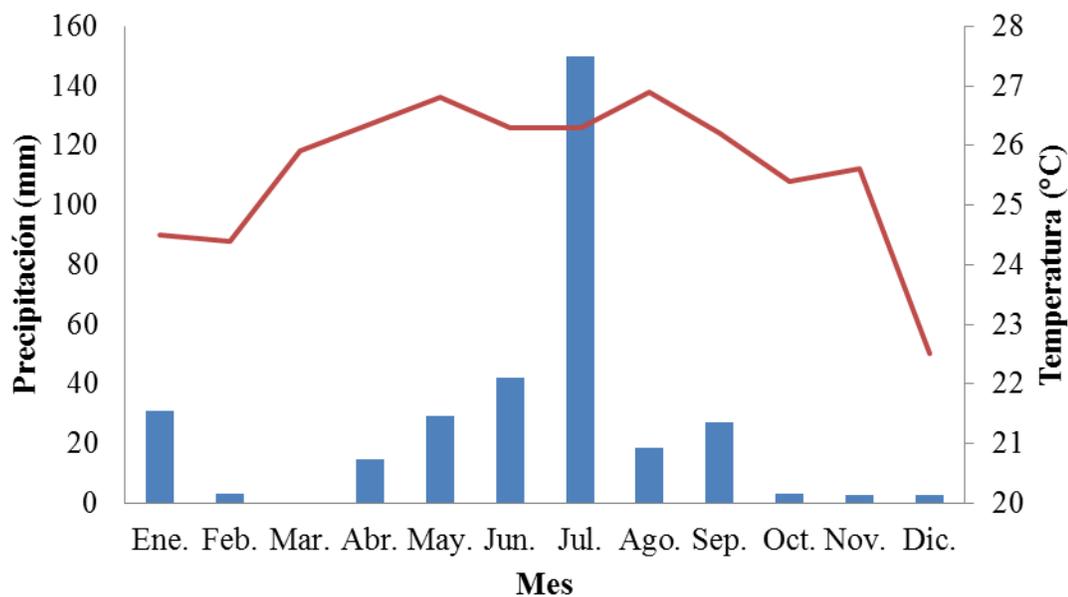


Figura 13. Climograma de las localidades de Mahahual e Xcalak

Estructura

De acuerdo a los resultados se observaron diferencias en las variables estructurales (Tabla 2), donde de acuerdo al índice de complejidad el sitio mejor desarrollado estructuralmente es Xcalak 1 (16 IC), seguido del sitio de Xcalak 2 (4.5 IC), en la localidad de Mahahual se registraron los valores más bajos siendo el sitio 3 (0.2 IC) el de menor desarrollo estructural, los sitios de Mahahual 1 y Mahahual 2 presentaron un índice de complejidad de 1.0 y .03 respectivamente.

En Mahahual, el primer sitio presentó la mayor media del diámetro a la altura del pecho (4.2 cm), seguido del sitio 3 (2.5 cm) y 2 (2.2.). Los dos sitios de Xcalak tienen mayores DAP que Mahahual,; la mayor medida media de DAP se registró en Xcalak 1 de 6.7 cm. Lo anterior se puede observar en la tabla 2.

La menor media de área basal (tabla 2) se dio en los manglares chaparros de Mahahual 3 ($1.8 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$). La suma promedio de las áreas basales de los troncos de

Xcalak 1 ocupan un área de 25.6 m²ha⁻¹, siendo el sitio con un mayor grado de desarrollo de los 5.

El número de árboles por hectárea (tabla 2) fue mayor en los sitios de Xcalak, ambos con estimación de 6700 individuos, seguido de Mahahual 2 con 6600 árboles por hectárea. Por lo anterior y de acuerdo a su densidad, Xcalak refleja un mayor grado de madurez en su comunidad.

Respecto a la altura media (tabla 2) se tiene un gran margen de diferencia entre los manglares chaparros (2.2 y 2.4 cm de DAP) y los manglares de Xcalak (25.6 y 14.6 cm de DAP).

De acuerdo al índice de valor de importancia (tabla 2) *Rhizophora mangle* fue la especie registrada en todos los sitios de estudio, siendo en 3 de ellos la especie dominante (100%), dando lugar a comunidades mono específicas, tal es el caso de Mahahual 2 y 3 e Xcalak 2. *Laguncularia racemosa* fue encontrado en Mahahual 1 plot A, plot B e Xcalak 1 plot B, con valores de importancia (IVI) de 86%, 100% y 4% respectivamente, por lo que en el primer sitio de Mahahual presenta dominancia con respecto a las otras especies. En el segundo sitio de Xcalak plot B, *Conocarpus erectus* domina la estructura de la comunidad con un IVI de 91%, y se presenta de manera exclusiva para este sitio *A. germinans* con un IVI de 4%.

En lo que respecta a las características estructurales total y por especie entre sitios se encuentran detallados en la tabla 2.

Tabla 2. Características estructurales de la vegetación de manglar por sitio

Sitio	¹ DAP (cm)	Área basal(m ² ha ⁻¹)	Densidad (árbol ha ⁻¹)	Altura (m)	² Índice de complejidad	³ Valor de importancia (IVI)
Mahahual 1 A						
<i>L. racemosa</i>	4.1	6.3	3700	2.7		86
<i>R. mangle</i>	4.2	0.9	600	3.3		14
Total	4.1	7.2	4300	2.8	1.7	100
Mahahual 1 B						
<i>L. racemosa</i>	4.2	4.3	2300	2.4	0.2	100

Mahahual 1	4.2	5.8	3300	2.6	1.0	
Mahahual 2 A						
<i>R. mangle</i>	2.1	1.7	4800	1.7	0.1	100
Mahahual 2 B						
<i>R. mangle</i>	2.2	3.6	8400	1.7	0.5	100
Mahahual 2	2.2	2.7	6600	1.7	0.3	
Mahahual 3 A						
<i>R. mangle</i>	2.2	1.1	2800	1.7	0.1	100
Mahahual 3 B						
<i>R. mangle</i>	2.7	2.4	4000	1.7	0.2	100
Mahahual 3	2.5	1.8	3400	1.7	0.2	
Xcalak 1 A						
<i>R. mangle</i>	5.2	22.1	9100	5.9	12.0	100
Xcalak 1 B						
<i>L. racemosa</i>	5.4	0.5	200	3.75		4
<i>R. mangle</i>	3.1	0.1	100	4.5		2
<i>A. germinans</i>	15.5	1.9	100	3.5		4
<i>C. erectus</i>	8.9	26.6	3900	4.1		91
Total	8.2	29.1	4300	4.0	20.0	100
Xcalak 1	6.7	25.6	6700	4.9	16.0	
Xcalak 2 A						
<i>R. mangle</i>	5.0	12.7	5700	4.3	3.1	100
Xcalak 2 B						
<i>R. mangle</i>	5.0	16.5	7700	4.7	5.9	100
Xcalak 2	5.0	14.6	6700	4.5	4.5	

¹DAP (Diámetro a la altura del pecho)=(aprox. 1.5 m sobre el suelo o última raíz aérea, en el caso de *R. mangle*)

²IC (Índice de complejidad)= (área basal)(densidad)(altura)(número de especies)(10-5)

³Valor de importancia es la suma de la frecuencia relativa, densidad relativa y dominancia relativa dividido entre 3

Inundación

Con respecto a la inundación se presenta una variabilidad entre sitios y entre las diferentes épocas. La menor inundación del primer sitio de Mahahual (figura 14), se presentó en los meses de febrero, marzo, abril y enero, con registros menores a 10 cm, siendo los 4 durante la época de secas. Se tiene un primer pico de inundación en el mes

de mayo al alcanzar 35.8 cm, teniendo una disminución en los meses de junio y julio; aumentando ligeramente en los meses de agosto a octubre, para posteriormente tener un decremento brusco en noviembre y finalizando el año con un incremento en diciembre, alcanzando la inundación más alta del año con un dato promedio de 41.5 cm.

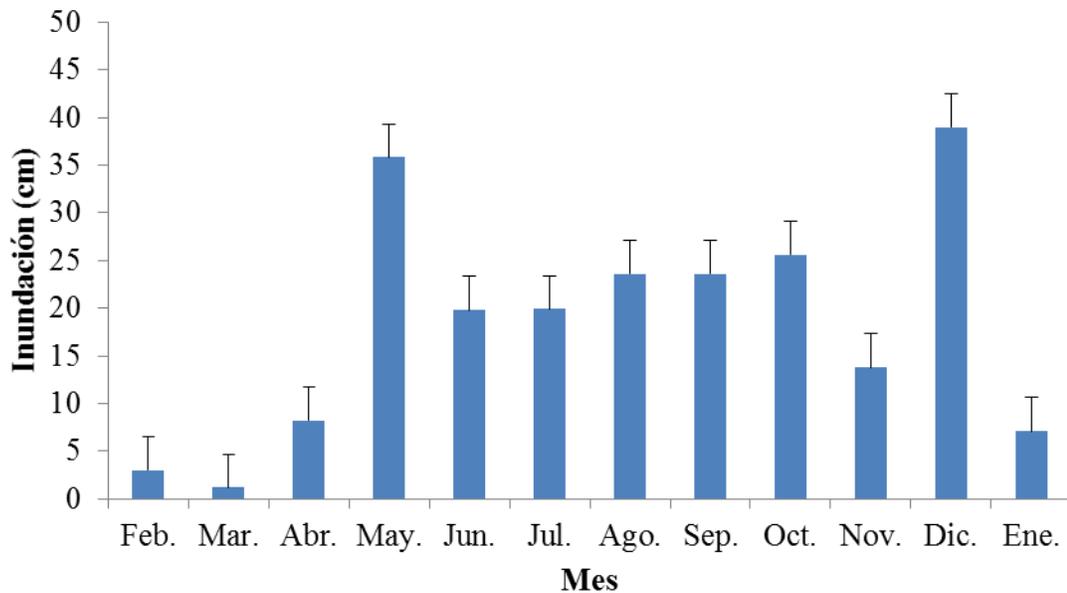


Figura 14. Inundación del sitio de Mahahual 1

En Mahahual sitio 2 (figura 15), se tienen cambios menos marcados que el primer sitio, a principio de año, en el mes de febrero se tiene una inundación de 10.2 cm, el cual disminuye en el periodo de secas, específicamente en los meses de marzo y abril al no presentarse precipitaciones. En junio se registra la menor inundación correspondiente a 5 cm. En los meses de agosto a diciembre se tiene un periodo sostenido de inundación mayor a los 30 cm, alcanzando en este intervalo de tiempo la mayor inundación del año de 35.7 cm durante diciembre, para disminuir en aproximadamente un 50 por ciento en el mes de enero.

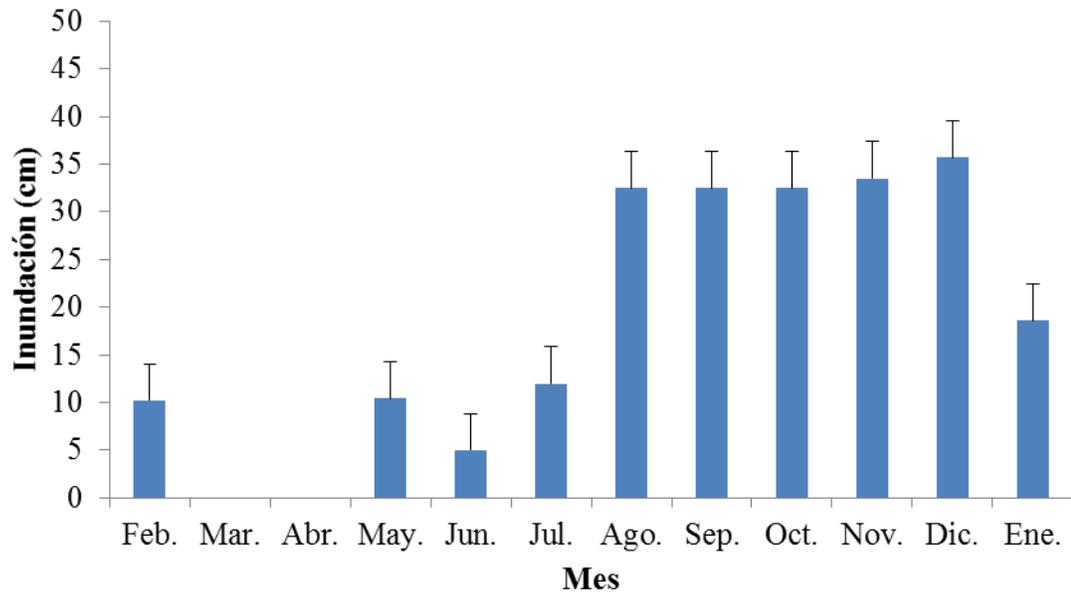


Figura 15. Inundación del sitio de Mahahual 2

En el sitio de Mahahual 3 (figura 16) el cual es el más alejado de la costa, en el periodo comprendido de febrero a abril se tiene los menores registros, siendo marzo el de menor inundación al presentar 12.6 cm; en mayo se tiene un incremento alcanzando 28.8 cm. En junio la presencia de agua superficial disminuye y aumenta nuevamente en el mes de julio, para dar paso a un periodo sostenido de inundación mayor a los 30 cm, similar al encontrado en el sitio 2, comprendido de agosto a enero, y teniendo como el mes más inundado del año diciembre con 41.5 cm.

En el caso de la localidad de Xcalak, se registró en el primer sitio (figura 17) ubicado en las cercanías del poblado 4 de los 12 meses inundación, el primero en mayo con una inundación de 3.3 cm, siendo esta la menor del año; el segundo en junio con 4.5 cm, siendo el mayor registro; el tercero en el mes de agosto con un nivel de agua superficial de 3.5 cm y el último de 3.8 en el mes de septiembre.

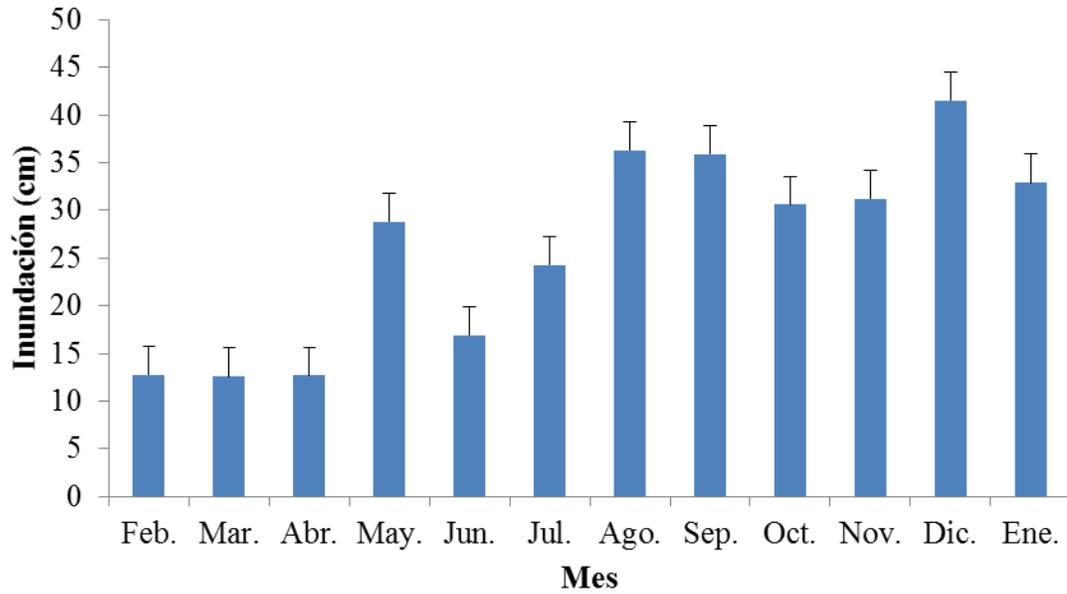


Figura 16. Inundación del sitio de Mahahual 3

El segundo sitio de Xcalak (figura 17) presentó en 5 meses inundación, el primero y el más alto en el mes de abril con un nivel de 10.7 cm; el segundo en mayo con 9 cm; el tercero en julio presentando 7 cm; el cuarto en octubre con 8.35 cm y el quinto en el mes de noviembre, siendo este último el menor registro con 5.2 cm. Todos los niveles fueron mayores a 5 cm, por lo cual en este sitio se presentaron los mayores de niveles de inundación de Xcalak.

Es propio mencionar que a pesar de no estar inundados superficialmente en todos los meses, en los dos sitios de Xcalak se obtuvo muestras de agua intersticial, lo cual indica que hay un flujo de agua subterráneo permanente.

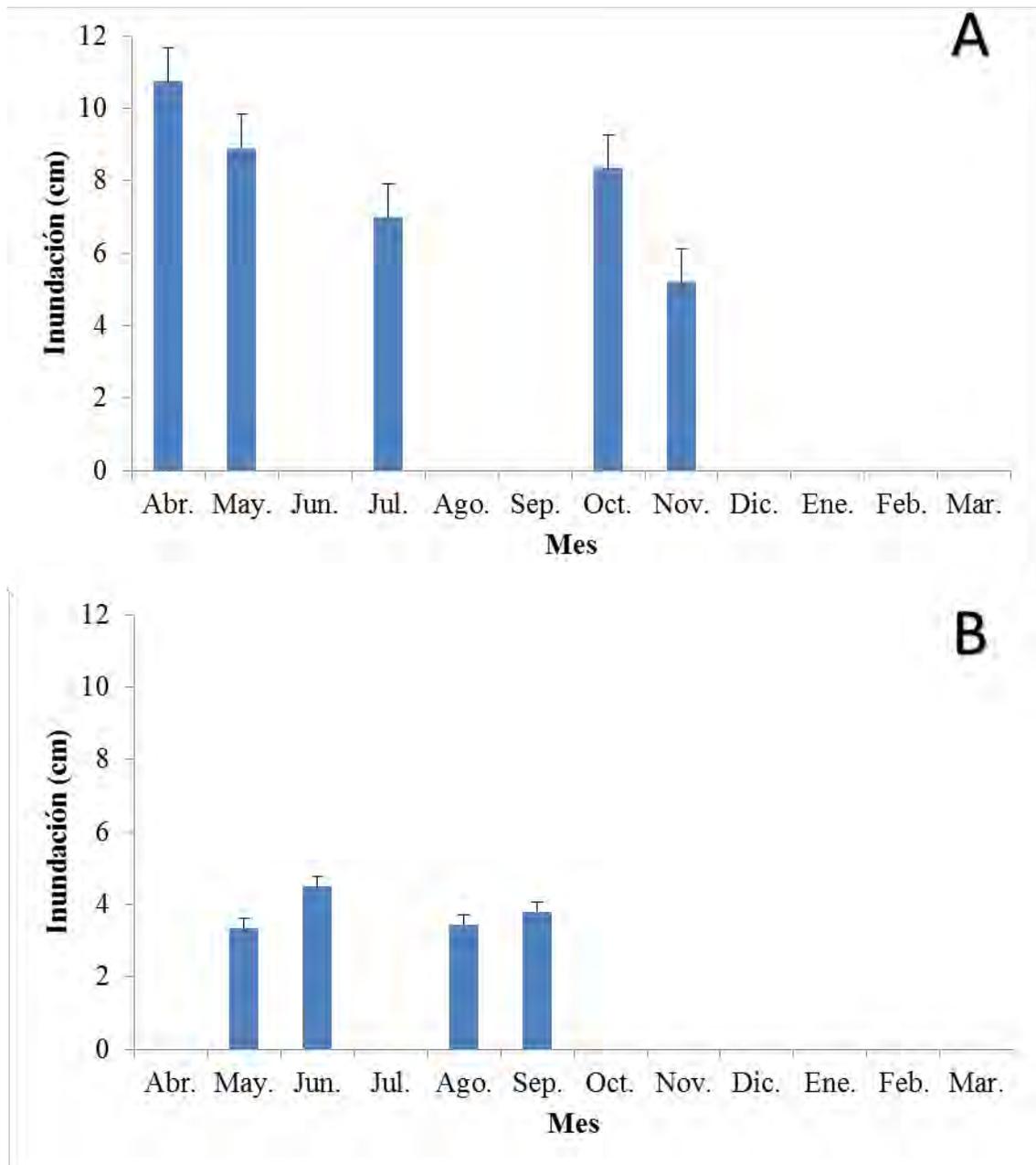


Figura 17. Inundación de los sitios de Xcalak 1 (A) y Xcalak 2 (B)

Salinidad Intersticial

La salinidad intersticial presenta una variabilidad entre sitios, teniendo los valores más altos en los cercanos a la línea de costa y menores en los más alejados. El sitio de Mahahual 1 (figura 18) presenta dos picos de salinidad, el primero en el mes de abril al registrarse la salinidad más alta del año de muestreo, de 39.6 gr/kg la cual es prácticamente salada. En junio se tiene un descenso en los registros, al presentarse el periodo climático de las lluvias, registrándose el dato más bajo de salinidad del año en octubre con 17.4 gr/kg. A excepción de los meses de abril, mayo y junio, en los 9 restantes se tiene agua salobre. En este sitio se tienen los valores de salinidad intersticial más altos de los tres de Mahahual, lo anterior debido a que es el más cercano a la costa y tiene un flujo de agua salada contante.

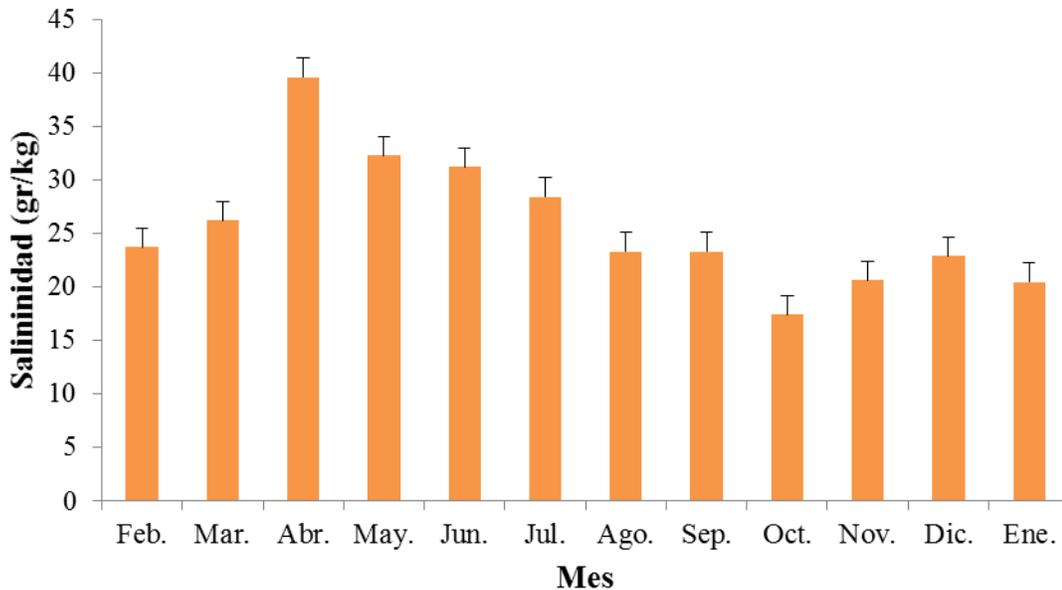


Figura 18. Salinidad intersticial del sitio de Mahahual 1

El segundo sitio (figura 19) presenta los valores más bajos de salinidad de Mahahual, lo cual sugiere que se tiene una menor influencia del agua marina. En el mes de febrero se presenta el segundo dato más alto del sitio (1.9 gr/kg), lo cual se puede

explicar por el estancamiento del agua de lluvia, a la par que ese mes tiene un registro bajo de precipitación y una temperatura ambiente mayor a 24° C, lo que aumenta la evaporación concentrándose más la sal. La menor salinidad se dio en la época de lluvias y nortes, al aumentar la precipitación y disminuir la temperatura ambiente, teniendo como dato más bajo 0.7 gr/kg en el mes de enero, salinidad cercana a la de agua dulce.

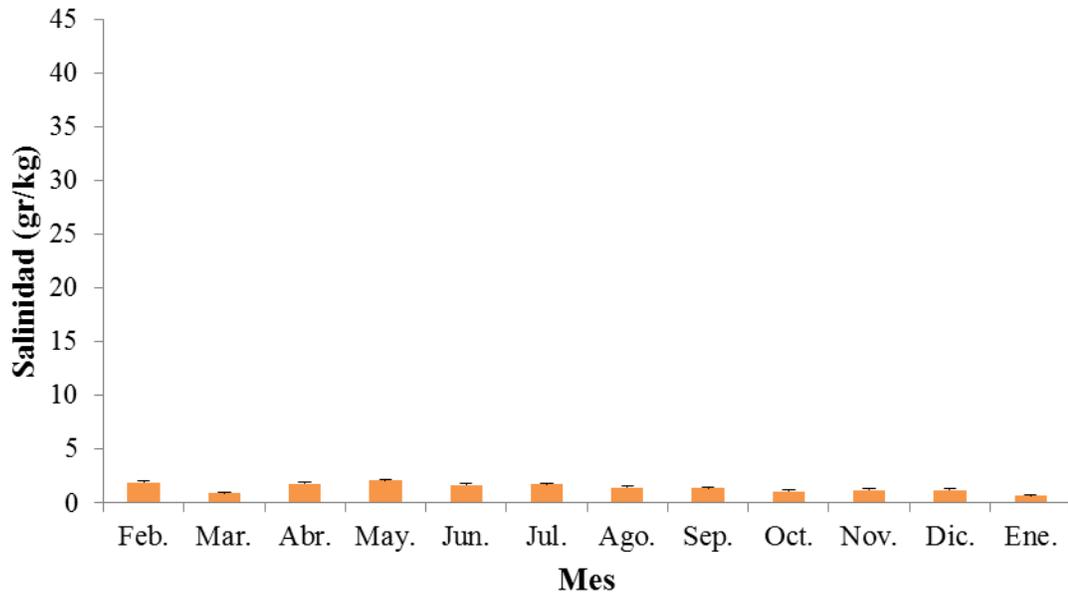


Figura 19. Salinidad intersticial del sitio de Mahahual 2

El último sitio de Mahahual (figura 20), sugiere al igual que el sitio anterior una mayor influencia de agua dulce que de salada, pero en menor grado, ya que se tiene registros mayores que el segundo sitio. La mayor salinidad tuvo lugar en el mes de junio con 8.4 gr/kg, seguida del mes de mayo. Hay un descenso notable del mes de julio al mes de octubre, todos comprendidos en la época de lluvias. Octubre registra la salinidad más baja del sitio con 4.2 gr/kg.

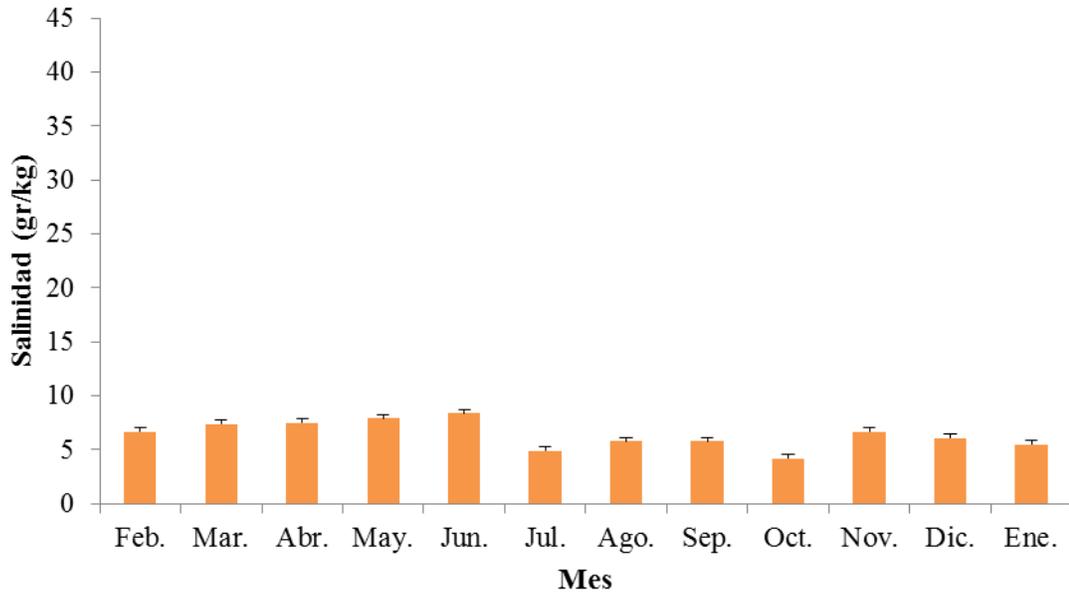


Figura 20. Salinidad intersticial del sitio de Mahahual 3

Xcalak 1 (figura 21) presenta la salinidad más alta de todos los registros, tanto de Mahahual como del propio, el cual es de 53.1 gr/kg en el mes de julio en el periodo de lluvias, lo cual contrasta con los datos obtenidos en Mahahual, donde las salinidades más altas de presentaron en la época de secas. Gráficamente se observa una fluctuación más constante de salinidades, lo cual se presume a la mayor influencia de las mareas, la influencia de agua dulce durante la época de lluvias y al escurrimiento de agua cercano al sitio. La salinidad tiene una disminución en la temporada de lluvias, pero sin ningún registro menor a 30 gr/kg. El menor registro se tuvo en mayo con 22.8 gr/kg en la época de secas y el segundo en enero con 25.6 ppm durante los nortes. El sitio 1 de Xcalak es el único en donde se presenta *A. germinans*, lo cual se puede deber a las salinidades altas encontradas.

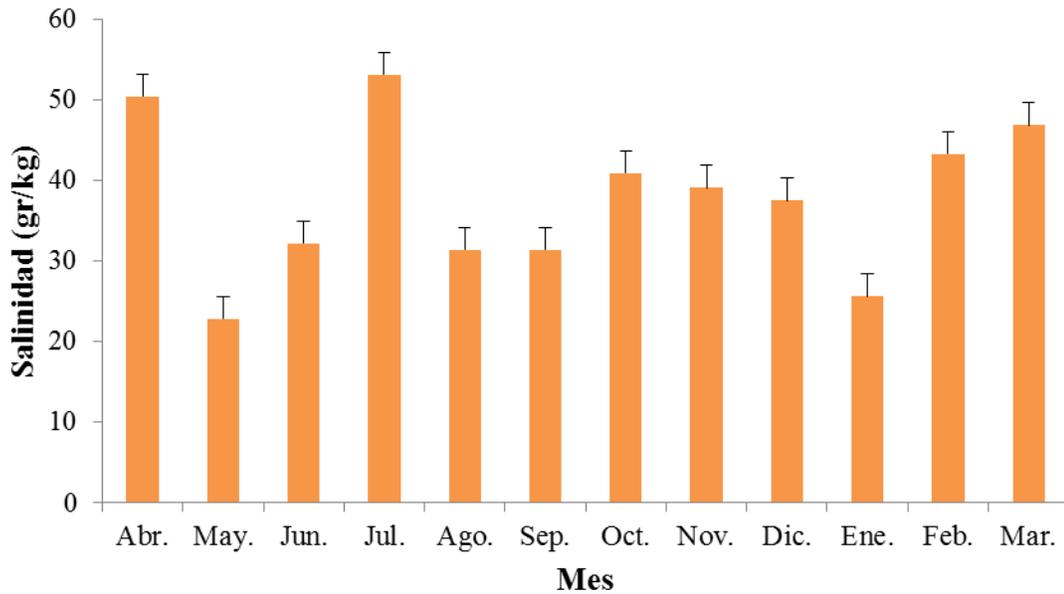


Figura 21. Salinidad intersticial del sitio de Xcalak 1

El segundo sitio de Xcalak (figura 22) tiene su máxima salinidad intersticial en el mes de mayo con 49.84 gr/kg, tiene un pequeño descenso en el mes de junio, durante la temporada de lluvias, hasta alcanzar el segundo dato menor de salinidad del sitio, en el mes de julio consistente en 27.9 gr/kg: en agosto y septiembre se tiene un repunte de la salinidad, para posteriormente dar paso a un decremento sostenido desde el mes de octubre y hasta el mes de diciembre, donde se tiene la salinidad más baja del año de 20.13 ppm, siendo este último la menor salinidad presentada en los dos sitios de Xcalak. De enero a marzo se tiene un incremento sostenido en la salinidad intersticial, con la disminución de los aportes de agua dulce.

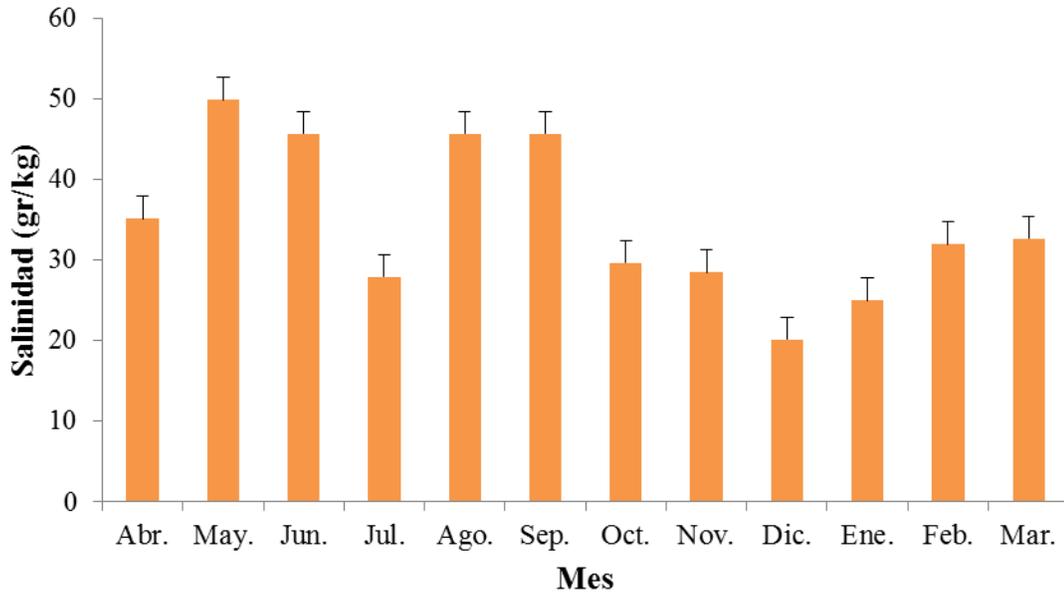


Figura 22. Salinidad intersticial del sitio de Xcalak 2

Productividad

El patrón anual de productividad en el sitio 1 (figura 23) de la comunidad de Mahahual, presentó 3 picos marcados de productividad, el primero en el mes de febrero ($2.405 \text{ gr/m}^2/\text{dia}^{-1}$) al finalizar los nortes; el segundo en el mes de mayo ($5.042 \text{ gr/m}^2/\text{dia}^{-1}$) al finalizar la seca; y el tercero en el mes de agosto en plena temporada de lluvias, siendo este último el pico más alto con una productividad promedio de $8.886 \text{ gr/m}^2/\text{dia}^{-1}$. Los menores datos de productividad se obtuvieron en el mes de marzo ($0.925 \text{ gr/m}^2/\text{dia}^{-1}$), al inicio de la época de secas, y en el mes de octubre al concluir las lluvias, éste último con $0.661 \text{ gr/m}^2/\text{dia}^{-1}$ siendo el menor registro. El componente con mayor porcentaje de aporte (figura 23) durante todo el año fueron las hojas, a excepción del mes de agosto en donde el mayor aporte fue dado por las inflorescencias.

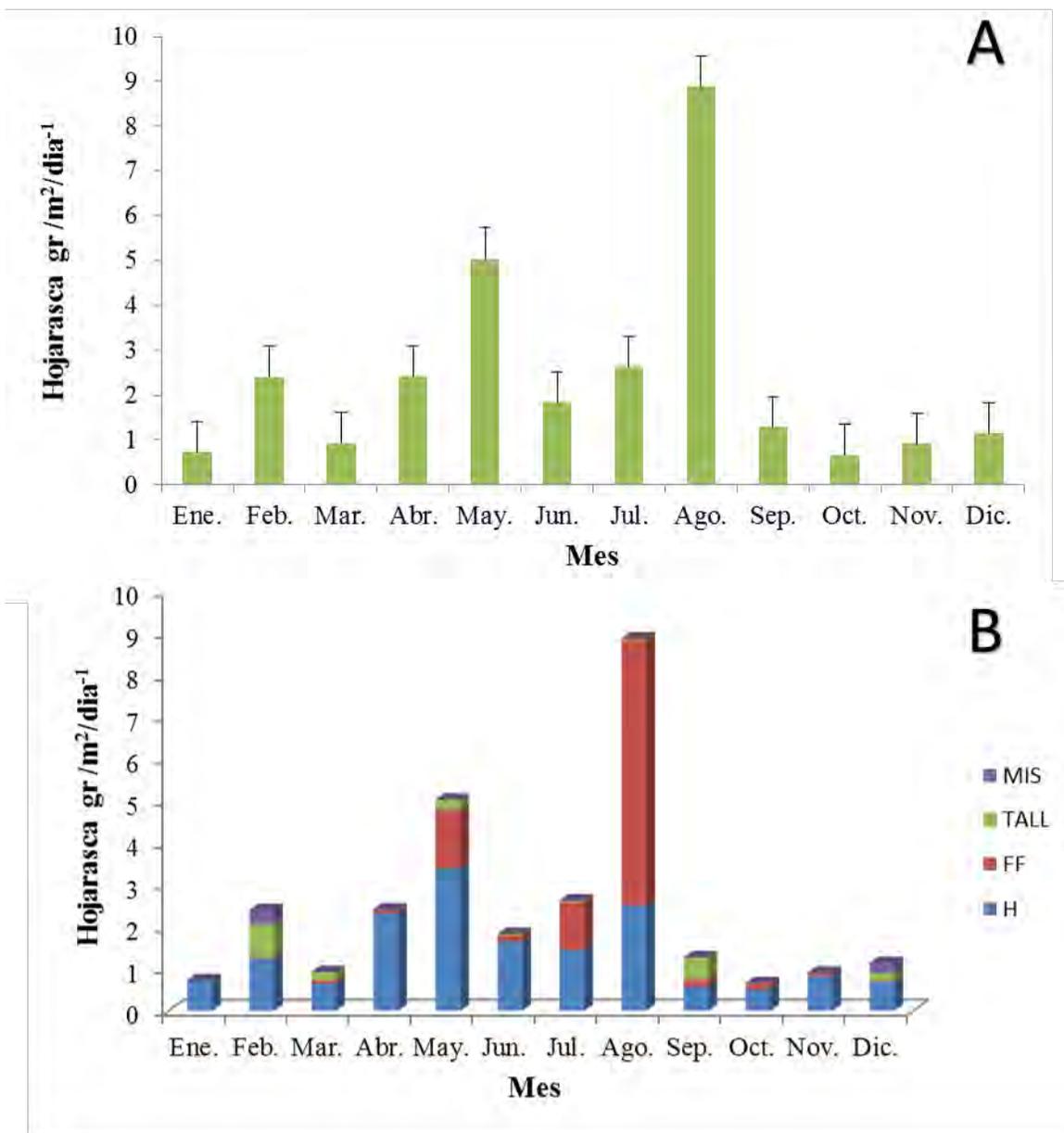


Figura 23. Productividad total (A) y por componente (B) del sitio de Mahahual 1

En el sitio 2 (figura 24), se observa un pico marcado en el mes de agosto con un valor de 2.178 gr/m²/día⁻¹, durante la época de lluvias; y dos menores en los meses de enero (0.992 gr/m²/día⁻¹) en los nortes y marzo (1.028 gr/m²/día⁻¹) durante el inicio de las secas. Las menores productividades se dieron en los meses de febrero (0.423 gr/m²/día⁻¹), julio (0.442 gr/m²/día⁻¹) y octubre, siendo este último en el que se registró

0.312 gr/m²/día⁻¹, la menor del año. El mayor aporte (figura 24) fue dado por las hojas a excepción de los meses de agosto y enero en el que aporte de inflorescencias es mayor en el primero y los tallos en el segundo.

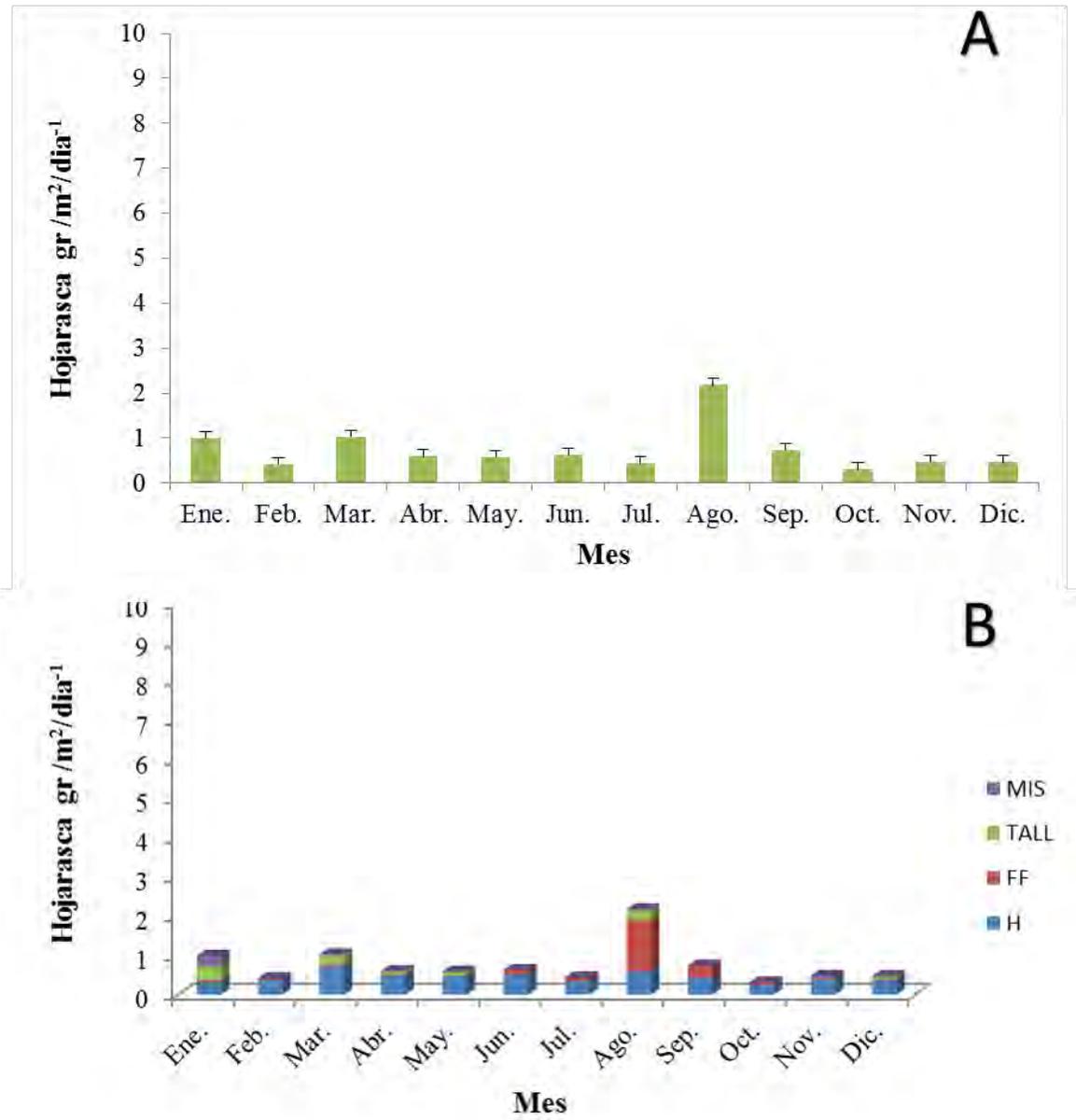


Figura 24. Productividad total (A) y por componente (B) del sitio de Mahahual 2

La productividad en el sitio 3 (figura 25), presentó 3 picos marcados de productividad, el primero en el mes de febrero al finalizar los nortes, con un valor de $0.926 \text{ gr/m}^2/\text{dia}^{-1}$, siendo el mayor registro; el segundo en el mes de mayo ($0.813 \text{ gr/m}^2/\text{dia}^{-1}$) al finalizar la seca y el tercero en el mes de septiembre ($0.596 \text{ gr/m}^2/\text{dia}^{-1}$) en la temporada de lluvias. Los menores promedios se registraron en el mes de agosto ($0.392 \text{ gr/m}^2/\text{dia}^{-1}$), a mediados de las lluvias, y en el mes de diciembre, éste último con $0.226 \text{ gr/m}^2/\text{dia}^{-1}$, siendo el menor registro. El componente (figura 25) con mayor porcentaje de aporte durante todo el año fueron las hojas, a excepción del mes de septiembre en donde el mayor aporte fue aportado por los tallos.

En el sitio de Xcalak 1 (figura 26), se presentó 2 picos marcados de productividad, el primero en el mes de septiembre durante los nortes, con un valor de $4.705 \text{ gr/m}^2/\text{dia}^{-1}$, siendo el mayor; el segundo en el mes de marzo ($4.411 \text{ gr/m}^2/\text{dia}^{-1}$) al inicio de las secas. Los menores registros fueron en el mes de mayo ($1.335 \text{ gr/m}^2/\text{dia}^{-1}$), julio ($1.432 \text{ gr/m}^2/\text{dia}^{-1}$), y diciembre, en la temporada de sequía, lluvias y nortes respectivamente, y siendo el último con $1.274 \text{ gr/m}^2/\text{dia}^{-1}$ el menor registrado. En los meses (figura 26) de abril, mayo, junio, julio, noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo el componente con mayor porcentaje de aporte fueron las hojas; a excepción de los meses de agosto, septiembre y octubre en donde el mayor aporte fue dado por los frutos y las flores.

Xcalak 2 (figura 27), presentó 3 picos marcados, el primero en el mes de abril ($3.372 \text{ gr/m}^2/\text{dia}^{-1}$) en el periodo de secas, el segundo en julio ($4.007 \text{ gr/m}^2/\text{dia}^{-1}$) durante los nortes, y el tercero y más alto con un valor de $5.773 \text{ gr/m}^2/\text{dia}^{-1}$ en el mes de septiembre, de igual forma durante los nortes. Los registros más bajos fueron en el mes de mayo ($1.6749 \text{ gr/m}^2/\text{dia}^{-1}$), agosto ($2.490 \text{ gr/m}^2/\text{dia}^{-1}$), diciembre ($0.902 \text{ gr/m}^2/\text{dia}^{-1}$), y enero, siendo el último el menor con un valor de productividad de $0.893 \text{ gr/m}^2/\text{dia}^{-1}$. A excepción del mes de octubre donde los frutos y flores fueron los de mayor aporte, en todos los meses restantes la mayor contribución fue dada por las hojas (figura 27).

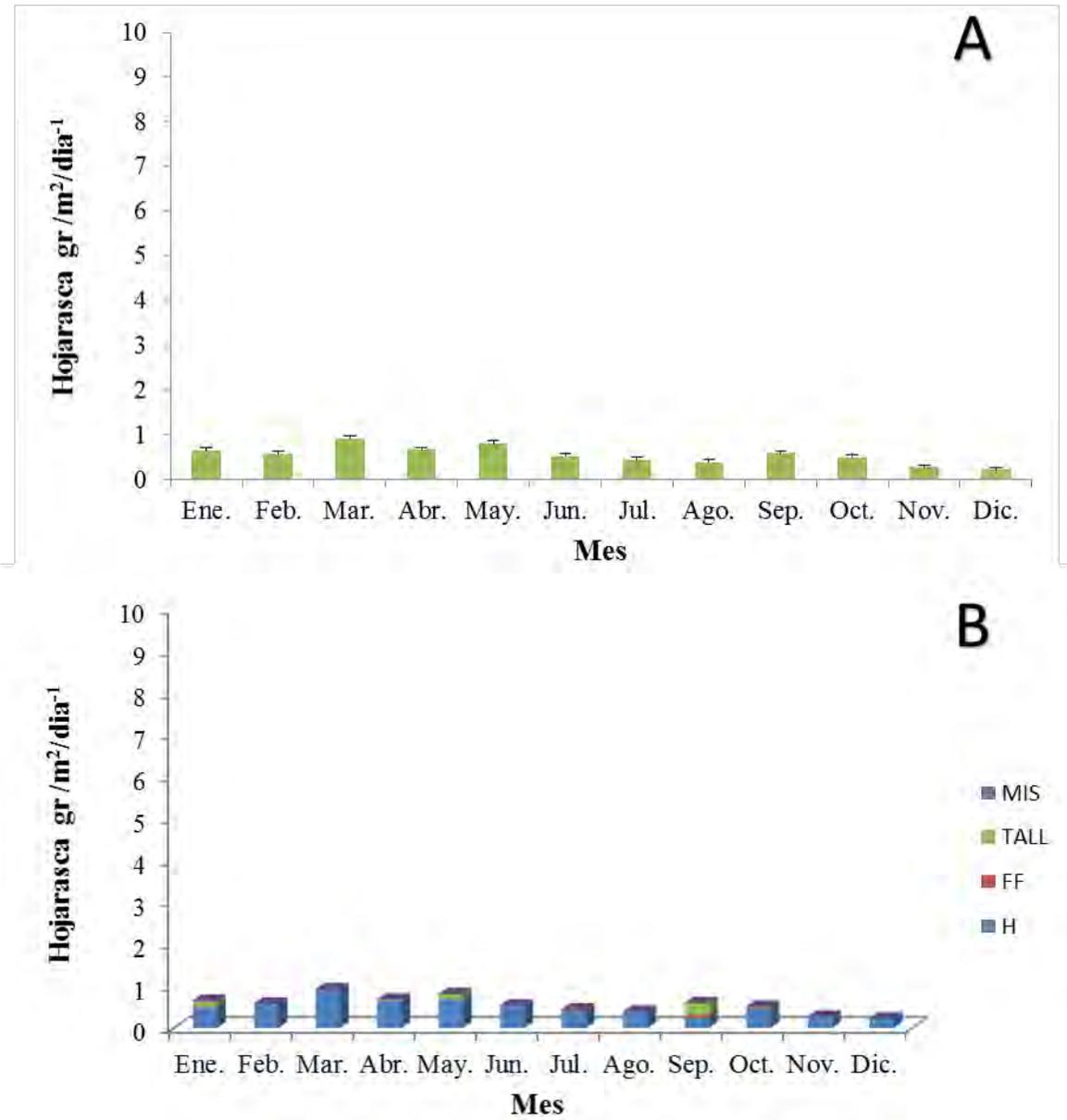


Figura 25. Productividad total (A) y por componente (B) del sitio de Mahahual 3

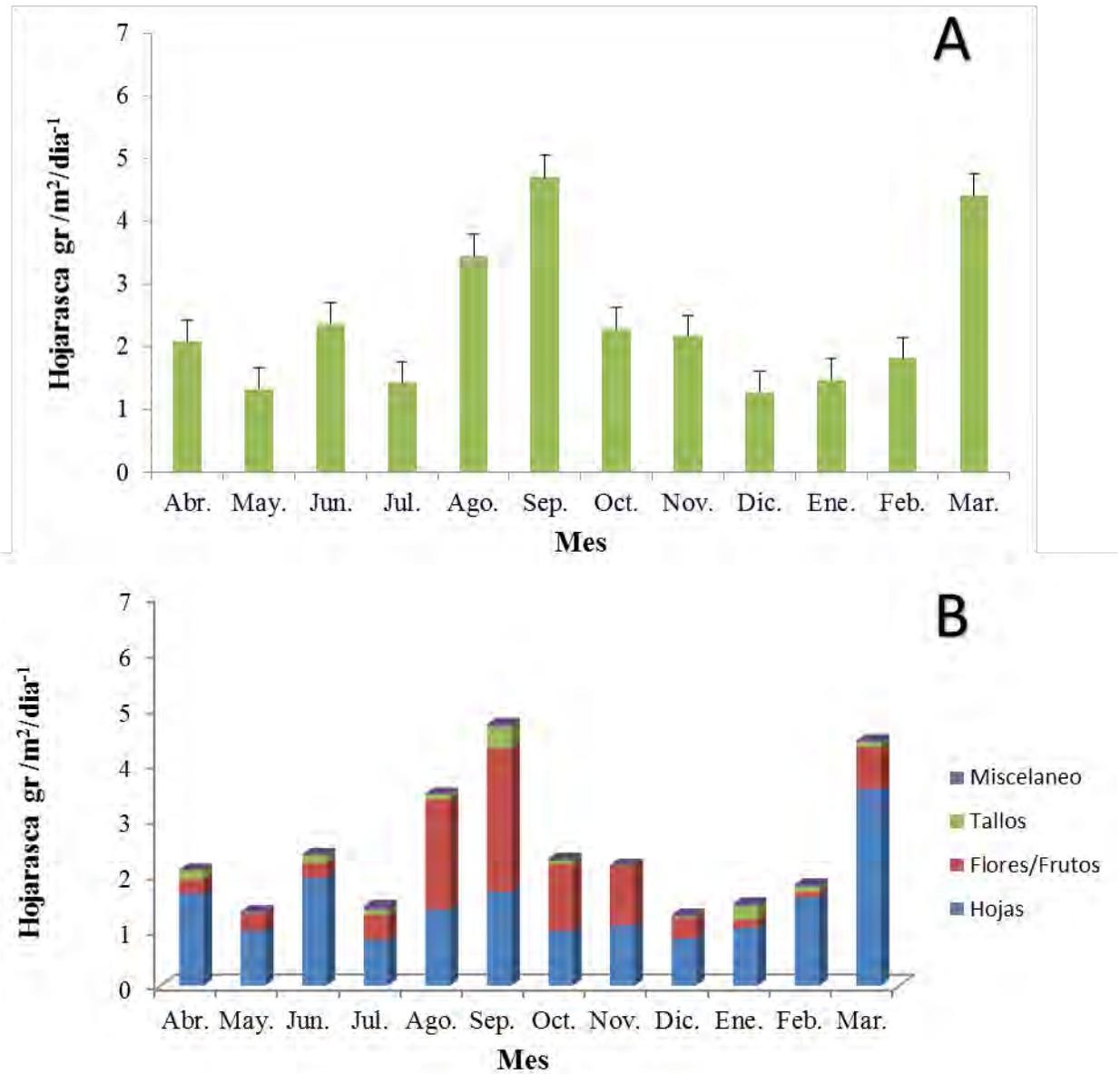


Figura 26. Productividad total (A) y por componente (B) del sitio de Xcalak 1

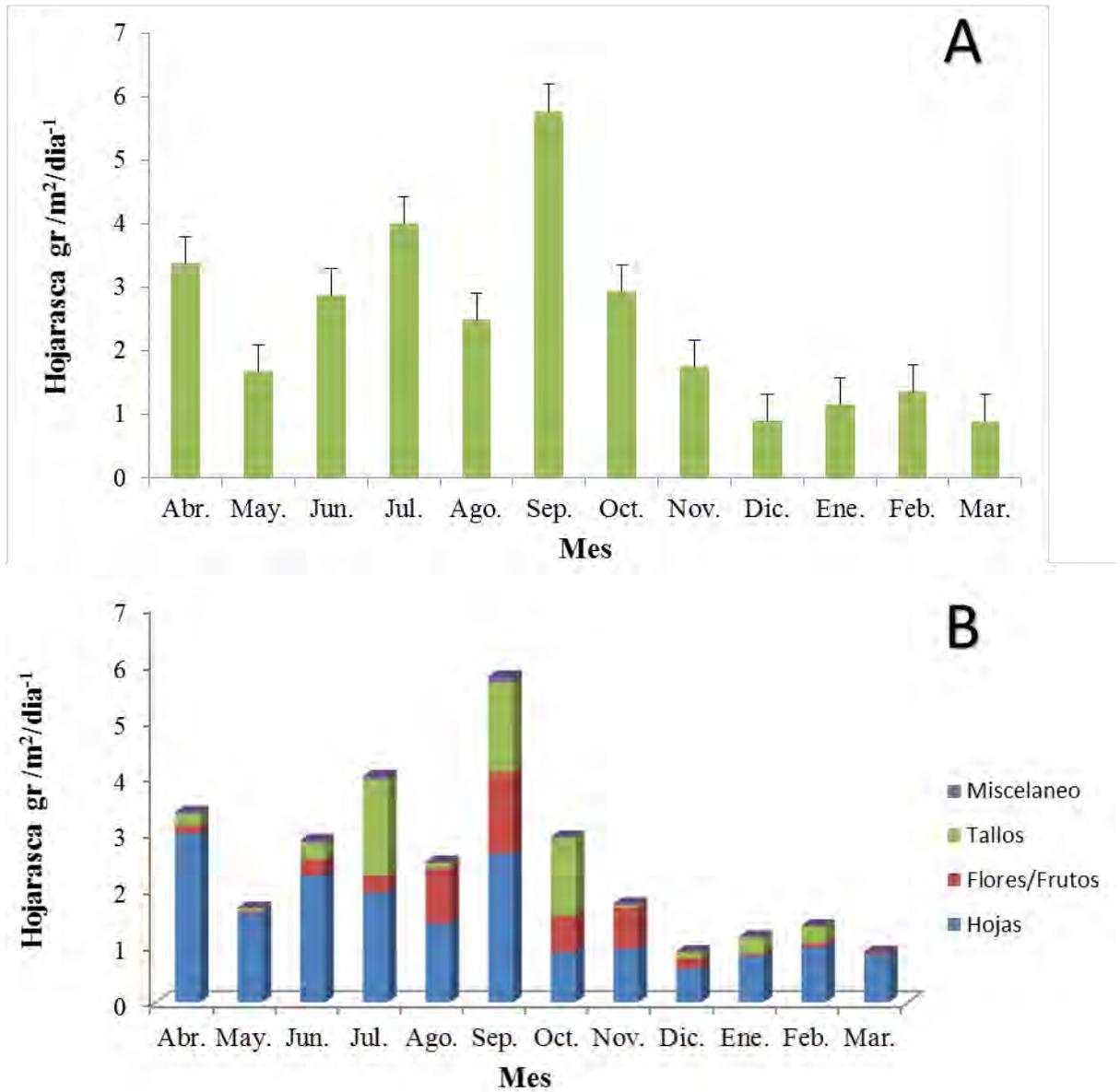


Figura 27. Productividad total (A) y por componente (B) del sitio de Xcalak 2

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para determinar si existen diferencias significativas entre sitios con respecto a la productividad se realizó un análisis de medidas repetidas o ANOVA.

Para el caso de Mahahual de acuerdo con el análisis realizado con el software STATISTICA 8, observamos que Existen diferencias significativas entre las tres medias de los sitios para la variable productividad ($P= 0.000000$), tal como se muestra en la figura 28, por lo que las productividades tiene diferencias marcadas en Mahahual.

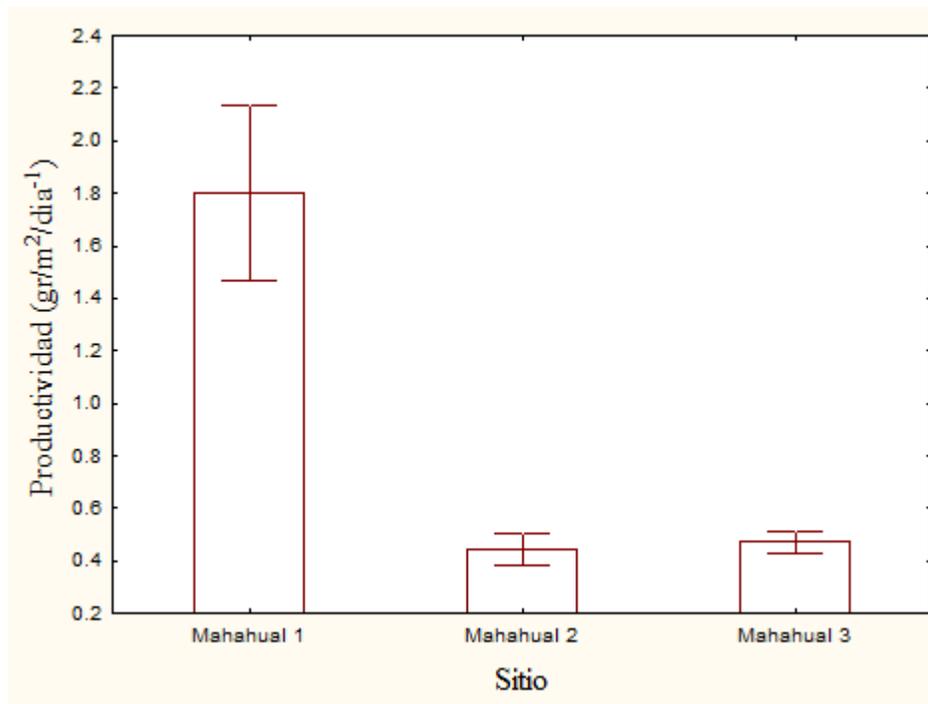


Figura 28. Anova productividad Mahahual

Por otra parte de acuerdo al análisis de los dos sitios de Xcalak, no existen diferencias significativas entre las dos medias de los sitios de Xcalak para la variable productividad ($P= 0.713414$), por lo que la productividad de los sitios de Xcalak es similar.

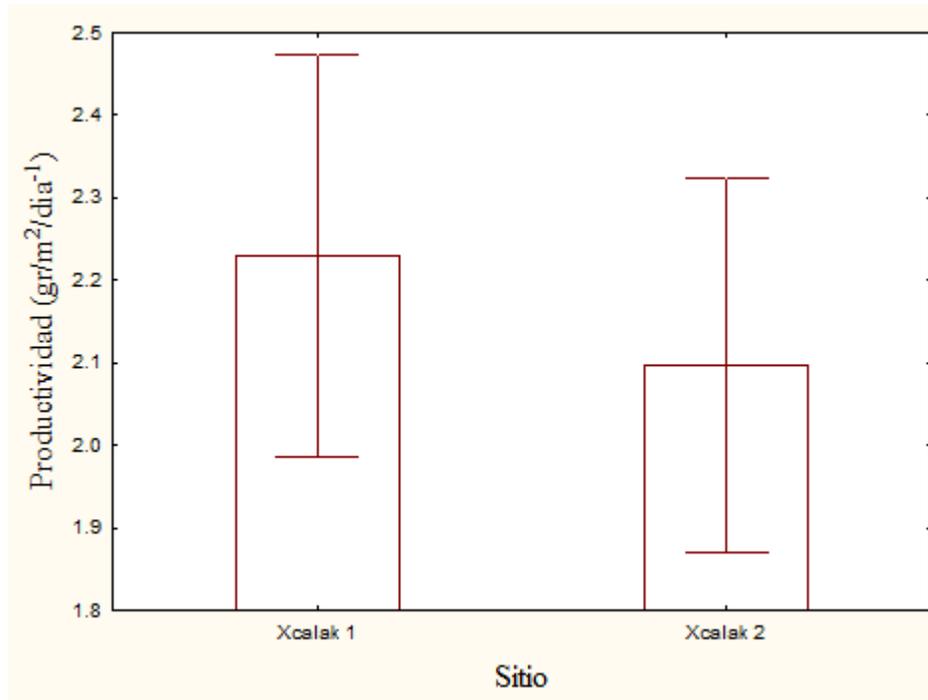


Figura 29. Anova productividad Xcalak

Considerando que se encontró diferencias significativas entre los sitios de Mahahual y no se encontró diferencias significativas en Xcalak, se procedió a realizar una prueba post-hoc entre los 5 sitios de estudio con la finalidad de averiguar que sitios concretos son los que dan lugar a las similitudes y diferencias.

De acuerdo a la tabla 3, en donde valores de p menores a .05000 nos indican una diferencia marcada entre las medias, tenemos que los sitios de Mahahual 1, Xcalak 1 e Xcalak 2, tienen similitudes marcadas, así como los sitios de Mahahual 2 y Mahahual 3 tienen similitudes entre sí, tal como se observa gráficamente en la figura 30, en donde se tienen dos grupos, los sitios A y los sitios B.

Tabla 3. Prueba post-hoc entre los sitios de estudio

Newman-Keuls test; Variable: Productividad Marked differences are significant at p < .05000					
Sitio	Mahahual 1 M=1.7988	Mahahual 2 M=.44286	Mahahual 3 M=.47185	Xcalak 1 M=2.2303	Xcalak 2 M=2.1074
Mahahual 1		0.000024	0.000010	0.266400	0.266820
Mahahual 2	0.000024		0.916904	0.000017	0.000008
Mahahual 3	0.000010	0.916904		0.000008	0.000022
Xcalak 1	0.266400	0.000017	0.000008		0.658229
Xcalak 2	0.266820	0.000008	0.000022	0.658229	

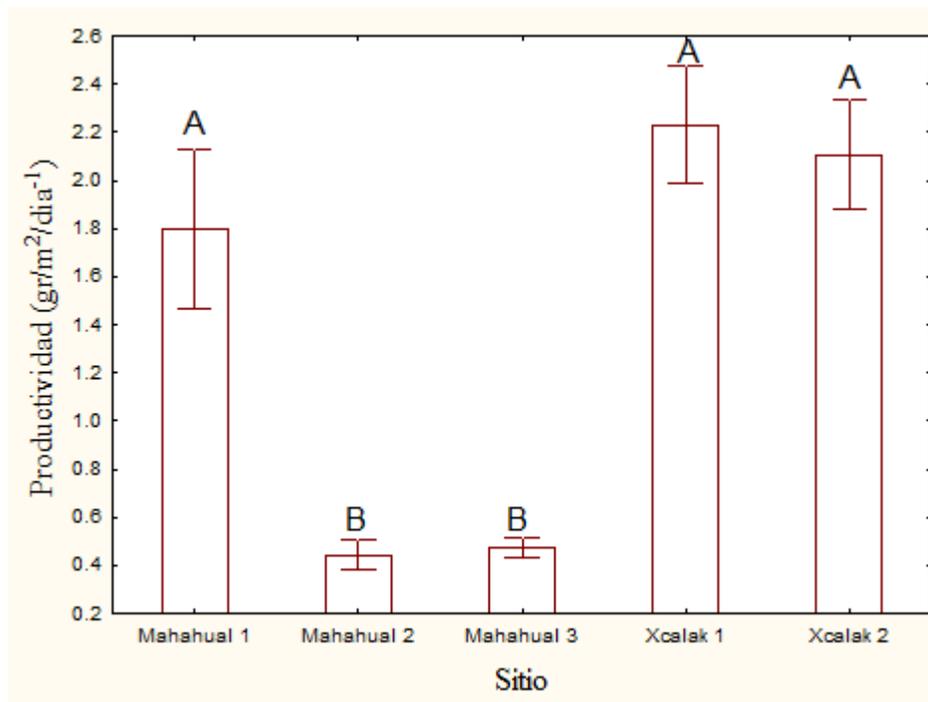


Figura 30. Anova de todos los sitios de estudio

Continuando con el análisis, como medio para determinar la relación entre las variables ambientales, se realizó pruebas de correlación con el software R (en donde los valores de p mayores a 0.500 expresan que existe relación), obteniendo que los resultados de correlación entre la salinidad intersticial, la inundación y la productividad, muestran diferencias en cada uno de los sitios de estudios. En el sitio de Mahahual 1 la salinidad (figura 31) no presentó una correlación con la productividad de hojarasca (valor

$p=0.2881$), mientras que la inundación (figura 32) si mostró una relación con la productividad (valor $p=0.9912$).

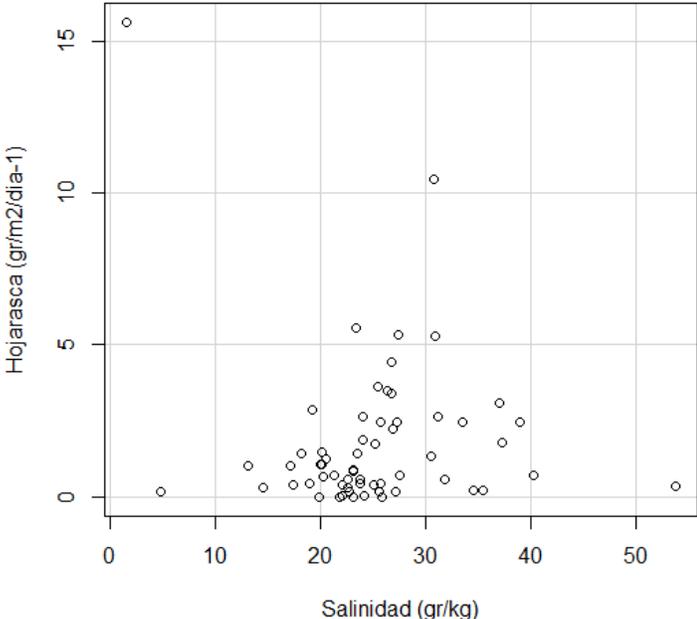


Figura 31. Salinidad vs Hojarasca del sitio Mahahual 1

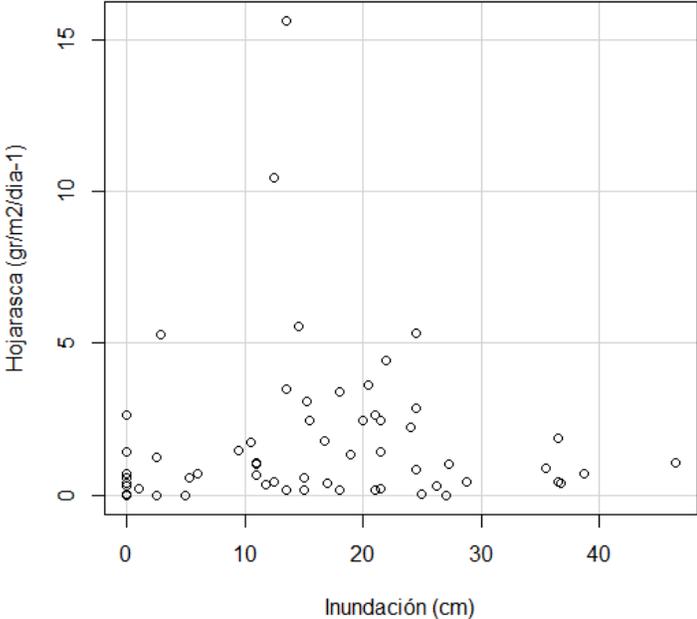


Figura 32. Inundación vs Hojarasca del sitio Mahahual 1

Mahahual 2 presenta una correlación de la producción de hojarasca, tanto con la salinidad (figura 33) (valor $p=0.8526$) como con la inundación (figura 34) (0.9111), lo cual puede explicarse debido a que el desarrollo de la estructura del manglar está ligado a condiciones extremas, por lo que las condiciones que se presenten se expresan en la producción de hojarasca.

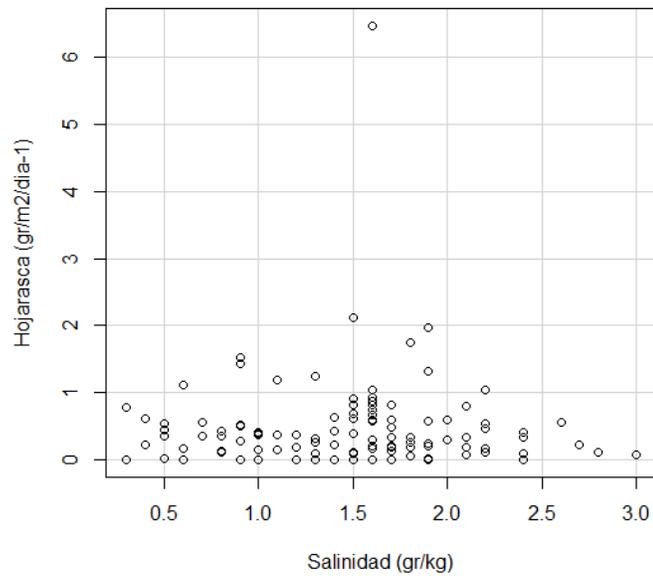


Figura 33. Salinidad vs Hojarasca del sitio Mahahual 2

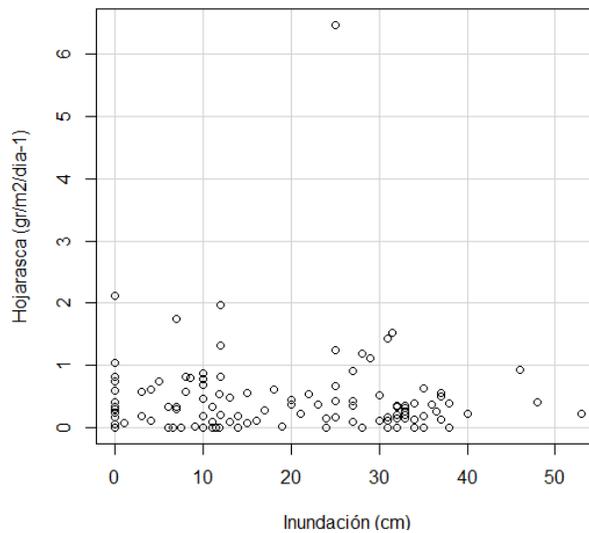


Figura 34. Inundación vs Hojarasca del sitio Mahahual 2

La productividad de Mahahual 3 presenta una correlación con la salinidad (figura 35) intersticial (valor $p=0.9995$), pero no ocurre lo mismo con la inundación (figura 36) (valor $p= 0.0037$).

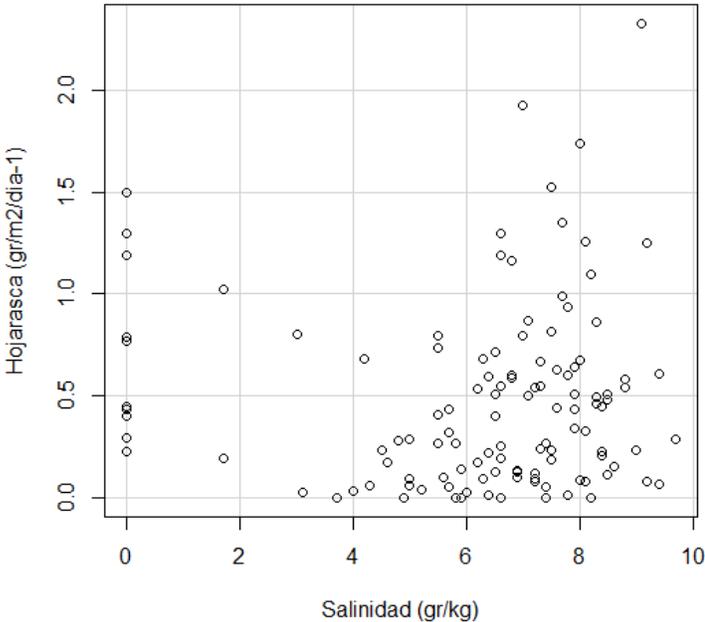


Figura 35. Salinidad vs Hojarasca del sitio Mahahual 3

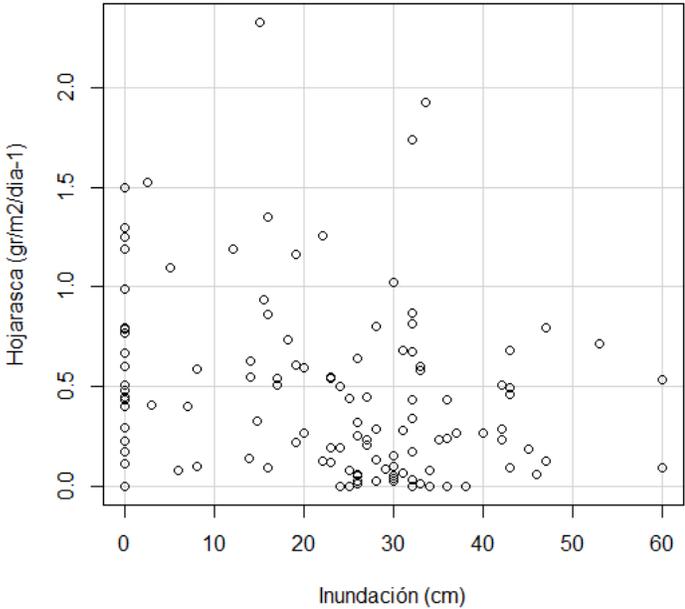


Figura 36. Inundación vs Hojarasca del sitio Mahahual 3

En los dos sitios de Xcalak, la productividad no tiene correlación con la inundación, el sitio de Xcalak 1 muestra correlación entre la salinidad y productividad, lo que no pasa en Xcalak 2. Xcalak 1, salinidad (figura 37) (valor $p=0.5649$), inundación (valor $p=0.3098$) (figura 38); Xcalak 2, salinidad (figura 39) (valor $p=0.2969$), inundación (figura 40) (valor $p=0.2020$).

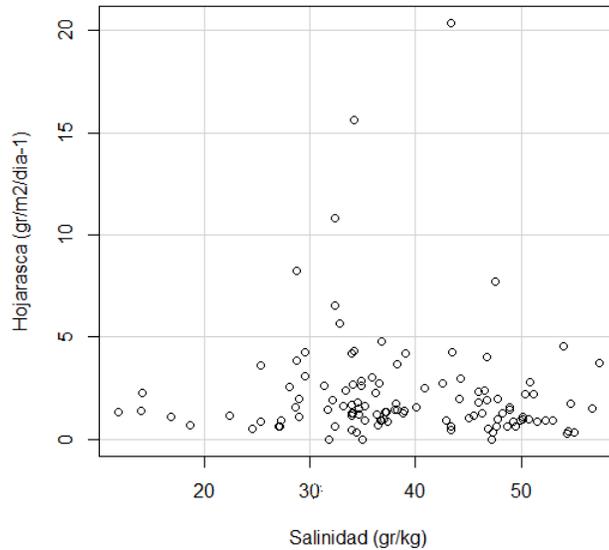


Figura 37. Salinidad vs Hojarasca del sitio Xcalak 1

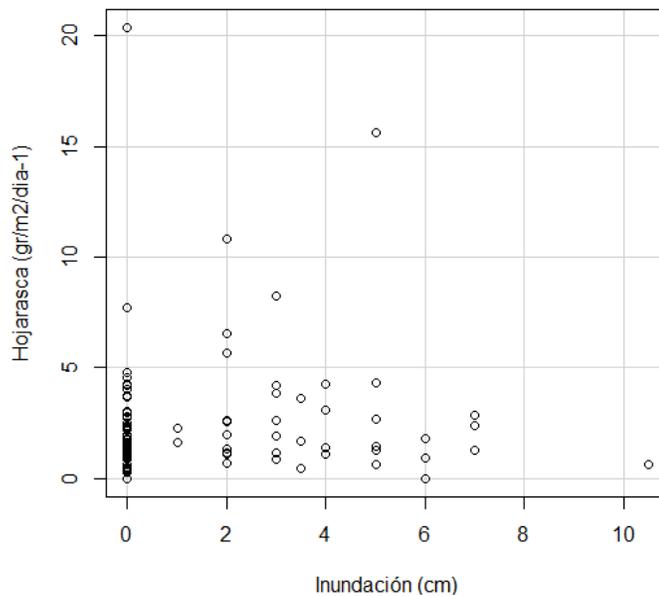


Figura 38. Inundación vs Hojarasca del sitio Xcalak 1

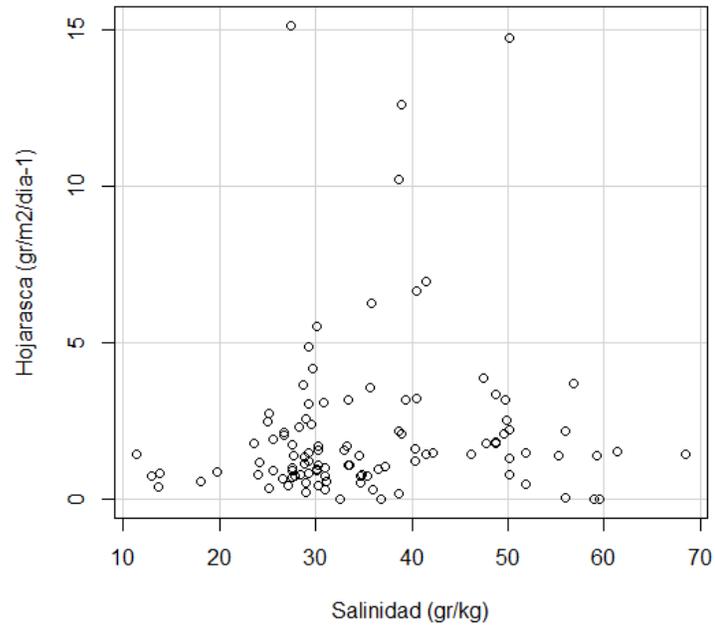


Figura 39. Salinidad vs Hojarasca del sitio Xcalak 2

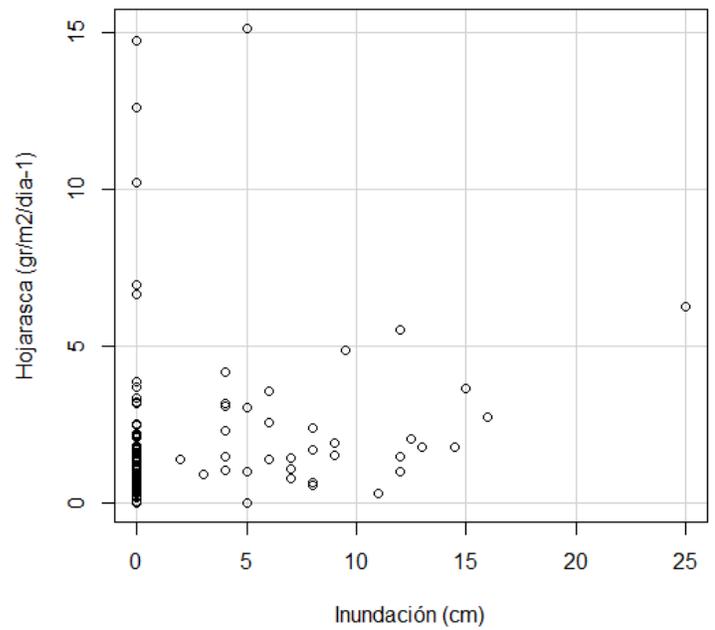


Figura 40. Inundación vs Hojarasca del sitio Xcalak 2

DISCUSIÓN

Se presentaron diferencias significativas entre sitios en la productividad, lo anterior debido a que cada uno de los sitios presenta características únicas y por ende su productividad se ve influenciada de diferente forma por cada uno de los factores ambientales.

En el caso de Mahahual 1 al presentarse en una zona cercana a la laguna arrecifal, la principal variable que controla la productividad es la inundación ya que esta trae consigo nutrientes y mantiene al humedal con un menor grado de estrés salino.

En Mahahual 2, al ser un sitio extremoso con condiciones de inundación en constante flujo, con influencia de agua dulce, además de las condiciones de irradiación solar, se ve afectada la productividad por ambas variables.

Por otra parte Mahahual 3 se ve influenciado por condiciones ambientales en constante cambio, pero en este caso únicamente se ve influenciada la productividad por la salinidad intersticial y no por la inundación, lo cual puede ser justificado al encontrarse más alejado de la costa y de fuentes de agua subterránea de agua dulce.

En el caso de los dos sitios de Xcalak, no se tiene relación entre la salinidad y la inundación con su productividad, en donde el principal factor que influye es la estructura de los 2 sitios y la mayor diversidad de especies de manglar, como es el caso del sitio 1

Las medias de productividad en los sitios de Mahahual muestran diferencias significativas entre sitios a medida que estos se alejan de la costa; Mahahual 1 presenta una media mayor a los otros 2 sitios, mientras que Mahahual 2 y 3 tienen medias muy similares, lo cual se debe a que ambos son manglares tipo chaparro. La PP en Mahahual disminuye al alejarse el sitio de estudio de la costa, siendo que Mahahual 1 presentó la mayor productividad anual con $777 \text{ gr/m}^2/\text{año}^{-1}$; seguido de Mahahual 2 con $249 \text{ gr/m}^2/\text{año}^{-1}$ y por último Mahahual 3 con $198 \text{ gr/m}^2/\text{año}^{-1}$.

El patrón encontrado en la productividad es el mismo que se presenta en la estructura de los tres sitios, siendo Mahahual 1 el que posee los promedios más altos de DAP, Área basal, Altura, e índice de complejidad, por lo que se tiene un sitio con un mayor grado de madurez. La densidad de los árboles es mayor en Mahahual 2, debido a que los mangles de este sitio se encuentran en mejor estado de conservación, a diferencia de Mahahual 1 donde anteriormente fue investido de manera directa por el Huracán Deán, lo que ocasionó pérdida de gran parte de la cobertura de los mangles.

En Xcalak, el sitio con mayor productividad anual es el segundo sitio con 852 gr/m²/año⁻¹, seguido del primer sitio con 807 gr/m²/año⁻¹. Xcalak presenta medias de productividad similar, pero con una distribución de datos mayor en el caso de Xcalak.

Como se puede apreciar en la tabla, el sitio de Mahahual 1 e Xcalak 2 presentan una similitud con los estudios de productividad realizados en manglares tipo franja, tal es el caso de la Laguna de Términos, y de Manglares de Florida.

Los sitios de Mahahual 2 y 3 tienen similitudes con los manglares chaparros de Florida y con los manglares encontrados en estudios realizados en Australia.

Xcalak 1 se encuentra en un rango medio entre los manglares tipo cuenca, por encima de los datos reportados en Términos y por debajo de los de Agua Brava, ambos en México.

Tabla 4. Comparación de la productividad entre diferentes sitios

Sitio	Tipo	Productividad (g m ² ano ⁻¹)
Términos, México ^a	Riverino	3360
Términos, México ^a	Cuenca	404
Términos, México ^a	Franja	793
Teacapán, México ^a	Riverino	1417
Agua Grande, México ^a	Riverino	1263
Agua Brava, México ^a	Cuenca	1417
El Verde, México ^a	Franja	1100

Barra Navidad, México ^a	Franja	1287
Piñones, Para	Riverino	970
Ten Thousand, FL ^a	Riverino	1166
Taylor Ridge, FL ^a	Franja	847
Trout Creek, FL ^a	Franja	836
Victoria, Australia ^b		200
New South Wales, Australia ^b		580
Gulf of Carpentaria, Australia ^b		628
Florida, USA ^b		490
N.T. Australia ^b		745
Andaman Islands, India ^b		850
Puerto Rico ^b		480
Florida, USA ^b		444
Florida, USA ^b	Chaparro	120
Mahahual 1 ^c	Franja	777
Mahahual 2 ^c	Chaparro	249
Mahahual 3 ^c	Chaparro	198
Xcalak 1 ^c	Cuenca	807
Xcalak 2 ^c	Franja	852

^a Zaldivar (2003)

^b Tam (1998)

^c El presente estudio

La estructura se presentó de manera inversa a la productividad, ya que los mayores DAP, Área basal, Altura e índice de complejidad se registraron en Xcalak 1. Los dos sitios de Xcalak presentan una densidad de árboles mayor en comparación con los sitios de Mahahual. De igual forma presentan una mayor productividad anual.

Los sitios de Xcalak, tienen un menor grado de alteración antrópica, además de estar cercanos a escurrimientos constantes de agua dulce y salada, por lo que se infiere que se tienen un mayor flujo de nutrientes que benefician a que se presente una estructura más desarrollada, al presentarse los mayores datos de DAP, altura, densidad, e índice de complejidad de todos los 5 sitios.

De acuerdo a los datos de productividad, los manglares de Mahahual 1, Xcalak 1 y 2 tienen valores correspondientes a aquellos registrados en manglares tipo cuenca (730

gr/m²/año⁻¹); mientras que los registros de Mahahual 2 y 3, coinciden con los datos encontrados en manglares tipo chaparro (120 gr/m²/año⁻¹) (Zaldivar, 2003).

Los resultados de la productividad de Mahahual 1, Xcalak 1 y 2, pueden ser comparados con los resultados obtenidos en los manglares de florida de 800 gr/m²/año⁻¹

CONCLUSIÓN

La productividad es diferente entre Mahahual e Xcalak, teniendo los valores más altos este último. La alta productividad de Xcalak se debe principalmente a la estructura de los sitios y al menor impacto antropogenico que presenta en comparación con los sitios de muestreo de Mahahual. No se tiene la misma influencia de las condiciones climáticas en los sitios, encontrándose una mayor relación entre la estructura del manglar y la productividad, relación de manera positiva.

De acuerdo a los resultados la productividad de las localidades de Xcalak y Mahahual no esta determinada del todo por la salinidad y nivel de inundación, ya que solo en algunos sitios los factores tienen influencia sobre la productividad primaria del manglar, principalmente en Mahahual. Sin embargo se puede afirmar que la estructura es un factor importante en la productividad de los diferentes sitios, ya que los sitios de Xcalak en donde se tiene una estructura más desarrollada es donde se presentó los valores más altos, en contraste con los manglares de Mahahual 2 y 3, donde la productividad se ve mas limitada por el factor de estrés salino.

La estructura que se presentan en Mahahual 2 y Mahahual 3 corresponden a un manglar tipo chaparro bien desarrollado, mientras que la estructura de Mahahual 1, Xcalak 2 corresponde a un manglar tipo franja dominado por *R. mangle*. Mientras que el sitio de Xcalak 1 es propio de un manglar tipo cuenca dominado por *C. erectus*.

Las actividades potenciales que podrían tener éxito en estas áreas para mantener el equilibrio del sistema son el ecoturismo, el pago de servicios ambientales por captura de carbono y refugio de especies comerciales, así como el establecimiento de unidades

para la conservación y aprovechamiento sustentable de la vida silvestre (UMAS). Es necesario destacar que estas actividades requieren de un plan de manejo específico para cada área, en función de las características particulares de las mismas

Por otro lado se concluye que el desarrollo no ha sido sustentable ni equilibrado en Mahahual e Xcalak, ya que se ha tenido una visión limitada de lo que representa el desarrollo sustentable.

Además, los intereses económicos de desarrolladores inmobiliarios se sobreponen a la fragilidad de los ecosistemas, cuando son los mismos atributos de estos ecosistemas los que son aprovechados como mercancía ecológica y deberían ser el patrimonio más cuidado..

No se debe perder de vista que los recursos naturales de los que depende una localidad son dinámicos y trascienden los límites espaciales de la misma.

RECOMENDACIONES

El manglar de la región de costa maya es un ecosistema frágil y de gran impacto antrópico, por lo que se debe tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- La puesta en práctica y evaluación del desarrollo sustentable deben ser por lo menos regional. No se debe subestimar que las políticas e instrumentos de conservación de los ecosistemas son valiosas.
- Es indispensable revisar el modelo de desarrollo turístico, económico, social y urbano implementado.
- Paralelamente, se recomienda invertir esfuerzos en declarar sitios RAMSAR en zonas que incluyan manglares de gran importancia y en un estado de conservación aceptable.

- Se requieren precisar criterios claros para la delimitación de las zonas de manglar y áreas de influencia, así como definir la propiedad o tenencia de estos terrenos.
- Dado que la estructura se ve influenciada por los nutrientes, se recomienda que es necesario realizar estudios sobre la disponibilidad los mismos en el suelo (C, N y P total), sobre todo para determinar la relación C:N:P como indicador de la fertilidad del suelo
- Es muy importantes seguir con el monitoreo ambiental del ecosistema de manglar, evaluación periódica de sus principales características de: densidad, distribución, crecimiento, producción de biomasa, altura de los árboles, características del suelo (composición y salinidad), estado de salud del manglar, evaluación estacional de las condiciones climáticas prevalecientes.
- Además es importante considerar la incorporación de acciones de conservación y restauración del ecosistema de manglar, situación que idealmente debe darse a través del plan de manejo (de corto, mediano y largo plazo).
- Deben cuantificarse o estimarse los valores directos e indirectos que ofrece este ecosistema, lo cual facilitaría la toma de decisiones y la aplicación de sanciones en caso que se requiera.
- Así mismo deben identificarse los actores sociales que usan los recursos del manglar y/o realizan actividades que pueden alterarlo, para brindarles información y capacitación.
- Paralelamente es recomendable establecer un programa de educación ambiental que incorpore a todos los sectores productivos y a todas las generaciones de la zona, con el fin de dar a conocer los bienes y servicios que ofrece el manglar, la importancia de conservarlo y las posibles maneras de aprovecharlo sustentablemente.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

Andino, J; Campos J.J; Villalobos, R; Prins, C; Faustino, J. (2006). Los servicios ambientales desde un enfoque ecosistémico. Una propuesta metodológica para una planificación ecológica rápida de los recursos naturales a escala de paisaje. Departamento de Recursos Naturales y Ambiente, CATIE. Turrialba, CR. 60 pp. (Serie Técnica, Informe Técnico N° 349).

Antolín, A. J. (2006). Litterfall and decomposition of *Rhizophora mangle* L. in a coastal lagoon in the southern Gulf of México. *Hydrobiologia* 559 (2006) pp. 101–111.

Ball, M. C. (1996). Comparative ecophysiology of mangrove forest and tropical lowland moist rainforest. In: Mulkey SS, Chazdon R.L., Smith A.P. (eds) *Tropical forest plant ecophysiology*. Chapman and Hall, New York, pp .461-496.

Barbier, E. B., Acreman, M. C. y Knowler, D. (1997). Valoración económica de los humedales – Guía para decisores y planificadores. Oficina de la Convención de Ramsar, Gland, Suiza.

Bailey, M., Meerman, J., Vazquez, M. y Parish, A. (2007). Rapid assessment of anthropogenic impacts on select transboundary watersheds of the Mesoamerican Barrier Reef System (mbrs) region.

Brower, W. J.; Zar J. H.; Von Ende, C. N. (1990). *Field and laboratory methods for general ecology*. Tercera edición. Dubuque, IA., EE.UU.

Clark, D. A. S. (2001). *Measuring Net Primary Production in Forest: concepts and field methods*. Ecological Applications.

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

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2009). Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica. CONABIO, México D.F.

Contreras-Espinosa F , Warner BG (2004) Ecosystem characteristics and management considerations for coastal wetlands in Mexico. *Hydrobiologia* 511:233–245

Datlabout, G. M.; Cisneros, R. H. B.; Valenzuela, V. E. (2007). Globalización y sustentabilidad. El turismo en el sur de Quintana Roo. Cuernavaca: UNAM, Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias. ISBN: 970-32-4061-5

Day, J.W.Jr., W.H. Conner, R.H. Day, y F. Ley-Lou. (1987). Productivity and decomposition of mangrove forests, Laguna de Terminos, México. *Aquatic Botany* 22:267-284.

Day, J.W. Jr.; W.H. Conner; F. Ley-Lou, R.H. Day y A. Machado. (1988). Productivity and composition of mangrove forests at Boca Chica and Estero Pargo. In: Yáñez A., A. y J.D. Day, Jr., eds. *Ecology of Coastal Ecosystems in the Southern Gulf of Mexico: The Terminos Lagoon Region*. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México - Coastal Ecology Institute, Louisiana State University. Editorial Universitaria, México, D.F. pp. 237-258.

Ellison MA, Fearnsworth JE. (1996). Anthropogenic disturbance of Caribbean mangrove ecosystems: Past impacts, present trends, and future predictions. *Biotropica* 28: 549–565.

Escobar, E.; Mass M. et al. (2008). Diversidad de procesos funcionales en los ecosistemas, en *Capital natural de México*, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Conabio, México.

Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, (2005). *Los Ecosistemas y el Bienestar Humano: Humedales y Agua*. Informe de Síntesis World Resources Institute, Washington, DC.

Fabbri, Karen P. (1998). A methodology for supporting decision making in integrated coastal zone management. En *Ocean & Coastal Management*. pp. 51—62.

Field C. (1995). Rationale for Restoration of Mangrove Ecosystems in Restoration of Mangrove systems. The international tropical timber organisation in the International Society for Mangrove Ecosystem. pp. 28-35

Field, C.D. (1998) Rehabilitation of mangrove ecosystems: an overview. *Marine Pollution Bulletin* 37: 383–392.

Flores V., F.J.; J.W. Day, Jr. y R. Briseño D. (1987). Structure, litter fall, decomposition, and detritus dynamics of mangroves in a Mexican coastal lagoon with an ephemeral inlet. *Marine Ecology - Progress Series* 35:83-90.

Google Earth, versión 5.1

Hernández, C.T. y G.D. Espino. (1999). Ecology, production and use of mangrove, *Conocarpus erectus* L., in Barra de Tecoanapa (Guerrero, Mexico). *Biotropica* 31(1):121-134.

Hernández, I M; Santa Regina, I., Gallardo, J. F (1992). Dinamica de la descomposición de la hojarasca forestal en bosques de la cuenca del Duero: modelización de la pérdida de peso.

Herrera, S., J., Teutli, H.C., Zaldívar, J.A., Alvarado, E., Caamal-Sosa, M. O.S. (2009). Programa regional para la caracterización y el monitoreo de ecosistemas de manglar del Golfo de México y El Caribe Mexicano: Inicio de una red Multi-institucional. Península de Yucatán. CINVESTAV-ECOPEY/CONABIO, FB1207-N009/08. Segundo informe parcial.

Hirales, C., M Espinoza-Avalos, J; Schmook, B; Ruiz-Luna, A; Ramos-Reyes, R. (2010). Drivers of mangrove deforestation in Mahahual-Xcalak, Quintana Roo, southeast Mexico. *Ciencias Marinas*, Sin mes, 147-159.

Hirales, C. M. (2008). La Iniciativa sobre la Biodiversidad en Centroamerica. Colegio de la Frontera Sur. Informe final.

Huber, A. ; Schlatter, E. J.; Oyarzun C. (1986). Aporte en elementos nutritivos por la hojarasca de un bosque adulto de *Pinus radiata*. Proyectos RS-83-28 y RS-84-14 de la Dirección de Investigación y Desarrollo. Universidad Austral de Chile.

INEGI (2005). Recuperado el 16 de junio de 2010, de <http://www.inegi.org.mx/sistemas/iter2005/>

Ingelstam, L. (1987). La planificación del desarrollo a largo plazo: notas sobre su esencia y metodología.

Jiménez, J. A. (1994). Los manglares del pacífico centroamericano. Universidad Nacional, Instituto Nacional de Biodiversidad y Fundación UNA. Heredia, Costa Rica. 336 p.

Kathiresan, K. y Bingham, M., (2001). Biology of mangroves and mangrove ecosystems. *Advances in Marine Biology* 40: pp. 81-151.

Lema V. L. F.; Polanía J. (2007). Estructura y dinámica del manglar del delta del río Ranchería, Caribe colombiano. *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744)* Vol. 55 (1): 11-21.

Loa Loza, E. (1994). Los manglares de Mexico: Sinopsis general para su manejo. In D. O. Suman (Ed.), *El ecosistema de manglar en America Latina y la cuenca del Caribe: su manejo y conservacion* (pp. 144-151). Miami: Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science, University of Miami and The Tinker Foundation.

López Portillo, J. y E. Ezcurra. (1985). Litter fall of *Avicennia germinans* L. in a one-year cycle in a mudflat at the Laguna de Mecoacán, Tabasco, Mexico. *Biotropica* 17(3):186-190.

Mackey, A.P. and Samail, G. (1995). Sapatial and temporal varition in litter fall of *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh. In the Brisbane River, Queensland, australia. *Aquatic Bot.*, 52: 133-142.

McKee, K. L. (1995). Mangrove species distribution and propagule predation in Belize: an exception to the dominance-predation hypotesis. *Biotropica* 27 (3): 334-345.

Magurran, A. E. (1988). *Diversidad ecológica y su medición*. Ediciones Vedral. 200 pp.

Margalef, R. (1980). *Ecología*. Ediciones Omega, Barcelona, España.

Morán, M; Campos, J.J; Louman, B. (2006). *Uso de principios, criterios e indicadores para monitorear y evaluar las acciones en el manejo de los recursos naturales*. Departamento de Recursos Naturales y Ambiente, CATIE. Turrialba, CR. 74 pp.

Moreno-Casasola P. y B. Warner. Eds. (2009). *Breviario para describir, observar y manejar humedales*. Serie Costa Sustentable no 1. RAMSAR, Instituto de Ecología A.C., CONANP, US Fish and Wildlife Service, US State Department. Xalapa, Ver. México. 406 pp.

Müller, S. (1996). *¿Cómo medir la sostenibilidad? Una propuesta para el área de la agricultura y de los recursos naturales*.

Navarrete, A. D.; Oliva, R. J. J. (2002). *Litter Production of Rhizophora mangle at Bacalar Chico, Southern Quintana Roo, México*. *Universidad y Ciencia* , 18 (36).

Ovalles, F. A. (2006). *Manejo Sustentable de los Recursos Naturales en América Latina y el Caribe: Oportunidades y Desafíos de Investigación y Desarrollo Tecnológico para la Cooperación*. Maracaibo, venezuela

Pozo, C., Armijo Canto, N. y Calmé, S. (editoras). (2011). *Riqueza Biológica de Quintana Roo. Un análisis para su conservación, Tomo I. El Colegio de la Frontera Sur (Ecosur), Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio), Gobierno del Estado de Quintana Roo y Programa de Pequeñas Donaciones (ppd)*. México, D. F.

Ramírez, O.M. (1987). Producción de hojarasca y metabolismo estuarino en un ecosistema de manglar en la Laguna de Agua Brava, Nayarit. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 110 pp.

Ramsar , (2007). Uso racional de los humedales: Marco conceptual para el uso racional de los humedales. Manuales Ramsar para el uso racional de los humedales, 3ª edición, vol. 1. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza).

Rico G., V. (1979). El manglar de la Laguna de La Mancha, Ver. Estructura y productividad neta. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 32 pp.

Rico G., V. y A. Lot H. (1983). Producción de hojarasca del manglar de la Laguna de la Mancha, Veracruz, México. *Biótica* 8(3):295-302.

Rivera-Monroy, Victor H., Twilley, Robert R., Bone, David, Childers, Daniel L., Coronado-Molina, Carlos, Feller, Ilka C., Herrera-Silveira, Jorge, Jaffe, Rudolf, Mancera, Ernesto, Rejmankova, Eliska, Salisbury, Joseph E., And Weil, Ernesto. *BioScience*, Vol. 54, No. 9, pp. 843-856

Sánchez, C. S. (2007). Acumulación y descomposición de la hojarasca en un pastizal de *Panicum maximum* Jacq. y en un sistema silvopastoril de *P. maximum* y *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. Tesis de doctorado. Depto. de Pastos y Forrajes. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba.

Sanjurjo Rivera, E., & Welsh Casas, S. (2005). Una descripción de los bienes y servicios ambientales prestados por los manglares. (Instituto Nacional de Ecología, Ed.) *Gaceta Ecológica* (074), 55-78

Scott, D.A. (1989). Design of Wetland Data Sheet for Database on Ramsar Sites. Informe mimeografiado para la Oficina de la Convención de Ramsar, Gland, Suiza. 41 pp.

Smith III, T. J. (1992). Forest Structure. In A. I. Robertson y D. M. Alongi (eds.), Tropical mangrove ecosystems. American Geophysical Union, Washington D. C. pp. 101-136.

Spalding, M., F. Blasco & C. Field, (1997). World Mangrove Atlas. The International Society for Mangrove Ecosystems, Okinawa, Japan. 178 pp.

Tam, N.F.Y. (1998). Litter production and decomposition in a subtropical mangrove swamp receiving wastewater. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. pp. 3-4.

Teutli, H. C. (2008). Regeneración de zonas de manglar bajo diferentes regímenes hidrológicos en sistemas cársticos-carbonatados. Tesis de maestría. Depto. de Recursos del Mar. CINVESTAV-IPN, Unidad Mérida. Yucatán, México.

Thom, B.G. (1967). Mangrove Ecology and Deltaic geomorphology Tabasco, México. *Journal of ecology*. 55: 301-343.

Tobilla, C. y E. Orihuela. (2002). Floración, establecimiento de propágulos y supervivencia de *Rhizophora mangle* L. en el manglar de Barra de Tecoaapa, Guerrero, México. *Madera y Bosques*. Número especial: pp. 89-102.

Tomlinson, P. B. (1986). The botany of mangroves. Cambridge University Press, Cambridge.

Tovilla Hernández, C. (1994). Manglares. *Lagunas Costeras y el Litoral Mexicano*, pp. 371-417.

Tovilla, H. C. (1998). Ecología de los Bosques de manglar y Algunos Aspectos Socioeconómicos de la Zona Costera de Barra de Tecoaapa Guerrero, México. Tesis Doctoral, Div. estudios de Postgrado, Facultad de Ciencias, UNAM, 365 pp.

Tovilla, H. C. y De La Lanza, E. G. (1999) Ecología, producción y aprovechamiento del mangle *Conocarpus erectus* L., en la Barra de Tecoaapa Guerrero, México. *Biotropica* 31(1) 121-134.

Twilley, R., A. Lugo, y C. Patterson-Zucca. (1986). Litter production and turnover in basin mangrove forests in southwest Florida. *Ecology* 67(3): 670-683.

Twilley, R.R. (1988). Coupling of mangroves to the productivity of estuarine and coastal waters. In: Jansson, B.O. (ed.), *Coastal-Offshore Ecosystem Interactions*. Springer-Verlag, Berlin.

Twilley, R. R. (1995). Properties of mangrove ecosystems in relation to the energy signature of coastal environments. En: C. A. S. May. (ed) *Maximum power*. University of Columbia Press, Niwot, Colorado, pp. 43 - 62.

Twilley, R. R. (1997). Litter dynamics in riverine mangrove forests in the Guayas River estuary, Ecuador. En *Oecologia*. pp. 109-122.

Twilley, R. R. (1998). Adapting an Ecological Mangrove Model to Simulate Trajectories in Restoration Ecology. *Marine Pollution Bulletin* Vol. 37, Nos. 8-12, pp. 404-419.

UNEP-WCMC. (2006). In the front line: Shoreline protection and other ecosystem services from mangroves and coral reefs. The United Nations Environment Programme World Conservation Monitoring Centre, Cambridge, UK, 33 pp.

Uribe Pérez, J., & Urrego Giraldo, L. E. (2009). Gestión ambiental de los ecosistemas de manglar. *Gestión y Ambiente* , 12 (2), 57-72.

Valiela I, Bowen JL, York JK. (2001). Mangrove forests: One of the World's threatened major tropical environments. *BioScience* 51: 807–815.

Vidal-Zepeda R. (2005). Región 11, Península de Yucatán. In: Vidal-Zepeda R (eds.), *Las Regiones Climáticas de México*. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México DF, pp. 189–210.

Woodrofe, C.D. (1992). Mangrove sediments and geomorphology. In: Robertson A.I. and Alongi D.M., (eds), *Tropical mangrove ecosystems*. American Geophysical Union, Washington, D.C.

World Commission on Environment and Development (WCED) (1987).

Yañez-Arancibia, A.; Zarate-Lomeli, D.Rojas-Galaviz, J. y Villaloboszapata, G. (1994). Estudio de Declaratoria como Área Ecológica de Protección de Flora y Fauna Silvestre de la laguna de Términos, Campeche. En: D.O. Suman. (Ed). El Ecosistema de manglar en América Latina y la cuenca del Caribe: Su Manejo y Conservación. (p. 191). New York. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. University of Miami,Florida y The Tinker Foundation.

Zaldivar, J. A. (2003). Cambios en los patrones de estructura y productividad en manglares sometidos a gradientes ambientales en una laguna costera cárstica en la Península de Yucatán (SE, México). Tesis de maestría. Depto. de Recursos del Mar. CINVESTAV-IPN, Unidad Mérida. Yucatán, México.