

Informe final* del Proyecto FN009

Programa regional para la caracterización y el monitoreo de ecosistemas de manglar del Golfo de México y Caribe Mexicano: Península de Yucatán

Responsable: Dr. Jorge Alfredo Herrera Silveira
Institución: Centro de Investigación y de Estudios Avanzados-Mérida
Departamento de Recursos del Mar
Dirección: Carretera Antigua a Progreso Km 6, Cordemex, Mérida, Yuc, 97310, México.
Correo electrónico: jherrera@mda.cinvestav.mx
Teléfono, fax Tel: (999) 942 9462 Fax: (999) 9812334
Fecha de inicio: Julio 31, 2008
Fecha de término: Abril 1, 2014
Principales resultados: Informe final, hoja de cálculo, fotografías,
Forma de citar el informe final y otros resultados:** Herrera-Silveira, J. A., Teutli-Hernández. C., Zaldívar-Jiménez, A., Pérez-Ceballos, R., Cortés-Balán, O., Osorio-Moreno, I., Ramírez-Ramírez, J., Caamal-Sosa, J., Andueza-Briceño, M. T., Torres, R. y H. Hernández-Aranda 2014. Programa regional para la caracterización y el monitoreo de ecosistemas de manglar del Golfo de México y Caribe Mexicano: Península de Yucatán. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados-Mérida. **Informe final SNIB-CONABIO, proyecto No. FN009.** México D. F.

Resumen:

En respuesta a la convocatoria para el seguimiento de manglares emitida por CONABIO, se propuso un proyecto de monitoreo de humedales de manglar en tres regiones del Golfo de México y del Caribe. Este informe corresponde a la Península de Yucatán (PY), en la cual se caracterizaron 22 sitios distribuidos en las localidades de: Celestún, Sisal, Progreso, Dzilam, Rio Lagartos, Nichupte, Puerto Morelos, Sian Ka'an, Xcalak y Chetumal. Estas localidades presentan diferentes condiciones ambientales y amenazas. En este informe se incluye una fase de caracterización y otra de monitoreo, las variables contempladas en cada fase son: hidrología, variables fisicoquímicas de sedimentos y vegetación. Para este trabajo las variables claves en la caracterización son: nivel de inundación, salinidad intersticial, potencial Redox, relación nitrógeno, fosforo (NT:PT) de los sedimentos. De las variables de vegetación destacan el área basal, la altura promedio y su relación. El diseño de monitoreo para este proyecto fue de acuerdo al marco conceptual de la Red Mexicana de Investigación Ecológica a Largo Plazo (Red Mex-LTER), y se llevó a cabo durante 3 años. De acuerdo a los resultados se observó que las variables fundamentales en programas de monitoreo para llegar a modelos predictivos en ecosistemas de manglar de acuerdo a sus amenazas naturales y antrópicas son: hidroperíodo (frecuencia, nivel y tiempo de inundación), salinidad intersticial, relación nitrógeno:fosforo (NT:PT) y potencial Redox en sedimentos, cambios en la vegetación tales como la relación área basal y la altura, cambios de la especie dominante, densidad total de árboles adultos, productividad de hojarasca y cambios en la elevación del terreno. Los resultados muestran que los manglares de la PY son muy heterogéneos espacialmente en lo que se refiere a la estructura de la vegetación, esto debido a la combinación de factores relacionados con el origen del sedimento, la hidrología subterránea, el clima, el hidroperíodo local, y el tipo e intensidad de las amenazas e impactos. Se sugiere que los sitios de manglar sean analizados a través de un mayor número de parcelas pero de menor tamaño para poder capturar la variabilidad de paisaje observado. Los manglares de esta región de México están amenazados por cambios de usos del suelo relacionados con la infraestructura turística, construcción de carreteras que obstruyen el flujo de agua superficial y eventos naturales tales como huracanes, con lo cual su conectividad con otros ecosistemas esta impactada (Puerto Morelos, Progreso, Sisal, Sian Ka'an) o seriamente amenazada (Dzilam, Nichupte). En cada sitio se requiere implementar una estrategia de manejo específica para conservar y/o restaurar los ecosistemas de manglar.

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



CINVESTAV-IPN
Unidad Mérida



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. PENINSULA DE YUCATÁN.

INFORME FINAL
Noviembre 2013

Participantes:

Dr. Jorge A. Herrera Silveira (Coordinador)
M. en C. Arturo Zaldívar Jiménez
M. en C. Claudia Teutli Hernández
Dra. Rosela Pérez Ceballos
M. en C. Octavio Cortés Balán
M. en C. Ileana Osorio Moreno
Biol. Javier Ramírez Ramírez
Biól. Juan Caamal Sosa
Biól. Ma. Teresa Andueza Briceño
Dr. Ricardo Torres Lara
Dr. Héctor Hernández Aranda
Biól. Haydée López-Adame

CONTENIDO

Introducción	1
Antecedentes	2
Justificación	5
Área de Estudio	6
Objetivo General	20
Objetivos Particulares	20
Material y Métodos	20
I.- Fase de caracterización	21
1- Hidrogeoquímica: Salinidad intersticial, pH, Redox, variables de los sedimentos .	21
2- Ecología: Diámetro a la altura de pecho. Área basal, densidad, altura, Índice de complejidad, Índice de valor de importancia, densidad de plántulas y juveniles	22
3- Geomorfología: Cobertura agua/cobertura manglar, salinidad del cuerpo de agua, marea/nivel de agua, aporte de agua dulce	25
II.- Fase de Monitoreo	27
1- Monitoreo sobre clima	27
2- Monitoreo sobre características del substrato (suelo/agua)	28
3- Monitoreo del Hidroperíodo	28
4- Monitoreo de vulnerabilidad al Incremento de Nivel Medio del Mar (INMM)	29
5- Monitoreo de Productividad Primaria	31
6- Microtopografía	32
I.- Resultados de la caracterización biológica y ambiental	33
I.1.- Estructura de Árboles Adultos	33
I.2.- Regeneración	44
I.- Caracterización: hidrología	52
I.3.- Salinidad Intersticial	52
I.4.- Potencial Redox y pH	58
I.5.- Densidad Aparente y Materia Orgánica	64
I.6.- Nutrientes en Sedimentos	74
I.7.- Análisis entre Localidades	84
I.8.- Análisis de la condición del Manglar	98
I.9.- Vulnerabilidad de los manglares	108

I.10.- Variaciones entre años: estructura de árboles adultos	112
I.- Variables físicas y químicas del sedimento	122
I.11.- Salinidad Intersticial	122
I.12.- Potencial Redox y pH	132
I.13.- Densidad aparente y materia orgánica	143
I.14.- Nutrientes en sedimentos: Nitrógeno Total (NT), Fosforo total (PT) y Carbono Total (CT)	154
II. Resultados de la fase de monitoreo	165
II.1.- Clima: precipitación y temperatura ambiental	165
II.2.- Salinidad intersticial	176
II.3.- pH y potencial Redox	187
II.4.- Hidroperíodo	191
II.5.- Vulnerabilidad al incremento de nivel medio del mar (INMM)	203
Monitoreo ecológico	207
II.6.- Productividad de troncos	207
II.7.- Productividad de hojarasca	208
II.8.- Producción de raíces finas	219
II.9.- Microtopografía	231
Conclusiones	243
Sugerencias para la continuidad del programa de monitoreo	244
Referencias	245

Lista de Figuras

Figura 1. Área de Estudio, que incluye localidades en los estados de Yucatán y Quintana Roo.	18
Figura 2. Diseño de parcelas para juveniles y plántulas.	24

Figura I.1.1. Variables estructurales de la localidad de Celestún. <i>Avicennia germinans</i> (A), <i>Laguncularia racemosa</i> (L), <i>Rhizophora mangle</i> (R).	34
Figura I.1.2. Variables estructurales de la localidad de Sisal. <i>Avicennia germinans</i> (A), <i>Laguncularia racemosa</i> (L), <i>Rhizophora mangle</i> (R).	35
Figura I.1.3. Variables estructurales de la localidad de Progreso. <i>Avicennia germinans</i> (A), <i>Laguncularia racemosa</i> (L), <i>Rhizophora mangle</i> (R).	36
Figura I.1.4. Características estructurales de la localidad de Dzilam. <i>Avicennia germinans</i> (A), <i>Laguncularia racemosa</i> (L), <i>Rhizophora mangle</i> (R), <i>Conocarpus erectus</i> (C).	37
Figura I.1.5. Variables estructurales de la localidad de Río Lagartos. <i>Avicennia germinans</i> (A), <i>Laguncularia racemosa</i> (L), <i>Rhizophora mangle</i> (R).	38
Figura I.1.6. Variables estructurales de la localidad de Cancún. <i>Rhizophora mangle</i> (R).	39
Figura I.1.7. Variables estructurales de la localidad de Puerto Morelos. <i>Avicennia germinans</i> (A), <i>Laguncularia racemosa</i> (L), <i>Conocarpus erectus</i> (C).	40
Figura I.1.8. Variables estructurales de la localidad de Sian Ka'an. <i>Rhizophora mangle</i> (R).	41
Figura I.1.9. Variables estructurales de la localidad de Xcalak. <i>Rhizophora mangle</i> (R).	42
Figura I.1.10 Variables estructurales de la localidad de Chetumal. <i>Avicennia germinans</i> (A), <i>Laguncularia racemosa</i> (L), <i>Rhizophora mangle</i> (R), <i>Conocarpus erectus</i> (C), <i>Pachira sp</i> (P), especie no identificada (Sp 1).	43
Figura I.2.1. Densidad de Plántulas y Juveniles en la localidad de Celestún.	44
Figura I.2.2. Densidad de Plántulas y Juveniles en la localidad de Sisal.	45
Figura I.2.3. Densidad de Plántulas y Juveniles en la localidad de Progreso.	46
Figura I.2.4. Densidad de Plántulas y juveniles de la localidad de Dzilam.	47
Figura I.2.5. Densidad de plántulas de manglar en la localidad de Río Lagartos.	48
Figura I.2.6. Densidad de plántulas de manglar en la localidad de Cancún.	48
Figura I.2.7. Densidad de Plántulas y juveniles de la localidad de Puerto Morelos.	49
Figura I.2.8. Densidad de Plántulas y Juveniles en la localidad de Sian Ka'an.	50
Figura I.2.9. Densidad de plántulas de la localidad de Xcalak.	51
Figura I.2.10. Densidad de plántulas y juveniles de manglar en la localidad de Chetumal.	51
Figura I.3.1. Salinidad intersticial de los tres sitios de la localidad de Celestún.	52
Figura I.3.2. Salinidad intersticial de los 2 sitios de la localidad de Sisal.	53
Figura I.3.3. Salinidad intersticial de los 3 sitios de la localidad de Progreso.	53
Figura I.3.4. Salinidad Intersticial se los 2 sitios de la localidad de Dzilam.	54
Figura I.3.5. Salinidad intersticial de la localidad de Río Lagartos.	54
Figura I.3.6. Salinidad intersticial de la localidad de Cancún.	55
Figura I.3.7. Salinidad Intersticial de la localidad de Puerto Morelos.	55
Figura I.3.8. Salinidad intersticial de la localidad de Sian Ka'an.	56
Figura I.3.9. Salinidad intersticial de la localidad de Xcalak.	56
Figura I.3.10. Salinidad Intersticial de la localidad de Chetumal.	57
Figura I.4.1. Potencial Redox y pH en sedimentos de manglar en la localidad de Celestún.	58
Figura I.4.2. Potencial Redox y pH en sedimentos de manglar de la localidad de Sisal.	59
Figura I.4.3. Potencial Redox y pH en suelos de manglar en la localidad de Progreso.	59
Figura I.4.4. Potencial Redox y pH en sedimentos de manglar en la localidad de Dzilam.	60
Figura I.4.5. Potencial Redox y pH en sedimentos de manglar de la localidad de Río Lagartos.	60
Figura I.4.6. Potencial Redox y pH en suelos de manglar de la localidad de Cancún.	61
Figura I.4.7. Potencial Redox y pH de la localidad de Puerto Morelos.	61
Figura I.4.8. Potencial Redox y pH de suelos de manglar en la localidad de Sian Ka'an.	62
Figura I.4.9. Potencial Redox y pH en sedimentos de manglar en la localidad de Xcalak.	62
Figura I.4.10. Potencial Redox y pH en suelos de manglar en la localidad de Chetumal.	63
Figura I.5.1. Densidad y contenido de Materia orgánica de la localidad de Celestún.	64
Figura I.5.2. Densidad y Materia orgánica en sedimentos de manglar en la localidad de Sisal	65
Figura I.5.3. Densidad y contenido de Materia orgánica en sedimentos de manglar en la localidad de Progreso.	66

Figura I.5.4. Densidad y contenido de materia orgánica en sedimentos de manglar en la localidad de Dzilam.	67
Figura I.5.5. Densidad y contenido de materia orgánica en sedimentos de manglar de la localidad de Río Lagartos.	68
Figura I.5.6. Densidad y contenido de materia orgánica en sedimentos de manglar en la localidad de Cancún.	69
Figura I.5.7. Densidad y contenido de materia orgánica en sedimentos de manglar en la localidad de Puerto Morelos.	70
Figura I.5.8. Densidad y contenido de materia orgánica en sedimentos de manglar en la localidad de Sian Ka'an.	71
Figura I.5.9. Densidad y contenido de Materia orgánica en sedimentos de manglar de la localidad de Xcalak.	72
Figura I.5.10. Densidad y contenido de materia orgánica en sedimentos de manglar de la localidad de Chetumal.	73
Figura I.6.1. Nutrientes en sedimentos de manglar de la localidad de Celestún.	74
Figura I.6.2. Nutrientes en sedimentos de manglar en la localidad de Sisal.	75
Figura I.6.3. Nutrientes en sedimentos de manglar de la localidad de Progreso.	76
Figura I.6.4. Nutrientes en sedimentos de manglar en la localidad de Dzilam.	77
Figura I.6.5. Nutrientes en sedimentos de manglar en la localidad de Río Lagartos.	78
Figura I.6.6. Nutrientes en sedimentos de manglar en la localidad de Cancún.	79
Figura I.6.7. Nutrientes en sedimentos de manglar en la localidad de Puerto Morelos.	80
Figura I.6.8. Nutrientes en sedimentos de manglar en la localidad de Sian Ka'an.	81
Figura I.6.9. Nutrientes en sedimentos de manglar de la localidad de Xcalak.	82
Figura I.6.10. Nutrientes en sedimentos de manglar en la localidad de Chetumal.	83
Figura I.7.1. Variación entre localidades de la Península de Yucatán de las variables estructurales del bosque de manglar	85
Figura I.7.2. Variación entre localidades de la Península Yucatán de la densidad de plántulas del manglar.	86
Figura I.7.3. Variación entre localidades de Yucatán de la densidad de juveniles del manglar.	87
Figura I.7.4. Variabilidad espacial de la salinidad intersticial.	88
Figura I.7.5. Variabilidad espacial del pH y Potencial Redox en sedimento de manglar.	89
Figura I.7.6. Variabilidad entre localidades de Yucatán de la densidad aparente y materia orgánica en sedimentos de manglar.	90
Figura I.7.7. Variabilidad entre localidades de Yucatán de nutrientes en sedimentos de manglar.	92
Figura I.7.8. ACP general para el área de estudio. A=altura, AB=área basal, IC= índice de complejidad, D=densidad de árboles, DJ= densidad de juveniles, DP=densidad de plántulas, #SP= No. De especies.	93
Figura I.7.9. ACP general para el área de estudio. Sal=salinidad, Densidad= densidad de materia orgánica, MO=materia orgánica, NT=Nitrógeno Total, CT=Carbono Total, FT=Fósforo Total. N:P= relación Redfield.	93
Figura I.7.10. ACP general para el área de estudio. A=altura, AB=área basal, IC= índice de complejidad, D=densidad de árboles, DJ= densidad de juveniles, DP=densidad de plántulas, #SP= No. De especies, Sal=salinidad, Densidad= densidad de materia orgánica, MO=materia orgánica, NT=Nitrógeno Total, CT=Carbono Total, FT=fosforo total. N:P=relación Redfield nitrógeno fosforo.	94
Figura I.7.11. Localidades con afinidad en la estructura del manglar. El clúster se realizó con el método de encadenamiento completo utilizando distancias euclidianas en datos estandarizados.	95
Figura I.7.12. Localidades con afinidad hidrológica. El clúster se realizó con el método de encadenamiento completo utilizando distancias euclidianas y datos estandarizados.	96
Figura I.7.13. Ordenamiento no paramétrico de las variables de estructura con los grupo formados con el análisis de clasificación. Nivel de estrés 0.02	97
Figura I.7.14. Ordenamiento no paramétrico de las variables de estructura con los grupos formados con el análisis de clasificación. Nivel de estrés 0.03.	97
Figura I.8.1. Cobertura de manglar de diferente condición de la localidad de Celestún.	98

Figura I.8.2. Cobertura de manglar de diferente condición de la localidad de Sisal.	99
Figura I.8.3. Cobertura de manglar de diferente condición de la localidad de Progreso.	100
Figura I.8.4. Cobertura de manglar de diferente condición de la localidad de Dzilam.	101
Figura I.8.5. Cobertura de manglar de diferente condición de la localidad de Río Lagartos.	102
Figura I.8.6. Cobertura de manglar de diferente condición de la localidad de Cancún.	103
Figura I.8.7. Cobertura de manglar de diferente condición de la localidad de Puerto Morelos.	104
Figura I.8.8. Cobertura de manglar de diferente condición de la localidad de Sian Ka'an.	105
Figura I.8.9. Cobertura de manglar de diferente condición de la localidad de Xcalak	106
Figura I.8.10. Cobertura de manglar de diferente condición de la localidad de Chetumal	107
Figura I.10.1. Variables estructurales de la localidad de Celestún de los años 2009 y 2011.	112
Figura I.10.2. Variables estructurales de la localidad de Sisal de los años 2009 y 2011.	113
Figura I.10.3. Variables estructurales de la localidad de Progreso, de los años 2009 y 2011.	114
Figura I.10.4. Características estructurales de la localidad de Dzilam para el año 2009 y 2011.	115
Figura I.10.5. Variables estructurales de la localidad de Río Lagartos de los años 2009 y 2011.	116
Figura I.10.6. Variables estructurales de la localidad de Cancún de los años 2009 y 2011.	117
Figura I.10.7. Variables estructurales de la localidad de Puerto Morelos de los años 2009 y 2011.	118
Figura I.10.8. Variables estructurales de la localidad de Sian Ka'an, de los años 2009 y 2011.	119
Figura I.10.9. Variables estructurales de la localidad de Xcalak de los años 2009 y 2011.	120
Figura I.10.10. Variables estructurales de la localidad de Chetumal de los años 2009 y 2011.	121
Figura I.11.1. Salinidad intersticial de los tres sitios de la localidad de Celestún de los años 2009, 2010 y 2011.	122
Figura I.11.2. Salinidad intersticial de los 2 sitios de la localidad de Sisal de los años 2009, 2010 y 2011.	123
Figura I.11.3. Salinidad intersticial de los 3 sitios de la localidad de Progreso de los años 2009, 2010 y 2011.	124
Figura I.11.4. Salinidad Intersticial se los 2 sitios de la localidad de Dzilam de los años 2009, 2010 y 2011.	125
Figura I.11.5. Salinidad intersticial de la localidad de Río Lagartos de los años 2009, 2010 y 2011.	126
Figura I.11.6. Salinidad intersticial de la localidad de Cancún de los años 2009, 2010 y 2011.	127
Figura I.11.7. Salinidad Intersticial de la localidad de Puerto Morelos de los años 2009, 2010 y 2011.	128
Figura I.11.8. Salinidad intersticial de la localidad de Sian Ka'an de los años 2009, 2010 y 2011.	129
Figura I.11.9. Salinidad intersticial de la localidad de Xcalak de los años 2009, 2010 y 2011.	130
Figura I.11.10. Salinidad Intersticial de la localidad de Chetumal de los años 2009, 2010 y 2011.	131
Figura I.12.1-. Potencial Redox (B) y pH (A) en sedimentos de manglar en la localidad de Celestún de los años 2009, 2010 y 2011.	133
Figura I.12.2. Potencial Redox (B) y pH (A) en sedimentos de manglar de la localidad de Sisal de los años 2009, 2010 y 2011.	134
Figura I.12.3. Potencial Redox y pH en suelos de manglar en la localidad de Progreso de los años 2009, 2010 y 2011.	135
Figura I.12.4. Potencia Redox (B) y pH (A) en sedimentos de manglar en la localidad de Dzilam de los años 2009, 2010 y 2011.	136

Figura I.12.5. Potencial Redox y pH en sedimentos de manglar de la localidad de Río Lagartos de los años 2009, 2010 y 2011.	137
Figura I.12.6. Potencial Redox y pH en suelos de manglar de la localidad de Cancún.	138
Figura I.12.7. Potencial Redox y pH de la localidad de Puerto Morelos de los años 2009, 2010 y 2011.	139
Figura I.12.8. Potencial Redox y pH de suelos de manglar en la localidad de Sian Ka'an de los años 2009, 2010 y 2011.	140
Figura I.12.9. Potencial Redox y pH en sedimentos de manglar en la localidad de Xcalak.	141
Figura I.12.10. Potencial Redox y pH en suelos de manglar en la localidad de Chetumal de los años 2009, 2010 y 2011.	142
Figura I.13.1. Densidad y Contenido de Materia orgánica de la localidad de Celestún de los años 2009, 2010 y 2011.	144
Figura I.13.2. Densidad y Materia orgánica en sedimentos de manglar en la localidad de Sisal de los años 2009, 2010 y 2011.	145
Figura I.13.3. Densidad y contenido de Materia orgánica en sedimentos de manglar en la localidad de Progreso.	146
Figura I.13.4. Densidad y contenido de materia orgánica en sedimentos de manglar en la localidad de Dzilam de los años 2009, 2010 y 2011.	147
Figura I.13.5. Densidad y contenido de materia orgánica en sedimentos de manglar de la localidad de Río Lagartos de los años 2009, 2010 y 2011.	148
Figura I.13.6. Densidad y contenido de materia orgánica en sedimentos de manglar en la localidad de Cancún de los años 2009, 2010 y 2011.	149
Figura I.13.7. Densidad y contenido de materia orgánica en sedimentos de manglar en la localidad de Puerto Morelos 2009, 2010 y 2011.	150
Figura I.13.8. Densidad y contenido de materia orgánica en sedimentos de manglar en la localidad de Sian Ka'an de los años 2009, 2010 y 2011.	151
Figura I.13.9. Densidad y contenido de Materia orgánica en sedimentos de manglar de la localidad de Xcalak de los años 2009, 2010 y 2011.	152
Figura I.13.10. Densidad y contenido de materia orgánica en sedimentos de manglar de la localidad de Chetumal de los años 2009, 2010 y 2011.	153
Figura I.14.1. Nutrientes en sedimentos de manglar de la localidad de Celestún.	155
Figura I.14.2. Nutrientes en sedimentos de manglar en la localidad de Sisal de los años 2009, 2010 y 2011.	156
Figura I.14.3. Nutrientes en sedimentos de manglar de la localidad de Progreso de los años 2009, 2010 y 2011.	157
Figura I.14.4. Nutrientes en sedimentos de manglar en sedimentos de manglar en la localidad de Dzilam de los años 2009, 2010 y 2011.	158
Figura I.14.5. Nutrientes en sedimentos de manglar en la localidad de Río Lagartos de los años 2009, 2010 y 2011.	159
Figura I.14.6. Nutrientes en sedimentos de manglar en la localidad de Cancún de los años 2009, 2010 y 2011.	160
Figura I.14.7. Nutrientes en sedimentos de manglar en la localidad de Puerto Morelos de los años 2009, 2010 y 2011.	161
Figura I.14.8. Nutrientes en sedimentos de manglar de la localidad de Sian Ka'an de los años 2009, 2010 y 2011.	162
Figura I.14.9. Nutrientes en sedimentos de manglar de la localidad de Xcalak de los años de 2009, 2010 y 2011.	163
Figura I.14.10. Nutrientes en sedimentos de manglar en la localidad de Chetumal de los años 2009, 2010 y 2011.	164
Figura II.1.1. Distribución de precipitación y temperatura en la localidad de Celestún.	166
Figura II.1.2. Distribución de precipitación y temperatura en la localidad de Sisal.	167
Figura II.1.3. Distribución de precipitación y temperatura en la localidad de Progreso.	168
Figura II.1.4. Distribución de precipitación y temperatura en la localidad de Dzilam.	169
Figura II.1.5. Distribución de precipitación y temperatura en la localidad de Río Lagartos.	170
Figura II.1.6. Distribución de precipitación y temperatura en la localidad de Cancún.	171
Figura II.1.7. Distribución de precipitación y temperatura en la localidad de Puerto	172

Morelos.

Figura II.1.8. Distribución de precipitación y temperatura en la localidad de Sian Ka'an.	173
Figura II.1.9. Distribución de precipitación y temperatura en la localidad de Xcalak.	174
Figura II.1.10. Distribución de precipitación y temperatura en la localidad de Chetumal.	175
Figura II.2.1. Salinidad intersticial de los 3 sitios de la localidad de Celestún.	177
Figura II.2.2. Salinidad intersticial de los 2 sitios de la localidad de Sisal.	178
Figura II.2.3. Salinidad intersticial de los 3 sitios de la localidad de Progreso.	179
Figura II.2.4. Salinidad intersticial de los 2 sitios de la localidad de Dzilam.	180
Figura II.2.5 Salinidad Intersticial de los dos sitios de la localidad de Río Lagartos	181
Figura II.2.6. Salinidad Intersticial de los dos sitios de la localidad de Cancún.	182
Figura II.2.7. Salinidad Intersticial de los 2 sitios de la localidad de Puerto Morelos	183
Figura II.2.8. Salinidad intersticial de los 2 sitios de la localidad de Sian Ka'an.	184
Figura II.2.9. Salinidad intersticial de los 2 sitios de la localidad de Xcalak.	185
Figura II.2.10. Salinidad intersticial de los 2 sitios de la localidad de Chetumal.	186
Figura II.3.1. Monitoreo del potencial Redox en los sitios de Celestún (A), Sisal (B), Progreso (C) y Dzilam (D).	188
Figura II.3.2. Monitoreo del potencial Redox en los sitios de Rio Lagartos (A) y Cancún (B).	189
Figura II.3.3. Monitoreo del potencial Redox en los sitios de Puerto Morelos (A), Sian Ka'an (B), Xcalak (C) y Chetumal (D).	190
Figura II.4.1. Frecuencia de inundación de Celestún Interna(A). La línea roja continua representa el nivel del suelo, los valores (+) indican el tiempo que el manglar se mantuvo inundado, los valores (-) indican el periodo de tiempo en que el manglar estuvo seco. B) Frecuencia de inundación y C) Tiempo de inundación, en el período estudiado.	192
Figura II.4.2. Frecuencia de inundación de Celestún Puente (A). La línea roja continua representa el nivel del suelo, los valores (+) indican el tiempo que el manglar se mantuvo inundado, los valores (-) indican el periodo de tiempo en que el manglar estuvo seco. B) Frecuencia de inundación y C) Tiempo de inundación, en el período estudiado.	193
Figura II.4.3. Frecuencia de inundación de Celestún Boca (A). La línea roja continua representa el nivel del suelo, los valores (+) indican el tiempo que el manglar se mantuvo inundado, los valores (-) indican el periodo de tiempo en que el manglar estuvo seco. B) Frecuencia de inundación y C) Tiempo de inundación, en el período estudiado.	194
Figura II.4.4. Frecuencia de inundación de Progreso Contenedores (A). La línea roja continua representa el nivel del suelo, los valores (+) indican el tiempo que el manglar se mantuvo inundado, los valores (-) indican el periodo de tiempo en que el manglar estuvo seco. B) Frecuencia de inundación y C) Tiempo de inundación, en el período estudiado.	195
Figura II.4.5. Frecuencia de inundación de Dzilam (A). La línea roja continua representa el nivel del suelo, los valores (+) indican el tiempo que el manglar se mantuvo inundado, los valores (-) indican el periodo de tiempo en que el manglar estuvo seco. B) Frecuencia de inundación y C) Tiempo de inundación, en el período estudiado.	196
Figura II.4.6. Frecuencia de inundación de Río Lagartos (A). La línea roja continua representa el nivel del suelo, los valores (+) indican el tiempo que el manglar se mantuvo inundado, los valores (-) indican el periodo de tiempo en que el manglar estuvo seco. B) Frecuencia de inundación y C) Tiempo de inundación, en el período estudiado.	197
Figura II.4.7. Frecuencia de inundación de Cancún (Nichupte) (A). La línea roja continua representa el nivel del suelo, los valores (+) indican el tiempo que el manglar se mantuvo inundado, los valores (-) indican el periodo de tiempo en que el manglar estuvo seco. B) Frecuencia de inundación y C) Tiempo de inundación, en el período estudiado.	198
Figura II.4.8. Frecuencia de inundación de Puerto Morelos (A). La línea roja continua representa el nivel del suelo, los valores (+) indican el tiempo que el manglar se mantuvo inundado, los valores (-) indican el periodo de tiempo en que el manglar	199

estuvo seco. B) Frecuencia de inundación y C) Tiempo de inundación, en el período estudiado.	
Figura II.4.9. Frecuencia de inundación de Sian Ka'an (A). La línea roja continua representa el nivel del suelo, los valores (+) indican el tiempo que el manglar se mantuvo inundado, los valores (-) indican el periodo de tiempo en que el manglar estuvo seco. B) Frecuencia de inundación y C) Tiempo de inundación, en el período estudiado.	200
Figura II.4.10. Frecuencia de inundación de Xcalak (A). La línea roja continua representa el nivel del suelo, los valores (+) indican el tiempo que el manglar se mantuvo inundado, los valores (-) indican el periodo de tiempo en que el manglar estuvo seco. B) Frecuencia de inundación y C) Tiempo de inundación, en el período estudiado.	201
Figura II.4.11. Frecuencia de inundación de Chetumal (A). La línea roja continua representa el nivel del suelo, los valores (+) indican el tiempo que el manglar se mantuvo inundado, los valores (-) indican el periodo de tiempo en que el manglar estuvo seco. B) Frecuencia de inundación y C) Tiempo de inundación, en el período estudiado.	202
Figura II.5.2. Cambios de elevación, acreción y subsidencia en cada uno de los sitios de cada localidad de manglar.	205
Figura II.6.1. Productividad del manglar a través del incremento del diámetro del tronco en los sitios de Celestún.	207
Figura II.7.1. Productividad de la localidad de Celestún en cada uno de los sitios.	209
Figura II.7.2. Productividad de los sitios de la localidad de Sisal.	210
Figura II.7.3. Productividad aérea de cada sitio de la localidad de Progreso.	211
Figura II.7.4. Productividad aérea de la localidad de Dzilam en cada uno de los sitios.	212
Figura II.7.5. Productividad aérea de la localidad de Río Lagartos en cada uno de los sitios.	213
Figura II.7.6. Productividad aérea de la localidad de Cancún en cada uno de los sitios.	214
Figura II.7.7. Productividad aérea de cada sitio de la localidad de Puerto Morelos.	215
Figura II.7.8. Productividad aérea de cada sitio de la localidad de Sian Ka'an.	216
Figura II.7.9. Productividad aérea de los sitios de la localidad de Xcalak.	217
Figura II.7.10. Productividad aérea de la localidad de Chetumal en cada uno de los sitios.	218
Figura II.8.1. Productividad de raíces en la localidad de Celestún donde A) Interna, B) Puente, C) Boca, T1 (Tiempo 1) y T2 (Tiempo 2). Cat. 1 raíces finas de diámetro de 0 a 0.2 cm; Cat. 2 raíces finas de diámetro 0.21 a 0.5 cm; Cat. 3 raíces finas de diámetro 0.51 a 2.0 cm.	220
Figura II.8.2. Productividad de raíces de la localidad de Sisal donde A) Pecis I, B) Pecis III, T1 (Tiempo 1) y T2 (Tiempo 2).	221
Figura II.8.3. Productividad de raíces de la localidad de Progreso donde A) Contenedores, B) Chelem I, C) Chelem II, T1 (Tiempo 1) y T2 (Tiempo 2).	223
Figura II.8.4. Productividad de raíces de la localidad de Dzilam de Bravo donde A) Elepetén, B) Pueblo, T1 (Tiempo 1) y T2 (Tiempo 2).	224
Figura II.8.5. Productividad de raíces de localidad de Río Lagartos donde A) Río Lagartos, B) Cuyo, T1 (Tiempo 1) y T2 (Tiempo 2).	225
Figura II.8.6. Productividad de raíces de la localidad de Cancún donde T1 (Tiempo 1) y T2 Tiempo 2.	226
Figura II.8.7. Productividad de raíces de la localidad de Puerto Morelos donde A) Ceiba, B) Cid, T1 (Tiempo 1) y T2 (Tiempo 2).	227
Figura II.8.8. Productividad de raíces de la Localidad de Sian Ka'an donde A) El Playón, B) Cayo Culebras, T1 (Tiempo 1) y T2 (Tiempo 2).	228
Figura II.8.9. Productividad de raíces de la localidad de Xcalak donde A) Pueblo, B) Portilla, T1 (Tiempo 1) y T2 (Tiempo 2).	229
Figura II.8.10. Productividad de raíces de la localidad de Chetumal donde A) Río Hondo y B) Tamalcab, T1 (Tiempo1) y T2 (Tiempo 2).	230
Figura II.9.1. Perfiles topográficos de los sitios de la localidad de Celestún.	232
Figura II.9.2. Perfiles topográficos de los sitios de la localidad de Sisal.	233

Figura II.9.3. Topografía de los sitios de la localidad de Progreso.	235
Figura II.9.4. Perfiles topográficos de los sitios de la localidad de Dzilam.	236
Figura II.9.5. Perfil topográfico de los sitios de la localidad de Río Lagartos.	237
Figura II.9.6. Perfil topográfico de los sitios de la localidad de Cancún.	238
Figura II.9.7. Transecto topográfico de los sitios de la localidad de Puerto Morelos.	239
Figura II.9.8. Perfiles topográficos de los sitios de la localidad de Sian Ka'an.	240
Figura II.9.9. Perfil topográfico de los sitios de la localidad de Xcalak.	241
Figura II.9.10. Perfiles topográficos de los sitios de la localidad de Chetumal.	242

Lista de Tablas

Tabla 1. Ubicación de las localidades y sitios de manglar estudiados en los estados de Yucatán y Quintana Roo.	19
Tabla 2. Ubicación de las estaciones meteorológicas cercanas a los sitios de estudio.	28
Tabla 3. Características ecológicas, de gestión y amenazas que definen la vulnerabilidad de los manglares en la Península de Yucatán.	110
Tabla 4. Monitoreo de pH estacional para los sitios de Yucatán y Quintana Roo.	187
Tabla 5. Localización de las bases del SET y marcas del feldespató por cada localidad y sitios monitoreados.	204
Tabla 6. Valores promedio por localidad de la acreción, elevación y subsidencia.	206

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.

INTRODUCCIÓN:

Los bosques de manglar son humedales que se desarrollan en zonas intermareales a lo largo de las costas tropicales y subtropicales, estos ecosistemas están dominados por árboles tolerantes a la inundación y a la salinidad, crecen en ambientes caracterizados por ser fuertemente influenciados por mareas, descargas de ríos, disponibilidad de luz. Los factores geofísicos y procesos ecológicos y geomorfológicos controlan la estructura y función de los bosques de manglar (Twilley, 1995). La interacción de las condiciones ambientales sobre los procesos ecológicos incluye gradientes de reguladores, gradientes de recursos, e hidroperíodo, influye en la estructura, crecimiento y funcionamiento del manglar.

Dado que los manglares tienen una limitada capacidad reproductiva vegetativa, ellos dependen del éxito del establecimiento y sobrevivencia de plántulas para la regeneración y desarrollo de los bosques. La investigación sobre los mecanismos y procesos que expliquen patrones de distribución y abundancia de organismos es un constante esfuerzo de la ecología, y en los manglares no es la excepción, ya que además se reconoce que estos ecosistemas están entre los más productivos del mundo y se le han determinado importantes funciones ecológicas que mantienen la productividad, biodiversidad y estabilidad de los ecosistemas costeros a los que están asociados (Lugo y Snedaker, 1974; Twilley, 1988). A pesar de su relativa simplicidad estructural, son pocas las especies de árboles adaptadas a la zona intermareal tropical.

Los factores y procesos que explican los patrones espaciales y temporales en los bosques de manglar son complejos debido al juego de interacciones que se pueden dar entre diferentes factores ambientales simultáneamente (Smith, 1992; Twilley, 1995). Se reconoce en términos generales que los patrones espaciales y temporales de los manglares y otros humedales costeros son el resultado de la interacción entre variables de la vegetación, sedimentos, aguas superficiales y atmosféricas (Woodroffe, 1992; Twilley, 1995). Así mismo, la continuidad e interacción de ambientes contrastantes favorece la presencia de gradientes de variables reguladoras (salinidad intersticial), gradientes de recursos (nitrógeno en el sedimento) e hidroperíodo, los cuales tienen un fuerte efecto en el crecimiento del manglar (Twilley y Rivera, 2005).

La estructura de la vegetación de manglar está directamente relacionada con la tasa de producción de hojarasca, la cual varía entre los diferentes tipos ecológicos de estos sistemas, siendo mayor en los manglares tipo riverino, los cuales estructuralmente están mejor desarrollados seguido por el manglar tipo franja. La variabilidad observada entre tipos de manglar en principio es explicada por las diferentes fuerzas funcionales como mareas, descargas, vientos, precipitación y los distintos escenarios geomorfológicos de los sistemas costeros (Twilley *et al.*, 1986).

ANTECEDENTES:

En los estados de Quintana Roo y Yucatán las actividades productivas y el desarrollo económico están íntimamente relacionados con la costa. Actividades como el turismo (ecoturismo y megaturismo), la pesca, acuacultura, desarrollo industrial, desarrollo urbano y transporte marítimo destacan como impulsoras de su economía, todas ellas dependientes de forma directa o indirecta de los ecosistemas costeros, entre ellos el manglar.

Los manglares representan la vegetación costera dominante en las regiones tropicales y subtropicales. Son un tipo especial de ecosistema de interfase, y que como humedales costeros tienen características de ambientes terrestres y acuáticos. Su desarrollo está fuertemente determinado por los factores locales y regionales que determinan su estructura y funcionamiento, y son componentes críticos de la zona costera al mantener funciones ecológicas que brindan servicios ambientales como:

- (1) Protección de la línea de costa ante fenómenos locales como nortes, huracanes y de manera global del incremento del nivel medio del mar (Scavia *et al.*, 2002).
- (2) Mantenimiento de la calidad de agua debido a su capacidad de filtración de materiales (Twilley y Rivera, 2005).
- (3) Constituyen el hábitat para una amplia diversidad de organismos, muchos de ellos de importancia comercial, cinegética y turística (Twilley, 1998).
- (4) Son estabilizadores del suelo y/o evitan la erosión de playas (Semeniuk, 1994).
- (5) Son una fuente importante de carbono hacia las cadenas tróficas y por tanto sostén de pesquerías artesanales e industriales (Twilley, 1995).
- (6) Juegan un papel importante como almacén y transformador de carbono en regiones costeras tropicales y subtropicales (Bouillon *et al.*, 2008).

Para mantener estos servicios ecológicos de los manglares en las regiones costeras tropicales y subtropicales, es necesario promover la conservación de estos ecosistemas a través de programas de monitoreo y manejo que proporcionen información de calidad para tomadores de decisiones y para la sociedad civil en general.

Las tendencias actuales en el estudio de los manglares están dirigidas a las relaciones estructurales y funcionales en diferentes escalas espaciales y temporales, destacando la conectividad con otros sistemas, la biogeoquímica de los sedimentos, su vulnerabilidad al incremento del nivel medio del mar, y el potencial de reclutamiento natural e inducido ante impactos antrópicos y eventos naturales (Twilley *et al.*, 1999). Estos estudios responden a la necesidad de plantear mejores estrategias de conservación y manejo frente al calentamiento global y la gran presión ejercida por el desarrollo costero (Rivera-Monroy *et al.*, 2004). Los estudios sobre ecología, conservación, evaluación de indicadores del manejo, restauración y evaluación de impactos causados de manera natural y/o antrópica en los manglares en la Península de Yucatán, estado de Campeche y Veracruz son escasos (López-Portillo y Ezcurra, 2002; Zaldívar-Jiménez *et al.*, 2004; Agraz-Hernández *et al.*, 2004). Esto es debido a la falta de información de lo que se conoce como **“línea de base”**, y que se refiere principalmente a descriptores básicos de características estructurales del manglar y de variables ambientales que la favorecen, y le permiten a estos ecosistemas recuperarse ante un impacto natural o antrópico.

De aquí la relevancia de este proyecto de: proponer la selección de variables que contribuyan a definir una línea de base adecuada para los manglares de la Península de Yucatán (Quintana Roo, Yucatán). La selección adecuada y concertada entre grupos de investigación regionales de indicadores ecológicos a diferentes escalas espaciales y temporales que permita un monitoreo efectivo. Este monitoreo se plantea en un marco dinámico donde la generación de nuevo conocimiento servirá de referencia a grupos organizados e instituciones en la implementación de proyectos, programas y políticas de conservación, rehabilitación, restauración y uso sustentable de los manglares. Asimismo, el monitoreo servirá como un identificador de problemas de investigación básica que deben abordarse para generar información crítica para el manejo sustentable de los bosques de manglar, contribuyendo así al conocimiento nacional e internacional de estos ecosistemas.

En la actualidad es evidente que la velocidad a la que los bosques de manglar están siendo impactados es más alta que la velocidad con la que se genera información ecológica para

promover su conservación y recuperación. El exagerado uso de áreas ocupadas por manglares, la falta de entendimiento de su función, su manejo inadecuado y las perturbaciones naturales y antrópicas tienen casi siempre un efecto negativo sobre sus propios procesos, reflejándose finalmente en el deterioro de sus funciones. En este sentido, existen pocos ejemplos documentados de deforestación de manglares en México. Para el Pacífico, Ramírez-García *et al.*, (1998) calcularon una pérdida de 23%, una tasa de pérdida anual (TPA) de 1.7% entre 1970 y 1993 en un manglar de 1,065 ha. Ruiz-Luna y Berlanga-Robles (1999) reportaron una pérdida de 54% entre 1973 y 1997 en un manglar de 2,310 ha (una TPA de 3.2%). En el Golfo de México, Rodríguez-Zúñiga (2002) calculó una pérdida de 35% en el periodo de 1973-2000 en un manglar de 20,000 ha (TPA de 1.6%), 24% de pérdida entre 1964 y 1994 en el manglar de la laguna de La Mancha, Veracruz (TPA de 1.4%), y 14% de pérdida entre 1991 y 2000 en el bosque de mangle de la Laguna de Términos, Campeche. Es muy posible que estos impactos negativos a mediano y largo plazo resulten en pérdidas económicas aun por documentar.

La pérdida de manglares por cambio de uso de suelo ha tratado de evitarse con la expedición de normas y leyes que protegen tanto a las especies de manglar como a las comunidades vegetales y al funcionamiento mismo del sistema. Esto inicia con el Reglamento de la Ley Forestal de 1998, sigue con tres normas legales (SEMARNAT, 1999; SEMARNAT, 2002; SEMARNAT, 2003) y culmina el 31 de enero de 2007 con el artículo 60 TER de la Ley General de Vida Silvestre (SEMARNAT, 2007). Sin embargo, es de tal magnitud la presión sobre los manglares que es necesario un esfuerzo interinstitucional para formar redes de monitoreo a largo plazo en el que diferentes instituciones participantes se comprometan a dar seguimiento temporal a las mediciones de variables ambientales y ecológicas de estos ecosistemas en un contexto geográfico amplio abarcando áreas representativas del litoral de la República Mexicana. Esta red de monitoreo regional debe integrarse a otras redes nacionales e internacionales para compartir información crítica acerca del funcionamiento de los ecosistemas y para modelar sus respuestas a cambios naturales e inducidos por las actividades humanas.

Entre las metas de este proyecto se tuvo la aportación semestral -durante la vigencia del mismo- información de variables del agua, de los sedimentos y de la vegetación de localidades específicas de manglar, para que de acuerdo a los objetivos de los tomadores de decisiones se pueda favorecer el diseño de estrategias de acción que promuevan el desarrollo sustentable de los ecosistemas de manglar considerando las actividades turísticas, de acuacultura, pesca, conservación y restauración según sea el caso.

JUSTIFICACIÓN:

Actualmente se pierden áreas de manglar en la Península de Yucatán como resultado de los cambios en la hidrología por la construcción de carreteras, alcantarillas, apertura y mantenimiento de bocas que conectan la ciénega con el mar, y que con el paso de los años han producido salinización de los sedimentos y en consecuencia la muerte del manglar (Zaldívar-Jiménez *et al.*, 2010). También existe una importante pérdida de cobertura de manglares por el desarrollo turístico costero, el cambio del uso del suelo, los rellenos para asentamiento humanos irregulares y la tala para la construcción de viviendas y artes de pesca (Batllori *et al.*, 1999; Euan y Witter, 2002). En adición se tienen los eventos naturales como huracanes, ejemplo de ello es el impacto del Huracán Isidoro que en el 2002 afectó el 70% de cobertura de manglares en la zona de Dzilam en el estado de Yucatán (Euan *et al.*, 2004).

De acuerdo a lo anterior, las actividades humanas en la costa y los eventos naturales han impactado al ecosistema de manglar de la Península de Yucatán, lo que ha sido enfrentado desde 1994 con esfuerzos múltiples para la conservación, restauración y uso sustentable de los manglares mediante el uso de fondos internacionales, federales y estatales. Sin embargo, la falta de información técnica sitio-específica de caracterización, condición e indicadores de estos ecosistemas, y la falta de un programa de monitoreo que permita dar seguimiento a las acciones de manejo, han llevado al fracaso muchas de las acciones emprendidas (Teutli-Hernández, 2003).

El mantenimiento o mejora de la salud de los manglares de la Península de Yucatán requiere de información de línea de base con posibilidades de uso a diferentes escalas espacio-temporales, orientando el tipo e intensidad de las actividades de los usuarios múltiples, así como las acciones y políticas de autoridades, instituciones y grupos organizados. Esta información de línea de base debe incluir variables que permitan caracterizar al manglar en cuestión, y puedan ser objeto de programas de monitoreo para dar seguimiento al estado que guardan estos ecosistemas. Con los resultados de este tipo de monitoreo se puede llegar a comparaciones de dichas variables entre manglares que presentan diferencias, tales como localizarse en escenarios geomorfológicos distintos (estuarios, lagunas, deltas, cársticos), tipos de hidrología, tipos de sedimentos, tipos y niveles de impacto antrópico o incluso sometidos a diferentes tipos de fenómenos hidrometeorológicos (inundaciones, huracanes, sequías).

La pertinencia de este proyecto consiste en determinar una serie de variables en un conjunto de localidades de manglar en la Península de Yucatán que incluyen características del agua, de los sedimentos y de la vegetación para llegar a su caracterización, además del seguimiento de características en las mismas localidades para que entre otros aspectos se establezca una línea de base que permita determinar la condición de los manglares a escala de parcela de acuerdo al conjunto de sus variables ambientales y estructurales propuestas.

ÁREA DE ESTUDIO:

Se propuso que el área geográfica de caracterización y monitoreo sea la Península de Yucatán donde se abarcaron localidades que van desde Celestún (Yucatán) hasta la Bahía de Chetumal (Quintana Roo) (Fig.1). En esta región geográfica se ubica el mayor porcentaje de cobertura de manglar de este programa de monitoreo. La cantidad y calidad de información de aspectos generales de cada localidad puede variar de acuerdo a la disponibilidad de esta, y puede ser un indicador de la falta de atención por parte de instituciones y/o autoridades.

Celestún: El cuerpo lagunar forma parte de la Reserva de la Biosfera Ría Celestún (RBRC), está localizada en la costa del Golfo de México al extremo Noroeste de la Península, entre los paralelos 20° 46' y 20° 57' de latitud Norte y los meridianos 90° 18' y 90° 23' de longitud Oeste. En esta localidad de manglar se establecieron 3 sitios (Fig. 1, Tabla 1). Es el sitio del Grupo ECOPEY (Ecosistemas COsteros de la PENínsula de Yucatán) de la Red Mex-LTER (<http://www.mexlter.org.mx/>). Presenta una interesante mezcla de condiciones hidrológicas y de sedimentos que lo hace un sitio idóneo para la experimentación en manglares.

Se presentan dos climas predominantes, uno que se encuentra en la mayor parte de la reserva, al centro y oeste, que es seco-semiárido, con una temperatura todos los meses superior a los 18°C y lluvias de verano, la temperatura promedio anual es de 26.2 °C; el mes más caliente oscila en los 29°C (mayo) y el mes más frío en 23°C (enero), con precipitaciones entre 600 y 800 mm anuales. El otro clima al sureste de la región es el cálido-subhúmedo con lluvias en verano, temperatura promedio anual superior a los 18°C con precipitaciones entre 800 y 1,000 mm anuales (INE, 1993).

Pertenece a la provincia fisiográfica Unidad Orogénica, Plataforma Yucateca. Esta zona presenta un relieve con dominio de terrenos ligeramente ondulados, planos y bajos; con rocas calcáreas.

La estructura geológica de la Península de Yucatán fue determinada por dos eventos principales: durante el eoceno se desarrolló un proceso de compresión que plegó las conformaciones y produjo un relieve ondulado en la porción sur de la Península. El otro evento tuvo lugar en el Mioceno y el Plioceno y dio origen a dos sistemas de fracturas orientadas NE-SW y NW-SE, ésta última denominada “Sierrita de Ticul” (SEMARNAT, 2000).

El sistema lagunar tiene una extensión aproximada de 22.5 km y un ancho medio de 1.25 km, con un máximo de 2.24 km y un mínimo de 0.40 km. Es de forma rectangular y alargada con un área aproximada de 28.14 Km² (Herrera-Silveira *et al.*, 1998). En su parte media cruza un puente que comunica al puerto de Celestún con la carretera a Mérida.

La comunicación de la laguna con el Golfo de México es a través de una boca situada en la parte sur de la misma, esta tiene un ancho de 0.46 km, presenta un canal de marea que la recorre a todo lo largo el cual posee las máximas profundidades de la laguna y que van disminuyendo hacia la zona Interna (Herrera-Silveira, 1994).

Por su comunicación permanente con el mar a través de la boca y por el aporte de agua dulce en forma de manantiales, el sistema lagunar se caracteriza por tener un gradiente de salinidad que determina tres zonas: zona de la Boca, zona de mezcla (Puente) en la parte media y zona Interna, gradiente que se consideró para el establecimiento de los sitios de muestreo y monitoreo de esta localidad (Herrera-Silveira, 1994).

La vegetación que bordea a la laguna corresponde a manglar dominado por *Laguncularia racemosa* (mangle blanco) en la zona interna, *Rhizophora mangle* (mangle rojo) y *Avicennia germinans* (mangle negro) en la zona del Puente, y *Avicennia germinans* en la zona de la Boca (Zaldívar-Jiménez *et al.*, 2004).

Con respecto a las actividades económicas de la zona, se destaca la pesca de camarón, jaiba y especies de peces comercialmente importantes. Otra actividad que se desarrolla en el sitio son actividades eco-turísticas para la observación de aves acuáticas destacando el flamenco rosado y la vegetación de manglar. Para el caso del manglar, los impactos comprenden el desarrollo urbano no controlado, la interrupción de los flujos de agua, manejo inadecuado de residuos sólidos y la extracción de madera para uso doméstico.

Sisal: El puerto de Sisal se localiza en la zona costera del Municipio de Hunucmá, y la zona de estudio está situada en los 21° 08' y 21° 11' latitud Norte y 89° 58' y 90° 03' longitud Oeste. En esta localidad de manglar se establecieron 2 sitios (Tabla 1).

Sisal pertenece a la división fisiográfica de la franja costera del Canal de Yucatán y del noreste (INEGI, 1995). Debido a la geomorfología que presenta esta zona ha favorecido a una serie de cuerpos de agua inundables estacionalmente conocidos localmente como ciénegas. Presenta un suelo predominantemente calcáreo (regosol), con un suelo secundario de tipo solonchak, el cual presenta una fase química fuertemente sódica y de textura gruesa. El suelo está expuesto a constante acción erosiva del oleaje. Su altitud máxima es de <3 m sobre el nivel del mar (Espejel, 1986).

El clima que presenta la zona es de tipo semi-seco muy cálido con una variación menor de 5 °C entre el mes más frío y el más cálido, con lluvias en verano. La temperatura media anual es de 25.5 °C, con una precipitación media anual de 598 mm³. La evapotranspiración es de 1600 mm³ y el déficit medio anual de agua oscila entre 800–900 mm³ (INEGI, 1998). Durante los meses de noviembre a febrero se presentan temporales caracterizados por fuertes precipitaciones y vientos, asociados con frentes polares conocidos como “nortes” (Herrera-Silveira, 1988). De acuerdo a lo anterior, en esta región se marca un patrón climático con estaciones de secas, lluvias y nortes (Vega *et al.*, 1997)

La vegetación presenta un gradiente de duna costera a manglar. En cuanto a duna costera se observa, *Agave sisalana*, *Coccoloba uvífera*, *Thrinax radiata*, *Opuntia dillenii*, *Cereus pentagonus*. En esta zona se presentan las 4 especies de manglar registradas para Yucatán: *Laguncularia racemosa*, *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* y *Conocarpus erectus*. Así como también vegetación tipo Peten característica de la península (Rico–Gray, 1982).

Ha sido objeto de impactos por cambios hidrológicos al construir el puerto de abrigo, y las carreteras de acceso al pueblo. Durante varios años (2000-2006) se desarrolló la acuicultura intensiva de camarón en una zona de ciénega-manglar, la cual recibió los aportes de nutrientes de los efluentes de la camaronera. Las principales actividades económicas de la zona son el turismo, la pesca (pulpo, mero, y cangrejo rey), y la extracción de sal (INE, 1993).

Progreso: En esta localidad se observa la laguna costera de “Chelem”, ubicada en el área occidental de la Península de Yucatán a 30 Km de la ciudad de Mérida en los 21° 14' y 21° 17' latitud Norte y 89° 38' y 89° 47' longitud Oeste. En esta localidad de manglar se establecieron 3 sitios (Fig. 1, Tabla 1). La profundidad promedio del sistema lagunar es de 3.5 m con fondo arenoso y baja cobertura de macrófitos. No presenta manantiales evidentes en el cuerpo lagunar pero si en sus alrededores. El clima presente en esta localidad es seco muy cálido y cálido (66.72%) y semiseco muy cálido y cálido (33.28%), con temperatura media anual es de 25.5°C (máxima 37.9°C y mínima de 13.6°C), precipitación pluvial es escasa pero de tipo torrencial en septiembre-octubre y de 444 mm³ a lo largo de todo el año (INEGI, 1995; Troccoli, 2001).

El municipio de Progreso fisiográficamente pertenece a la Provincia de la Península de Yucatán, su subprovincia se encuentra 100% en el Carso Yucateco, cuenta con un sistema de topofomas que es de llanura rocosa de tipo rocoso o cementado en un 54.88% que abarca casi su mayoría; así como también con playa o barra inundable y salina en un 32.76% (SEDESOL, 2011).

La superficie del territorio de Progreso es plana como en casi toda la Península, cuenta con playa la cual se extiende a lo largo de todo el municipio (desde Chicxulub hasta Chuburna) o barra de laderas tendidas, inundables y salinas con lomerío, con una altura aproximada de 2 metros sobre el nivel del mar en todo su territorio (SEDESOL, 2011).

El puerto de Progreso ha sido una plataforma fundamental para el crecimiento de la economía del estado pues ha permitido el desarrollo de sectores claves como el agropecuario, la industria manufacturera y el comercio con el exterior, especialmente con Estados Unidos, Centroamérica y el Caribe, además de que es un importante elemento para el abastecimiento de combustibles de la región (Frías-Bobadilla, 2006). Es el principal puerto de cabotaje y existen industrias con la infraestructura necesaria para procesar el pescado y el marisco en especial el pulpo y tiburón (INEGI, 2000). De acuerdo a esto ha recibido modificaciones hidrológicas, cambio de uso del suelo, contaminación orgánica entre otros impactos.

Dzilam: Dzilam de Bravo se localiza en el área central de la zona costera del estado de Yucatán. La zona de estudio está situada en los 21° 23' y 21° 24' latitud Norte y 88° 48' y 88° 54' longitud Oeste. En esta localidad de manglar se establecieron 2 sitios (Tabla 1). Las actividades productivas en la región son en orden de importancia: la pesca, el turismo, la ganadería, la cosecha de coco y la agricultura (INEGI, 1998).

El clima que presenta la zona es de tipo cálido-semiseco intermedio entre los de tipo árido y húmedo, el cual se caracteriza por tener escasas lluvias y altas temperaturas. La temperatura media anual es de 25.5 °C. La evaporación es de 1800 mm con precipitación promedio de 970 mm. Predominan los vientos del sureste. La superficie del territorio se clasifica como llanura de barrera con piso rocoso o cementado, alto y escarpado, caracterizándose el extremo norte por playas de laderas tendidas. (INEGI, 1995).

El substrato en el área, está formado por piedra caliza. La topografía carente de elevaciones significativas, ocasiona que no existan ríos, por lo que el agua de las lluvias se filtra por las grietas del basamento calizo, alimentando el acuífero subterráneo más importante del país. Es común encontrar en aguadas interiores conocidas como cenotes, que los antiguos pobladores de la región, los mayas, usaron como reserva vital del agua.

En el margen costero están presentes manantiales de agua subterránea de dimensiones variables (0.25 a 1 m de diámetro). Se localiza en el complejo de sistema de corrientes subterráneas del anillo de cenotes del noreste del estado de Yucatán, lo cual significa que esta zona recibe importantes aportes de agua dulce y nutrientes inorgánicos disueltos a manera de manantiales u “ojos de agua” como se les conoce localmente. En esta zona se presenta vegetación de duna costera, petenes compuestos por manglar, selvas bajas y medianas, marismas, y comunidad de manglar, la cual ocupa una amplia franja de 2 a 6 km de ancho a lo largo de la costa, presentando las 4 especies registradas para Yucatán: *Laguncularia racemosa*, *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* y *Conocarpus erectus* (Teutli-Hernández, 2003).

Los sitios de manglar en esta localidad se ubican en los alrededores de un peten y del pueblo, ambos fueron impactados por el huracán Isidoro (2002) de forma significativa, y están en proceso de recuperación. Además de los huracanes, estos sitios reciben amenazas de cambios hidrológicos por la construcción de puertos de abrigo y carreteras costeras, contaminación por residuos sólidos, y por el potencial desarrollo turístico costero que tiene la zona.

Río Lagartos: Localizado en la parte centro-oriental del Estado de Yucatán contiene tres poblaciones (San Felipe, Río Lagartos y El Cuyo), además de una colonia de trabajadores de la industria salinera (Las Coloradas). Las actividades son la pesca, la producción de sal (industrial), y la eco-turística se está impulsando. La zona de estudio se localiza en 21° 28' y 21° 36' latitud

Norte y 87° 40' y 88° 15' longitud Oeste. En esta localidad de manglar se establecieron 3 sitios de muestreo (Tabla 1). Los manglares están corriendo riesgo por crecimiento de la mancha urbana y la actividad ganadera (CONANP, 2007).

Debido a su ubicación geográfica y proximidad al mar Río Lagartos es afectado por diferentes patrones de circulación atmosférica como los vientos alisios dominantes, las masas de aire polar modificado (nortes) y las corrientes convectivas que ocasionan lluvias. Se presentan dos estaciones de lluvias claramente diferenciadas, la primera de junio a octubre representa 62% de la lluvia total anual, el restante 38% cae en la época de secas de noviembre a mayo. Los nortes inciden de septiembre-octubre a marzo-abril (CNA, 2006).

Existen dos tipos de climas, el primero es el BSo(h')w(x')iw", que es el clima más seco de los áridos y se presenta en la región de Río Lagartos. El coeficiente precipitación/temperatura (P/T) es menor a 22.9°, ya que la evaporación excede a la precipitación. La temperatura media del mes más frío es mayor a 18 °C y la temperatura media anual mayor a 22 °C, el porcentaje de precipitación invernal respecto a la total anual está entre 5 y 10.2%; se presentan lluvias todo el año aunque poco frecuentes, pero intensas (Arriaga *et al.*, 2002). El segundo tipo de clima es el Ax'(wo) iw", que corresponde al más seco de los cálidos húmedos, con lluvias repartidas a lo largo del año y se presenta en la región de El Cuyo. El porcentaje de precipitación invernal respecto al total anual es mayor a 18%. Es un clima de transición entre los de lluvias en verano y los de lluvias en invierno; la temperatura media anual mayor a los 22 °C y la temperatura del mes más frío mayor a los 18 °C; (Valdés *et al.*, 1992).

En esta localidad se ubica La Reserva de la Biosfera Ría Lagartos (RBRL) y su laguna costera la cual presenta cuatro cuencas: San Felipe, Río Lagartos, Las Coloradas y el Cuyo, las cuales están comunicadas entre sí por estrechos naturales. Esta serie de estrechos entre las cuencas favorece la estabilidad del patrón de circulación del agua en las cuencas, ya que en estas zonas se amortigua sustancialmente el efecto de la marea (<0.6 m) la cual de por si es baja, favoreciendo así las condiciones de hipersalinidad de la laguna. Los altos tiempos de residencia del agua (>300 días) aunado a la alta evaporación (>1,200 mm/año) que supera a la precipitación (700 mm/año) y a las bajas descargas de agua dulce en la zona incrementan la salinidad del agua y por lo tanto se favorecen las condiciones de hipersalinidad (>60 PSU) (Herrera-Silveira, 2006; CONANP, 2007).

El ANP de Río Lagartos abarca 79 de los 378 kilómetros de litoral del estado de Yucatán, lo que representa el 19.6% del total de la costa. Se encuentra ubicada en la provincia fisiográfica denominada Región Peninsular Yucateca, en la subprovincia de la Llanura kárstica y subdivisión de Zona de Costa, que abarca la porción norte de la península. Esta provincia se caracteriza por ser una plataforma caliza (rocas calcáreas marinas) formada de rocas sedimentarias cretácicas que descansan en formaciones terciarias. En ella no existen corrientes superficiales y el agua al filtrarse forma un manto freático de poca profundidad compuesto por grutas, corrientes subterráneas, cenotes y aguadas. Se encuentra en una zona asísmica, por lo cual los temblores son raros o desconocidos. La plataforma que conforma a esta provincia se considera parcialmente emergida. La plataforma sumergida es amplia y somera, y forma el banco de Yucatán-Campeche que corresponde a la porción de la plataforma masiva carbonatada de la península (CNA, 2002).

El área de la Reserva está comprendida en las formaciones geológicas del cuaternario, compuestas de materiales del pleistoceno y holoceno de menos de un millón de años de antigüedad. En la parte litoral del estado el material suele ser de rocas pleistocénicas y recientes; los materiales calizos consolidados corresponden al pleistoceno y los materiales más blandos no consolidados al holoceno (Duch-Gary, 1991).

De los ambientes más representativos de esta localidad destaca el manglar, el cual bordea toda la laguna dominando *Rhizophora mangle*, y estando presentes *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus*. Los sitios de manglar para esta localidad intentan representar gradientes ambientales y de impacto antrópico por avance de la mancha ganadera (CONANP, 2007).

Cancún: Se ubica en la costa noreste del estado de Quintana Roo. La zona de estudio de estudio se localiza en 21° 02' y 21° 08' latitud Norte y 86° 44' y 86° 50' longitud Oeste. En esta localidad de manglar se establecieron 2 sitios de muestro (Tabla 1). Su altitud va desde 1 a 8 msnm debido a una pendiente que crece de este a oeste paralela a toda la ciudad. La extensión del municipio de Benito Juárez donde se localiza esta localidad es de 1,664 km² y cuenta con 22 km de costa (SEMARNAT-Gob. Quintana Roo, 2005). Los manglares de Nichupté están ubicados en la zona hidrológica 32 denominada Yucatán norte de la vertiente oriental, no existen escurrimientos superficiales por lo que la condición hidrogeológica es por conexión con el Golfo de México (SEGOB, 1988).

El clima predominante del municipio Benito Juárez se incluye dentro del grupo A, del tipo Aw que es de cálido subhúmedo con lluvias todo el año más abundantes en verano. La temperatura media anual oscila entre los 25.5°C, la precipitación media anual oscila entre los 1,000 y 1,300 mm. Predominan los vientos del este y sureste; durante el verano la zona se ve afectada por tormentas tropicales y ciclones. La temporada de huracanes inicia a mediados de junio, los meses más afectados son septiembre y octubre (SEGOB, 1988).

Esta localidad se presenta como parte de una gran planicie con leve inclinación no mayor del 0.01 % con pendiente de dirección oeste – este hacia el Mar Caribe en la que no se encuentran elevaciones de importancia. Se ubica en la Provincia fisiográfica XI Península de Yucatán en la subprovincia 64 Costa Baja de Quintana Roo que se define como una llanura inundable con piso cementado y salino (Carta topográfica 1:50,000 INEGI).

Actualmente Cancún se encuentra dividido en 5 zonas principales: Isla Cancún o zona hotelera presenta una extensión de 23 km, donde se albergan la mayor parte de los hoteles, playas y zonas residenciales. La zona hotelera rodea el interior del sistema lagunar Nichupté, el cual está compuesto por 7 cuerpos de agua: Laguna Bojórquez, Cuenca del Norte, Cuenca Central, Cuenca Sur, Río Inglés, Del Amor y Laguneta del Mediterráneo. Zona urbana: es el centro de la ciudad donde habita la mayor parte de la población cancanense.

En esta localidad se encuentra la principal infraestructura turística, mayor densidad de población y sobreexplotación de recursos naturales terrestres y acuáticos de Quintana Roo, y debido a la mala planeación urbana y hotelera ha quedado una zona de manglar en medio de todo el desarrollo (Área Natural Protegida Manglares de Nichupte) (SEGOB, 1988; Herrera-Silveira, 2006).

Puerto Morelos: Esta localizado al norte del estado de Quintana Roo, en el municipio de Benito Juárez a 36 km al sur de Cancún. La localidad de estudio se ubica en 20° 49' y 20° 54' latitud Norte y 86° 51' y 86° 55' longitud Oeste. En esta se establecieron 2 sitios de muestro (Tabla 1).

Puerto Morelos es una población costera ubicada en el lado oriente de la Península de Yucatán en el mar Caribe. Frente a sus costas a una distancia que va de 350 a 1600 metros se encuentra una barrera arrecifal la cual forma parte del Gran Cinturón de Arrecifes del Atlántico Occidental y es la segunda Barrera de arrecifes más grande del mundo (también conocida como “Gran Arrecife Maya” y pertenece al “Sistema Arrecifal Mesoamericano”). Se caracteriza por presentar un relieve muy escaso y por la ausencia de ríos superficiales, el suelo está constituido principalmente por

pedra caliza. El poblado de Puerto Morelos tiene una altitud de 3 a 5 msnm (INE/RDS/PNUD, 2000).

El clima que presenta es de Cálido sub-húmedo con una temperatura promedio anual de 26.3°C, un máximo en el verano de 35.5°C, las lluvias son abundantes en verano y otoño, la precipitación promedio anual es de 1041 mm. La presencia de vientos alisios dominantes es entre el mes de febrero y julio, seguido de la época de secas (octubre a enero). La mayor incidencia de huracanes se da en los meses de agosto, septiembre y octubre. La vegetación que presenta es selva inundable, manglar y vegetación de duna (INEGI, 1995).

La zona costera se caracteriza por presentar un relieve muy escaso y por la ausencia de ríos superficiales, resultado de la naturaleza kárstica del terreno. La zona costera está delimitada hacia la parte terrestre por bermas del Pleistoceno de aproximadamente 10 m de altura, y hacia el mar por una barra arenosa de 2-3 m de altura y 100-200 m de ancho que constituye la línea de costa actual. Entre estos dos rasgos hay depresiones que dan lugar a un ambiente lagunar somero, con esporádico contacto con el mar adyacente. Estas cuencas están interrumpidas por caminos transversales que la dividen de forma no natural, restringiendo o impidiendo el flujo de agua (Ruíz-Rentería *et al.*, 1998).

Los manglares de Puerto Morelos se localizan por detrás de una duna ancha (≈ 1 km), y su inundación es probable que dependa de la época de lluvias y de la conectividad subterránea con el mar, por lo que espacialmente son similares a los de Sisal con la diferencias de que en este no se observa una fuente de agua marina en su cuenca (Com. Pers. 2011-UNAM –Puerto Morelos, CONANP; CIQRO, sin datos de referencia).

Esta localidad es la que probablemente presenta el mayor riesgo y amenazas actualmente de todos los sitios estudiados. Durante el recorrido de prospección se observó la “diversidad de tipos de impacto” a los que está sometido, y los cuales están en crecimiento, todos ellos asociados al desarrollo de infraestructura turística que se está construyendo sin ninguna medida efectiva de mitigación y muy probablemente tampoco de compensación.

El arrecife constituye el recurso más importante en la economía de la comunidad de Puerto Morelos, cuya población se dedica mayoritariamente a la pesca o al turismo. El arrecife y pastizal marino son importantes para la pesca de subsistencia, comercial y recreativa. Los principales recursos pesqueros en Puerto Morelos como la langosta y varias especies de peces que pasan

por lo menos una parte de su vida en el arrecife (Com. Pers. 2011-UNAM –Puerto Morelos, CONANP).

Sian Ka'an: Localidad ubicada en la porción oriental de la Península de Yucatán y Mar Caribe, localizada en el municipio de Felipe Carrillo Puerto, Estado de Quintana Roo, México. La localidad de estudio se ubica en 19° 42' y 20° 10' latitud Norte y 87° 28' y 87° 40' longitud Oeste. En esta localidad de manglar se establecieron 2 sitios de muestro (Tabla 1). Se encuentra en una planicie kárstica costera parcialmente emergida la cual forma parte de un extenso sistema de arrecife de barrera a lo largo de la costa norte de Centroamérica. Existen dos grandes bahías de aguas someras, marismas, manglares y selvas inundables (CONANP, 2007).

El clima es cálido subhúmedo, la temperatura media anual es de 26° C y la precipitación media es de 1,300 mm anuales. Los meses más cálidos son julio y agosto y el más frío es enero. Se distingue una época de sequía de diciembre a abril. La región está comprendida dentro de la zona ciclónica tropical del Caribe, y los vientos dominantes tienen una dirección este-sureste, exceptuando la presencia eventual de los ciclones. El clima de Sian Ka'an es cálido subhúmedo con lluvias en verano. La temperatura media mensual es siempre superior a 22° C, la media anual de 26.5° C. Las temperaturas máximas y mínimas puntuales han sido 44° C y 4.5° C respectivamente (INEGI, 1995).

El estado de Quintana Roo ocupa la porción oriental de la península de Yucatán. Su superficie terrestre abarca 50,840 km², de las cuales la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an representa el 10%. Desde el punto de vista biogeográfico, Sian Ka'an forma parte de la provincia de la península de Yucatán en la región Caribeña y dentro de la región Neotropical (Rzedowski, 1978). Las subdivisiones de esta provincia son inciertas aunque sobre la base de la distribución de la vegetación se pueden distinguir dos porciones; una más seca, con bosque tropical caducifolio y bosque espinoso en el noroeste de la península, y otra más húmeda en el resto de la península, en esta última se ubica Sian Ka'an.

En las partes altas de tierra los únicos cuerpos de agua son los cenotes, también hay oquedades impermeabilizadas de poca profundidad. El agua de lluvia se filtra en la porosidad de la roca calcárea y da origen a las corrientes subterráneas que se manifiestan en los múltiples cenotes, lagunas y aguadas. El agua filtrada corre lentamente bajo la superficie por lo que el nivel freático

es muy cercano a la superficie. Se encuentra como máximo a 8 m y en las partes más bajas puede aflorar formando lagunas someras o bien zonas inundables durante las lluvias. La superficie inundada a finales de la temporada lluviosa es superior al 70% en la parte terrestre. En la época seca un 20% de ésta permanece inundada y corresponde a las zonas de manglar chaparro donde la concentración salina es elevada (Com. Pers. 2011-UNAM –Puerto Morelos, CONANP; CIQRO, sin datos de referencia).

En general se encuentra en buen estado de conservación, aunque con síntomas de impacto por la construcción de carreteras mal diseñadas, las cuales afectan la hidrología local. Existe una actividad pesquera bien organizada y la actividad turística está creciendo rápidamente, también se realiza la agricultura, ganadería, aprovechamiento forestal y la cacería. (CIQRO, sin datos de referencia).

Xcalak: Se localiza en la costa sur oriental del Municipio Othón P. Blanco, en la provincia fisiográfica denominada Costa Baja de Quintana Roo. La zona de estudio se localiza en 18° 11' y 18° 29' latitud Norte y 87° 45' y 87° 51' longitud Oeste. En esta localidad de manglar se establecieron 2 sitios de muestro (Tabla 1). Se encuentran diversos ecosistemas interconectados como arrecifes de coral, humedales, lagunas costeras, playas y selva en buen estado de conservación. La región es plana, ligeramente por encima del nivel medio del mar. La zona oeste a lo largo del litoral de la Bahía de Chetumal está conformada por manglares y/o pastizales. Estas áreas están sujetas a inundación durante las mareas altas y tormentas tropicales.

El clima de la región se encuentra dentro de la categoría cálido húmedo, con una temperatura media anual mayor a 26° C y una precipitación media anual de 1200 a 1500 mm. Se presenta un complejo lagunar constituido por las lagunas Tankilá, Huach, Santa Rosa y Santa Julia. Representa una zona única en toda la costa sur de Quintana Roo, debido a la comunicación permanente con el mar mediante el Río Huach. Al sur el sistema lagunar está constituido principalmente por las lagunas de temporal Xcalak y Cementerio. Las lagunas costeras son alimentadas por precipitación pluvial, agua subterránea y por el mar.

La zona costera mexicana del Mar Caribe se extiende desde Cabo Catoche hasta Xcalak. Los suelos en esta zona están formados por calizas coralíferas postpliocénicas del Pleistoceno superior y sedimentos de carbonato del Holoceno susceptibles a la erosión hídrica. En

Herrera-Silveira, J.A., Teutli-Hernández, C., Zaldívar-Jiménez, A., Pérez-Ceballos, R., Cortés-Balán, O., Osorio-Moreno, I., Ramírez-Ramírez, J., Caamal-Sosa, J., Andueza-Briceño M.T., Torres, R., Hernández-Aranda H. 2013. 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, FB1307-N009/08. Informe Final, Noviembre 2013

comparación con la Sonda de Campeche es bastante estrecha y homogénea y se sitúa frente a cuencas oceánicas profundas separadas por un sistema de crestas paralelas (Com. Pers. 2011-UNAM –Puerto Morelos, CONANP; CIQRO, sin datos de referencia).

Es una zona donde la actividad antropogénica (pesca y eco-turismo) es incipiente, y aparenta un buen estado de conservación, por lo que sería un sitio de referencia de bajo impacto (Com. Pers. 2011- CONANP).

Chetumal: Está ubicada al sur del Estado de Quintana Roo, es capital del Estado y segunda ciudad más importante con intensa actividad urbana y turística de baja intensidad. La localidad de estudio se localiza en 18° 32' y 18° 48' latitud Norte y 88° 08' y 88° 19' longitud Oeste. En esta localidad de manglar se establecieron 2 sitios de muestro (Tabla 1). Es la única localidad de esta región que recibe aportes de ríos (Río Hondo) y ha sido modificada su hidrología por la ampliación del Canal de Zaragoza que conecta la Bahía de Chetumal con el Mar Caribe (Hernández, 2011, com.pers).

Se ubica en una zona plana del lado este y sureste culmina en la Bahía de Chetumal, es de costa baja y pedregosa cubierta en su mayor parte por mangle, hacia el sureste se encuentra el cauce del Río Hondo y su desembocadura. La mayor parte de la ciudad se extiende hacia el norte y oeste, es de orografía mayormente plana con algunas ondulaciones formando aguadas y zonas pantanosas en la época de lluvias (Rosado-May *et al.*, 2002).

La localidad de Chetumal presenta un clima cálido sub-húmedo con lluvias en verano y una temperatura media anual de 26.4°C, su precipitación promedio anual es de 1289.7 mm. Es una ciudad propensa a ser impactada por huracanes.

Según la clasificación fisiográfica de Raisz (1964), Chetumal pertenece a la Provincia denominada Península de Yucatán. El relieve de la península y de las islas cercanas lo conforman pequeñas elevaciones con altura máxima de 22 m. Dada la solubilidad de la roca son frecuentes las dolinas y las depresiones en donde se acumulan arcillas de descalcificación. Topográficamente la zona en estudio es sensiblemente plana, con desniveles graduales de hasta 7.50 m. La roca caliza se encuentra muy superficial.

En el área de Chetumal existen dos de las tres unidades geomorfológicas de la Península de Yucatán. En la porción Oeste y hacia la frontera con el Estado de Campeche existe una zona elevada llamada meseta baja de Zohlaguna, con una altura de más de 300 metros; esta unidad geomorfológica está separada de las planicies del Caribe por escalones bruscos que corresponden a líneas de fallas, cuya dirección es Noreste-Suroeste correspondiendo a la subprovincia denominada plataforma de Yucatán. La unidad denominada planicies del Caribe o costa baja ocupa el resto del territorio del Municipio. Las máximas altitudes en la zona no rebasan los cien metros. Las estructuras que reciben el nombre de “bajos” son características de esta unidad; estas son áreas planas delimitadas por porciones del terreno con mayor elevación (INEGI, 2002).

Las actividades económicas que se realizan en Chetumal son el turismo, la pesca (langosta, tiburón, caracol (en veda permanente) y escama).

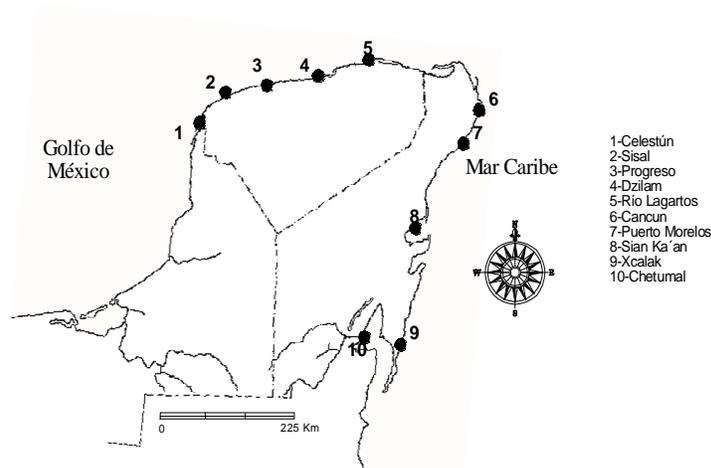


Figura 1. Área de Estudio, que incluye localidades en los estados de Yucatán y Quintana Roo.

Tabla 1. Ubicación de las localidades y sitios de manglar estudiados en los estados de Yucatán y Quintana Roo.

Localidad	Sitio	Coordenadas Sexagesimales (Datum: WGS84)						Rumbo	Distancia	Rumbo	Distancia
		Latitud			Longitud						
		Grad	Min	Seg	Grad	Min	Seg				
								°	m	°	m
Celestún	Interna	20	55	27	-90	20	27	85	10	175	10
	Puente	20	51	35.1	-90	22	31.44	96	10	185	10
	Boca	20	46	29.58	-90	24	30.72	100	10	198	10
Sisal	Pecis I	21	10	7.2	-90	0	29.8	155	10	262	10
	Pecis III	21	10	26.2	-89	59	30.7	190	10	320	10
Progreso	Contenedores	21	16	30.3	-89	39	49.9	260	10	120	10
	Chelem I	21	15	26.9	-89	42	30.7	72	10	165	10
	Chelem II	21	14	47.5	-89	45	38.8	155	10	210	10
Dzilam	Elepetén	21	23	41.28	-88	51	35.48	255	10	102	10
	Pueblo	21	23	28.54	-88	53	19.42	160	10	255	10
Río Lagartos	Río Lagartos	21	35	42.12	-88	8	45	255	10	110	10
	El Cuyo	21	30	43.92	-87	40	36.6	192	10	123	10
Cancún	Polígono 9	21	4	47.17	-86	47	22.85	250	10	172	10
	Polígono 1	21	4	42.96	-86	47	21.18	164	10	283	10
Puerto Morelos	Ceiba	20	51	50.7	-86	52	16.1	235	10	134	10
	Cid	20	50	30.8	-86	53	3	170	10	240	10
Sian Ka'an	El Playón	19	49	22.7	-87	29	55.6	250	10	140	10
	Cayo Culebras	19	42	10.6	-87	28	38.3	70	10	170	10
Xcalak	Pueblo	18	16	41.32	-87	50	9.7	255	10	155	10
	Portilla	18	14	44.4	-87	50	15.7	25	10	165	10
Chetumal	Río Hondo	18	29	21.3	-88	18	52.6	260	10	115	10
	Tamalcab	18	33	52.6	-88	13	39.5	150	10	260	10

OBJETIVO GENERAL:

Establecer sitios de monitoreo de manglar que cumplan con los lineamientos de la Red Mexicana de Investigación a Largo Plazo (Red Mex-LTER) y que sirvan para evaluar los cambios estructurales y funcionales de estos ecosistemas, así como contribuir a sentar las bases de una red de monitoreo para el Golfo de México y Caribe Mexicano. Todo ello, teniendo como antecedentes metodológicos la caracterización y el monitoreo que desde el año 2000 inició en la Península de Yucatán el Grupo de Procesos y Manejo Costero del Centro de Investigación de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV-IPN), Unidad Mérida.

OBJETIVOS PARTICULARES:

-Caracterizar los tipos de manglar en la Península de Yucatán, de acuerdo a sus características estructurales y a las variables ambientales que los regulan.

-Identificar las características estructurales de la vegetación y ambientales que sirvan de línea de base y soporte para un programa de monitoreo.

-Continuar y ampliar el programa de monitoreo de la estructura de la vegetación de manglar, regeneración potencial, productividad de raíces, productividad de hojarasca y vulnerabilidad al incremento del nivel medio del mar del ecosistema de manglar de la Península Yucatán.

MATERIAL Y METODOS:

A través de tratamientos de mejora y procesamiento de imágenes, fotos, conocimiento de campo e información de las Áreas Naturales Protegidas (ANP's), se determinaron dentro de las localidades al menos 2 sitios para su caracterización y monitoreo (Tabla 1).

En los sitios donde en el momento de la prospección se garantizaba la continuidad de muestreos se realizaron las actividades de caracterización y se instalaron dispositivos y materiales biológicos para el programa de monitoreo. La caracterización se realizó el primer año y el seguimiento de esta el tercer año. La frecuencia de los muestreos del monitoreo fue variable de acuerdo a con las características de cada variable.

I.-FASE DE CARACTERIZACIÓN:

Se establecieron en cada sitio parcelas de 10m x 10m con su duplicado. Dentro de estas parcelas se hicieron todas las mediciones que en el resto del texto se mencionan. Sólo en casos particulares que así no haya sido se especificaron en el apartado correspondiente.

1-Hidrogeoquímica: Salinidad intersticial, pH, Redox, variables de los sedimentos.

-Salinidad intersticial: En cada una de las parcelas establecidas se tomaron muestras de agua intersticial con ayuda de un tubo de acrílico a 40 cm de profundidad. Se colectaron un mínimo de 2 muestras por parcela, posteriormente la lectura de la salinidad intersticial se realizó con una sonda multiparamétrica YSI 30.

-pH y Redox: La medición del potencial Redox se realizó mediante un electrodo construido con alambre de cobre y platino, y un electrodo de referencia. La lectura se llevó a cabo con un potenciómetro (Cole-Parmer, DIGI-SENSE ® Model 5938-10) (Hargis y Twilley, 1994a). La medición de estas variables se realizó solamente durante la etapa de caracterización, esto debido a que el “datalogger” sufrió desperfectos en una salida de campo y se adquirió otro, por lo que en el tiempo transcurrido para ello no se tomaron mediciones.

-Sedimentos: En las parcelas establecidas en cada sitio de cada localidad, se colectaron 2 núcleos de sedimento con ayuda de un nucleador de pvc con diámetro de 6 cm y 40 cm de largo. A las muestras se les llevó a cabo la medición de densidad aparente (Bulk Density, Hargis y Twilley, 1994b), materia orgánica y nutrientes (carbono total, nitrógeno total y fósforo Total). El análisis de sedimentos se llevó a cabo en el laboratorio de Producción Primaria del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV-IPN).

Densidad Aparente: Para el análisis de densidad aparente y materia orgánica, se siguieron las recomendaciones de Holme y McIntyre (1984). Las muestras de sedimento se dividieron en intervalos de 10 cm, a las cuales se les retiraron hojas, raíces o material grueso, se colocaron en una estufa a 60 °C por 72 horas y posteriormente fueron pesadas. A cada segmento de cada muestra se le calculó la densidad aparente del sedimento de cada sitio (Chen y Twilley, 1999).

Materia orgánica: Para la estimación de la materia orgánica se tomaron 2 g de sedimento de cada segmento los cuales fueron colocados en una mufla a 550 °C durante 4 horas. Posteriormente por diferencia de peso se calculó el porcentaje de materia orgánica.

Herrera-Silveira, J.A., Teutli-Hernández, C., Zaldívar-Jiménez, A., Pérez-Ceballos, R., Cortés-Balán, O., Osorio-Moreno, I., Ramirez-Ramirez, J., Caamal-Sosa, J., Andueza-Briceño M.T., Torres, R., Hernández-Aranda H. 2013. 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, FB1307-N009/08. Informe Final, Noviembre 2013

Nitrógeno Total: Para la determinación de Nitrógeno Total se pesaron de 20 a 30 mg en cápsulas de estaño, esta prueba se realizó por triplicado y los pesos se registraron para el cálculo de concentración, corriéndose las muestras en un autoanalizador elemental CHN (FLASH-EA-1112) (Chen y Twilley, 1999).

Fósforo Total: Para la determinación de Fósforo Total se siguió el método propuesto por Twilley *et al.*, (2004), donde la muestra es molida y homogenizada tomándose 0.2 g, para posteriormente calcinarse en una mufla a 550 °C por un periodo de 2 hrs. Esta prueba se realizó por duplicado, posteriormente a la muestra se le agregan 25 ml de ácido clorhídrico 1N, se agita por un periodo de 16 hrs y se filtra el recuperando un extracto, al cual se le determina el Fósforo Total basado en la reacción de estos compuestos con el molibdato de amonio en un medio ácido, la extinción de molibdato azul se midió con el espectrofotómetro a 885 nanómetros (nm) usando una celda de cuarzo de 1 cm (Parsons *et al.*, 1984).

2-Ecología: Diámetro a la altura de pecho. Área basal, densidad, altura, Índice de complejidad, Índice de valor de importancia, densidad de plántulas y juveniles:

La caracterización estructural de una comunidad de manglar indica el grado de desarrollo y las condiciones ambientales en las que se encuentra. Para poder realizar este trabajo en cada una de las localidades seleccionadas se ubicaron dos sitios, dentro de los cuales se estableció una parcela permanente con su réplica de 10m x 10m (0.01 ha). En las parcelas se llevó a cabo la medición de los atributos estructurales sugeridos por Schaeffer-Novelli y Cintrón (1990): Altura de los árboles, diámetro a la altura de pecho (DAP), área basal, densidad, altura, índice de complejidad (IC), y adicionales como índice de valor de importancia (IVI), frecuencia de tallas y regeneración potencial.

Descripción de variables:

-Diámetro a la altura de pecho (DAP): A partir de esta medición se calcula el área basal, además de que permite determinar la condición o estabilidad de la comunidad del manglar. Se utilizó una cinta diamétrica para medir el DAP de todos los individuos mayores a 2.5 cm en DAP (8 cm de circunferencia).

-Área basal: Es el área que ocupa un tronco en un espacio conocido; en una comunidad de manglar es la suma de las áreas basales de todos los troncos en una unidad de área expresándose en m² por hectárea (ha) para los árboles mayores o iguales a 2.5 cm de diámetro. Esta medida es un excelente índice del grado de desarrollo adquirido por una comunidad de manglar, ya que está relacionada con el volumen de los troncos y la biomasa de la comunidad.

-Densidad: Es el número de árboles por unidad de área, se expresa en individuos (ind.) por hectárea (ha). La densidad de una comunidad de manglar es el reflejo de su edad y madurez. Los manglares pasan durante su desarrollo de una etapa en que el espacio es ocupado por un gran número de árboles de poco diámetro, a la etapa de mayor madurez cuando existen pocos árboles pero de gran tamaño. También podría ser 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 cual integra las características estructurales y florísticas, cuantificando el grado de desarrollo de la estructura que se calcula con la siguiente fórmula: Índice de Complejidad de Holdridge (Holdridge *et al.*, 1971).

$$IC = (h) (AbT) (DT) (S) (10^{-5})$$

Dónde:

h = Promedio de la altura de todos los individuos presentes en la parcela (plot), y escalado a hectáreas.

AbT= Sumatoria de las áreas basales entre el área de la parcela y escalado a hectáreas

DT = Número de individuos entre el área de la parcela y escalado a hectáreas.

s = Número de especies presentes en el área de la parcela muestreada.

-Índice de valor de importancia (IVI): indica el valor de las especies respecto todas las que están presentes en la localidad (frecuencia relativa + densidad relativa + dominancia relativa).

-Regeneración potencial: Para este componente biológico, se denominaron como plántulas a aquellos organismos de manglar que presentan una altura menor a 0.5 m, y juveniles a aquellas

plantas que presentan una altura igual o mayor a 0.5 m y un diámetro a la altura del pecho menor a 2.5 cm.

Para llevar a cabo la caracterización de plántulas de manglar, se establecieron en cada parcela de estructura para árboles adultos, 2 cuadrantes de 1 X 1 m dentro de las parcelas de 5 X 5 m, mientras que para la caracterización de juveniles, las parcelas fueron de 5 X 5 m (Fig. 2).

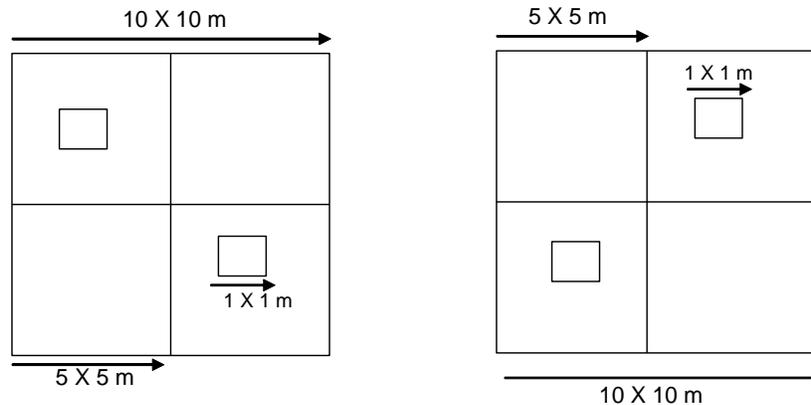


Figura 2. Diseño de parcelas para juveniles y plántulas.

Los atributos que se midieron tanto a plántulas como a juveniles fueron:

-Densidad: mediante el conteo de todos los organismos (plántulas y juveniles) presentes dentro de los cuadrantes.

-Altura: Medición hecha desde el nivel del suelo utilizando una regla graduada a cm.

3-Geomorfología: Cobertura agua/cobertura manglar, salinidad cuerpo de agua, marea/nivel de agua, aporte de agua dulce.

La aproximación metodológica consiste en cinco etapas que se describen a continuación:

a) Se determinó una clasificación "a priori" de las coberturas de las localidades, la cual se basó en una clasificación no supervisada. Los datos de entrada fueron la banda verde, infrarroja medio de las imágenes de satélite SPOT de resolución de 10 x 10 m del año 2005-2006, proporcionado por la CONABIO. El "datum" usado se especifica en la tabla 1.

Herrera-Silveira, J.A., Teutli-Hernández, C., Zaldívar-Jiménez, A., Pérez-Ceballos, R., Cortés-Balán, O., Osorio-Moreno, I., Ramírez-Ramírez, J., Caamal-Sosa, J., Andueza-Briceño M.T., Torres, R., Hernández-Aranda H. 2013. 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, FB1307-N009/08. Informe Final, Noviembre 2013

Además se incorporaron dos índices de vegetación el NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) y el TVI (Transformed Vegetation Index) que fueron obtenidas a partir de las bandas roja e infrarroja cercano. La determinación del índice NDVI fue calculado mediante $NDVI = \frac{IR\ Cercano - R}{IR\ cercano + R}$ el cual considera el grado de cobertura existente; el TVI (Transformed Vegetation Index) es calculado $TVI = 100 * \sqrt[2]{\frac{IR\ cercano - R}{IR\ cercano + R}}$ que considera la vigorosidad de la vegetación, la cual está definida como la calidad de la biomasa aérea capaz de dar una respuesta espectral (TNTmips, 2011). Las imágenes SPOT utilizadas en este estudio fueron proporcionadas por la CONABIO y son las mismas que se usaron para el inventario nacional de manglares (CONABIO Y SEMARNAT, 2009). La clasificación no supervisada se realizó con el método “Fc means” e incorporándole la máscara de agua. En esta clasificación “a priori” se identificaron entre cinco o seis clases de coberturas para cada localidad (TNTmips, 2011).

b. Basados en la clasificación “a priori” se realizaron visitas de campo en donde se colectó información de la especie dominante de manglar, la altura, el número de los árboles vivos y muertos dentro de un área conocida (densidad de árboles).

c. Con la información generada en campo se realizó el mismo procedimiento de la clasificación “a priori”, sin embargo, en esta parte se probaron varios métodos de análisis como el simple “one-pass clustering”, “K Means”, “Fuzzy C Means” e “ISODATA” (TNTmips, 2011). El método “ISODATA” y el “Fuzzy C means” son los que presentaron mejores resultados de acuerdo a los datos generados en campo. La definición de clases de manglar fue con base a los tipos de manglar presentes en Península de Yucatán, estos fueron manglar de franja, cuenca, chaparro y petén (Zaldívar-Jiménez *et al.*, 2010), también se consideraron las especie dominantes y herbáceas asociadas a los manglares. Las especies presentes en los manglares fueron: *Rhizophora mangle (Rm)* o mangle rojo, *Avicennia germinas (Ag)* o mangle negro, *Laguncularia racemosa (Lr)* o mangle blanco, *Conocarpus erectus (Ce)* o mangle botoncillo, pastizales y selvas inundables.

d. Para determinar la condición respecto a la estructura forestal de los manglares, esta se determinó de acuerdo a los datos de la estructura de la vegetación por cada tipo de manglar. Los tipos de manglar fueron reagrupados en una clase de condición. Estas clases de condición del manglar se estableció con base a la proporción de árboles vivos y muertos, en donde se denominó una clase “buena” el cual representa árboles muertos hasta un 20% del total de la

muestra conocida, la clase “regular” presentó árboles muertos entre un 20-50% y la clase “mala” más del 50% presentaron árboles muertos. Esta es una clasificación arbitraria basada en la proporción de árboles vivos-muertos.

Las categorías de “buena, regular y mala” fueron empleadas para describir la condición de la estructura con base a su vigorosidad detectada por el análisis de percepción remota y la información de campo colectada durante las visitas de muestreo de acuerdo a la proporción árboles vivos/árboles muertos. La vigorosidad fue determinada por el tipo de estructura forestal, grado de deterioro (proporción de árboles vivos y muertos) y la densidad de árboles. Con los sitios de verificación y las fotografías aéreas del catálogo de la CONABIO se robusteció el análisis de la condición del manglar.

Para determinar la condición de los manglares se seleccionaron áreas tomando como criterios que se tuvieran datos y observaciones de campo para poder hacer las verificaciones correspondientes. Las distancias para delimitar los cortes de las imágenes se seleccionaron a partir del cuerpo de agua al que se asocia el manglar de cada localidad, y que podían ser una laguna costera o el mar.

e. Finalmente las capas de tipología y condición de los manglares (formato “raster”) fueron convertidas a vectores utilizando la herramienta “convert raster to vector” del TNTmips (TNTmips, 2011) poniendo como atributo el valor de la clase “buena, regular y mala” para la elaboración de los mapas temáticos. Todo el proceso de análisis de las imágenes de satélite hasta la elaboración de los mapas se realizó con el programa de TNTmips (TNTmips, 2011).

II.-FASE DE MONITOREO:

De acuerdo a los lineamientos de la Red Mexicana de Investigación Ecológica de Largo Plazo (Mex-LTER), el monitoreo de variables clave debe realizarse considerando cuatro niveles (Nivel básico, Nivel uno, Nivel dos, Nivel tres) de acuerdo a dos criterios: (1) a la naturaleza de la variable que se quiere monitorear, con relación a su varianza, frecuencia de oscilación y la sensibilidad a cambios ambientales, y (2) a la complejidad técnica del monitoreo, en términos de la infraestructura, la calidad de los recursos humanos y el costo de mantenimiento del monitoreo. Las líneas de monitoreo previstas por la Red son: Clima, Características del suelo y agua, flujos de materia y energía, diversidad biológica y abundancia de poblaciones clave, productividad primaria, dinámica del paisaje y usos del suelo (<http://www.mexlter.org.mx/LineasdeMonitoreo>).

De acuerdo a lo anterior, en este proyecto se incluyeron tres líneas de monitoreo: *Clima*, *Características de suelo/agua* y *productividad primaria*, con niveles específicos para cada localidad. Adicionalmente como una contribución del grupo de Yucatán al proyecto se elaboraron mapas de tipología de manglares y condición para que en su momento y hechas las correcciones requeridas puedan ser utilizados para otra de las líneas de monitoreo recomendadas por la Red Mex-LTER (dinámica del paisaje).

1-Monitoreo sobre clima

Los datos de precipitación y temperatura fueron colectados de las estaciones meteorológicas más cercanas a cada una de las localidades de estudio (Tabla 2) para establecer las climatológicas mensuales de temperatura y precipitación media mensual acumulada. La colecta de datos se realiza por medio de una Estación Meteorológica Automática, la cual está conformada por un grupo de sensores que registran y transmiten información meteorológica de forma automática de los sitios donde están estratégicamente colocadas. Su función principal es la recopilación y monitoreo de algunas variables meteorológicas para generar archivos del promedio de cada 10 minutos de todas las variables. Las variables que se utilizaron fueron temperatura del aire y precipitación.

Tabla 2. Ubicación de las estaciones meteorológicas cercanas a los sitios de estudio.

Localidad	Estación meteorológica	Grados Sexagesimales					
		Latitud			Longitud		
		Grad	Min	Seg	Grad	Min	Seg
Progreso	Progreso	21	16	33.00	-89	39	14.00
Ría Lagartos	Ría Lagartos	21	35	52.41	-88	9	29.34
Dzilam Bravo	Dzilam Bravo	21	26	25.00	-89	25	6.00
Sisal	Celestún	20	51	29.70	-90	22	58.48
Celestún	Celestún	20	51	29.00	-90	22	57.00
Cancún	Cancún	21	11	24.00	-86	50	12.00
Chetumal	Chetumal	18	30	14.52	-88	17	0.51
Puerto Morelos	Playa del Carmen	20	37	22.68	-87	4	38.48
Sian Ka'an	Sian Ka'an	19	47	57.17	-87	28	32.18
Xcalak	Chetumal	18	29	49.31	-88	18	23.04

2-Monitoreo sobre características del sustrato (suelo/agua)

Se hicieron recorridos en cada uno de los sitios de cada localidad. Se tomaron datos de salinidad intersticial, pH y potencial de óxido-reducción (Redox) con diferente frecuencia de acuerdo a: accesibilidad a los sitios, disponibilidad de recursos, disponibilidad de apoyo logístico, entre otros. Por ejemplo, variables como salinidad en algunos sitios fueron muestreadas mensualmente, en otros estacionalmente y otros anualmente, en este caso cuidando que fuese en la misma época del año para hacer los datos comparables temporalmente. Se tomaron muestras de sedimento una vez al inicio y otra al final de vigencia del proyecto. Para esta variable se utilizó un nucleador de pvc de 10 cm de diámetro y de 40 cm de largo. La profundidad a la que fueron tomados los núcleos se debe a que es la zona donde se llevan a cabo con mayor intensidad los procesos biogeoquímicos en el ecosistema de manglar (Castañeda-Moya *et al.*, 2011). Las muestras fueron conservadas en frío hasta el análisis de variables como: densidad aparente, contenido de materia orgánica y contenido de nutrientes totales (carbono, nitrógeno y fósforo).

3-Monitoreo del Hidroperíodo

El hidroperíodo en cualquier ecosistema de humedal es el patrón resultante de la frecuencia, duración y nivel de inundación. En el caso de los manglares el hidroperíodo junto con la microtopografía son variables que determinan en gran medida la distribución de las especies, y junto con los nutrientes en el sedimento la estructura forestal que se observa en cada sitio. La

interacción de estas dos variables incluso llega a determinar la capacidad del sistema para recuperarse después de un impacto. Adicionalmente, el hidropériodo junto con la textura del sedimento controlan las condiciones de óxido/reducción del suelo (Mitsch y Gosselink, 2000).

El hidropériodo se compone de la determinación de tres características: nivel de inundación, frecuencia de inundación y duración de la inundación. Estas características se midieron a través de instrumentos automáticos de presión instalados en las mismas parcelas utilizadas para el componente de caracterización. Cada instrumento se instaló dentro de un tubo de pvc de 3 pulgadas de diámetro, el cual penetró en el sedimento entre 0.5 y 1m. Se hicieron visitas a los sitios donde se instalaron los medidores y se colectaron los datos que almacena el instrumento. Las visitas fueron variables en tiempo de acuerdo al momento en que cada instrumento se instaló, pudiendo ser visitas trimestrales o hasta anuales. Los datos se homogeneizaron para hacerlos corresponder a periodos de tiempo que permitieran la comparación del hidropériodo entre localidades.

4-Monitoreo de vulnerabilidad al Incremento de Nivel Medio del Mar (INMM)

Una de las consecuencias esperadas por el aumento del nivel del mar es la pérdida de humedales al incrementarse el nivel de inundación en algunas áreas y decreciendo en otras. Dado que los manglares son los ecosistemas que están frente a los cuerpos de agua costeros en la región tropical, se espera que sean de los primeros en recibir los impactos por el INMM. Sin embargo, estos ecosistemas también han demostrado ser capaces de ganar espacio al mar, por lo que la vulnerabilidad debe incluir no sólo aspectos de la geomorfología del sitio. La vulnerabilidad al INMM en los manglares sólo puede determinarse con estudios de largo plazo por que deben considerarse procesos relacionados con la “producción de nuevo sedimento” (a través de la acreción, acumulación, importación), y la pérdida de material acumulado (por erosión, subsidencia). El balance entre ambos procesos (acreción/subsidencia) y su relación con INMM mas la topografía, brindará información para definir los sitios con mayor probabilidad de ser vulnerables al INMM.

Este proyecto no pretende alcanzar esta meta por requerirse de mediciones de largo plazo (>10 años), pero si sentar las bases de información necesarias para que en un futuro se cuente con la información para llegar a este tipo de análisis.

Por lo anterior y por tratarse de una características del suelo se propuso el monitoreo de la relación acreción/subsidencia del suelo de manglar como una primer aproximación a la vulnerabilidad de estos ecosistemas hacia el incremento del nivel medio del mar.

Esta variable se midió usando la mesa de elevación superficial (SET, "*surface elevation table*"), la cual consiste en un medidor portátil de alturas que se fija en una base sumergida en el suelo (tubo de aluminio de 10 cm de diámetro) hasta la zona profunda de aproximadamente 4-6 m (Boumans y Day, 1993). En Yucatán se cuenta con bases de SET en: Celestún 6, Sisal, Progreso y Dzilam de Bravo 4; para el estado de Quintana Roo se instalaron 6 bases en Sian Ka'an y 4 en Chetumal, haciendo un total de 32 bases de SET.

Cada SET se coloca a unos 40 cm por arriba del piso y por medio de varillas (pines) se mide la distancia del suelo a la base. La precisión de las mediciones de los procesos que intervienen en la formación de suelo en humedales es muy importante, sobre todo para determinar la tasa de la elevación vertical del suelo, con la relación del incremento relativo del nivel medio del mar. La técnica del SET cumple con la precisión y exactitud de las mediciones, además de ser un método no destructivo que es aplicado en zonas inundadas como ciénagas y lagunas someras, manglares y marismas (Cahoon y Lynch, 2003). También se pueden identificar efectos del clima como huracanes, tormentas y procesos que ocurren en escalas de tiempo de mediano y largo plazo. Los SET indirectamente determinan el efecto de procesos superficiales como sedimentación y erosión del suelo, también los de descomposición de materia orgánica, producción de raíces y contenido de agua, pero no da información de los procesos que ocurren por debajo de la base del SET como la compactación. Para ello simultáneamente con el SET se utilizó un marcador de los horizontes del suelo como feldespatos (CaCO_3). La diferencia entre las mediciones del feldespatos (acreación vertical) y el SET (cambios de elevación) en un tiempo determinado indica el efecto de procesos que ocurren entre la marca de feldespatos y la base del SET a unos 4-6 m de profundidad (Cahoon y Turner, 1989). El valor resultante entre esas dos mediciones se conoce como subsidencia superficial, la cual se espera que esté a la par con las predicciones del incremento del nivel medio para el Golfo de México y el Caribe, si esto no sucede así y el valor es menor, entonces esa localidad de manglar tenderá a inundarse y cambiar, lo que significará que es vulnerable al incremento del nivel medio del mar.

En cada uno de los sitios se instalaron plataformas móviles para evitar las perturbaciones físicas durante la toma de datos. En el centro de dichas plataformas se ubicó la base del SET, el área

cubierta por las tarimas fue de 9 m². Una vez puestas las plataformas se procedió a la instalación de las bases de aluminio de 3.5 pulgadas de diámetro y 5 m de longitud; dentro de estos se fijaron con concreto tubos de aluminio de 2.5 pulgadas con 8 horadaciones o muescas, las cuales ajustan con el brazo del SET. Se colocaron 2 bases, como el SET es movable, para cada base las mediciones se hicieron en 4 posiciones que serán nombradas según su dirección en grados con respecto al norte. En cada posición se llevó a cabo la lectura de los 9 pines de que consta la mesa. Para el caso de la acreción, el feldespató (material utilizado en la manufactura de cerámica) se colocó en cuadrantes de 0.25 m² directamente sobre la superficie del suelo, se colocaron 3 cuadrantes por cada base del SET. La medición consistió en tomar con un núcleo de 2 x 2 cm y se midió la distancia del feldespató a la superficie del suelo. Las mediciones de los cambios de elevación y la acreción se llevaron a cabo al principio de la instalación y un año después.

5-Monitoreo de Productividad Primaria

Para la productividad del bosque se evaluaron tres componentes: a) incremento de biomasa de los troncos; b) caída de hojarasca; y c) crecimiento de raíces finas.

a) La biomasa aportada por los troncos al sistema se evaluó a través de los cambios de diámetro a la altura del pecho de 10 árboles de cada parcela a intervalos de un año. Las mediciones se hicieron con cintas diamétricas. Los cambios de diámetro se estimaron con la diferencia entre los valores del inicio y final de la vigencia del proyecto. Entre años de los árboles de las parcelas y que fueron marcados en la fase de caracterización. Esto sólo se aplicó a la localidad de Celestún donde los datos fueron robustos para el análisis.

b) Para la medición de la productividad de hojarasca se instalaron 5 canastas en cada parcela de las localidades donde por logística o cooperación con otras instituciones se podía colectar mensualmente. Sin embargo, en ocasiones la colecta de hojarasca por parte de algunos colaboradores no les era posible realizarla mensualmente por las condiciones adversas de clima que dificultaban la navegación y/o el trabajo de muestreo, también por falta de lancha o desperfectos de la misma, y la colecta se posponía hasta que las condiciones fueran seguras.

Las canastas fueron elaboradas de material de tela mosquitero de 1 mm de abertura de malla, distribuyéndose aleatoriamente dentro de la parcela y sujetas a una altura de 1.30 m. Cada mes (o en ocasiones en intervalos de tiempo mayor) se colectó el material vegetal de las canastas, el cual fue secado en una estufa a 75 °C por 72 horas, y posteriormente separado en los diversos componentes (hojas, tallos, estructuras reproductivas, misceláneo).

c) Para conocer la biomasa y productividad que aportan las raíces finas, el procedimiento consistió en la extracción de núcleos de suelo de 40 cm de profundidad, la cual corresponde a la zona donde se llevan a cabo con mayor intensidad los procesos biogeoquímicos en el ecosistema de manglar (Castañeda-Moya *et al.*, 2011). Este núcleo tenía además 10 cm de diámetro y el reemplazo del sedimento extraído fue con “*peat moss*” comercial que se empaca en núcleos de malla de 35 cm de largo y 10 cm de diámetro y 1.5-2 cm de apertura de malla, colocados verticalmente a una profundidad máxima de 30-40 cm (Giraldo, 2005). Las raíces finas crecen principalmente en el intervalo de 0 a 40 cm de profundidad del sedimento por la función de intercambio que tienen (Komiyama *et al.*, 1987), con lo cual se estimó la producción de las raíces finas a diferentes intervalos de tiempo iniciando en T0 (la muestra inicial obtenida del núcleo original), T1-(12 meses), T2-(24 meses). Los núcleos extraídos fueron analizados separando las raíces vivas de muertas y posteriormente separadas por categorías: 1 (0-0.2cm) 2 (0.21-0.5cm), 3 (0.51-2.5cm), por último se secaron a 75 °C por 72 horas y se pesaron.

6- Microtopografía

Los niveles microtopográficos por sitio, se determinaron usando el método de la “manguera de nivel convencional”, usando flexómetros, plumones indelebles y estadales de madera de 1.50 m de altura (Agraz-Hernández, 1999). La medición se realizó a través de transectos perpendiculares de 200 metros al mar o laguna (según el caso) iniciando desde la orilla de los cuerpos de agua y clavando un estadal de madera. Se marcó en el estadal el nivel del agua. Posteriormente se midió con el flexómetro la distancia del suelo a la marca (nivel de agua). Se aumentó y marcó aproximadamente 1 m (dependiendo de la pendiente del suelo) en la parte superior del estadal y se clavó otro estadal al inicio del bosque midiendo la distancia entre un estadal y otro. Con la manguera de nivel convencional previamente con agua (sin burbujas de aire para que no interfirieran en la lectura), se corrió el nivel del primer punto al segundo (subiendo o bajando la manguera en el segundo estadal de tal manera que el menisco de agua coincidiera con la segunda marca en el primer estadal). Una vez obtenido el nivel en el segundo estadal se midió nuevamente la distancia del suelo a la nueva marca (nivel). Entre estadal y estadal se identificaron las especies y los cambios en la estructura del bosque.

I.-RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN BIOLÓGICA Y AMBIENTAL

I.1.- Estructura De Árboles Adultos

Celestún: De acuerdo a las variables estructurales se observa un mayor desarrollo estructural del bosque de manglar en el sitio de la parte Interna de la laguna de acuerdo al índice de complejidad (IC) (16.2), al igual que presentó las mayores alturas (>10m). El sitio de la Boca presentó menor desarrollo estructural de la vegetación (IC = 5.3). La densidad de árboles es el reflejo de su edad, madurez y efecto de los estresores y recursos (Twilley y Rivera-Monroy, 2005), registrándose la menor densidad en la parte Interna (1108 ind. ha⁻¹), y la mayor densidad en el sitio de la Boca (2450 ind. ha⁻¹). El área basal es el área que ocupa un tronco en un espacio conocido, por lo que en sitios donde se observan árboles con áreas basales grandes la densidad es menor, lo cual se ve reflejado en la zona Interna que presenta las mayores áreas basales (40.5 m² ha⁻¹), mientras que las menores se observaron en el sitio del Puente (23.6 m² ha⁻¹) (Fig. I.1.1). En cuanto a la altura de los árboles estas fueron mayores en el sitio de la zona Interna (12 m), observándose una disminución hacia el sitio de la Boca (5 m). En los 3 sitios se registraron 3 especies (*Avicennia germinans*, *Rhizophora mangle* y *Laguncularia racemosa*), siendo *L. racemosa* dominante en los sitios Interna (61%) y Puente (51%), mientras que en sitio Boca la dominante es *Avicennia germinans* (59%) de acuerdo al índice del valor de importancia (IVI).

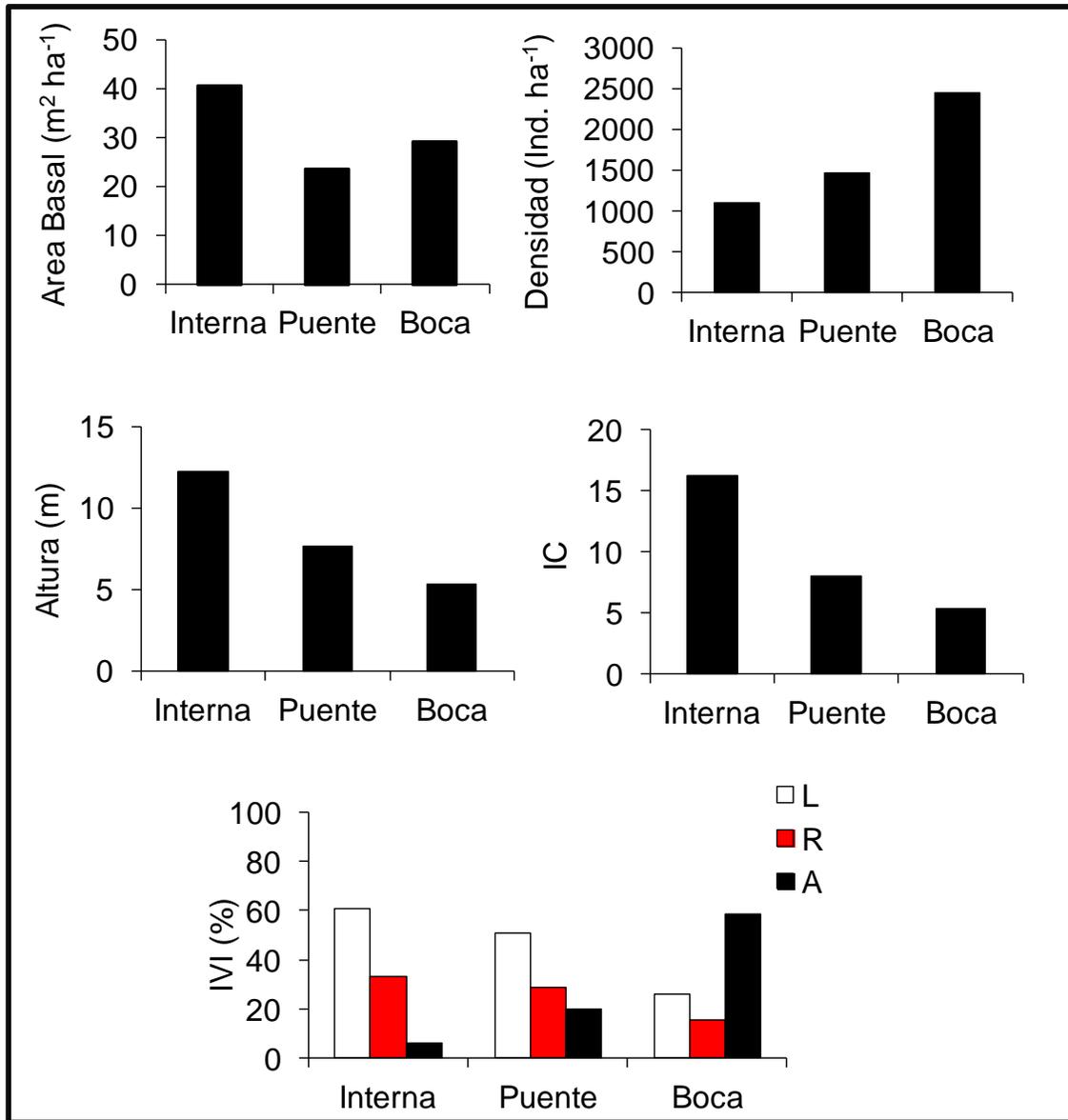


Figura I.1.1. Variables estructurales de la localidad de Celestún. *Avicennia germinans* (A), *Laguncularia racemosa* (L), *Rhizophora mangle* (R).

Sisal: De acuerdo al índice de complejidad el sitio de Pecis I (9.7) presentó mayor desarrollo estructural con respecto a Pecis III (5.1). La mayor densidad de árboles de manglar se observó en Pecis I (4944 ind. ha⁻¹), y los árboles más altos se registraron en Pecis III (3.9 m) (Fig. I.1.2). Con respecto al área basal, en el sitio de Pecis I se observaron las menores áreas basales (15.6 m² ha⁻¹) indicando que son árboles relativamente jóvenes, observándose menor área basal y mayor densidad. De acuerdo al IVI *Avicennia germinans* fue dominante tanto en Pecis I (77%) como en Pecis III (98%) (Fig. I.1.2).

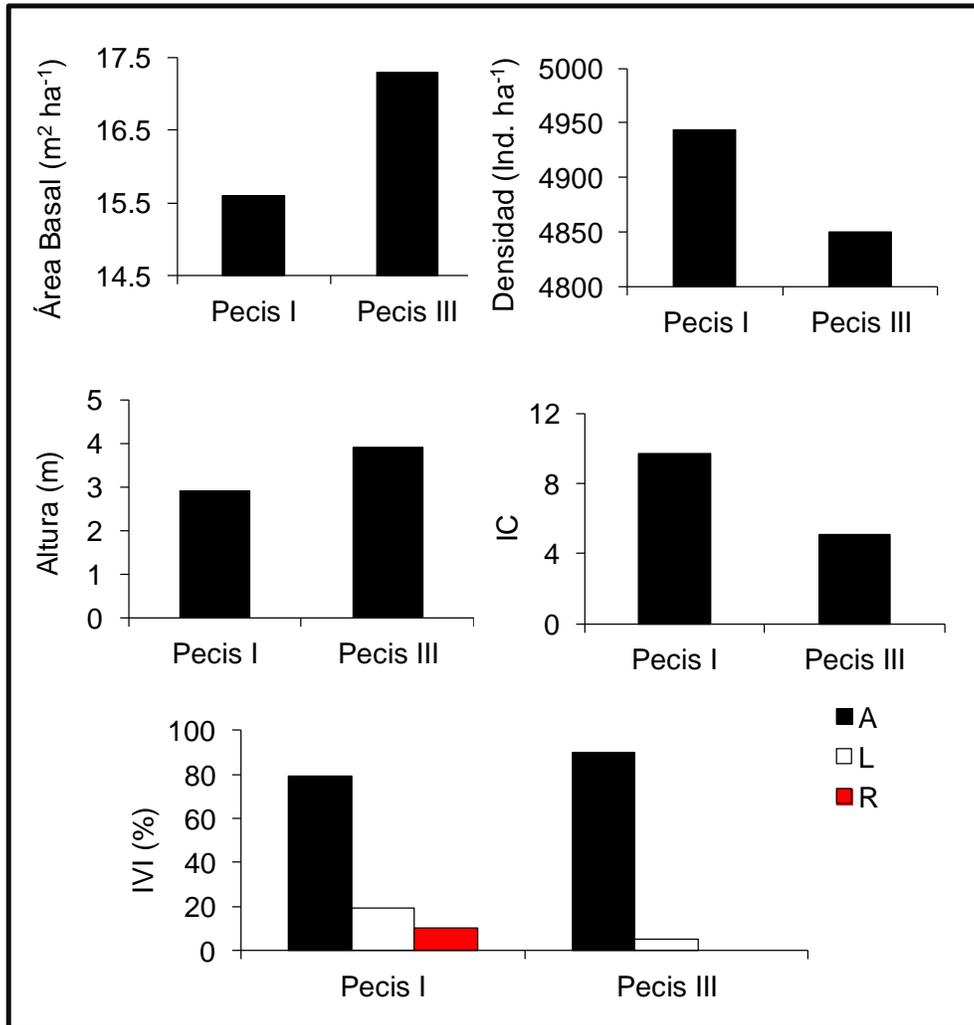


Figura I.1.2. Variables estructurales de la localidad de Sisal. *Avicennia germinans* (A), *Laguncularia racemosa* (L), *Rhizophora mangle* (R).

Progreso: En la localidad de Progreso el sitio con mayor desarrollo estructural es el denominado como Contenedores de acuerdo al índice de complejidad (11.7), seguido de Chelem II (10.8). No obstante que Chelem I presentó un bajo índice de complejidad (1.1), los 3 sitios presentan un buen desarrollo estructural. En Chelem II se registraron las mayores áreas basales ($32.1 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$), mientras que en Chelem I se observaron los árboles con los diámetros más pequeños y reflejándose en una menor área basal ($5.8 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) con respecto a los demás (Fig. I.1.3). La mayor densidad de árboles se registró en Contenedores ($6750 \text{ ind. ha}^{-1}$) seguido de Chelem I ($4500 \text{ ind. ha}^{-1}$). Los árboles más altos se registraron en Chelem II (4.2 m). En los 3 sitios se registraron 3 especies (*Avicennia germinans*, *Rhizophora mangle* y *Laguncularia racemosa*), siendo en Chelem I *Avicennia germinans* (67%) la especie dominante de acuerdo al IVI, en Chelem II *Laguncularia racemosa* (70%) y en Contenedores *Rhizophora mangle* (54%) (Fig. I.1.3).

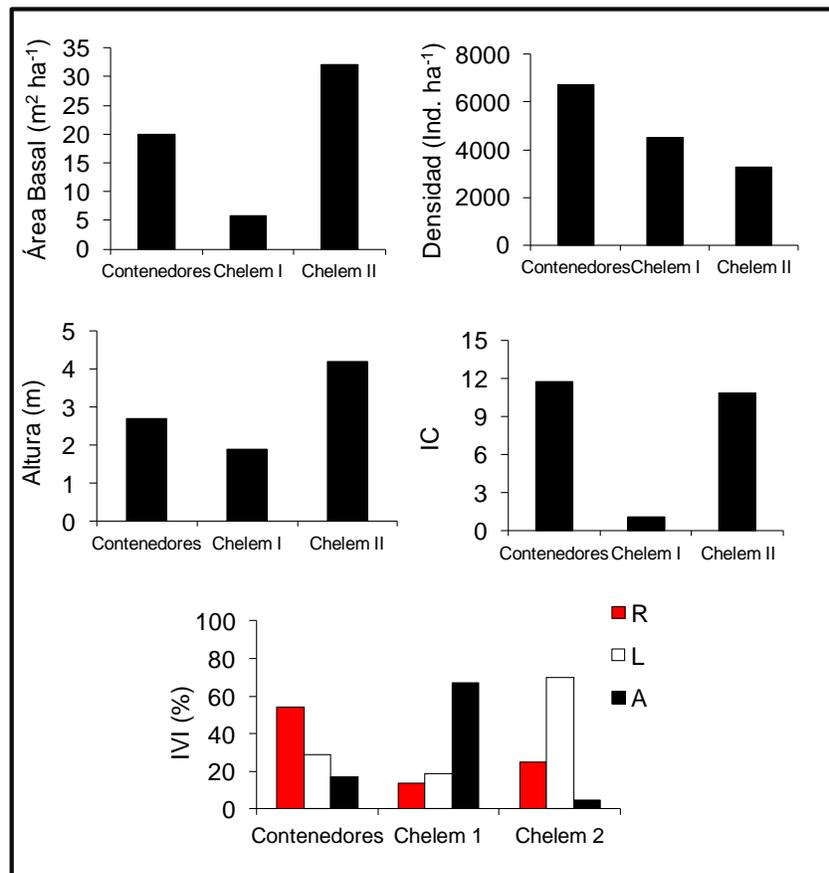


Figura I.1.3. Variables estructurales de la localidad de Progreso. *Avicennia germinans* (A), *Laguncularia racemosa* (L), *Rhizophora mangle* (R).

Dzilam: En la localidad de Dzilam la mayor densidad de árboles se registró en el sitio Elepetén (1683.3 ind. ha⁻¹), así como las mayores áreas basales (6.2 m² ha⁻¹), observándose un mayor desarrollo estructural reflejado en el índice de complejidad (1.3). El sitio del Pueblo presentó un menor índice de complejidad (0.01), siendo resultado de bajas áreas basales (0.61 m² ha⁻¹) con respecto a Elepetén. En este sitio se observaron las menores alturas de árboles (2.1 m). De acuerdo al índice de valor de importancia (IVI) en el sitio del Pueblo la especie dominante es *Avicennia germinans* (67%), seguido de *Laguncularia racemosa* (19%), mientras que en el sitio de Elepetén la especie dominante fue *Laguncularia racemosa* (66 %) (Fig. I.1.4).

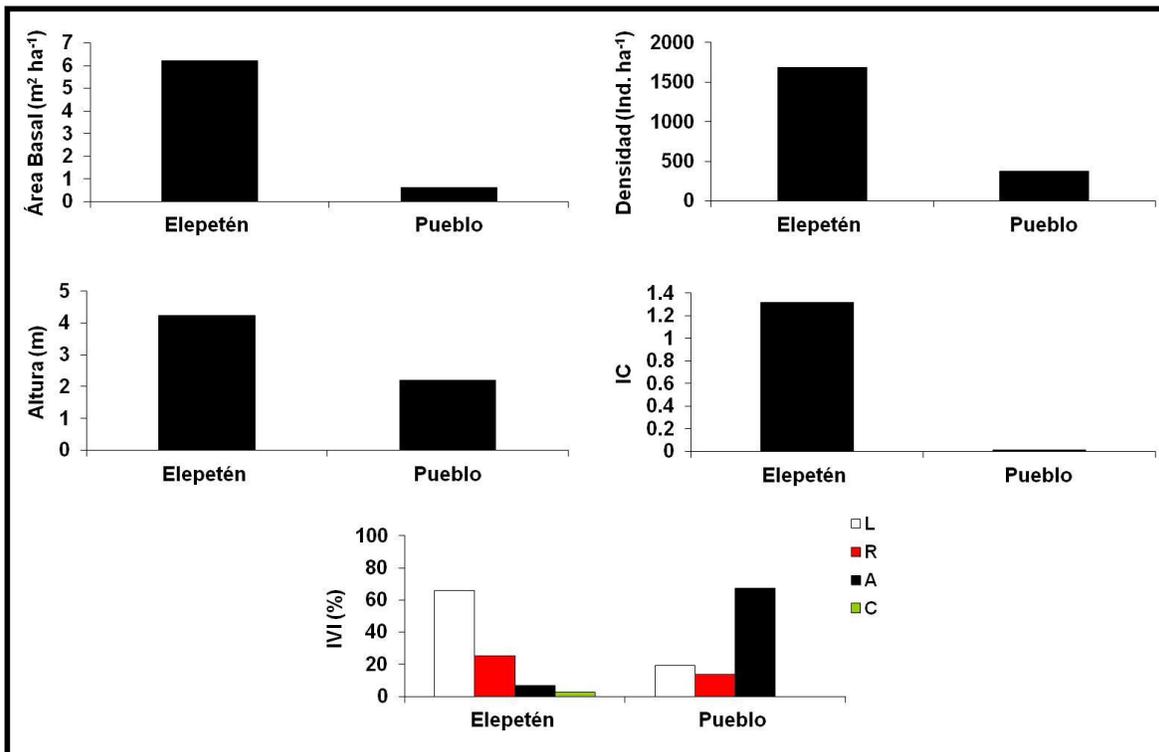


Figura I.1.4. Características estructurales de la localidad de Dzilam. *Avicennia germinans* (A), *Laguncularia racemosa* (L), *Rhizophora mangle* (R), *Conocarpus erectus* (C).

Río Lagartos: En la localidad de Río Lagartos la mayor densidad de árboles se registró en el sitio El Cuyo (>4000 ind. ha⁻¹). De acuerdo al índice de complejidad el sitio El Cuyo (5.3) presentó un mayor desarrollo estructural con respecto al sitio de Río Lagartos (0.7), a pesar de que en este se observaron los árboles más altos (8.6 m). En el sitio El Cuyo se registraron árboles de mayor diámetro y por ende se registraron mayores áreas basales (22.09 m² ha⁻¹), además de ser un bosque mono-específico de *Avicennia germinans*. En el sitio de Río Lagartos *Rhizophora mangle* (80 %) fue la especie dominante seguida de *Laguncularia racemosa* (20 %) de acuerdo al índice de valor de importancia (Fig. I.1.5).

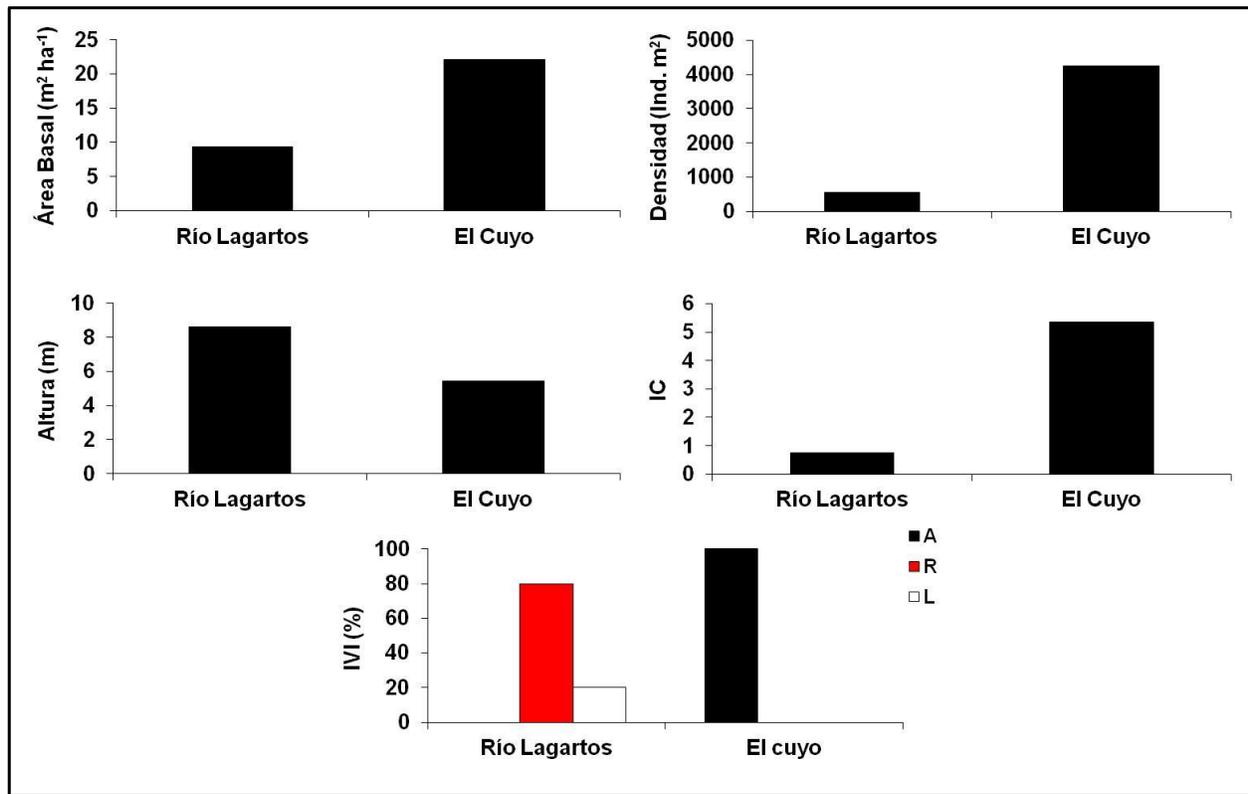


Figura I.1.5. Variables estructurales de la localidad de Río Lagartos. *Avicennia germinans* (A), *Laguncularia racemosa* (L), *Rhizophora mangle* (R).

Cancún: En esta localidad el sitio denominado Polígono 1 presentó las mayores áreas basales ($37.3 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$), seguido del sitio Polígono 9 ($26.33 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$), sugiriendo que en el primero los árboles son de diámetros mayores. Con respecto a la densidad de árboles en el Polígono 1 se registró el mayor valor ($7800 \text{ ind. ha}^{-1}$), mientras que en el Polígono 9 se registraron los árboles más altos (7.3 m). De acuerdo al índice de complejidad el Polígono 1 presentó el mayor desarrollo estructural (19.1) seguido del Polígono 9 (8.2). En ambos sitios solo se presentó la especie *Rhizophora mangle* (Fig. I.1.6).

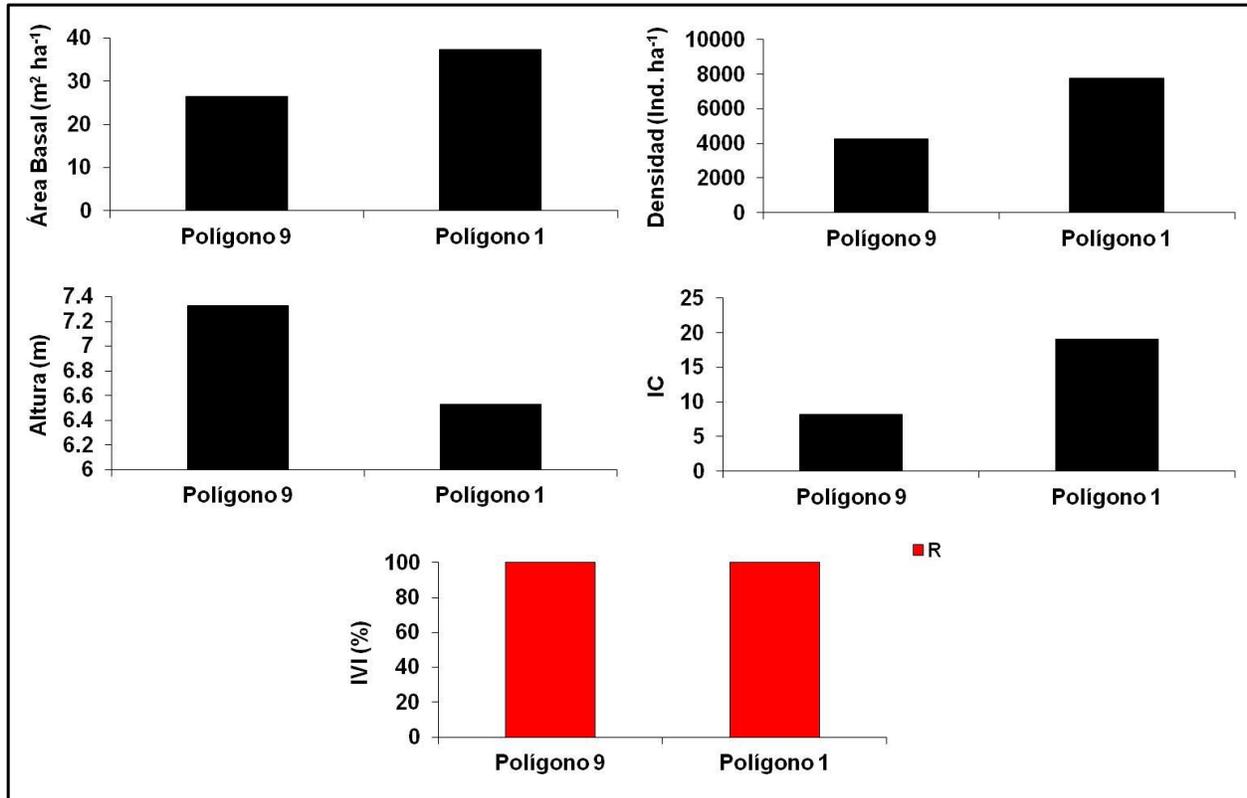


Figura I.1.6. Variables estructurales de la localidad de Cancún. *Rhizophora mangle* (R).

Puerto Morelos: En el sitio del Cid de esta localidad se registraron los árboles con las mayores áreas basales ($34.9 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$). La densidad media registrada en el sitio de la Ceiba fue de $4250 \text{ ind. ha}^{-1}$, siendo menor con respecto al sitio del Cid. Con respecto a la altura de árboles en el sitio del Cid se registraron árboles más altos (4.9 m) con respecto al sitio de la Ceiba (3.9 m). En esta localidad los árboles de manglar no son mayores a los 6 metros de altura. Con respecto al índice de valor de importancia en ambos sitios se observaron 3 especies siendo *Conocarpus erectus* (93%) la dominante en el sitio del Cid, mientras que *Rhizophora mangle* (48%) fue la especie dominante en el sitio la Ceiba (Fig. I.1.7).

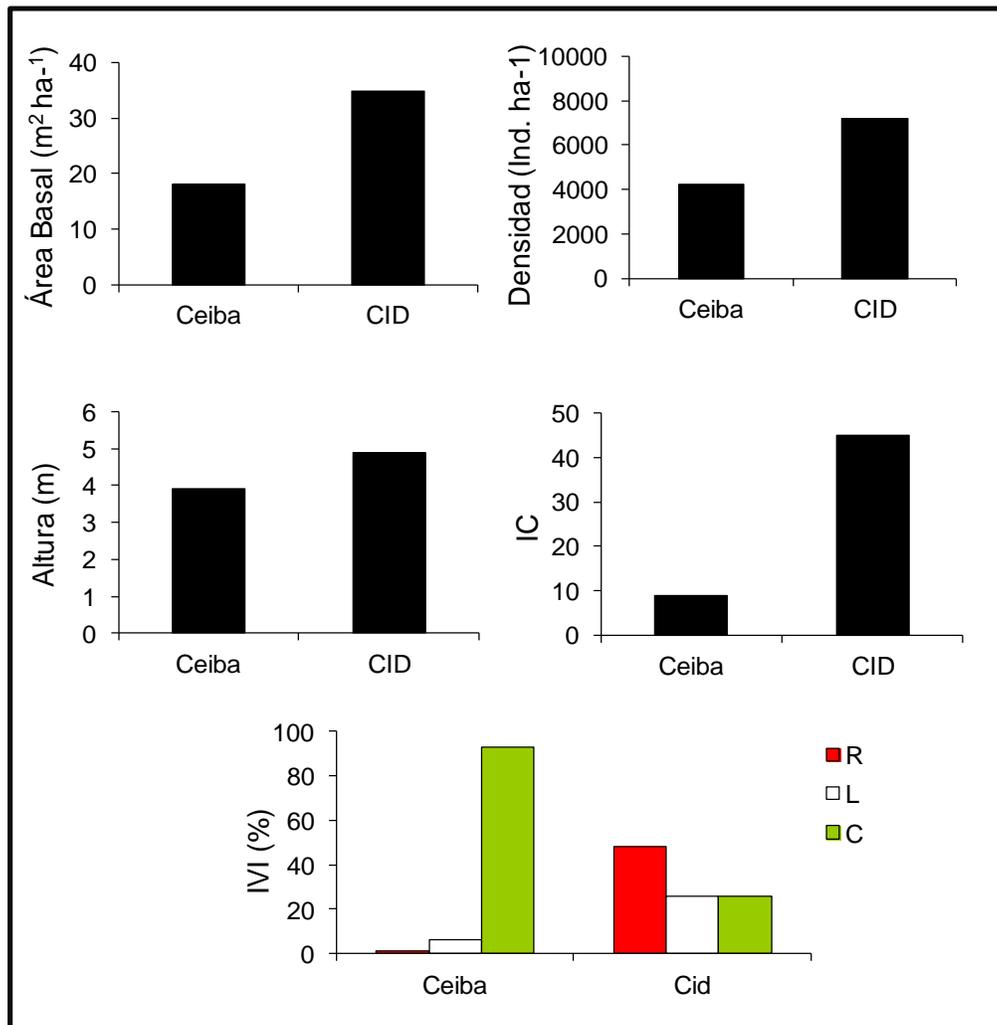


Figura I.1.7. Variables estructurales de la localidad de Puerto Morelos. *Avicennia germinans* (A), *Laguncularia racemosa* (L), *Conocarpus erectus* (C).

Sian Ka'an: Con respecto a las variables estructurales, la mayor densidad de árboles se registró en el sitio del Playón (14600 ind. ha⁻¹), mientras que las mayores áreas basales (63.54 m² ha⁻¹) se registraron en el sitio Cayo Culebras. En relación a las alturas de los árboles el sitio del Playón presento alturas <2m, mientras que en Cayo Culebras los árboles llegaron hasta casi los 9 m. Con respecto al índice de complejidad (IC) el sitio del Playón presenta un valor de 0.94, mientras que en Cayo Culebras fue de 30.99, siendo en ambos sitios *Rhizophora mangle* la única especie que se observó (Fig.I.1.8).

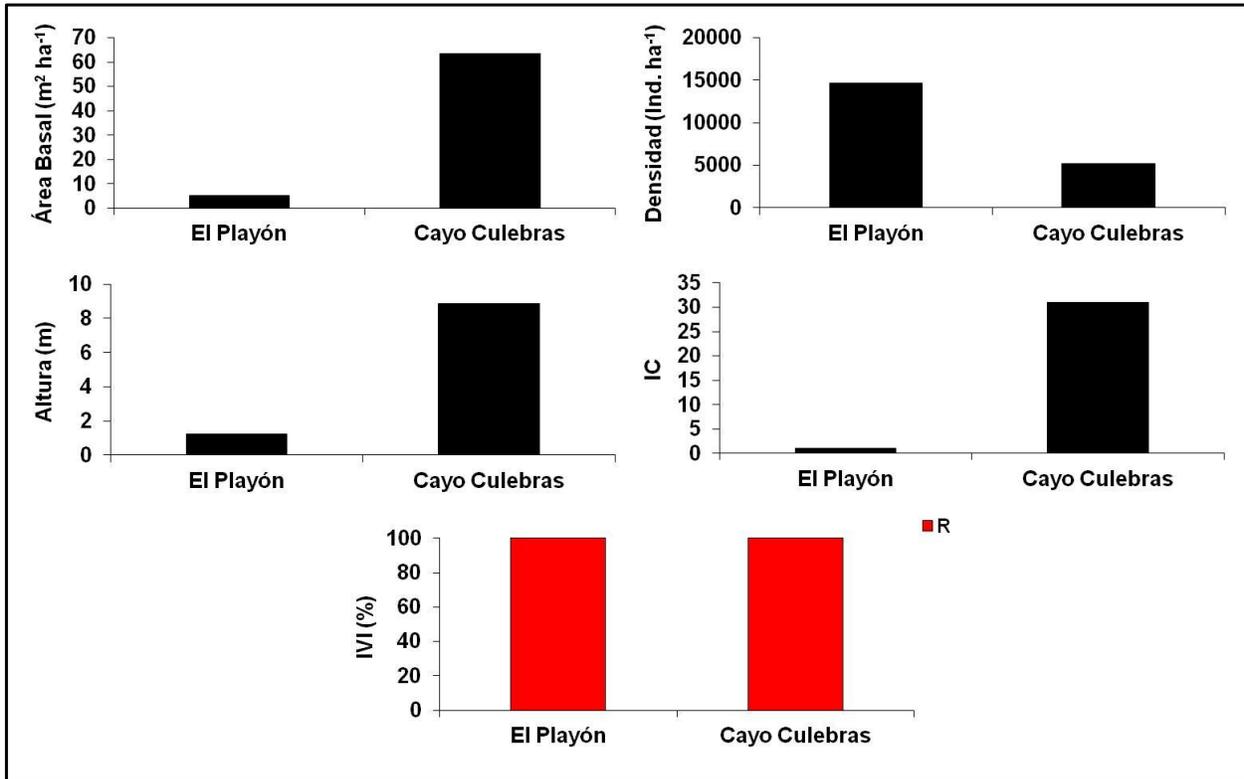


Figura I.1.8. Variables estructurales de la localidad de Sian Ka'an. *Rhizophora mangle* (R).

Xcalak: De acuerdo a las variables estructurales de la vegetación del manglar, el sitio Portilla presenta un mayor desarrollo de acuerdo al índice de complejidad (12.6), mientras que en el sitio del Pueblo su valor fue menor (<5), además de observarse árboles con diámetros más pequeños y por ende áreas basales menores ($14.5 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$). La densidad de árboles fue mayor en el sitio del Pueblo (6700 ind ha^{-1}), mientras que en el sitio de Portilla se registraron los árboles más altos (6.7 m) (Fig. I.1.9). En ambos sitios *Rhizophora mangle* la única especie que se observó.

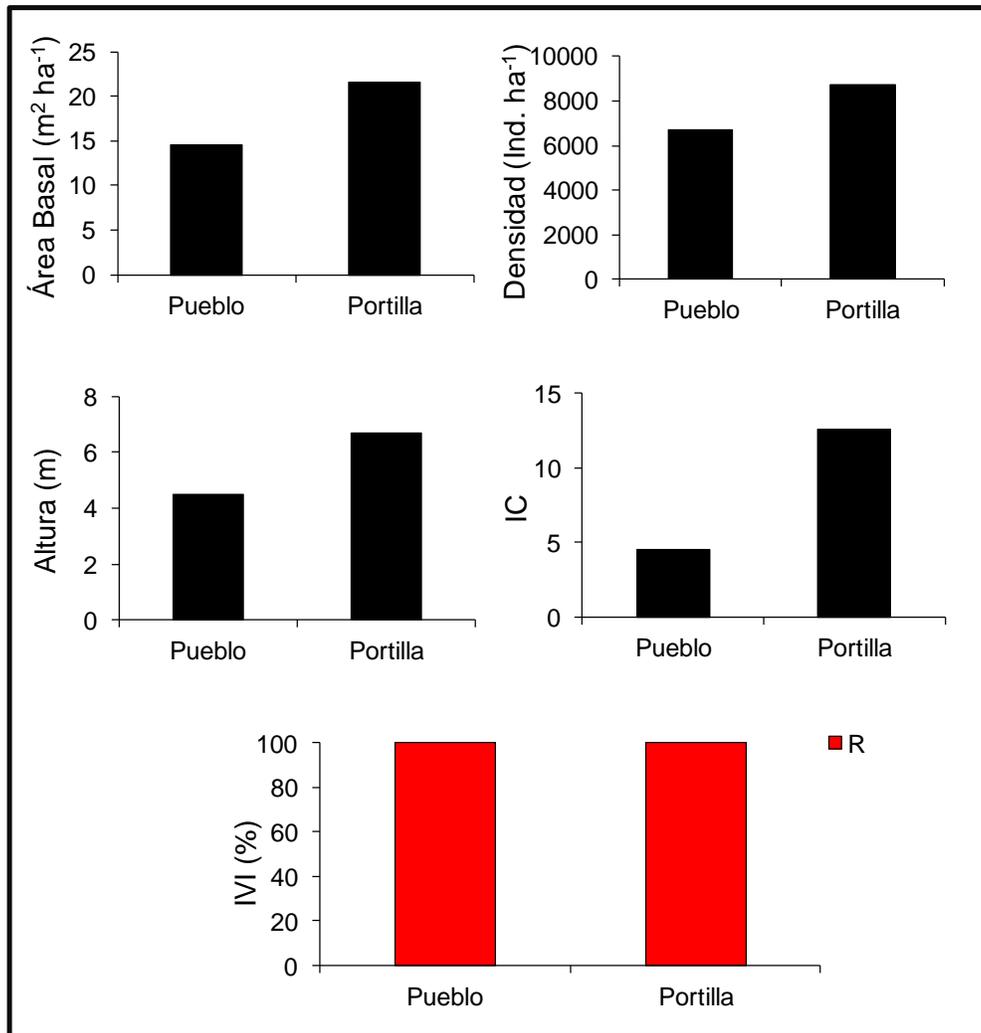


Figura I.1.9. Variables estructurales de la localidad de Xcalak. *Rhizophora mangle* (R).

Chetumal: En el sitio de Río Hondo se observaron los árboles con los mayores diámetros lo cual se ve reflejado en las altas áreas basales ($23.2 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$). En este mismo sitio se registró la mayor densidad de árboles adultos ($1750 \text{ ind. ha}^{-1}$), sin embargo, los árboles más altos se registraron en el sitio de Tamalcab (9 m). De acuerdo al índice de complejidad ambos sitios presentan un buen desarrollo estructural, siendo un poco mayor en el sitio de Río Hondo (7.2). Así mismo, en Río Hondo se presentaron 4 especies, 2 de ellas son *Rhizophora mangle* y *Conocarpus erectus*, las demás son especies características de selva mediana (*Pachira* sp y otra no identificada y nombrada como como sp1. En el sitio de Tamalcab se observaron 3 especies de mangle, siendo *Rhizophora mangle* la especie dominante (73%), seguido de *Laguncularia racemosa* (19 %) y *Avicennia germinans* (Fig.I.1.10).

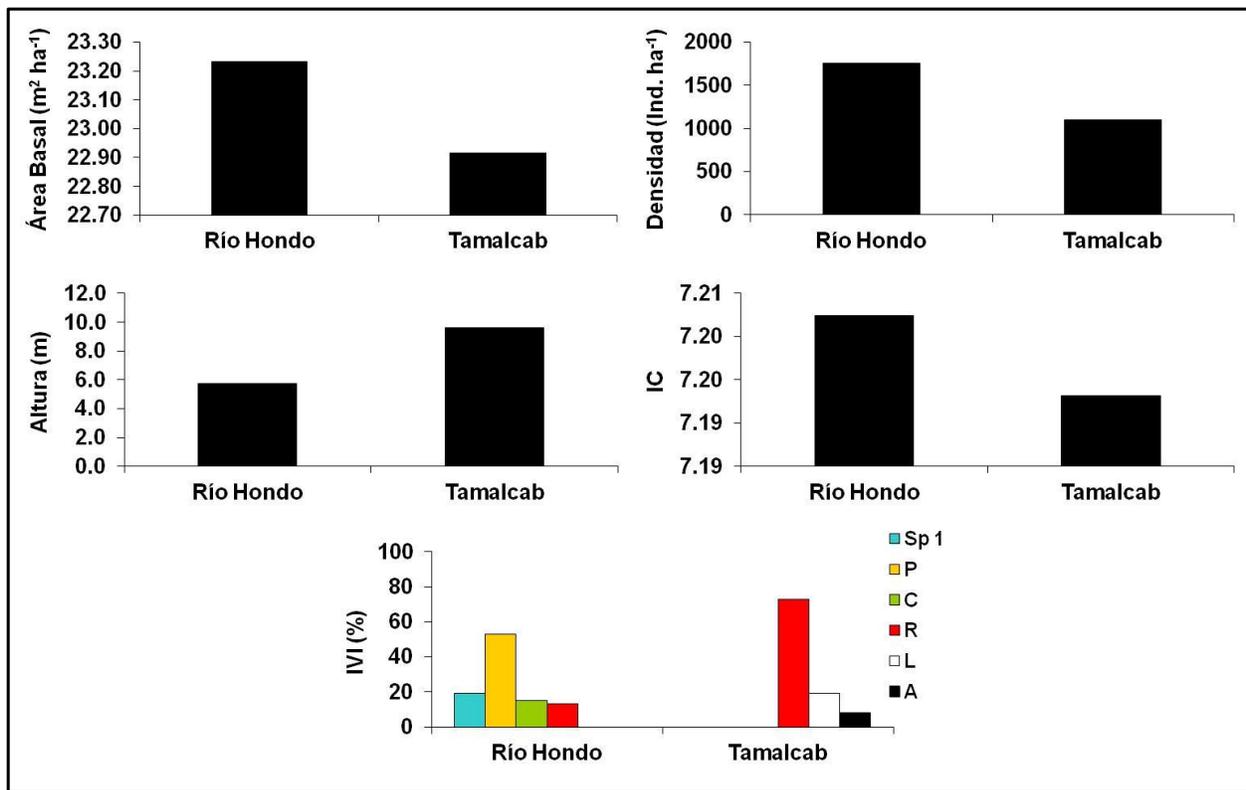


Figura I.1.10 Variables estructurales de la localidad de Chetumal. *Avicennia germinans* (A), *Laguncularia racemosa* (L), *Rhizophora mangle* (R), *Conocarpus erectus* (C), *Pachira* sp (P), especie no identificada (Sp 1).

I.2.- Regeneración

La capacidad de recuperación o parte del proceso de reclutamiento de un bosque se ve reflejado en la regeneración natural a través de la densidad de plántulas y juveniles. Esta variable es muy sensible al tiempo de la toma de datos, ya que de acuerdo a lo observado en las campañas de muestreo que se realizaron en diferentes momentos, la densidad de plántulas se relaciona con el periodo de producción y caída de semillas de los árboles, por lo que si el muestreo de una localidad no fue durante este periodo de tiempo, los resultados tienen un sesgo temporal que considerar al momento de comparaciones entre localidades.

Celestún: En el sitio del Puente se registró la mayor densidad de plántulas (134 ind. m²) con respecto a los demás sitios. En el sitio de la zona Interna se observó la menor densidad de plántulas (56 ind. m²), esto probablemente a que es un bosque maduro, y la presencia de plántulas o juveniles van estar asociadas a zonas abiertas denominadas “gaps” o claros, creados por la caída de árboles de mayor edad por vientos fuertes como los que se presentan durante huracanes y nortes. Con respecto a la densidad de juveniles la mayor densidad se registró en el sitio de la zona Interna (37 ind. ha⁻¹), y la menor se observó en el sitio de la Boca (3 ind. ha⁻¹) (Fig. I.2.1).

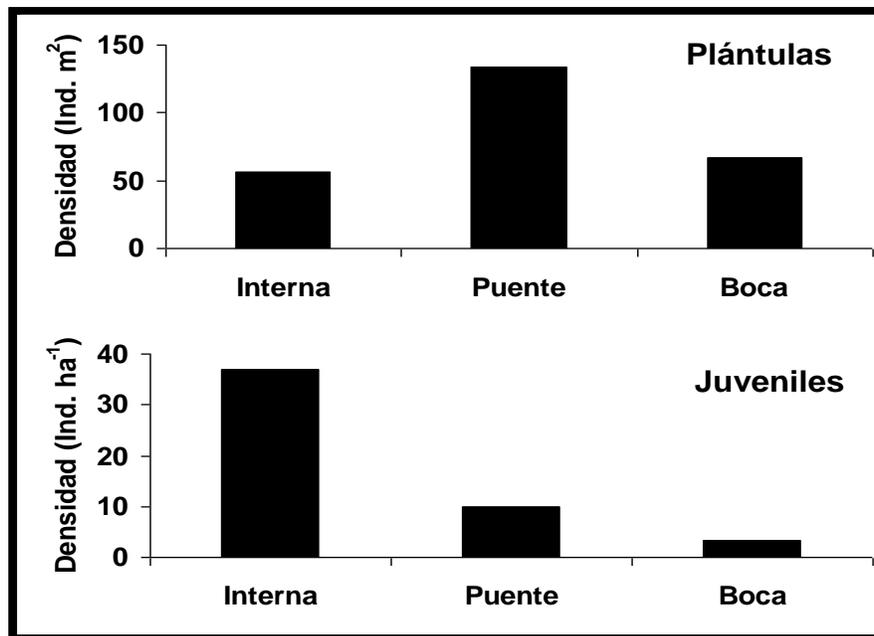


Figura I.2.1. Densidad de Plántulas y Juveniles en la localidad de Celestún.

Sisal: La densidad de plántulas es mayor en el sitio de Pecis I (36 ind. m²), seguido de Pecis III (29 ind. m²). La densidad de juveniles presenta el mismo comportamiento de mayor en Pecis I (40 ind. m²) y menor en el sitio de Pecis III (29 ind. m²) (Fig.1.2.2). Es probable que los resultados se asocien a que Pecis I estuvo expuesta a los aportes de los efluentes de la camaronera, los cuales se caracterizaban por presentar altas concentraciones de nutrientes y materia orgánica (Zaldívar-Jiménez *et al.*, 2012).

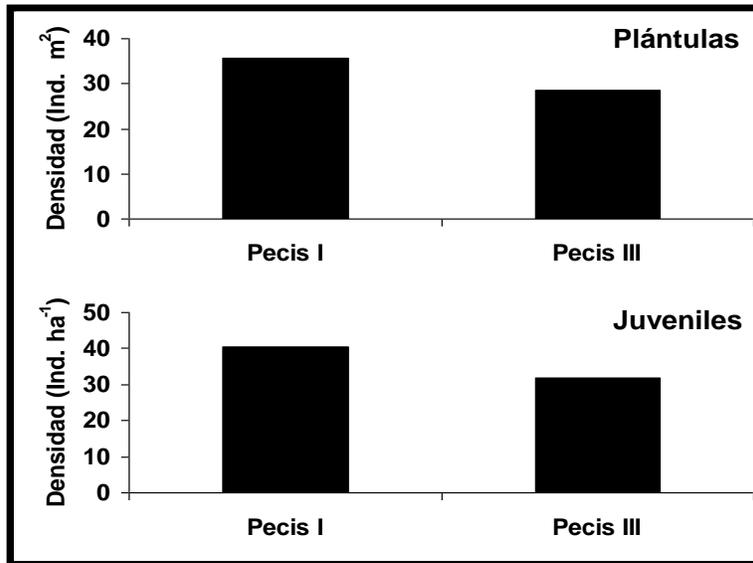


Figura 1.2.2. Densidad de Plántulas y Juveniles en la localidad de Sisal.

Progreso: La mayor densidad de plántulas se registró en el sitio de Chelem II (200 ind. m²) mientras que el sitio de Chelem I presentó la menor densidad (42 ind. m²). En Chelem II la mayor densidad de plántulas pudo deberse a que la regeneración natural en zonas abiertas es influenciada por el DAP (diámetro a la altura del pecho) de árboles maduros, los cuales presentan influencia en la abundancia de propágulos disponibles localmente, así como la distancia de la semilla al árbol y la elevación del claro (McKee *et al.*, 2007). Con respecto a la densidad de juveniles el mayor valor se observó en el sitio de Chelem II (30 ind. ha⁻¹), seguido del sitio Contenedores (8 ind. ha⁻¹), mientras que en el sitio de Chelem I se registró la menor densidad de juveniles (<1 ind. ha⁻¹) (Fig. I.2.3).

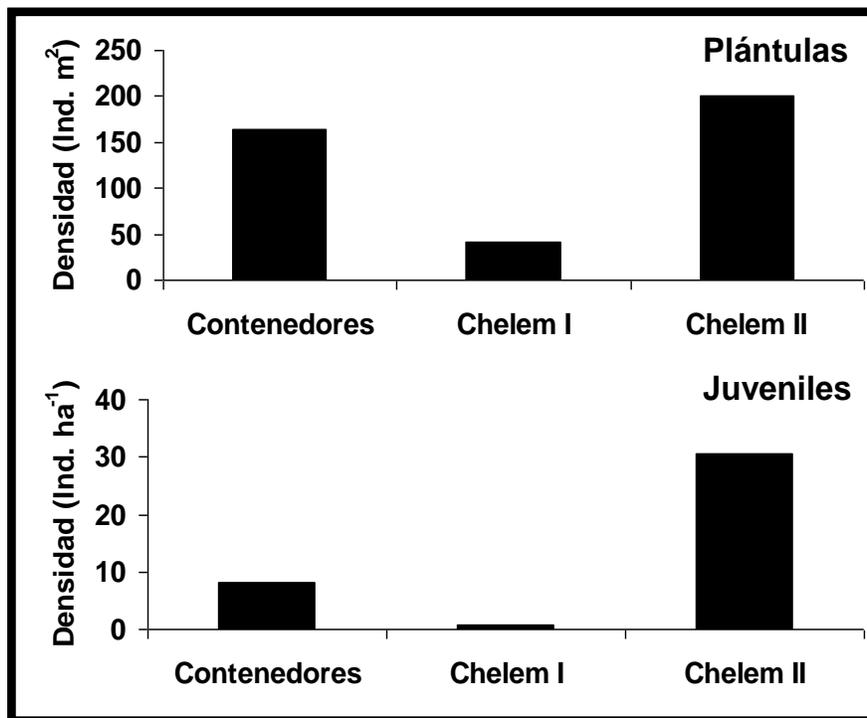


Figura I.2.3. Densidad de Plántulas y Juveniles en la localidad de Progreso.

Dzilam: La mayor densidad de plántulas se registró en el sitio de Elepetén (318 ind. m²), lo cual refleja el proceso de recuperación de este sitio ya que fue fuertemente impactado por el huracán de Isidoro (2002). En el sitio del Pueblo se observó la menor densidad de plántulas (20 ind. m²), mientras que con respecto a la densidad de juveniles la mayor densidad se presentó en el sitio del Pueblo (2 ind. ha⁻¹), seguido del sitio de Elepetén (<1 ind. ha⁻¹) (Fig. I.2.4).

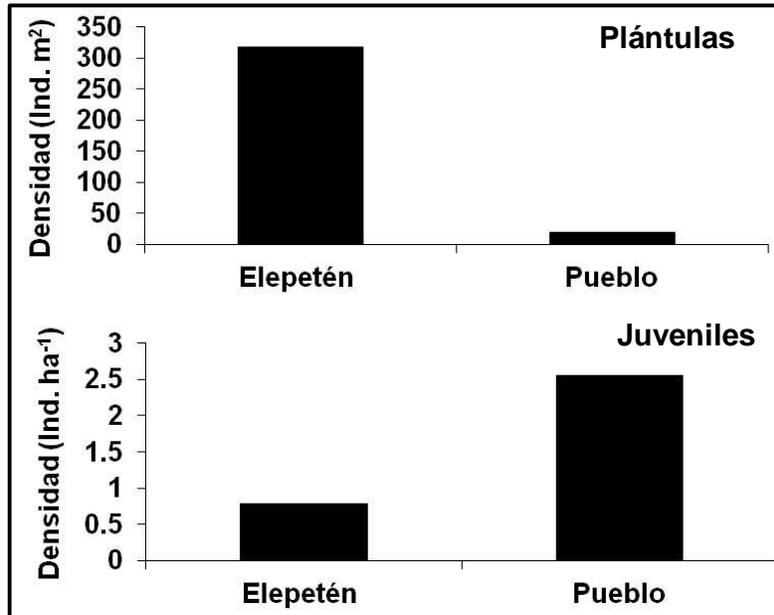


Figura I.2.4. Densidad de Plántulas y juveniles de la localidad de Dzilam.

Río Lagartos: Con respecto a la densidad de plántulas se registraron valores similares en ambos sitios de Río Lagartos (2 ind. m²), siendo densidades bajas e indicando que la capacidad de reclutamiento de nuevos individuos es pobre, ya que además no se observaron juveniles de manglar en ninguno de los 2 sitios (Fig. I.2.5).

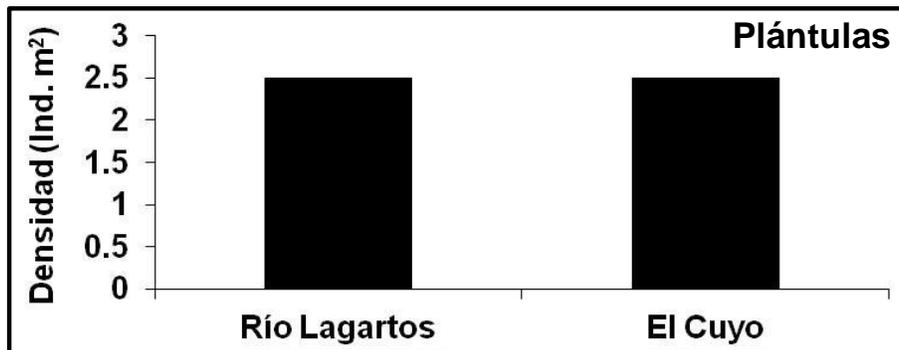


Figura I.2.5. Densidad de plántulas de manglar en la localidad de Río Lagartos.

Cancún: El sitio de Polígono 9 registró la mayor densidad de plántulas (2 ind. m²), mientras que en el sitio de Polígono 1 la densidad media fue de 1 ind. m², siendo en ambos casos densidades bajas, probablemente porque ambos sitios fueron impactados por el Huracán "Willma" (2005), el cual defolió árboles ocasionando la ausencia de árboles madre para la producción de propágulos. Con respecto a la densidad de juveniles no se observó presencia en ambos sitios (Fig. I.2.6).

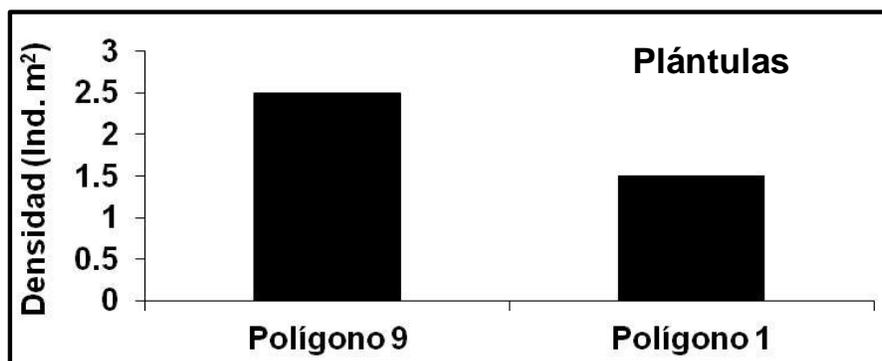


Figura I.2.6. Densidad de plántulas de manglar en la localidad de Cancún.

Puerto Morelos: El sitio de la Ceiba se presentó la mayor densidad de plántulas y juveniles (34 ind. m² y 490 ind. ha⁻¹), con respecto al sitio de El Cid ya que este presentó menor densidad de plántulas de manglar (5 ind. m²) y juveniles (140 ind. ha⁻¹), indicando que el proceso de reclutamiento de nuevos individuos de manglar es mayor en el sitio de la Ceiba (Fig. I.2.7). Cabe señalar que el sitio del Cid está sujeto a impactos significativos por la construcción de infraestructura turística lo cual se ve reflejado en las bajas densidades de plántulas y juveniles de manglar.

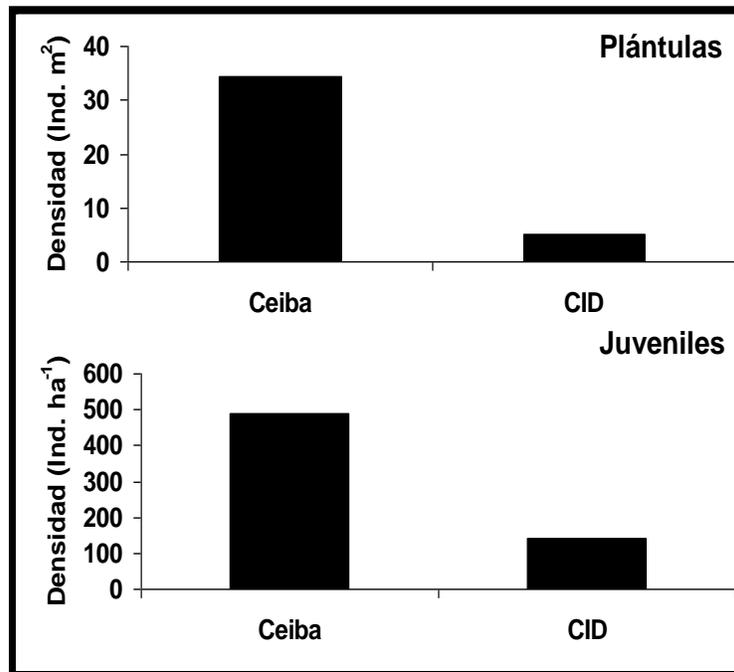


Figura I.2.7. Densidad de Plántulas y juveniles de la localidad de Puerto Morelos.

Sian Ka'an: Con respecto a la densidad de plántulas, la mayor se registró en el sitio de Cayo Culebras (3 ind. m²), seguido del sitio del Playón (1 ind. m²). No obstante que el sitio de Cayo Culebras presenta un buen desarrollo estructural, la disponibilidad de semillas es escasa como resultado de ser un sitio que probablemente se inunda con frecuencia, observándose plántulas solo en puntos donde la microtopografía es mayor al nivel de inundación. Con respecto a la presencia de juveniles en el sitio de Cayo Culebras se registró la mayor densidad (2600 ind. ha⁻¹), mientras que el sitio de el Playón no hubo presencia de juveniles (Fig. I.2.8).

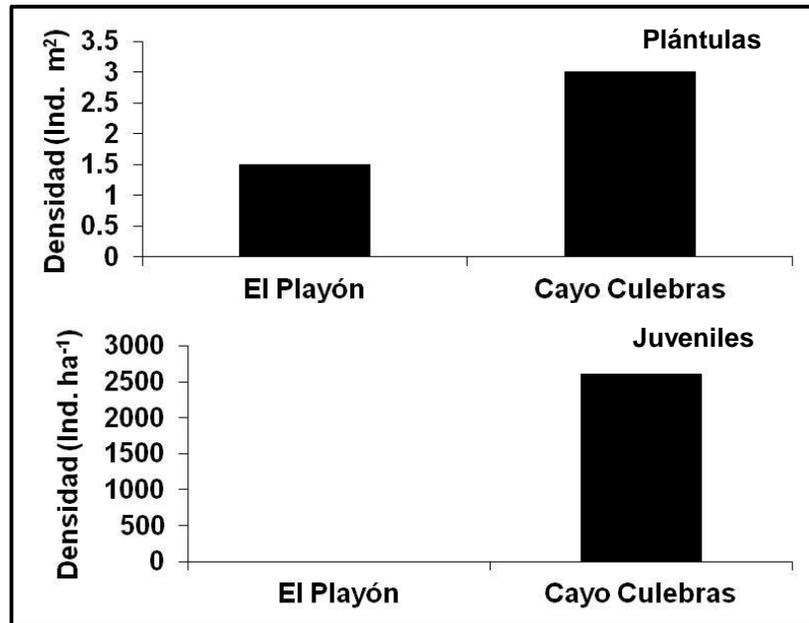


Figura I.2.8. Densidad de Plántulas y Juveniles en la localidad de Sian Ka'an.

Xcalak: En el sitio de Portilla se registró una densidad media de plántulas de 12 ind. m², siendo el único sitio donde hubo presencia de plántulas pero no de juveniles, indicando así la disponibilidad de semillas del sitio y posibilidades de desarrollo. En el sitio Pueblo no hubo presencia de plántulas ni juveniles de manglar (Fig. I.2.9). La capacidad de un bosque de restablecer sus poblaciones es por medio de la disponibilidad de plántulas, por lo que para esta localidad las probabilidades son bajas.

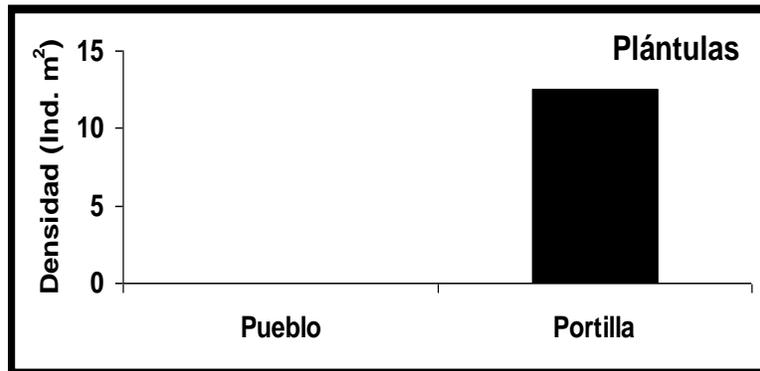


Figura I.2.9. Densidad de plántulas de la localidad de Xcalak.

Chetumal: En la localidad de Tamalcab se registró la mayor densidad de plántulas de manglar (18 ind. ha⁻¹), seguido de Río Hondo (16 ind. m²). Con respecto a la densidad de juveniles la menor densidad se registró en el sitio de Río Hondo (210 ind. ha⁻¹), mientras que en el sitio de Tamalcab esta fue mayor (250 ind. ha⁻¹) (Fig. I.2.10). La alta densidad de juveniles asociada a zonas con grandes diámetros de árboles, sugiere que el tamaño del árbol influye el reclutamiento de plántulas (Padilla *et al.*, 2004).

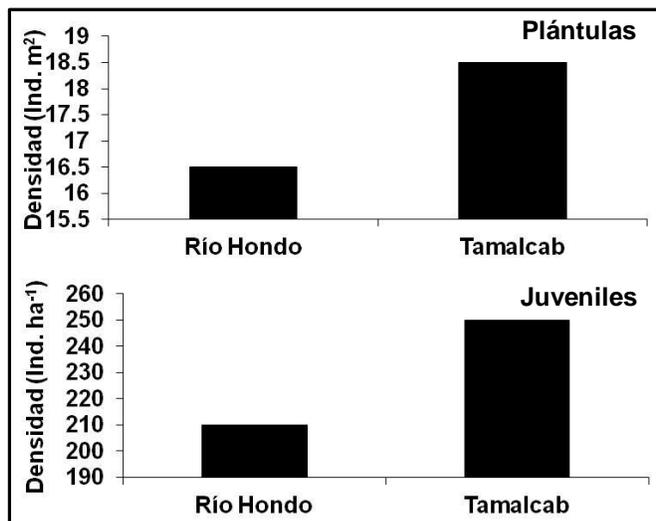


Figura I.2.10. Densidad de plántulas y juveniles de manglar en la localidad de Chetumal.

I.- CARACTERIZACIÓN: HIDROLOGÍA

I.3.-Salinidad Intersticial:

La salinidad es una expresión del balance entre los aportes de agua dulce, marina así como de la evaporación y precipitación local. Esta variable es importante en la distribución de las especies de manglar, así como en el desarrollo estructural de la vegetación.

Celestún: La salinidad es un factor que ayuda a explicar los patrones de distribución vegetal, lo cual se ve reflejado en la localidad de Celestún, ya que en el sitio de la zona Interna se observa la menor salinidad (22.4 g/kg), la cual aumenta en el sitio del Puente (31.3 g/kg), y registrándose la mayor salinidad promedio en el sitio de la Boca (51.5 g/kg) (Fig. I.3.1). Este comportamiento se asocia a que este ecosistema recibe aportes continuos tanto de agua marina como dulce proveniente de manantiales (Herrera-Silveira, 1994).

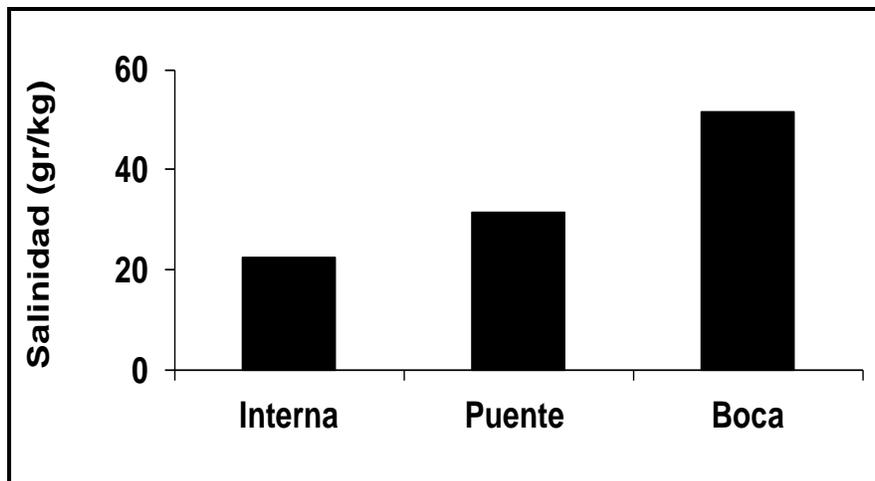


Figura I.3.1. Salinidad intersticial de los tres sitios de la localidad de Celestún.

Sisal: En esta localidad el sitio que presentó la mayor salinidad fue Pecis II (46.3 g/kg) probablemente porque que este sitio solo recibe aporte de agua por lluvia y esorrentía. En el sitio de Pecis I la salinidad fue menor (38.5 g/kg) lo que se podría relacionar a que durante mucho tiempo este manglar recibió aportes continuos de los efluentes de la granja camaronera (Zaldívar-Jiménez *et al.*, 2012) (Fig. I.3.2).

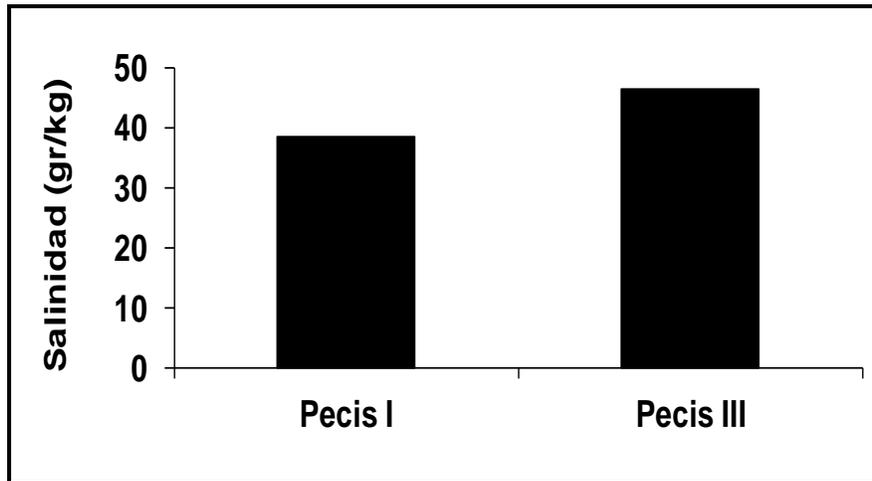


Figura I.3.2. Salinidad intersticial de los 2 sitios de la localidad de Sisal.

Progreso: En el sitio de Chelem I se presentó la mayor salinidad promedio (66.15 g/kg), mientras que en el sitio de Contenedores se registró la menor salinidad promedio (50.1 g/kg). Este sitio por su ubicación recibe un aporte continuo de agua lo que favorece mejor desarrollo estructural de la vegetación. El sitio de Chelem II presentó una salinidad media de 53.4 g/kg (Fig.I.3.3).

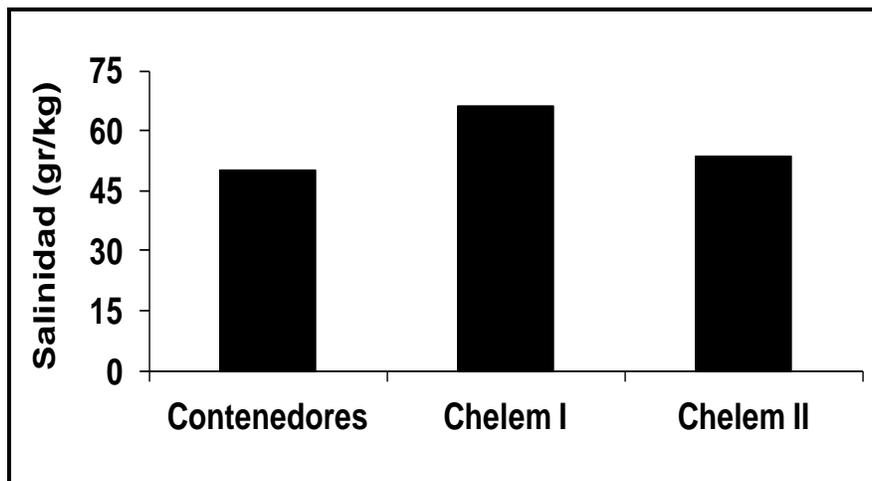


Figura I.3.3. Salinidad intersticial de los 3 sitios de la localidad de Progreso.

Dzilam: La salinidad intersticial más alta se registró en el sitio del Pueblo (46.8 g/kg), seguido del sitio de Elepetén (46.2 g/kg) (Fig. I.3.4). Las concentraciones en ambos sitios no alcanzaron valores considerados de “stress” (>60 g/kg) para el manglar. Los bajos valores de IC (Fig. I.2.4) en esta localidad sugieren probablemente haya efectos de cambios de hidropériodo o escases de algún recurso (nutrientes).

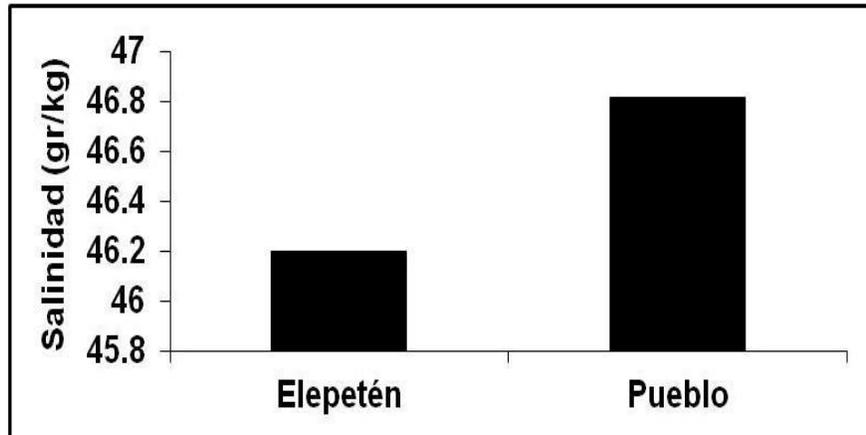


Figura I.3.4. Salinidad Intersticial se los 2 sitios de la localidad de Dzilam.

Río Lagartos: El sitio de Río Lagartos presentó la mayor salinidad (16.1 g/kg) con respecto al sitio de El Cuyo (15.1 g/kg) (Fig.I.3.5). Las salinidades registradas en ambos sitios no llegan a ser un factor de estrés, esto puede deberse que ambos sitios reciben aportes de agua vía escorrentía.

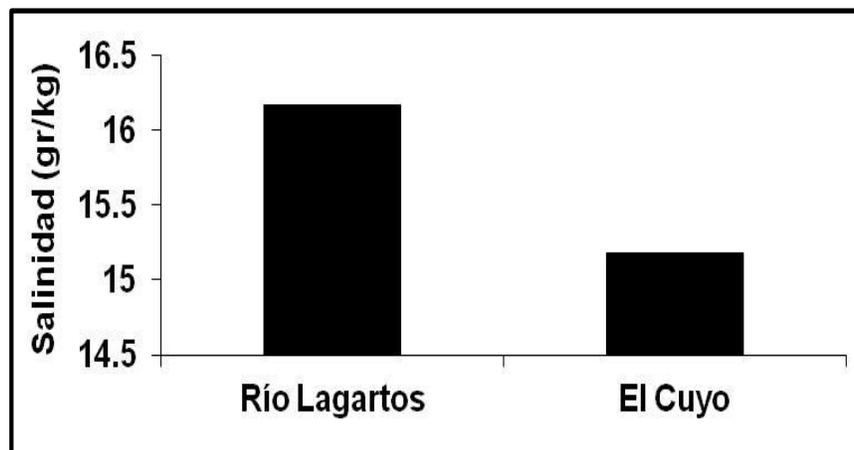


Figura I.3.5. Salinidad intersticial de la localidad de Río Lagartos.

Cancún: En el sitio de Polígono 9 se presentó la mayor salinidad intersticial (36.4 g/kg), mientras que en el sitio de Polígono 1 la salinidad fue ligeramente menor (32.6 g/kg) (Fig.I.3.6). El intercambio de agua en estos sitios es constante lo que permite que no haya acumulación de la salinidad.

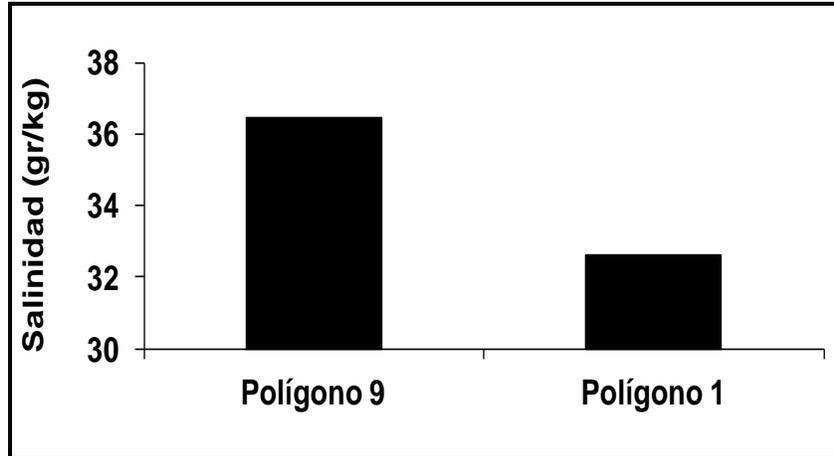


Figura I.3.6. Salinidad intersticial de la localidad de Cancún.

Puerto Morelos: En el sitio de la Ceiba se registró una salinidad media de 18.5 g/kg, ligeramente mayor que el sitio de El Cid (17.45 g/kg) (Fig.I.3.7). Pese a que no son salinidades que pueden llegar a ser un factor de estrés, es probable que otras variables como la topografía sean importantes, ya que en el sitio de la Ceiba se presentó *Conocarpus erectus*, la cual se caracteriza por establecerse en sitios de baja o nula inundación. Sin embargo, en el sitio de El Cid la especie dominante fue *Rhizophora mangle* indicando que la influencia de inundación es mayor y su nivel de suelo respecto al de la Ceiba es menor.

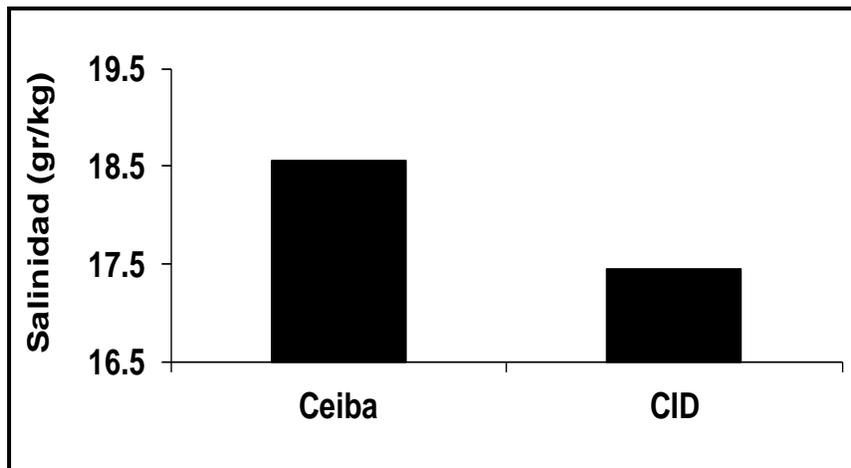


Figura I.3.7. Salinidad Intersticial de la localidad de Puerto Morelos.

Sian Ka'an: El sitio del Playón presentó la mayor salinidad (47.2 g/kg) con respecto al sitio de Cayo Culebras (37.1 g/kg) (Fig. I.3.8), esto probablemente a que el aporte de agua en el sitio del Playón es vía escorrentía sub-superficial y la salinidad puede aumentar debido a que la evaporación supera la precipitación. En el sitio de Cayo Culebras el aporte de agua es continuo ya que es un bosque de manglar tipo franja asociado directamente a la fuente de agua (laguna costera).

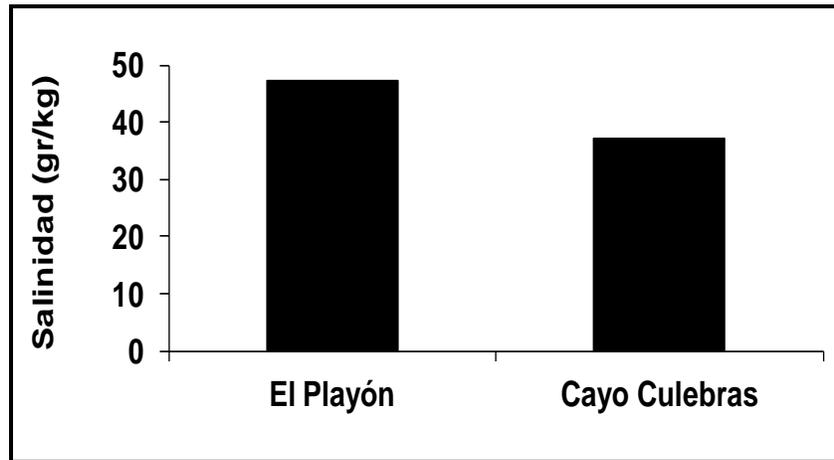


Figura I.3.8. Salinidad intersticial de la localidad de Sian Ka'an.

Xcalak: La menor salinidad intersticial se registró en el sitio de Portilla (46.2 g/kg), esto debido a que es un manglar tipo franja, por lo que el intercambio de agua es constante permitiendo que la salinidad no se incremente. La salinidad intersticial promedio del sitio del Pueblo fue mayor (47.2 g/kg) con respecto al sitio de Portilla (Fig. I.3.9). Se observó que la elevación del terreno en este sitio es mayor respecto al sitio Portilla, lo cual no favorece la inundación durante los ciclos de marea.

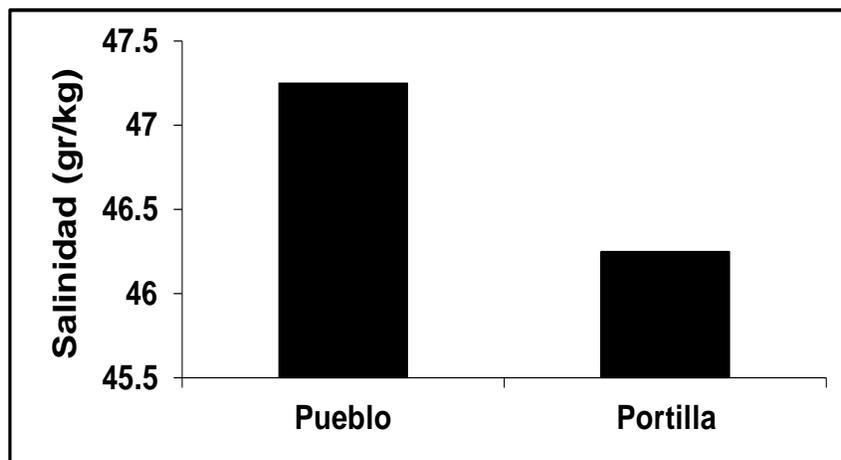


Figura I.3.9. Salinidad intersticial de la localidad de Xcalak.

Chetumal: La salinidad media del sitio de Río Hondo fue de 2.8 g/kg, siendo menor con respecto al sitio de Tamalcab (24.7 g/kg) (Fig. I.3.10). La salinidad que se presenta en el sitio de Río Hondo permite el establecimiento de otras especies como *Pachira sp*, esto debido al aporte continuo de agua dulce proveniente del río. En el sitio de Tamalcab el bosque de manglar que ubica atrás de una pequeña elevación topográfica por lo que la inundación es menos frecuente, lo cual se ve reflejado en la salinidad intersticial de este sitio. Es probable que esta variable no sea limitante para el desarrollo del manglar en esta localidad.

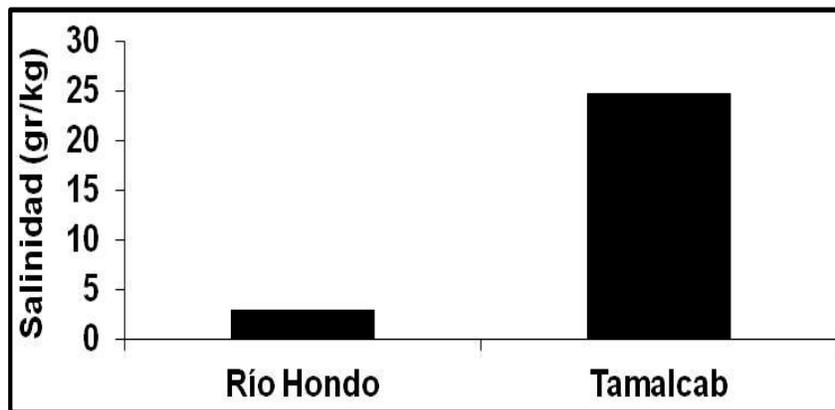


Figura I.3.10. Salinidad Intersticial de la localidad de Chetumal.

I.4.-Potencial Redox y pH

El potencial de óxido-reducción (Redox) del suelo, agua y sistemas marinos es la medición del potencial electroquímico o disponibilidad de electrones, mientras que el pH es una medida del nivel de acidez o alcalinidad del medio. El potencial Redox es una medida rápida del estado de óxido-reducción que permite estimar la estabilidad de varios compuestos que regulan la disponibilidad de nutrientes y metales los sedimentos, así como los niveles de descomposición de la materia orgánica la cual está relacionada con el pH y el contenido de oxígeno libre para facilitar este proceso.

Celestún: El pH más bajo se presentó en el sitio de la zona Interna (7.45) seguido del sitio del Puente (7.72), mientras que en el sitio de la Boca el pH fue el más alto (7.91). Con respecto al potencial Redox el sitio de la Boca presentó una media de -457.7 mV (Fig. I.4.1), indicando que las condiciones son anóxicas debido a su ubicación, ya que el agua que entra por medio de la marea no sale en la misma cantidad por lo que se queda estancada favoreciendo las condiciones de anoxia y aumento de la salinidad. Los sitios de las zonas Interna y Puente presentaron valores de Redox similares de -211.9 mV y -190.15 mV respectivamente.

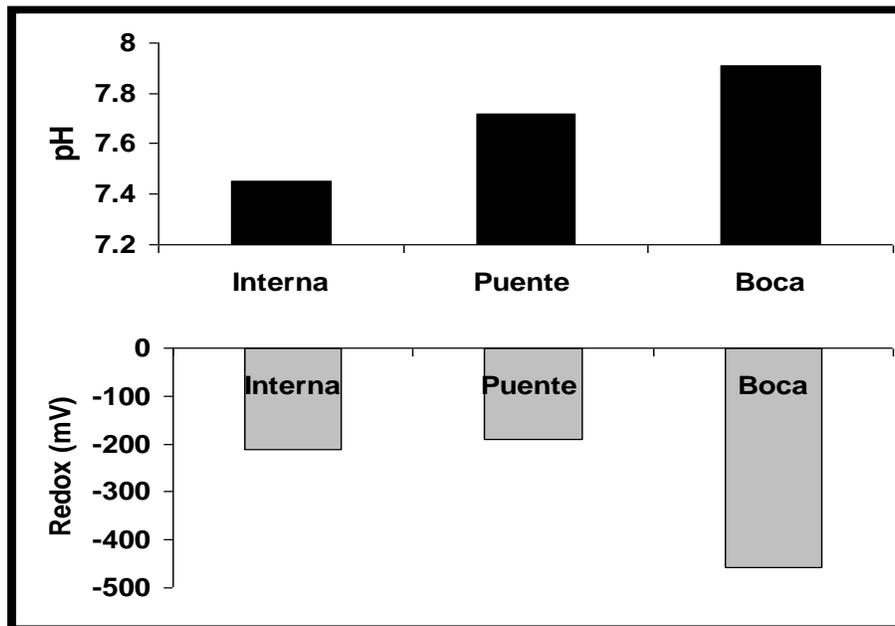


Figura I.4.1. Potencial Redox y pH en sedimentos de manglar en la localidad de Celestún.

Sisal: El sitio de Pecis III presentó un pH de 7.15 el cual es menor con respecto a Pecis I que se registró de 7.25. De acuerdo al potencial Redox en Pecis I fue menor (-87 mV), que en Pecis III (-59 mV) (Fig. I.4.2) indicando que son suelos poco reducidos.

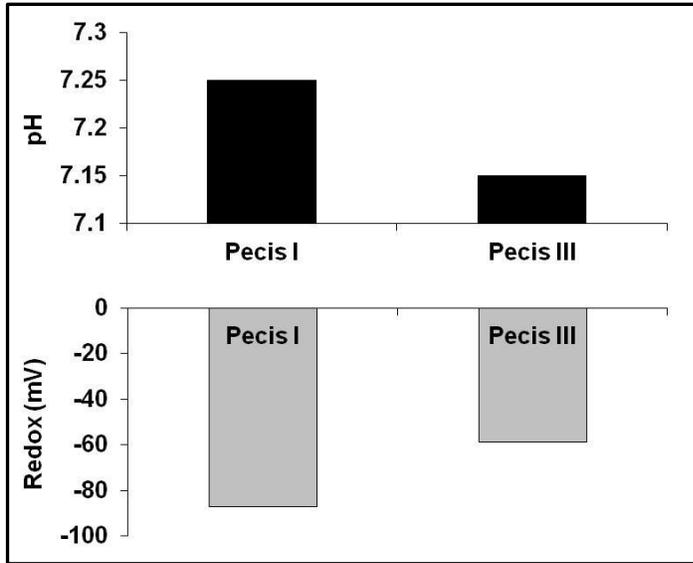


Figura I.4.2. Potencial Redox y pH en sedimentos de manglar de la localidad de Sisal.

Progreso: El sitio de Contenedores presentó un pH de 6.4, siendo suelos más ácidos que los sitios de Chelem I (pH =7.09) y Chelem II (pH = 7.0). Con respecto al potencial Redox el sitio que presentó suelos más reducidos fue el sitio de Chelem II (-257 mV), mientras el sitio con sedimentos menos reducidos fue Contenedores (-137.5 mV) (Fig. I.4.3). En el sitio de Chelem I se observó que hay condiciones de anoxia (-232.5 mV).

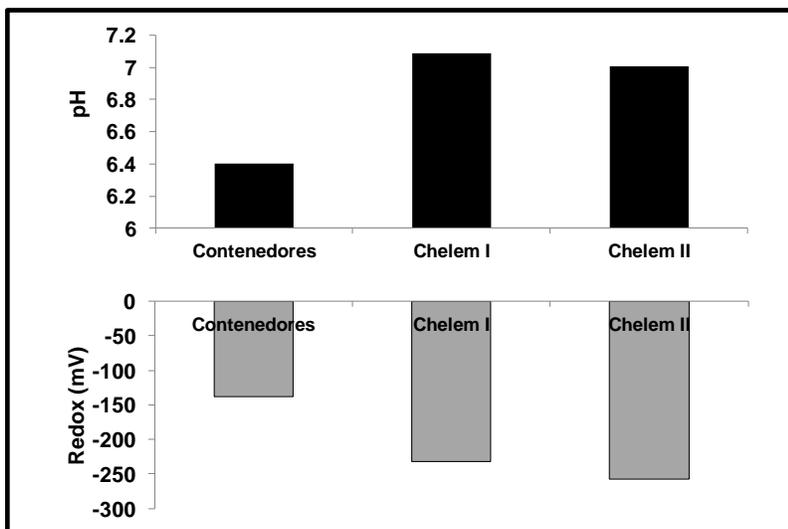


Figura I.4.3. Potencial Redox y pH en suelos de manglar en la localidad de Progreso.

Dzilam: El pH que se presentó en el sitio del Pueblo fue de 7.5, siendo menor que el sitio de Elepetén (7.8). El Redox indicó suelos más reducidos en el sitio del Pueblo (-304.5 mV), respecto al de Elepetén que fue de -99 mV (Fig. I.4.4). Las diferencias en características como tipo de sedimento y tiempo de inundación pueden estar asociadas a las diferencias observadas. En el sitio de Elepetén el sedimento es más arenoso, y en las visitas de campo se observó en ocasiones inundado y en otras totalmente seco.

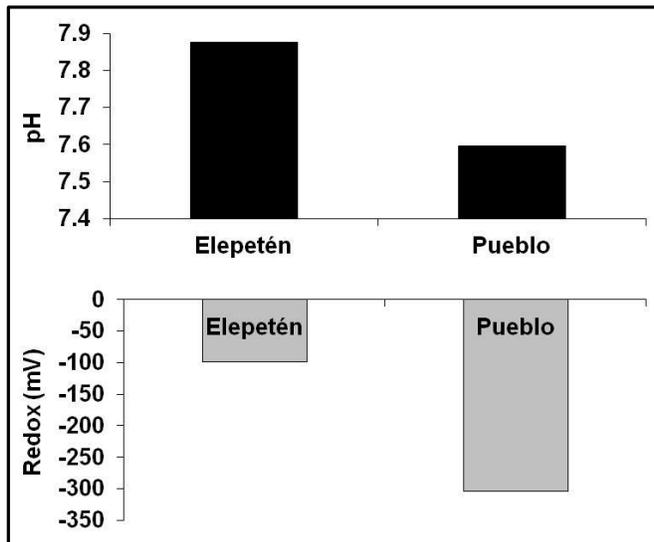


Figura I.4.4. Potencial Redox y pH en sedimentos de manglar en la localidad de Dzilam.

Río Lagartos: El sitio de Río Lagartos presentó el menor pH (7.3), sin embargo, ambos presentan suelos relativamente neutros, ya que el sitio del Cuyo el pH fue mayor (7.53). En el sitio del Cuyo se observaron suelos más reducidos de acuerdo al potencial Redox (-151.5 mV) donde posiblemente el proceso de descomposición de materia orgánica sea mayor, mientras que en el sitio de Río Lagartos fueron menos reducidos (-119 mV) (Fig. I.4.5).

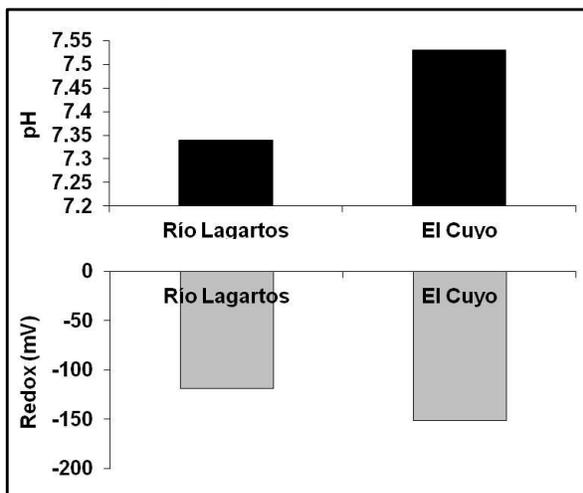


Figura I.4.5. Potencial Redox y pH en sedimentos de manglar de la localidad de Río Lagartos.

Cancún: De acuerdo al pH ambos sitios tienden a ser suelos ácidos, observándose en el sitio de Polígono 9 el valor más bajo (6.4). Con respecto al potencial Redox el sitio de Polígono 9 presentó suelos más reducidos (-304.5 mV), debido probablemente a una menor frecuencia de inundación o alto contenido de materia orgánica, ya que el proceso de descomposición provoca que los suelos sean anóxicos. El sitio de Polígono 1 presentó suelos menos reducidos (-277.5 mV) (Fig. I.4.6).

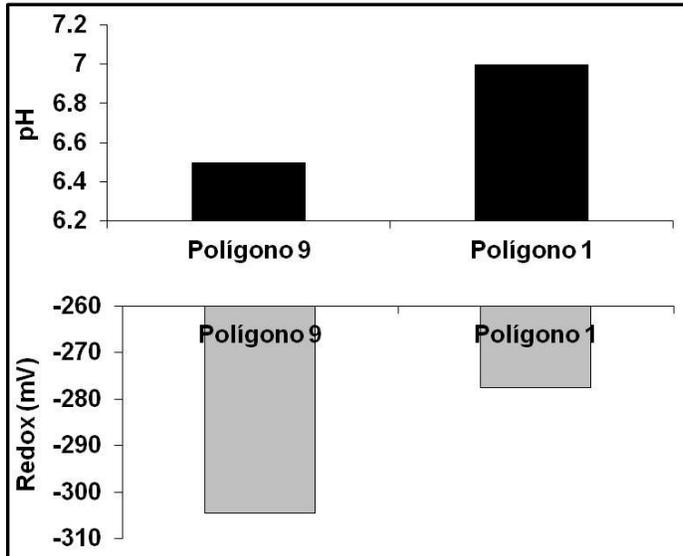


Figura I.4.6. Potencial Redox y pH en suelos de manglar de la localidad de Cancún.

Puerto Morelos: El sitio del Cid presentó suelos neutros ya que presento un pH de 7, mientras que el sitio de la Ceiba presento un pH de 7.6 indicando que es un suelo más básico pero reducido en oxígeno de acuerdo al potencial Redox. El sitio de El Cid presentó suelos más reducidos de acuerdo al potencial Redox (-221 mV) mientras que el sitio de la Ceiba presenta suelos menos reducidos (-100.5 mV) (Fig. I.4.7).

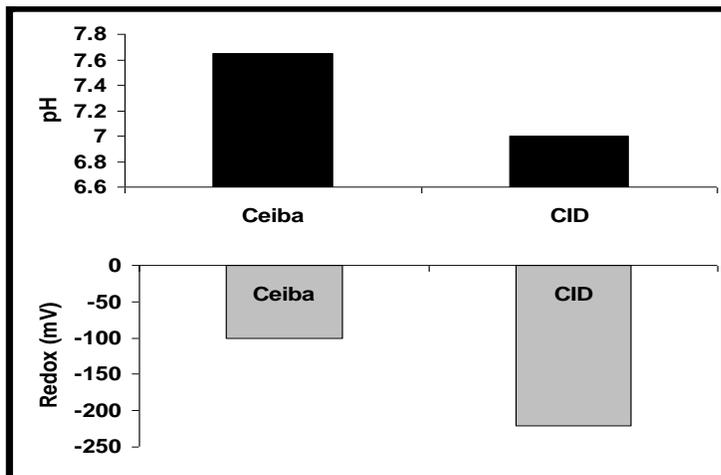


Figura I.4.7. Potencial Redox y pH de la localidad de Puerto Morelos.

Sian Ka'an: De acuerdo al pH en ambos sitios se presentaron suelos básicos con valores de 7.7 y 7.3 en el Playón y Cayo Culebras respectivamente. Con respecto al potencial Redox, el sitio del Playón presentó suelos más reducidos (-246.5 mV) respecto a Cayo Culebras (-194 mV) (Fig.I.4.8).

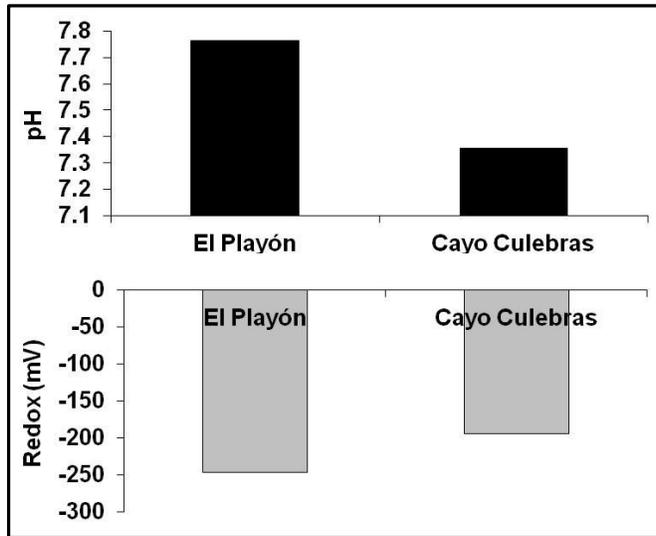


Figura I.4.8. Potencial Redox y pH de suelos de manglar en la localidad de Sian Ka'an.

Xcalak: El sitio de Portilla presentó suelos neutros (pH = 7.1), al igual que el Sitio del Pueblo (pH = 7.4). Respecto al potencial Redox se observaron suelos más reducidos en el sitio del Pueblo (-276.6 mV) respecto al de Portilla (-120.5 mV) (Fig.I.4.9). El sitio del Pueblo presenta suelos neutros pero reducidos, sugiriendo que el intercambio de agua no es constante habiendo estancamiento de agua y favoreciendo condiciones de anoxia, en tanto que el sitio de Portilla presenta suelos menos reducidos probablemente favorecidos por mayor intercambio de agua.

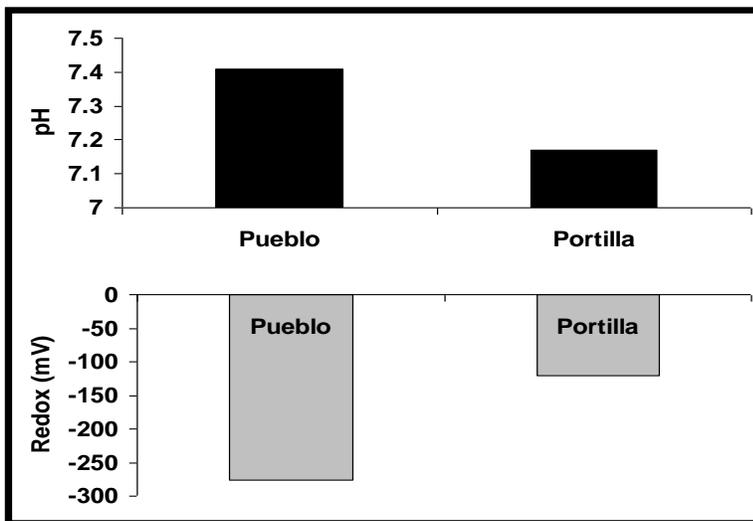


Figura I.4.9. Potencial Redox y pH en sedimentos de manglar en la localidad de Xcalak.

Chetumal: El sitio de Tamalcab presentó un pH = 7.33 y el sitio Río Hondo de pH = 7.38 siendo ambos suelos neutros. Con respecto al potencial Redox se observaron suelos más reducidos en el sitio de Tamalcab (-119 mV), respecto al de Río Hondo (-69.5 mV) (Fig. I.4.10). El sitio de Río Hondo al presentar un potencial Redox menos negativo indica que hay un mayor flujo de agua y no se favorece el estancamiento de agua y por ende condiciones reducidas en el sedimento.

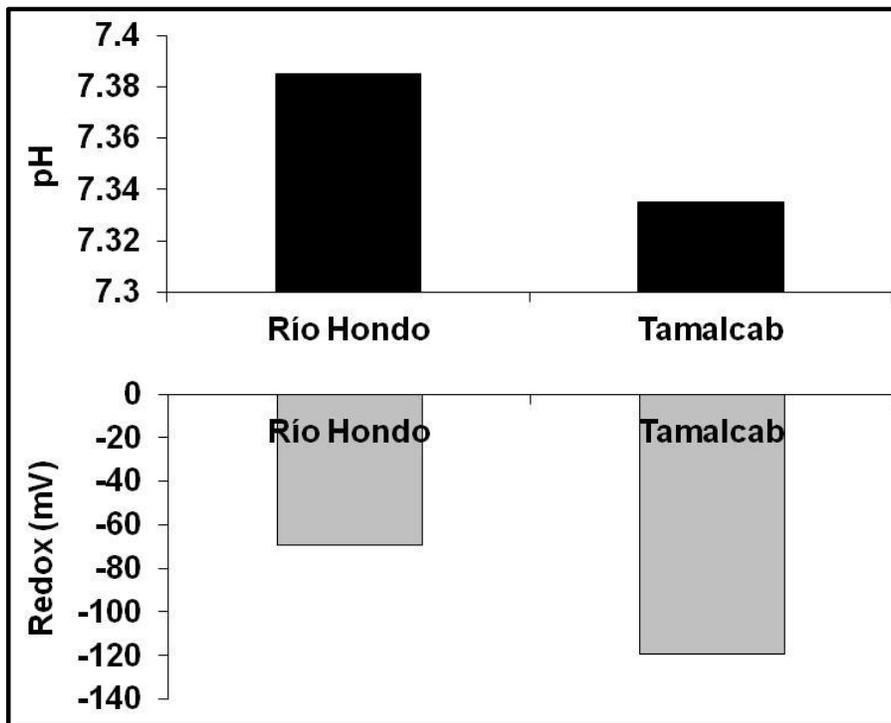


Figura I.4.10. Potencial Redox y pH en suelos de manglar en la localidad de Chetumal.

I.5.- Densidad Aparente Y Materia Orgánica

La dinámica de la materia orgánica en sedimentos está fuertemente relacionada con los aportes internos y externos a los que están sujetos estos ecosistemas. La formación de suelo en los ecosistemas de manglar es una combinación de procesos ecológicos incluyendo la producción, exportación y descomposición de materia orgánica. Existe una relación inversa entre la densidad aparente de los sedimentos y el contenido de materia orgánica (Brady, 1984). En la zona de estudio los aportes internos son probablemente los dominantes, ya que a excepción del sitio Rio Hondo en la localidad del Chetumal los aportes de sedimentos son escasos por encontrarse la zona de estudio en una cuenca de tipo cárstica donde los aportes de agua subterránea se caracterizan por bajas concentraciones de materiales en suspensión (Herrera-Silveira *et al.*, 1998; Schmitter-Soto *et al.*, 2002)

Celestún: En sitios donde la densidad es baja la materia orgánica es mayor, por lo que el sitio que presentó la menor densidad fue el sitio de la zona Interna (0.20 gr cm^3), seguido del sitio de la Boca (0.28 gr cm^3), mientras que el sitio con mayor densidad fue el del Puente (0.35 gr cm^3). El mayor contenido de materia orgánica se registró en el sitio de la zona Interna de la laguna (47.4 %), seguido del sitio de la Boca (35.4 %). El sitio del Puente registro el menor contenido de materia orgánica (33.4 %) (Fig. I.5.1).

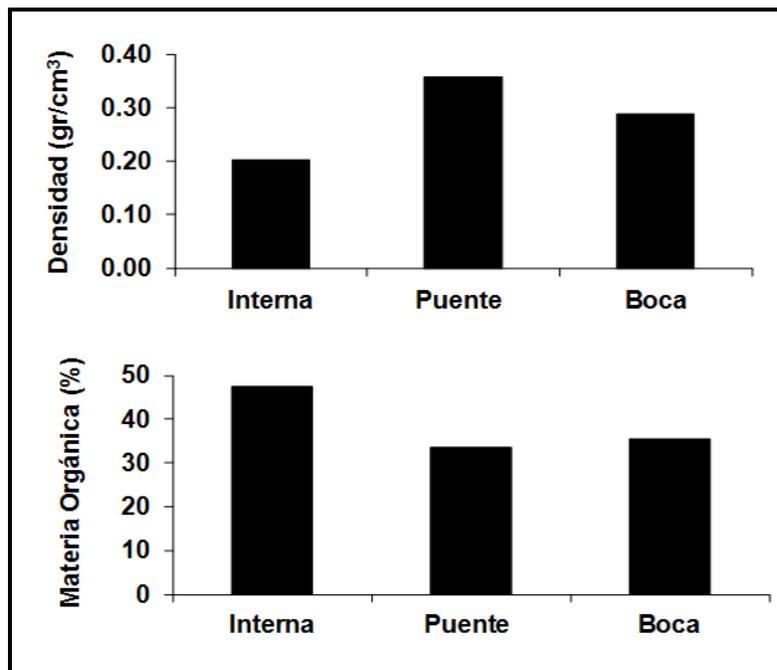


Figura I.5.1. Densidad y contenido de Materia orgánica de la localidad de Celestún.

Sisal: El sitio de Pecis I presentó la mayor densidad (0.81 gr cm^3), seguido de Pecis III (0.61 gr cm^3), pese a que la densidad es alta en el sitio de Pecis I el contenido de materia orgánica es menor (10.2 %), y en el sitio de Pecis III es mayor (18.9 %) (Fig. I.5.2). No obstante que los porcentajes de materia orgánica de ambos sitios son bajos, es probable que el proceso de descomposición sea rápido, ya que la materia orgánica proveniente de los árboles de manglar se queda en el sitio por su ubicación.

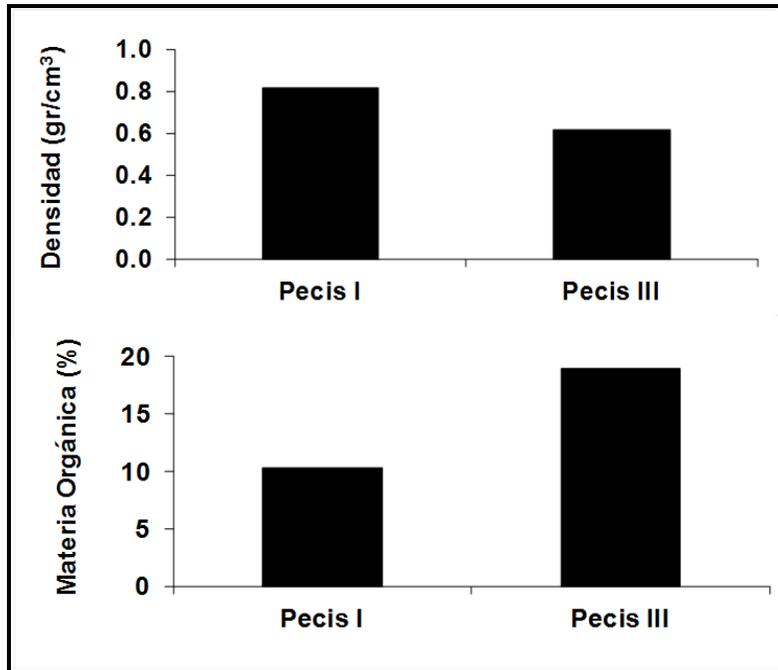


Figura I.5.2. Densidad y Materia orgánica en sedimentos de manglar en la localidad de Sisal

Progreso: La densidad aparente del sedimento en el sitio de Chelem I presentó el mayor valor (0.73 gr cm^3) seguido del sitio de Contenedores (0.34 gr cm^3), en tanto que el sitio de Chelem II registró el menor valor (0.30 gr cm^3). El sitio de Contenedores presentó el mayor contenido de materia orgánica (33.2 %), seguido del sitio de Chelem I (24 %), mientras que Chelem II registro el menor contenido de materia orgánica (16.2 %). La localización del manglar así como su estructura que se relaciona con la productividad podrían explicar las diferencias (Fig. I.5.3).

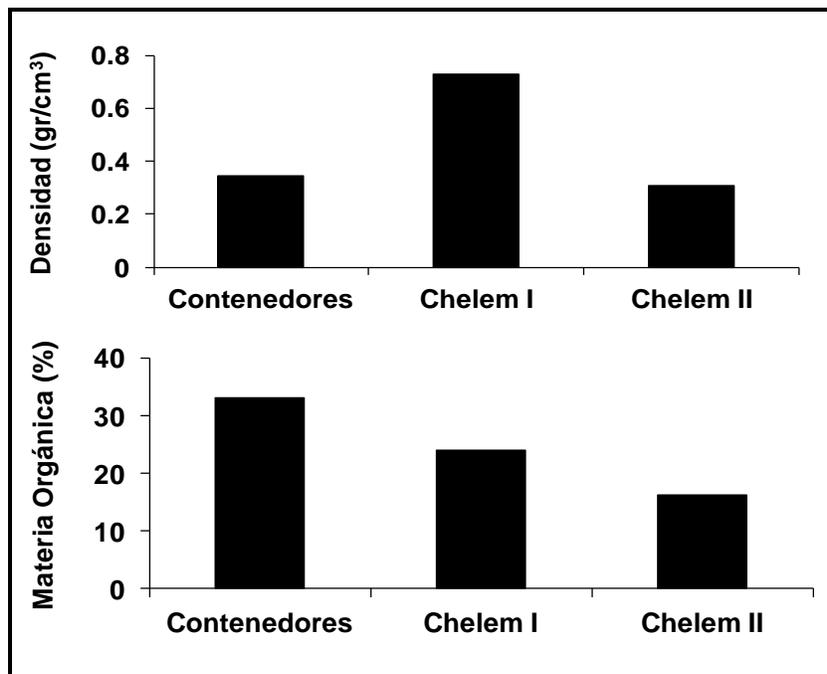


Figura I.5.3. Densidad y contenido de Materia orgánica en sedimentos de manglar en la localidad de Progreso.

Dzilam: El sitio del Pueblo presentó la mayor densidad aparente en los sedimentos (0.88 gr cm^3), seguido del sitio de Elepetén (0.26 gr cm^3). Con respecto al contenido de materia orgánica, en el sitio de Elepetén se observó el mayor valor (20.7 %), seguido del sitio del Pueblo (11.3%). Las diferencias podrían asociarse a que el sitio de Elepetén presenta un mayor desarrollo estructural y por ende un alto aporte de materia orgánica por parte de hojarasca y raíces (Fig. I.5.4).

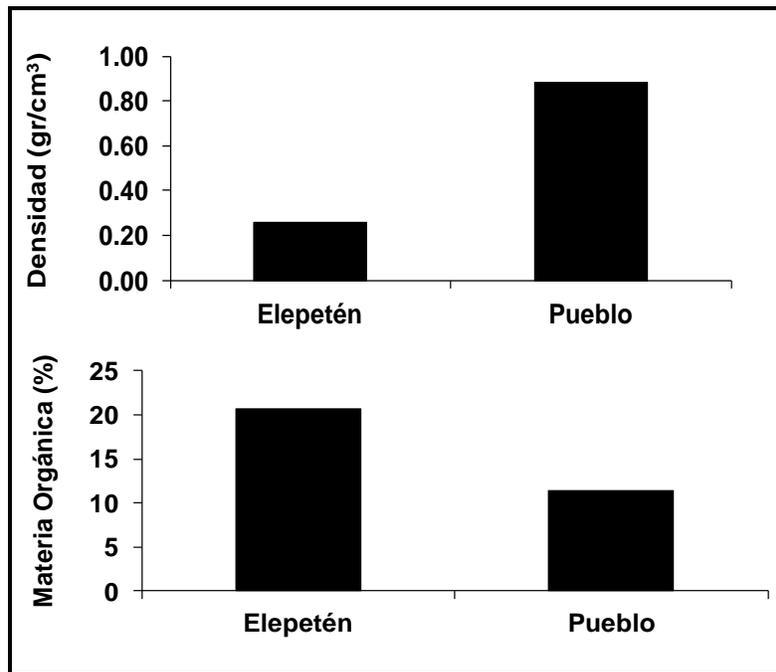


Figura I.5.4. Densidad y contenido de materia orgánica en sedimentos de manglar en la localidad de Dzilam.

Río Lagartos: La densidad del sedimento en el sitio del Cuyo presentó el valor más alto (0.69 gr cm^{-3}) con respecto al sitio de Río Lagartos (0.08 gr cm^{-3}) (Fig. I.5.5). El mayor contenido de materia orgánica se registró en el sitio de Río Lagartos (44.2 %), seguido del sitio del Cuyo (7.6 %). De acuerdo a las diferencias de estas variables entre sitios es probable que en el sitio de Río Lagartos el manglar este sujeto a mayor intercambio de agua favoreciendo con ello condiciones de menos estrés, buen desarrollo estructural y por ende mayor productividad de hojarasca y raíces que se traduce en aporte de materia orgánica. El sitio del Cuyo se caracteriza por ser un manglar con menor intercambio de agua observado durante las visitas de campo, ya que en ocasiones el sedimento estaba húmedo o había inundación, mientras que otras visitas estaba completamente seco, siendo estas condiciones menos favorable para la producción de raíces y hojarasca reflejándose en los resultados de estas variables.

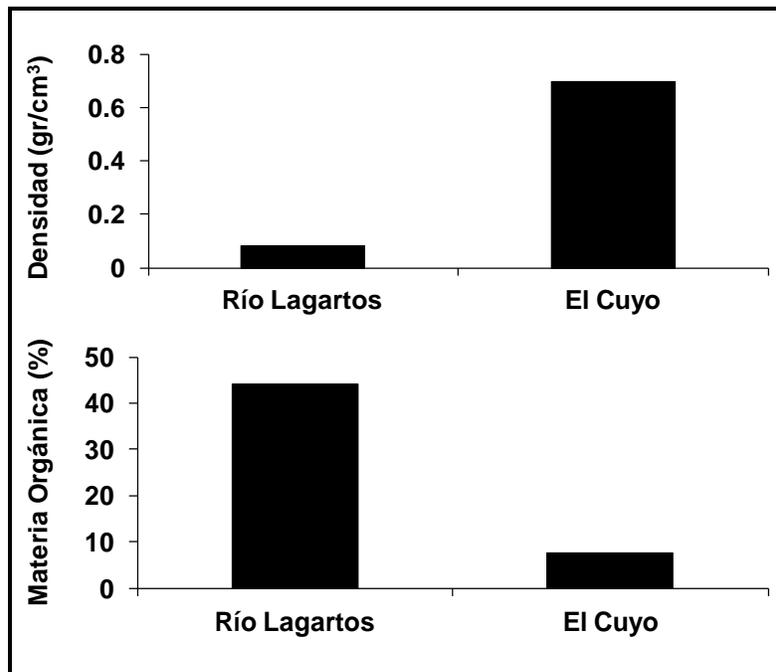


Figura I.5.5. Densidad y contenido de materia orgánica en sedimentos de manglar de la localidad de Río Lagartos.

Cancún: La densidad aparente del sedimento el sitio de Polígono 1 presentó la mayor densidad (0.34 gr cm^3) seguido del sitio Polígono 9 (0.09 gr cm^3) (Fig. I.5.6). Con respecto al contenido de materia orgánica en el sitio de Polígono 9 se observó el mayor valor (54.8 %), mientras que en el sitio de Polígono 1 el menor (34.9 %). Es probable que las condiciones de inundación favorezcan mayor productividad y retención del material en el sitio del Polígono 9.

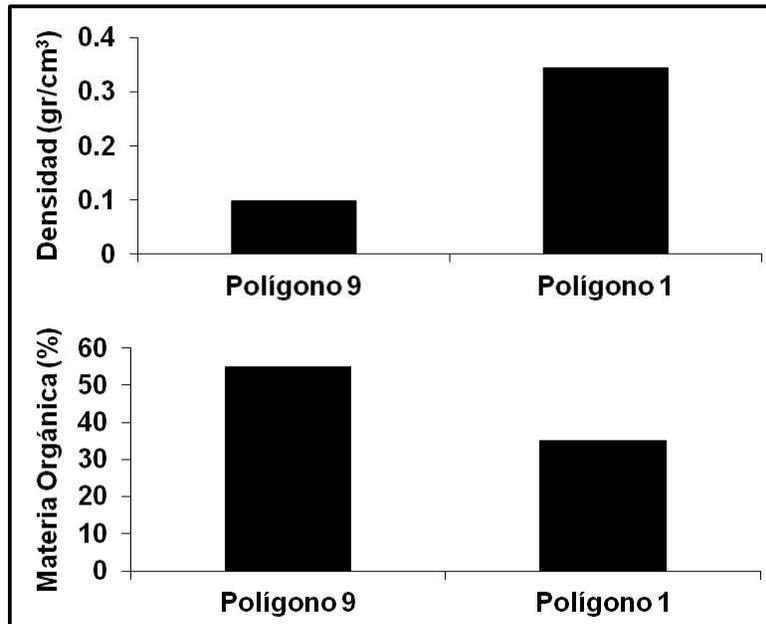


Figura I.5.6. Densidad y contenido de materia orgánica en sedimentos de manglar en la localidad de Cancún.

Puerto Morelos: En el sitio de la Ceiba se registró la mayor densidad en el sedimento (0.20 gr cm^3), esto probablemente a que el manglar se distribuye a manera de pequeñas islas con sedimentos de tipo arcilloso y bajo contenido de materia orgánica (36.8 %). El sitio del Cid presento baja densidad en el sedimento (0.10 gr cm^3), mientras que el contenido de materia orgánica es mayor (72.7%). Cabe recalcar que la capa de sedimento es mayor en el sitio de la Ceiba así como el mayor aporte de agua, mientras que en el sitio del Cid el aporte de agua es escaso, y la materia orgánica que produce se queda en el sitio además de ser única fuente de material para formar sedimento (Fig. I.5.7).

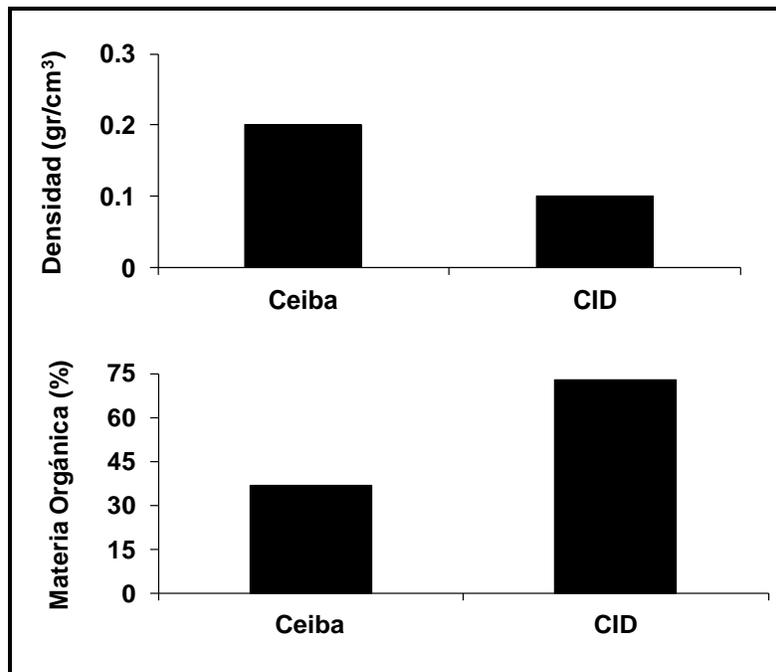


Figura I.5.7. Densidad y contenido de materia orgánica en sedimentos de manglar en la localidad de Puerto Morelos.

Sian Ka'an: La mayor densidad del sedimento (1.11 gr cm^3) y el mayor contenido de materia orgánica (61.8%) se registró en el sitio El Playón. En el sitio de Cayo Culebras la densidad del sedimento (0.38 gr cm^3) y el porcentaje de materia orgánica (45.7 %) fueron menores (Fig. I.5.8). El comportamiento inverso a lo esperado en la relación densidad-materia orgánica en esta localidad, es probable que se relacione con el tipo de sedimento y la hidrología. En El Playón si bien los sedimentos son arenosos el menor intercambio de agua puede favorecer que la hojarasca que se produce se quede en el sitio. En el caso del sitio de Cayo Culebras el flujo y reflujo del agua es constante pudiendo evitar mayor acumulación de materia orgánica.

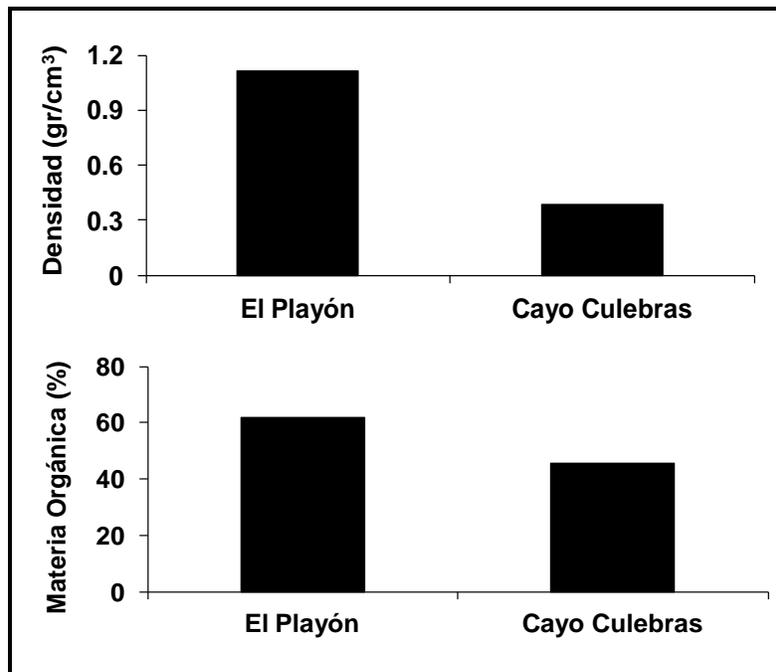


Figura I.5.8. Densidad y contenido de materia orgánica en sedimentos de manglar en la localidad de Sian Ka'an.

Xcalak: La mayor densidad de los sedimentos se observó en el sitio del Pueblo (0.64 gr cm^3), mientras que en el sitio de Portilla la densidad es menor (0.3 gr cm^3). En el sitio de Portilla se registró el mayor contenido de materia orgánica (21 %), seguido del sitio del Pueblo (9.2 %), (Fig. I.5.9). El sitio de Portilla se caracteriza por ser un manglar asociado directamente a una fuente de agua favoreciendo a que su desarrollo estructural sea mayor, y el aporte de materia orgánica por medio de la caída de hojarasca y producción aumente con respecto al sitio del Pueblo.

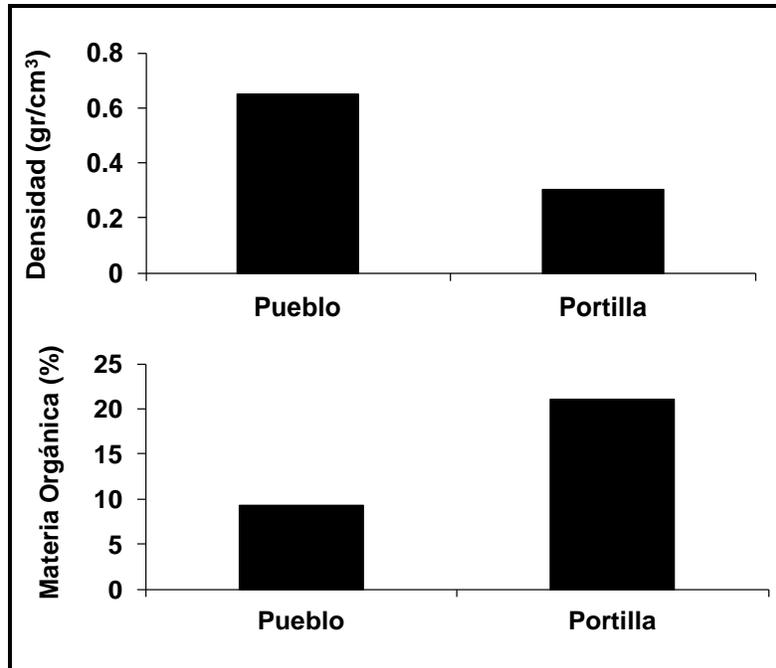


Figura I.5.9. Densidad y contenido de Materia orgánica en sedimentos de manglar de la localidad de Xcalak.

Chetumal: La densidad aparente en el sitio de Tamalcab se observó que es mayor (0.37 gr cm^3) respecto al sitio de Río Hondo (0.28 gr cm^3) (Fig. I.5.10). El sitio de Río Hondo presentó el mayor contenido de materia orgánica (35.4 %), seguido del sitio de Tamalcab (24.3 %). El sitio de Río Hondo es un manglar asociado directamente al río, por lo que la hidrología podría favorecer mayor productividad respecto al sitio de Tamalcab el cual por su salinidad intersticial y dominancia de especies indica que está sujeto a diferente tipo de inundación.

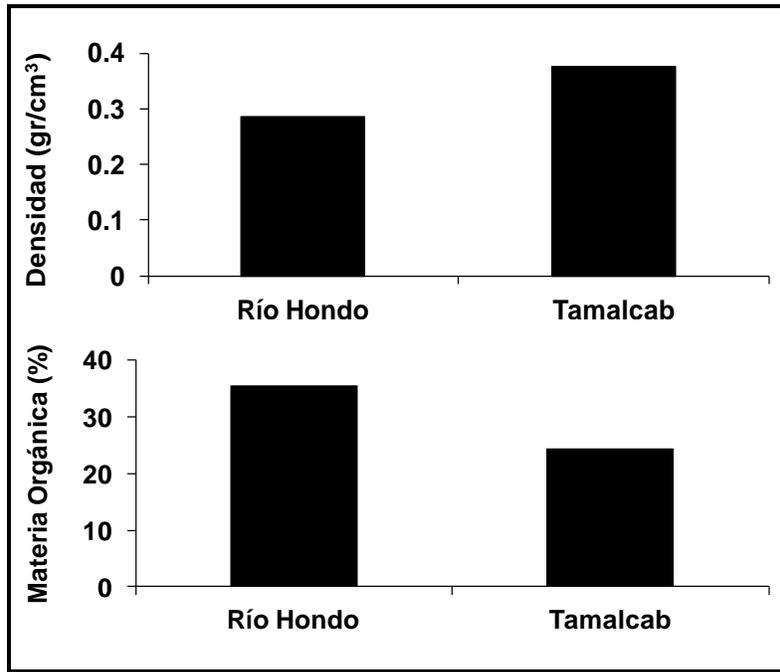


Figura I.5.10. Densidad y contenido de materia orgánica en sedimentos de manglar de la localidad de Chetumal.

I.6.-Nutrientes en Sedimentos

En los bosques de manglar asociados a escenarios cársticos como los de la Península de Yucatán los nutrientes son escasos y dependen de los aportes alóctonos y/o del eficiente reciclamiento de nutrientes autóctonos, viéndose limitados los procesos de regeneración y crecimiento debido a la disponibilidad de nutrientes (Koch y Snedaker, 1997; Lovelock *et al.*, 2004).

Celestún: Con respecto al contenido de Nitrógeno Total, la zona de la Boca registró el menor contenido (0.98%), seguido de la zona Interna (1.03 %) mientras que el sitio de la zona del Puente presentó el mayor porcentaje de Nitrógeno Total (1.49 %) (Fig. I.6.1a). Con respecto al contenido de Carbono Total registrado, en el sitio de la zona Interna fue el más alto (27.4 %), seguido de la zona de la Boca (23 %), mientras que el sitio del Puente presentó el contenido de Carbono Total más bajo (19.2 %) (Fig.I.6.1c). El porcentaje de Fósforo Total es bajo en general (0.04 en Puente y Boca, y 0.03 % en Interna) probablemente debido a procesos de absorción o precipitación de este elemento en sedimentos de tipo cárstico-carbonatado (Fig. I.1.6.1b). Con respecto a la relación Redfield los valores indican que el nutriente limitante en las 3 zonas es el fósforo (N:P = valores mayores a 14) (Fig. I.6.1d).

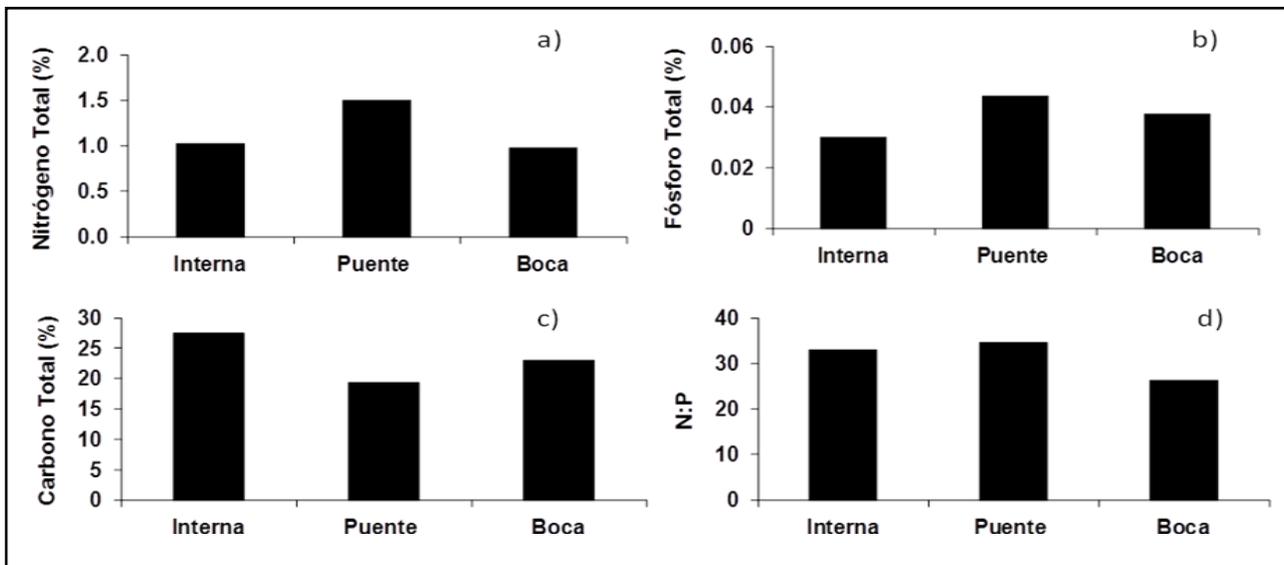


Figura I.6.1. Nutrientes en sedimentos de manglar de la localidad de Celestún.

Sisal: De acuerdo al contenido de Nitrógeno Total el mayor porcentaje se observó en el sitio de Pecis I (0.9 %) y el menor en Pecis III (0.32 %) (Fig. I.6.2a). Con respecto al contenido de Fósforo Total ambos sitios presentaron bajos porcentajes 0.016 y 0.01 % para Pecis I y Pecis III respectivamente (Fig. I.1.6.2b). En relación al contenido de Carbono Total el sitio de Pecis I registró el menor valor (8.4 %), mientras que el mayor porcentaje se observó en Pecis III (10.2 %) (Fig. I.1.6.2c). De acuerdo a la relación Redfield en ambos sitios el fósforo es el nutriente limitante (Fig. I.6.2d), ya que los valores que presentan son mucho mayores a 14.

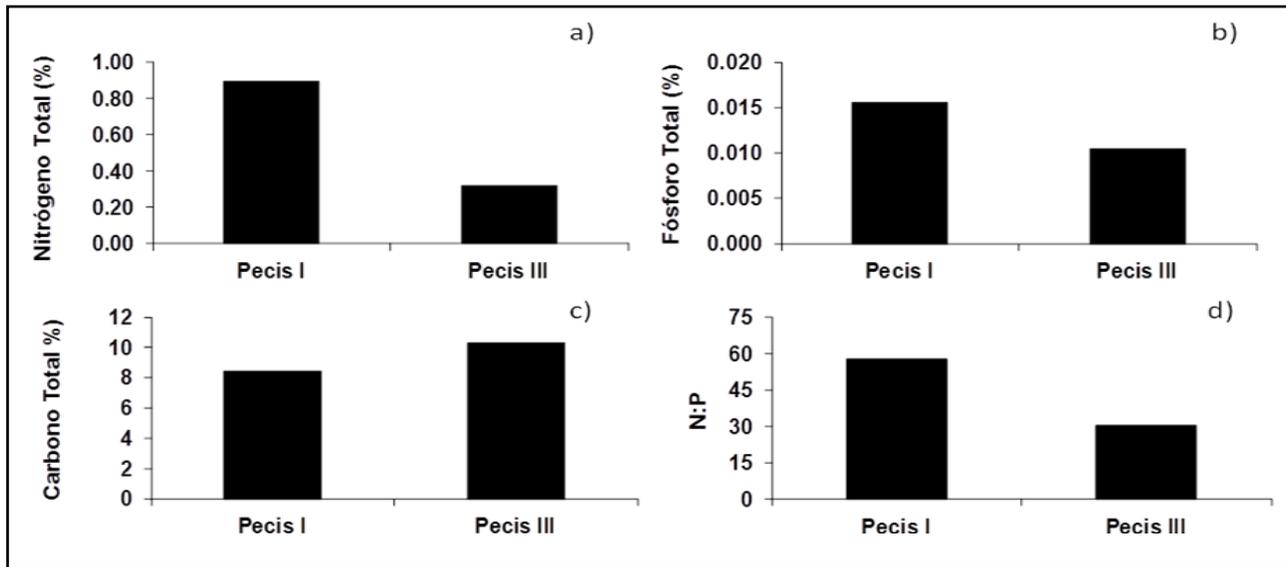


Figura I.6.2. Nutrientes en sedimentos de manglar en la localidad de Sisal.

Progreso: En el sitio de Contenedores se registró el mayor porcentaje de Nitrógeno Total (0.72 %) seguido del sitio Chelem I (0.38 %), y Chelem II con el valor más bajo (0.24 %) (Fig. I.6.3a). Con respecto al Fosforo Total en el sitio de Contenedores se observó el valor ligeramente más alto 0.027 % con respecto a los sitios de Chelem I y Chelem II (0.010 y 0.008 %) (Fig. I.6.3b). El contenido de Carbono Total en sedimento del sitio de Contenedores fue el mayor (17.7 %), seguido de Chelem II (13.5 %) y el menor contenido de carbono se presentó en el sitio de Chelem I (11.9 %) (Fig. I.6.3c). De acuerdo a la relación Redfield el nutriente limitante es el fósforo para los 3 sitios, ya que los valores son mayores a 14 (Fig. 1.6.3d).

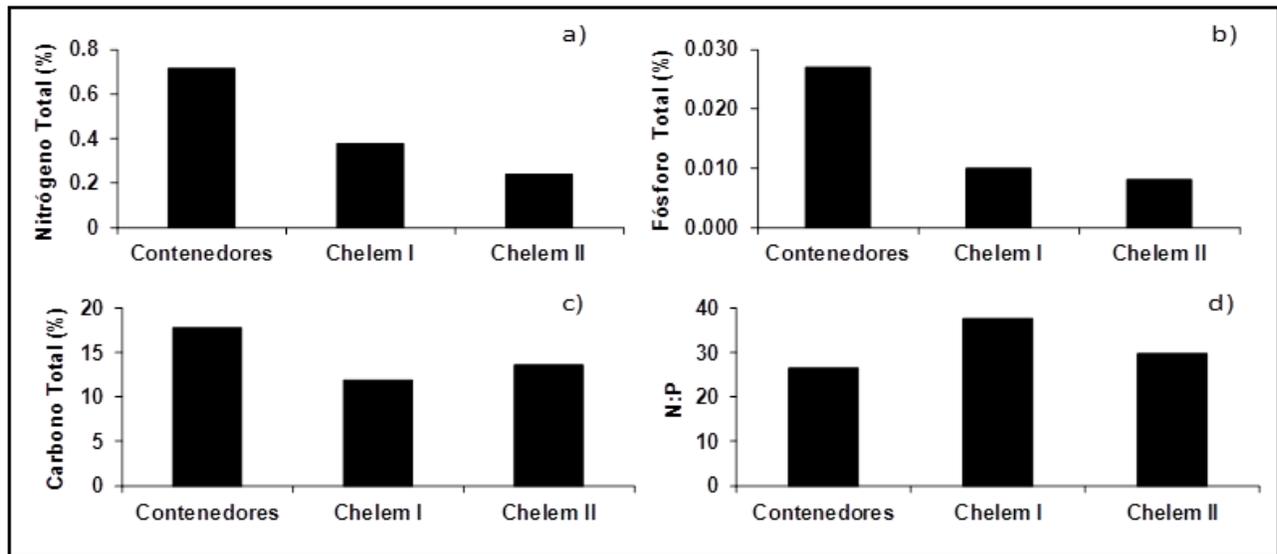


Figura I.6.3. Nutrientes en sedimentos de manglar de la localidad de Progreso.

Dzilam: En el sitio del Pueblo se registró el mayor contenido de Nitrógeno Total (0.355 %) y ligeramente menor en el sitio de Elepetén (0.338 %) (Fig. I.6.4a). Con respecto al Carbono Total ambos sitios presentaron valores similares siendo ligeramente mayor en el sitio del Pueblo (15.8 %) seguido del sitio de Elepetén (15.14 %) (Fig. I.6.4c). El contenido de Fósforo Total es bajo en ambos sitios pero mayor en Elepetén (0.024 %) respecto al sitio del Pueblo (0.008 %) (Fig. I.6.4b). De acuerdo a la relación N:P no hay limitación de nutrientes en Elepetén, mientras que en el sitio Pueblo es el fósforo el limitante (N:P = 47) (Fig. I.6.4d).

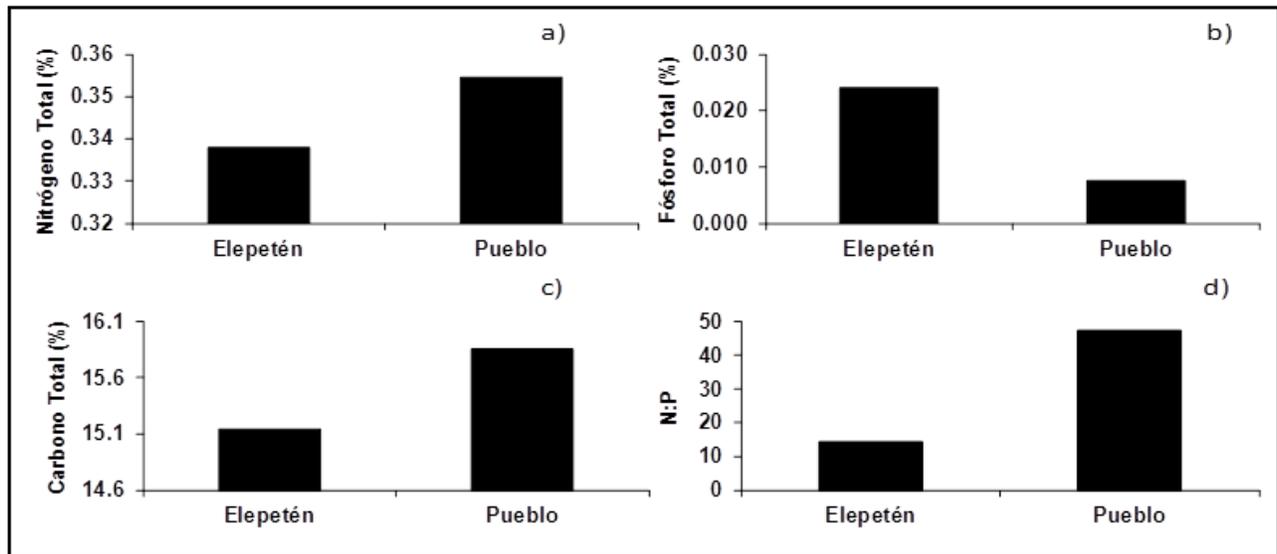


Figura I.6.4. Nutrientes en sedimentos de manglar en la localidad de Dzilam.

Río Lagartos: En el sitio Río Lagartos se registró el mayor contenido de Nitrógeno Total (1.04 %) y menor en el sitio del Cuyo (0.089 %) (Fig. I.6.5a). Con respecto al contenido de Fósforo Total este fue ligeramente mayor en Río Lagartos (0.03 %) mientras que en el sitio de El Cuyo fue menor (0.005 %) (Fig. I.6.5b), pero registrando el mayor contenido de Carbono Total (57.65 %), observándose el menor valor en el sitio de Río Lagartos (23.4 %) (Fig. I.6.5c). De acuerdo a la relación N:P en ambos sitios el nutriente limitante ($N:P > 14$) es el fósforo aunque esta es mayor en Río Lagartos (Fig.I.6.5d).

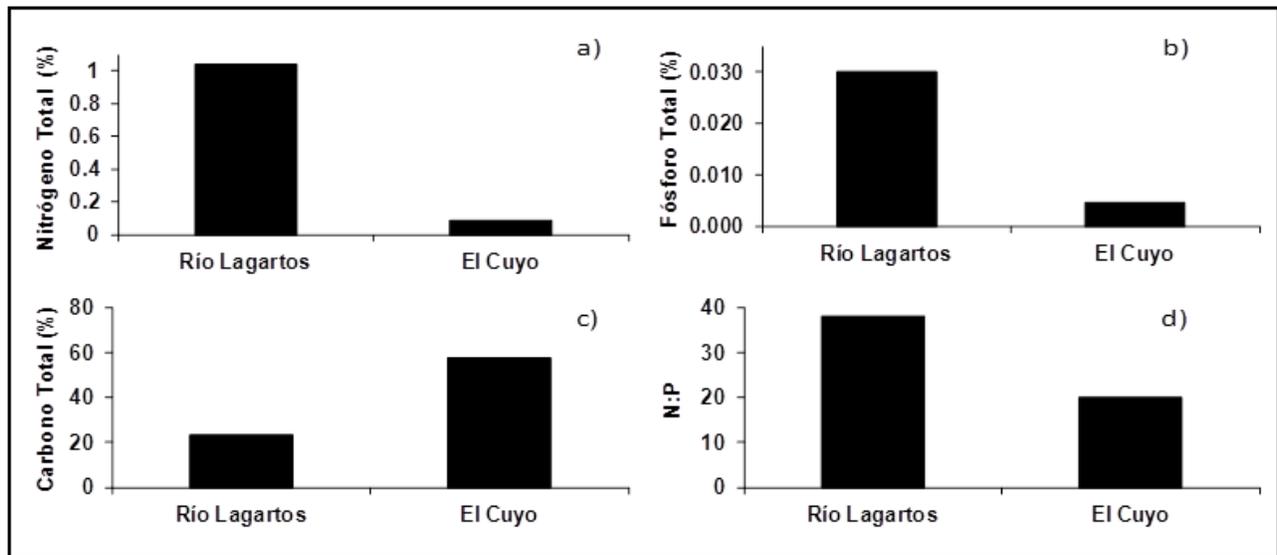


Figura I.6.5. Nutrientes en sedimentos de manglar en la localidad de Río Lagartos.

Cancún: De acuerdo al contenido de Nitrógeno Total el sitio de Polígono 9 registró el mayor porcentaje (1.8 %) con respecto al sitio de Polígono 1 (1.62 %) (Fig. I.6.6a). El Fósforo Total presento su mayor porcentaje en el Polígono 1 (0.053 %) seguido de Polígono 9 (0.050 %) (Fig. I.6.6b). Con respecto al Carbono Total en el sitio de Polígono 1 se presentó el porcentaje más bajo (26.9 %) y el más alto en Polígono 9 (27.8 %), pero como se puede observar las diferencias podrían no ser significativas (Fig. I.6.6c). De acuerdo a la relación Redfield el nutriente limitante para ambos sitios es el fósforo ya que el valor de N:P es más alto a 14 (Fig. I.6.6d).

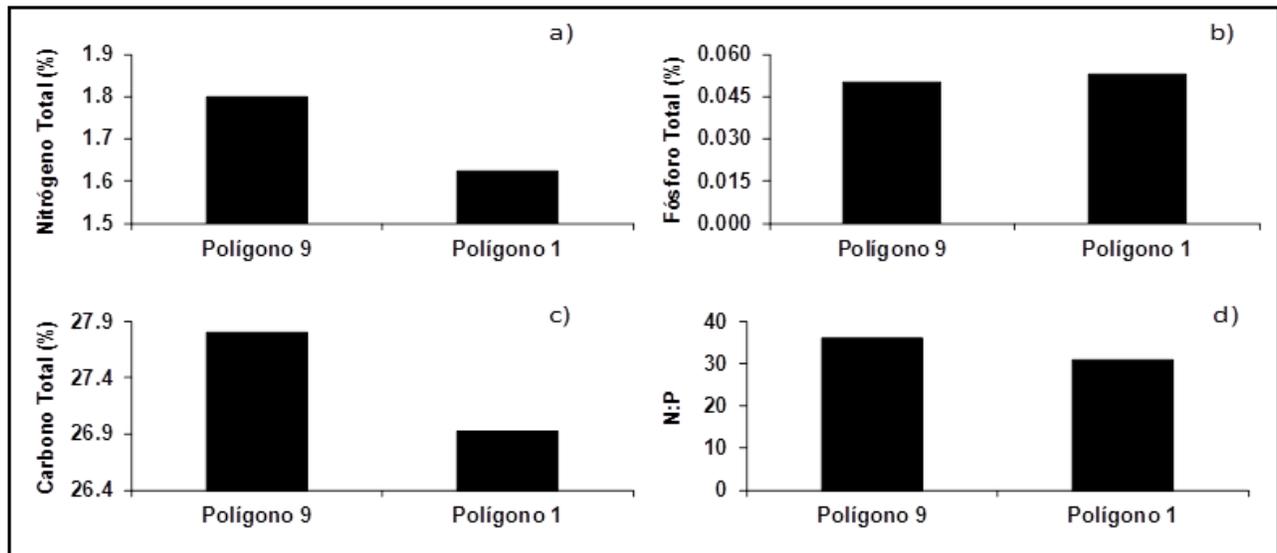


Figura I.6.6. Nutrientes en sedimentos de manglar en la localidad de Cancún.

Puerto Morelos: En el sitio del Cid se registró el mayor contenido de Nitrógeno Total (2.3 %), respecto al de la Ceiba que presentó valores promedio de 1.45 % (Fig. I.6.7a). El Fósforo Total fue mayor en la Ceiba (0.048 %) respecto a lo registrado en el Cid (0.04 %) (Fig. I.6.7b). Con respecto al Carbono Total el valor observado en el Cid (43.1%) fue mayor que en la Ceiba (27.7 %) (Fig. I.6.7c). La relación N:P indica que en ambos sitios el fósforo es el nutriente limitante (Fig. I.6.7d) pues los valores son mayores a 14.

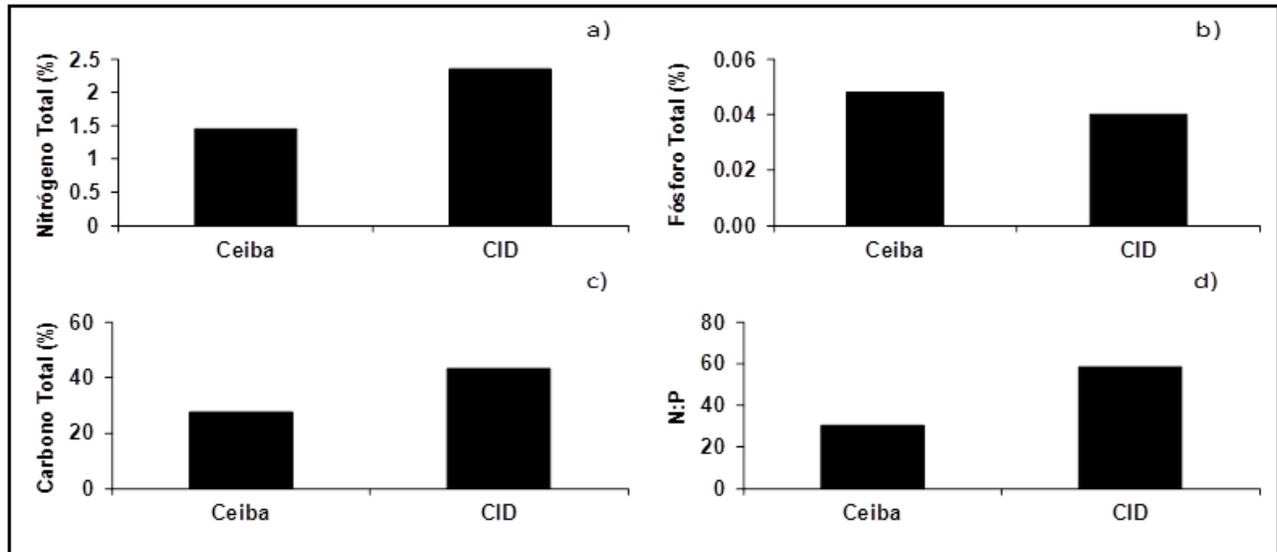


Figura I.6.7. Nutrientes en sedimentos de manglar en la localidad de Puerto Morelos.

Sian Ka'an: El contenido de Nitrógeno Total es ligeramente mayor en el sitio de El Playón (1.79 %), respecto al sitio de Cayo Culebras (1.64 %) (Fig. I.6.8a). En relación al Fósforo Total en El Playón el valor fue de 0.04 %, menor que en Cayo Culebras (0.07 %) (Fig. I.6.8b). Respecto al Carbono Total en el sitio del Playón se registraron los valores más altos (38 %), y el menor valor promedio fue en el sitio de Cayo Culebras (33 %) (Fig. I.6.8c). De acuerdo a la relación N:P el nutriente limitante en ambos sitios es el fósforo ya que los valores de esta relación son 46 y 24 en El Playón y Cayo Culebras respectivamente (Fig. I.6.8d).

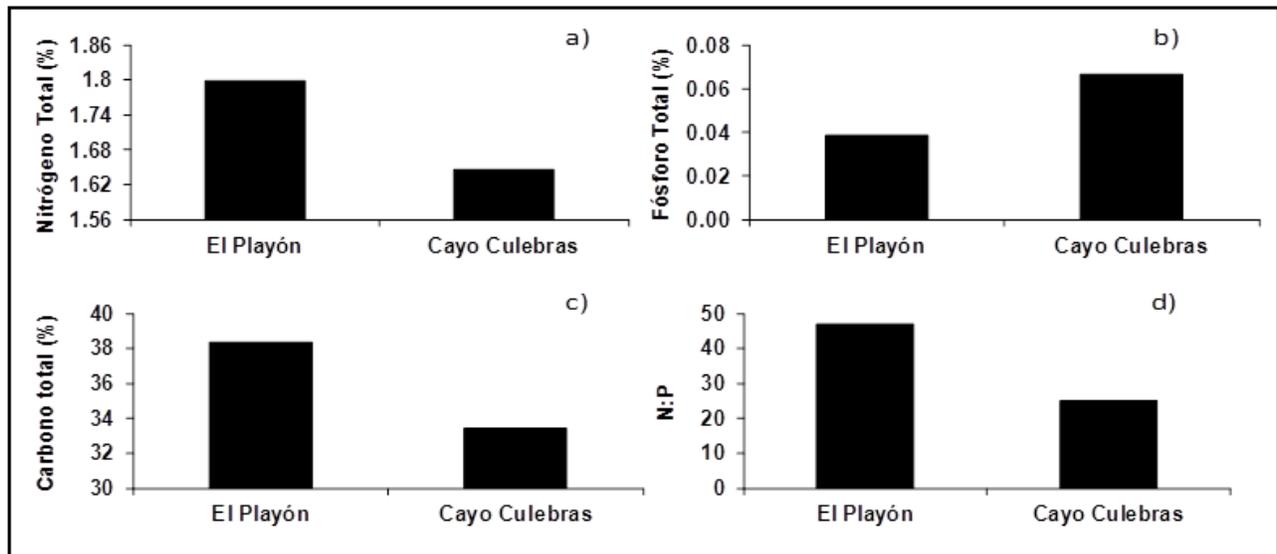


Figura I.6.8. Nutrientes en sedimentos de manglar en la localidad de Sian Ka'an.

Xcalak: En el sitio de Portilla el contenido de Nitrógeno Total en el sedimento fue mayor (1.08 %) con respecto al sitio del Pueblo (0.79 %) (Fig. I.6.9a). De acuerdo al Fósforo Total en el sitio del Pueblo este nutriente fue ligeramente menor (0.01 %) con respecto al sitio de Portilla (0.04 %) (Fig. I.6.9b). Respecto al contenido de Carbono Total este fue mayor en el sitio de Portilla (24 %) y menor en el sitio del Pueblo (13.6 %) (Fig. I.6.9c). El nutriente limitante de acuerdo a la relación Redfield en ambos sitios es el fósforo, observándose valores de 28 en Portilla y 56 en el Pueblo (Fig. I.6.9d).

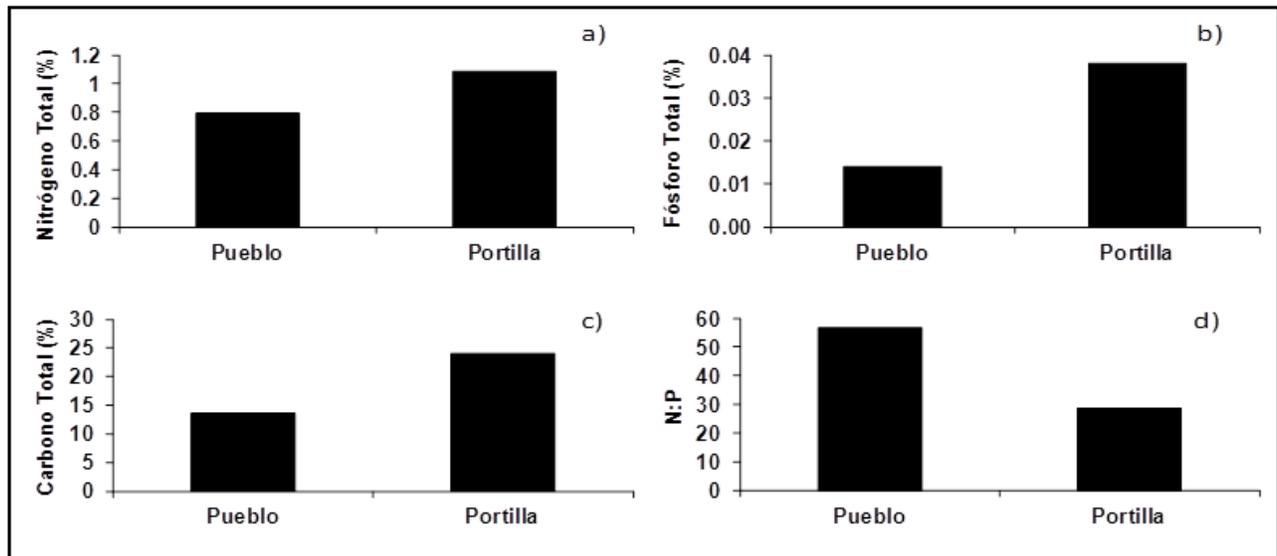


Figura I.6.9. Nutrientes en sedimentos de manglar de la localidad de Xcalak.

Chetumal: En el sitio de Río Hondo se presentó el mayor contenido de Nitrógeno Total (1.95 %) con respecto al sitio de Tamalcab (1.11 %) (Fig. I.6.10a). Los valores de Fósforo Total en ambos sitios fueron bajos 0.02 y 0.07 % en Tamalcab y Río Hondo respectivamente (Fig. I.6.10b). Con respecto al Carbono Total en sedimentos en el sitio de Tamalcab fue menor (1.1 %) y en el sitio de Río Hondo fue mayor (26.1 %) (Fig. I.6.10c). De acuerdo a la relación Redfield el nutriente limitante en ambos sitios es el fósforo con valores de 29 y 47 en Río Hondo y Tamalcab respectivamente (Fig. I.6.10d).

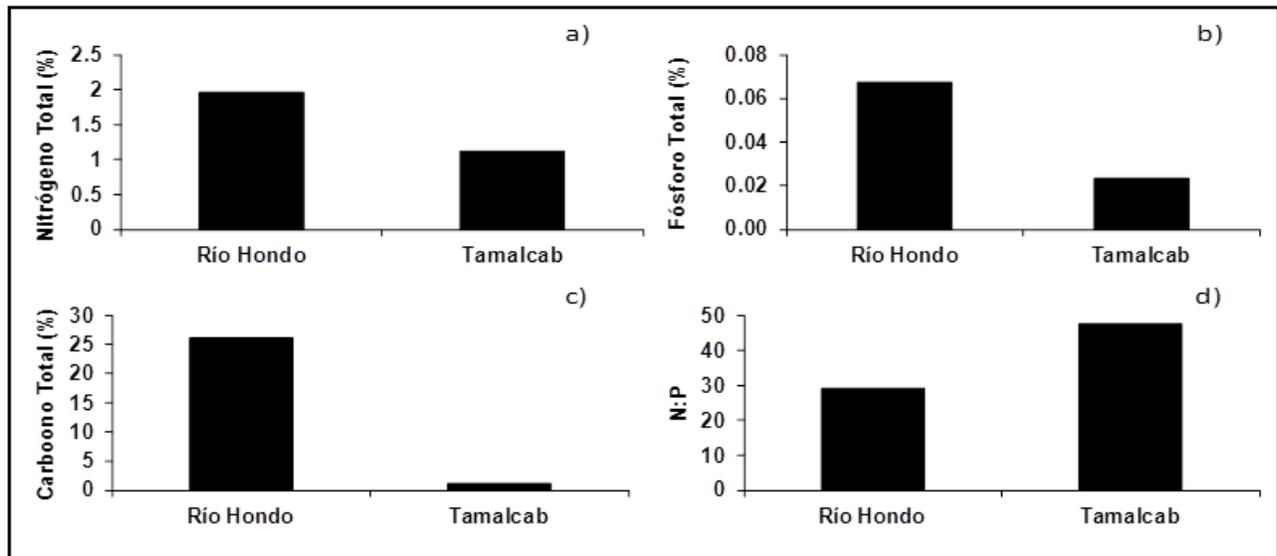


Figura I.6.10. Nutrientes en sedimentos de manglar en la localidad de Chetumal.

I.7.-Análisis Entre Localidades

El análisis entre localidades indica que el área basal más baja se registró en Dzilam (mediana <10 m²/ha) seguido de la localidad de Río Lagartos y Sisal (>15 m²/ha). Los árboles con las mayores áreas basales se presentaron en las localidades de Sian Ka'an, Cancún y Celestún (>30 m²/ha). En la localidad de Sian Ka'an se presentó la mayor variabilidad por haberse analizado diferentes tipos ecológicos de manglar. El sitio del Playón es un manglar de tipo chaparro, mientras que el de Cayo Culebras es de tipo franja de acuerdo a sus características estructurales (Fig. I.7.1a). En la localidad de Progreso se observa que el área basal varía entre 5 y 44.5 m²/ha con media de 19.7 m²/ha, reflejando la heterogeneidad de los sitios como se puede observar en los resultados de estructura. En Río Lagartos se registra variabilidad de diámetros observándose valores de 8.4 m²/ha hasta 25.6 m²/ha reflejando heterogeneidad entre sitios.

Con respecto a la densidad de árboles en la localidad de Dzilam se registró la menor densidad de individuos (media= 1029 ind. ha⁻¹), seguido de la localidad de Chetumal (media= 1425 ind. ha⁻¹), así como la localidad de Celestún (media = 1674 ind. ha⁻¹), mientras que las mayores densidades se presentaron en la localidad de Sian Ka'an (media= 9900 ind. ha⁻¹), además de observarse la mayor variabilidad de esta característica, y siendo Xcalak (media= 7725 ind. ha⁻¹) la segunda localidad con mayor densidad de árboles (Fig.I.7.1b).

Los árboles de manglar con mayor altura en la zona de estudio se registraron en la localidad de Celestún (media= 8.4 m), seguido de la localidad de Chetumal (media= 7.7 m) y Cancún (media= 7 m). Los individuos con menos altura se registraron en las localidades de Progreso y Dzilam (media= 3 m), seguido de Sisal (media= 3.5 m) (Fig. I.7.1c). La mayor variabilidad en alturas se observan en la localidad de Sian Ka'an registrándose alturas de 1.1 m a 9.4 m reflejando la variabilidad estructural entre tipos ecológicos de manglar. En la localidad de Celestún se observan alturas de árboles de 3.2 m a 13 m.

De acuerdo a los valores del índice de complejidad que es una variable indicadora del desarrollo estructural del bosque de manglar, sugieren que Dzilam es una localidad menos desarrollada (media= 0.67). Otras localidades con bajos índices de complejidad son Chetumal (media= 7.18), seguido de Sisal (media = 7.48), y Progreso (media = 7.9). Las localidades que de acuerdo al índice de complejidad presentan buen desarrollo estructural son Puerto Morelos (media= 27.58), Sian Ka'an (media= 15.98) y Cancún (media= 13.68 (Fig. I.7.1d)

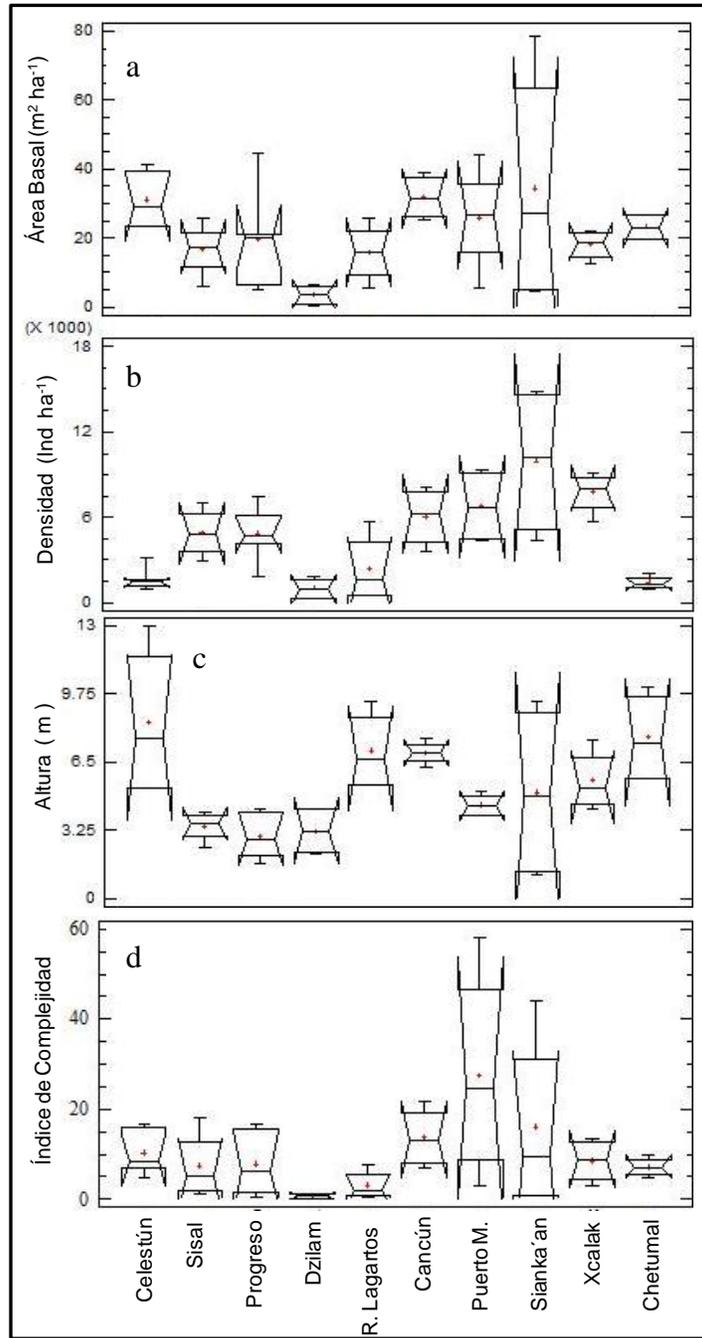


Figura I.7.1. Variación entre localidades de la Península de Yucatán de las variables estructurales del bosque de manglar

Con respecto a la densidad de plántulas de manglar entre localidades los valores más bajos se registraron en Cancún (media = 2 ind. m⁻²), Río Lagartos (media = 3 ind. m⁻²), y Sian Ka'an (media= 2 ind. m⁻²), indicando baja capacidad de reclutamiento (Fig. I.7.2A). Las mayores densidades de plántulas se presentaron en las localidades de Dzilam (media= 169 ind. m⁻²) y Progreso (media = 135 ind. m⁻²), por lo que tienen alta tasa de reclutamiento no obstante de su bajo desarrollo estructural (Fig. I.7.2B). Las localidades de Sisal y Chetumal presentan amplia variabilidad en los datos y valores medios bajos en ambas (<35 ind. m⁻²) (Fig. I.7.2A) respecto a los observados en localidades como Progreso y Dzilam (>200 ind. m⁻²) (Fig. I.7.2B).

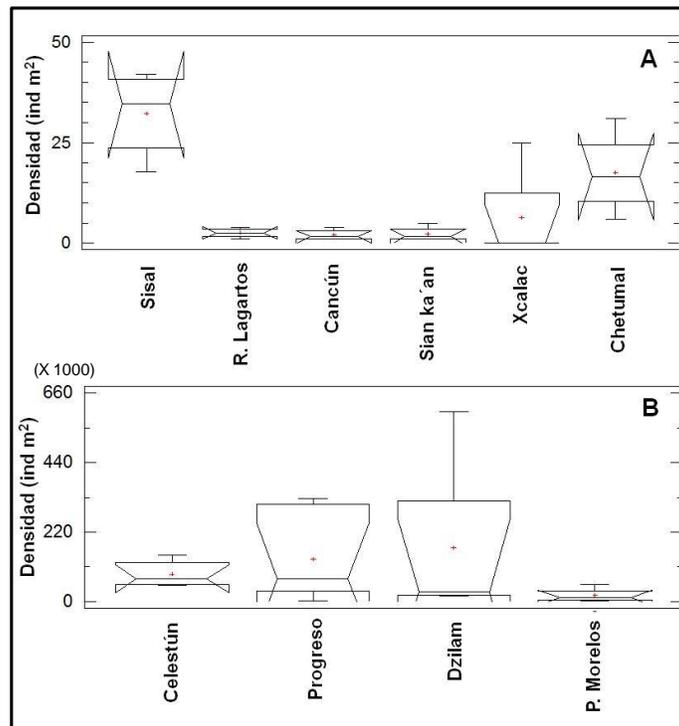


Figura I.7.2. Variación entre localidades de la Península Yucatán de la densidad de plántulas del manglar.

De acuerdo a la densidad de juveniles las mayor densidad se presentó en la localidad de Sian Ka'an (media= 1300 ind. ha⁻¹) así como la mayor variabilidad de los datos reflejando las diferencias entre los sitios de esta localidad, seguido de la localidad Puerto Morelos (media= 315 ind. ha⁻¹) (Fig. I.7.3B). En las localidades de Río Lagartos, Cancún e Xcalak no hubo presencia de juveniles de manglar. En la localidad de Celestún se observaron valores de 5 ind. ha⁻¹ hasta 60 ind. ha⁻¹, pese a su buen desarrollo estructural los valores que se presentan es el resultado de la variabilidad entre los sitios de muestreo. En la localidad de Sisal se observa una alta densidad de juveniles (media= 36.3 5 ind. ha⁻¹) con respecto a la localidad de Progreso (media= 13.3 ind. ha⁻¹) y Dzilam (media= 1.5 ind. ha⁻¹) (Fig. I.7.3A).

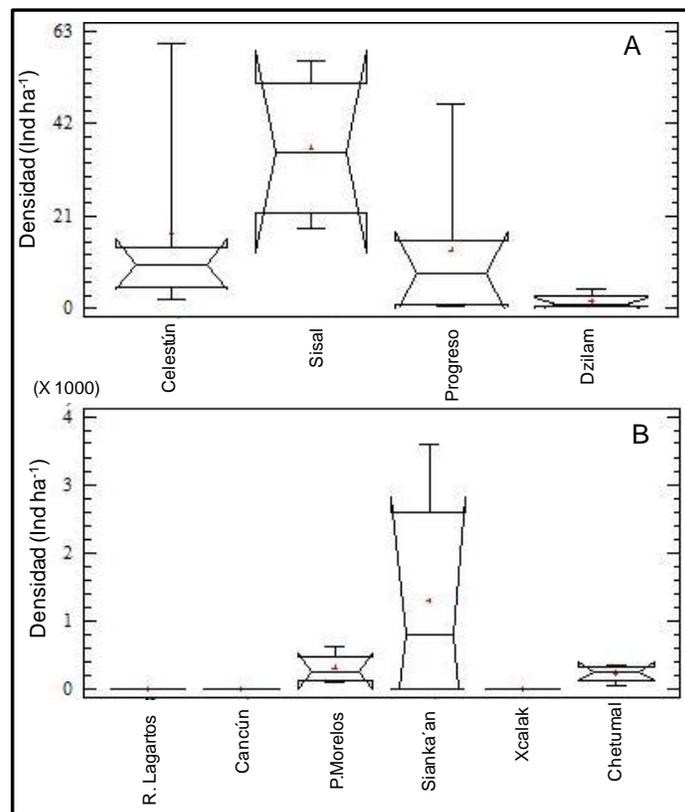


Figura I.7.3. Variación entre localidades de Yucatán de la densidad de juveniles del manglar.

Con respecto a las variables fisicoquímicas del sedimento se presentaron diferencias significativas entre sitios de cada localidad y entre localidades (Fig. I.7.4). La localidad de Progreso registró la salinidad intersticial promedio más alta (media= 56.6), seguido de la localidad de Xcalak (media= 46.8) y Dzilam (media= 46.5). En la localidad de Río Lagartos se presentan valores promedio bajos de salinidad (media= 15.7 g/kg) y con escasa variabilidad, mientras que en Chetumal se presentan las salinidades promedio más bajas (media= 13.8) pero mayor heterogeneidad al igual que Celestún (Fig. I.7.4). Tanto Celestún como Chetumal reciben aportes importantes de agua dulce, sin embargo, mientras que en Chetumal la fuente es el Río Hondo en Celestún son los manantiales (Herrera-Silveira, 2006).

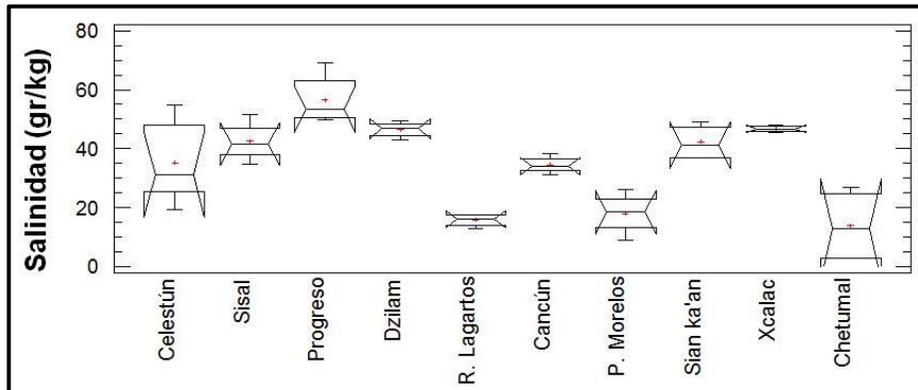


Figura I.7.4. Variabilidad espacial de la salinidad intersticial.

En relación al pH se observan diferencias significativas entre localidades al igual que con el potencial Redox (Fig. I.7.5A-B). Respecto al pH Celestún y Dzilam presentan condición básica con pH's promedio cercanos a pH 7.7. Progreso y Puerto Morelos presentan variaciones amplias de pH con intervalos que van de condiciones básicas (7.9) a ácidas (6.1), mientras que Sisal y Chetumal son las localidades con menor variabilidad de pH entre sitios y con tendencia a pH's neutros (Fig. I.7.5A). Con respecto al potencial Redox las localidades con promedio menos negativos fueron Sisal (media -73 mV) y Chetumal (media -94.5 mV), mientras que los valores más negativos fueron los observados en las localidades de Celestún (media -291 mV) y Cancún (media -321 mV (Fig. I.7.5B). Los sitios más homogéneos respecto al potencial Redox de los sedimentos fueron Sisal, Río Lagartos y Cancún, y los de mayor variabilidad Celestún, Dzilam e Xcalak (Fig. I.7.5B).

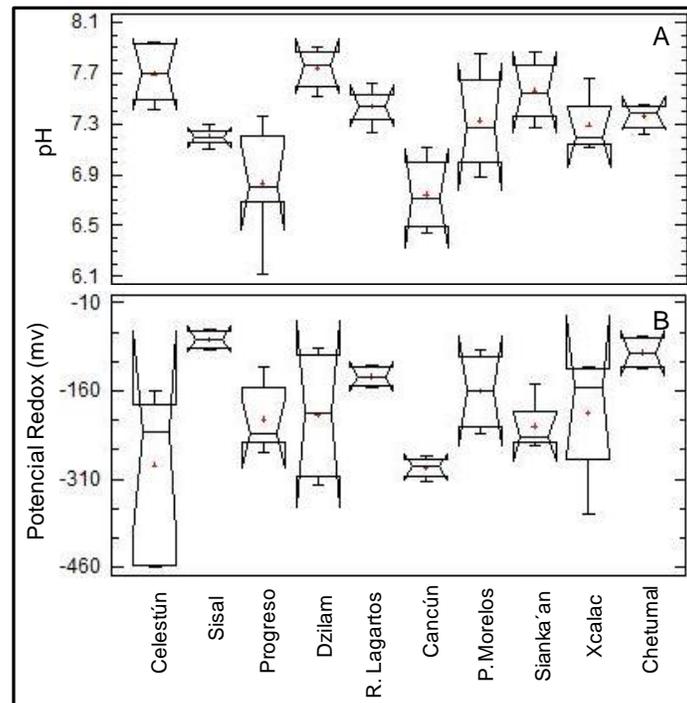


Figura I.7.5. Variabilidad espacial del pH y Potencial Redox en sedimento de manglar.

En relación a la densidad aparente de los sedimentos se presentan diferencias significativas entre localidades. Los valores promedio más bajos se registraron en la localidad de Puerto Morelos (media= 0.2 gr cm³) seguido de Celestún (media= 0.3 gr cm³) y Chetumal (media= 0.3 gr cm³) (Fig. I.7.6A). Respecto a los valores más altos estos se observaron en Sisal (media= 0.7 gr cm³) y Sian Ka'an (media= 0.8 gr cm³). La mayor variabilidad de densidades de sedimento se observaron en Dzilam, Río Lagartos y Sian Ka'an, mientras que los menos variables se registraron en la localidad de Chetumal (Fig. I.7.6A).

Con respecto al contenido de materia orgánica las localidades de Puerto Morelos y Sian Ka'an presentaron mayores contenidos de materia orgánica (media de 60% y 55% respectivamente (Fig. I.7.6B). Las localidades con bajos promedios de materia orgánica (<20%) fueron Sisal, Dzilam e Xcalak (Fig. I.7.6B). Respecto a la variabilidad las localidades de Río Lagartos y Pto. Morelos son las más heterogéneas mientras que Sisal y Dzilam las más homogéneas (Fig. I.7.6B).

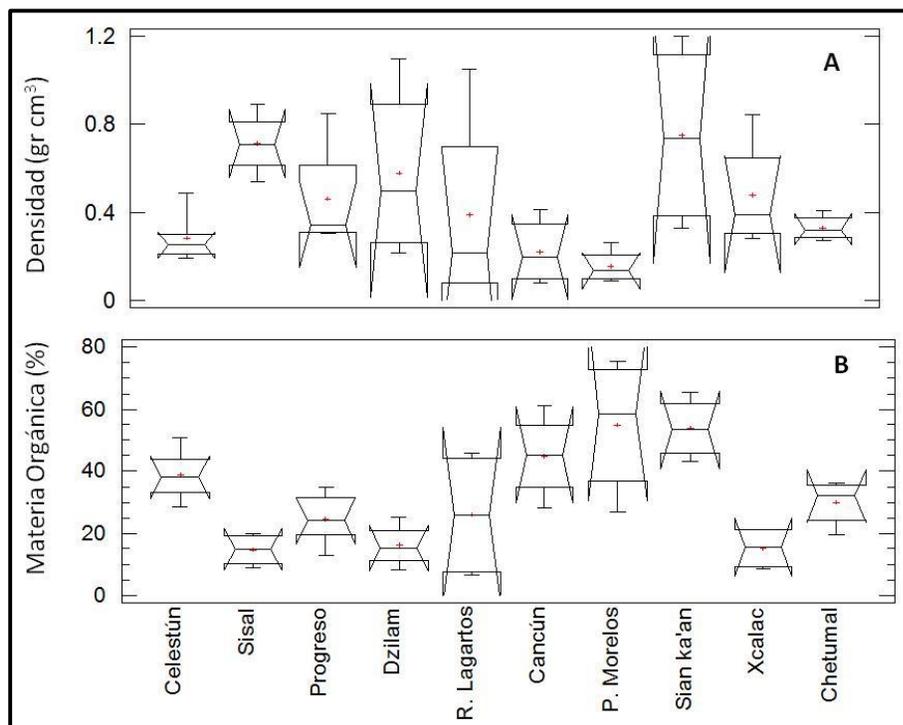


Figura I.7.6. Variabilidad entre localidades de Yucatán de la densidad aparente y materia orgánica en sedimentos de manglar.

En relación a los nutrientes en los sedimentos, se observa que en general el contenido de Nitrógeno Total (NT) fue menor en las localidades del estado de Yucatán respecto a las de Q. Roo (Fig. I.7.7A). Se observaron diferencias significativas entre localidades siendo el promedio más alto en Pto. Morelos (1.8%), mientras que los menores valores promedio fueron en Dzilam (0.35%). Mayor variabilidad entre sitios de la misma localidad se registró en Río Lagartos, Pto. Morelos y Chetumal (Fig. I.7.7A).

Respecto al Fósforo Total se presentaron diferencias significativas entre localidades (Fig. I.7.7B). Los mayores promedios fueron registrados en Cancún y Sian Ka'an (0.52% y 0.53% respectivamente), mientras que los menores valores promedio se determinaron en Sisal (0.013%). (Fig. I.7.7B).

En relación al contenido de Carbono Total en sedimentos se presentaron diferencias significativas sólo entre algunas localidades (Fig. I.7.7C). El mayor promedio de Carbono Total se registró en Río Lagartos (40%) mientras que el menor fue observado en Sisal (9%) (Fig. I.7.7C).

Los valores de la relación Redfield presentan en general valores mayores a 16, siendo el fósforo el nutriente limitante. En las localidades de Quintana Roo se observaron los promedios más altos de la relación Redfiel (Pto. Morelos e Xcalak >40), mientras que en Yucatán los valores de la relación N:P en promedio están alrededor de 30 (Fig. I.7.7D).

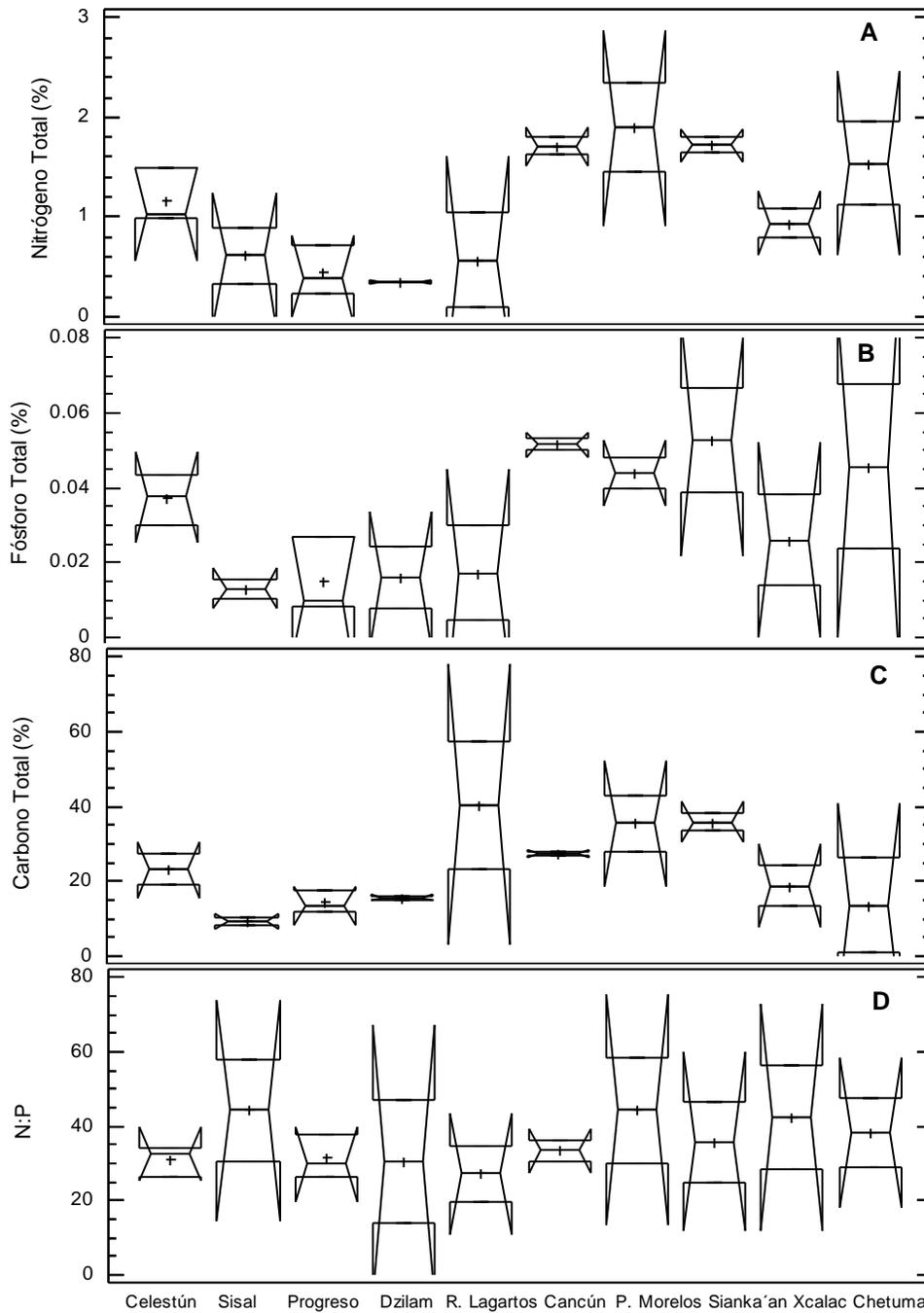


Figura I.7.7. Variabilidad entre localidades de Yucatán de nutrientes en sedimentos de manglar.

Análisis de Ordenación: Componentes Principales

Del análisis de componentes principales con las variable de estructura, los tres primeros componentes explican el 77.36% de la variación de los datos. En el primer componente el área basal y la densidad de juveniles serían las variables más importantes, mientras que en el segundo la densidad de árboles es el más significativo (Fig.I.7.8).

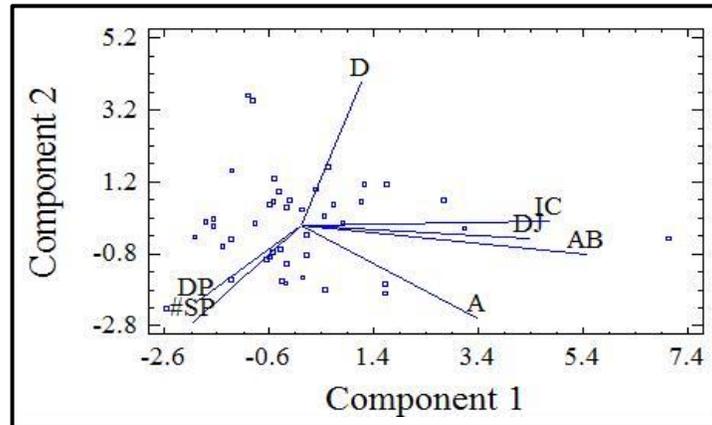


Figura I.7.8. ACP general para el área de estudio. A=altura, AB=área basal, IC= índice de complejidad, D=densidad de árboles, DJ= densidad de juveniles, DP=densidad de plántulas, #SP= No. De especies.

De acuerdo a estos resultados, las variables que podrían utilizarse como indicadores en programas de monitoreo son: área basal, densidad de árboles y densidad de juveniles como los más significativos.

Para el conjunto de las variables edáficas los dos primeros componentes explican el 71.52% de la variación de los datos originales. En el primer componente el Nitrógeno Total y la salinidad son las variables explicativas, mientras que en el segundo el Fósforo Total sería el más importante (Fig. I.7.9).

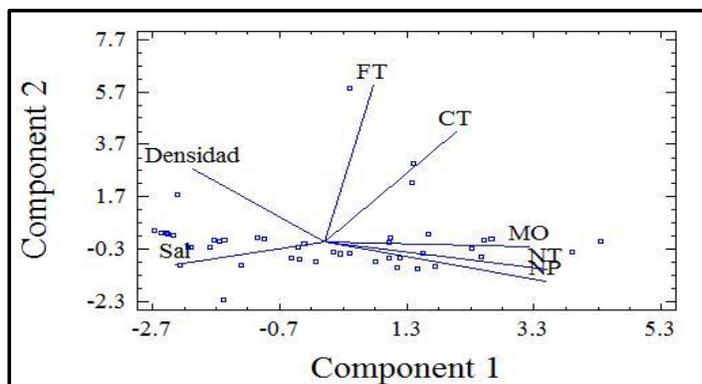


Figura I.7.9. ACP general para el área de estudio. Sal=salinidad, Densidad= densidad de materia orgánica, MO=materia orgánica, NT=Nitrógeno Total, CT=Carbono Total, FT=Fósforo Total. N:P= relación Redfield.

De acuerdo a los resultados del ACP de los sedimentos, las variables recomendadas para un programa de monitoreo serían la salinidad intersticial, el NT y FT.

El análisis para el conjunto de variable ambientales y de estructura, además de reducir las 14 variables evaluadas en un número menor de combinaciones lineales que puedan explicar la mayor variación de los datos, es de utilidad para identificar las relaciones entre ambos tipos de variables, y extraer patrones.

En este caso los tres primeros componentes explican el 63.33% de la variación. En el primer componente se asocian la salinidad con la densidad de sedimentos de forma directa, e inversa con el NT, el área basal, índice de complejidad y la densidad de juveniles. En el segundo componente el FT se asocia positivamente con la densidad de adultos. La densidad de juveniles se asocia a los nutrientes, mientras que el de plántulas a la salinidad (Fig. I.7.10).

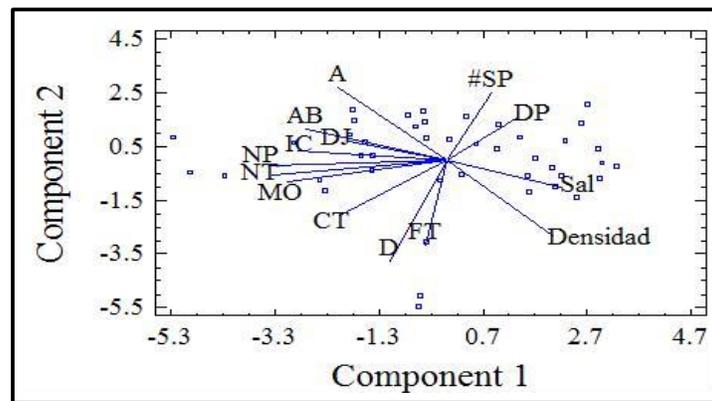


Figura I.7.10. ACP general para el área de estudio. A=altura, AB=área basal, IC= índice de complejidad, D=densidad de árboles, DJ= densidad de juveniles, DP=densidad de plántulas, #SP= No. De especies, Sal=salinidad, Densidad= densidad de materia orgánica, MO=materia orgánica, NT=Nitrógeno Total, CT=Carbono Total, FT=fosforo total. N:P=relación Redfield nitrógeno fosforo.

Análisis de Clasificación: Conglomerados

De acuerdo a la similitud de las características de estructura del manglar entre las localidades, se observa que estas se agrupan en 4 conglomerados. El grupo 1 está constituido por Sisal, Progreso y Dzilam, estas localidades presentan estrés, las dos primeras por factores antrópicos y en el caso de Dzilam por eventos naturales como huracanes. El grupo 2 está conformado por Sian Ka'an y Pto. Morelos, el grupo 3 por Xcalak, R. Lagartos y Chetumal, y finalmente el grupo 4 por Celestún y Cancún (Fig.I.7.11).

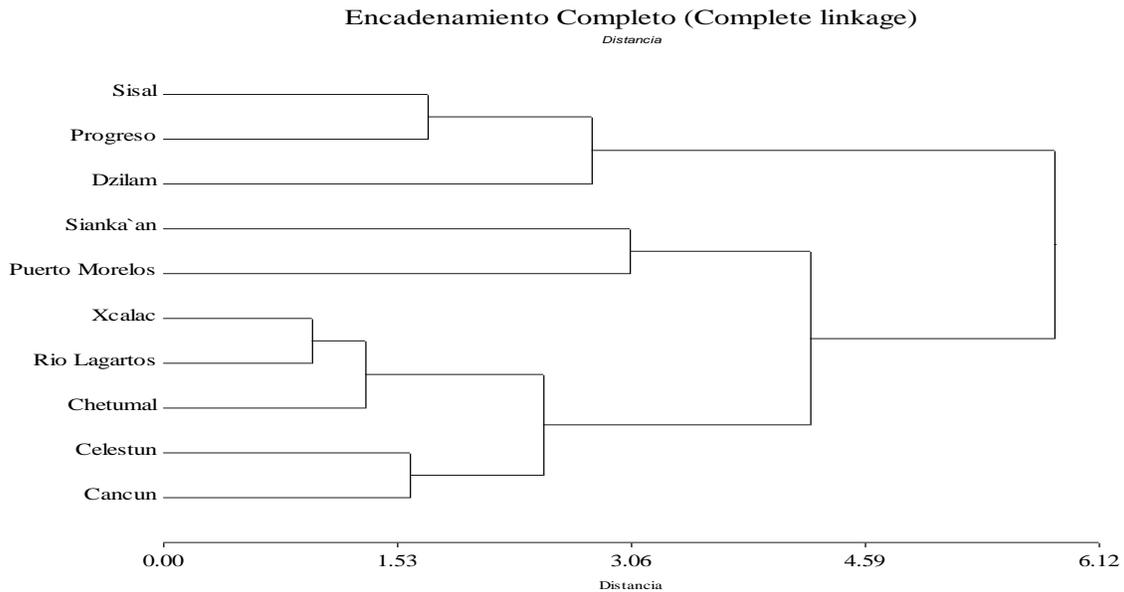


Figura I.7.11. Localidades con afinidad en la estructura del manglar. El clúster se realizó con el método de encadenamiento completo utilizando distancias euclidianas en datos estandarizados.

De acuerdo a los resultados obtenidos mediante la aplicación de métodos de clasificación multivariados, el análisis de conglomerados indicó que las variables de estructura y ambientales forman un igual número de grupos (Figs. I.7.11 y I.7.12), pero las localidades incluidas en cada grupo son diferentes. Esto probablemente obedezca a que las variables ambientales y las de estructura de la vegetación responden a los eventos naturales e impactos antrópicos a diferente velocidad. Mientras que las variables ambientales reflejan más rápido alguna condición, las variables de estructura de la vegetación requieren de más tiempo para adaptarse a las nuevas condiciones. En relación a las variables ambientales, el grupo 1 está constituido por Sisal, y Progreso, mientras que el grupo 2 está conformado por Xcalak y Dzilam, El grupo 3 corresponden R. lagartos, Chetumal y Celestún, finalmente P. Morelos, Sian Ka'an y Cancún conforman el grupo 4 (Fig.I.7.12).

Herrera-Silveira, J.A., Teutli-Hernández, C., Zaldívar-Jiménez, A., Pérez-Ceballos, R., Cortés-Balán, O., Osorio-Moreno, I., Ramirez-Ramirez, J., Caamal-Sosa., J., Andueza-Briceño M.T., Torres, R., Hernández-Aranda H. 2013. 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, FB1307-N009/08. Informe Final, Noviembre 2013

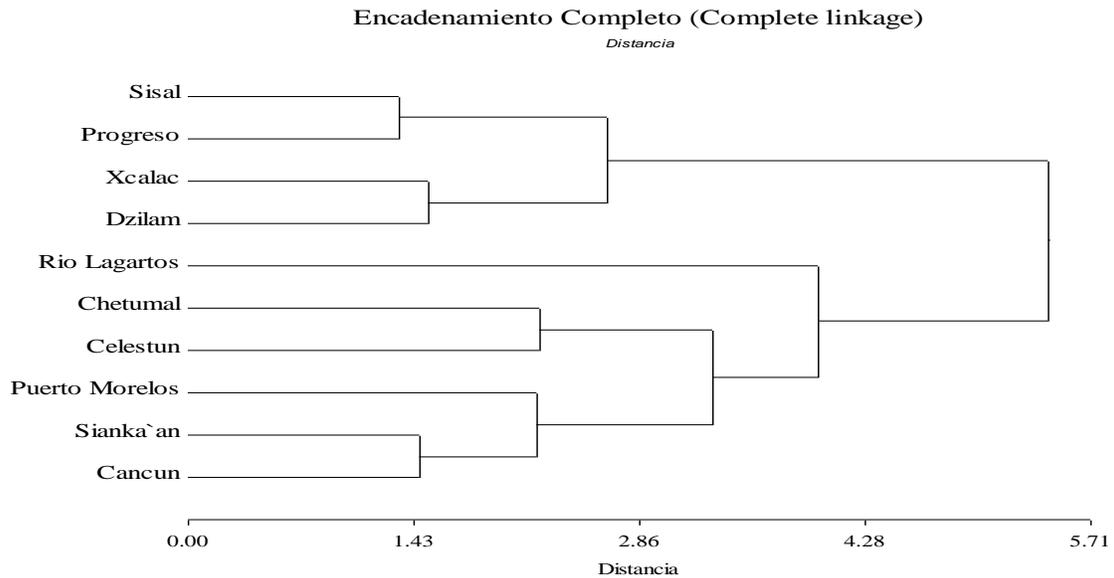


Figura I.7.12. Localidades con afinidad hidrológica. El clúster se realizó con el método de encadenamiento completo utilizando distancias euclidianas y datos estandarizados.

Análisis de Ordenación no-paramétrico: Escalamiento multidimensional (MDS).

La ordenación por medio del MDS permitió identificar la separación de los grupos elegidos formados por el análisis de clasificación (Figs. I.7.11 y I.7.12)

Para la ordenación de las variables de estructura (Fig. I.7.13), los grupos formados son diferentes significativamente (ANOSIM, R global = 0.142, $p=0.05$, 999 permutaciones), lo cual indica que las variables que se están utilizando separan a estos grupos y son recomendadas para utilizarse como indicadoras de su condición y apropiadas para el monitoreo. Las variables que contribuyen a las diferencias son principalmente el área basal, índice de complejidad, y la altura.

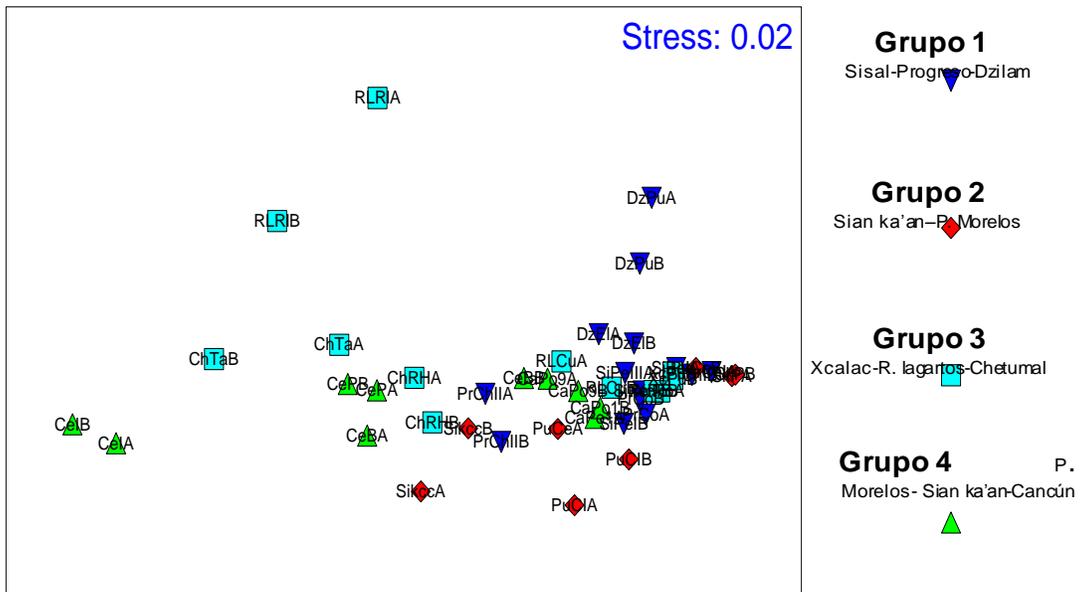


Figura I.7.13. Ordenamiento no paramétrico de las variables de estructura con los grupo formados con el análisis de clasificación. Nivel de estrés 0.02

El análisis de ordenación para las variables ambientales (Fig. I.7.14) permitió identificar que la separación de los grupos es significativa (ANOSIM, R global = 0.35, $p < 0.001$, 999 permutaciones). Las variables que contribuyen a la diferencias son principalmente la salinidad intersticial el contenido de materia orgánica y NT, lo cual sugiere que son variables indispensables para la caracterización de áreas de manglar.

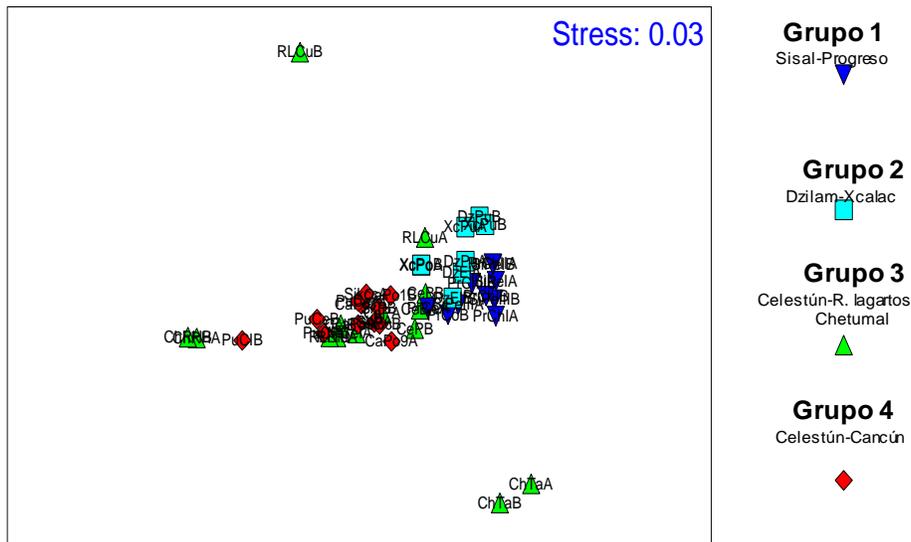


Figura I.7.14. Ordenamiento no paramétrico de las variables de estructura con los grupos formados con el análisis de clasificación. Nivel de estrés 0.03.

I.8.- Análisis De La Condición Del Manglar

Esta sección presenta **resultados preliminares** adicionales a los comprometidos en el proyecto. Por otra parte, las distancias usadas para el corte de las imágenes y partir de estas hacer los análisis que abajo se presentan, se seleccionaron arbitrariamente, sin embargo, en todos los casos se aseguró que dentro de esa área hubiese la mayor cobertura de manglares de cada localidad.

Celestún. El área de análisis de Celestún se determinó a partir de una distancia de 3 km de la laguna, lo que da un total de 24,901 ha, de las cuales 21,936 ha es cobertura de manglar correspondiendo al 88.09% del total del área seleccionada. De acuerdo a la clasificación ya predeterminada los porcentajes de cobertura de cada categoría para Celestún son: buena 47%, regular 37% y mala 16%. Se puede identificar la carretera Mérida-Celestún la cual atraviesa área de manglar y la laguna de Celestún. En general, Celestún se encuentra en buen estado de conservación ecológica (Fig. I.8.1). Áreas de manglar cercanas al poblado son las que están viéndose afectadas por las actividades productivas del puerto y crecimiento de la mancha urbana.

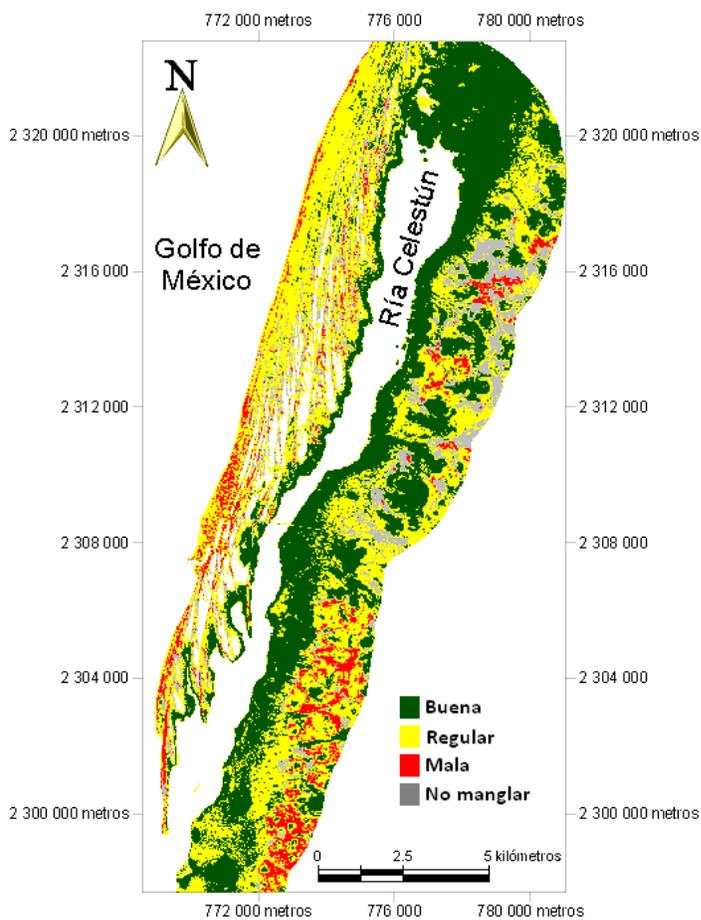


Figura I.8.1. Cobertura de manglar de diferente condición de la localidad de Celestún.

Sisal. El área para el análisis de manglar de Sisal se determinó a partir de una distancia de 2 km de la línea de costa, obteniéndose 1,689 ha. De este total 701 ha corresponden a cobertura de manglar (41.53% del área total). La cobertura relativa de cada condición de manglar es: buena 22%, regular 41% y mala 37% (Fig. I.8.2). Se puede identificar la carretera Mérida-Sisal que atraviesa por área de manglar y la ciénaga, así como los estanques de la granja de camarón ya abandonada, y que ahora se tiene planeado como zona habitacional. En general, Sisal se encuentra entre regular y mal estado de conservación como resultado de cambios de uso del suelo (crecimiento de la mancha urbana del poblado de Sisal y construcción de granja camaronera), y muerte de manglar por modificaciones hidrológicas debidas a carreteras

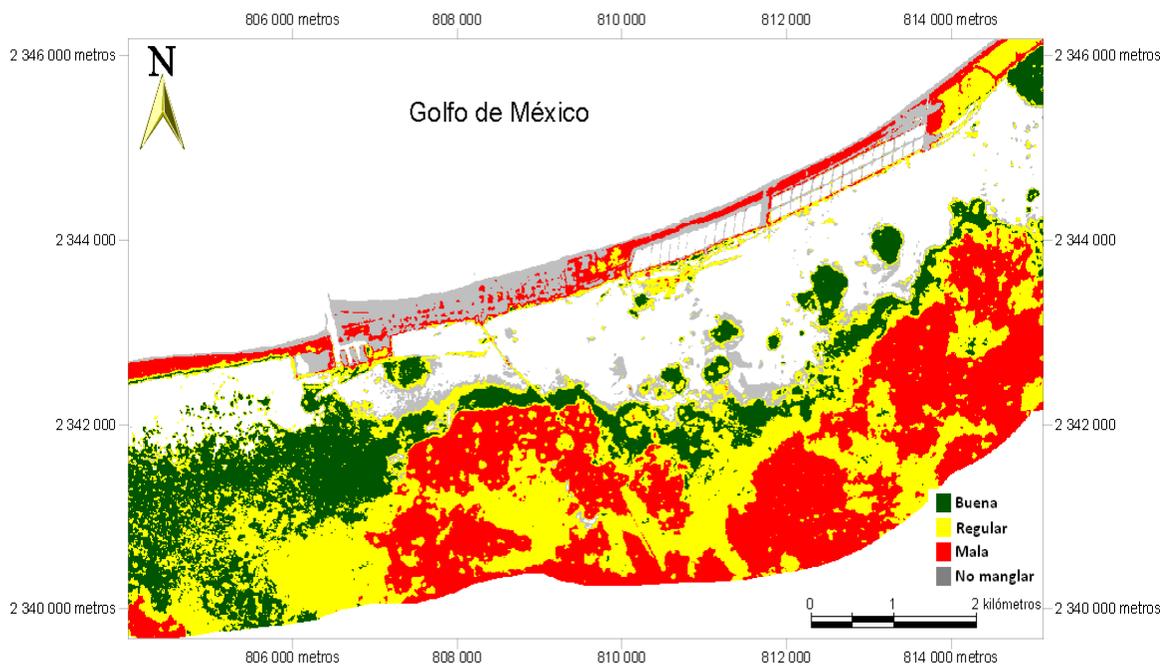


Figura I.8.2. Cobertura de manglar de diferente condición de la localidad de Sisal.

Progreso. El área de cobertura para el análisis de Progreso se determinó a partir de una distancia de 3 km de la línea de costa dando un total de 6,310 ha, de las cuales 3,513 ha son de manglar y correspondiendo al 55.7% del área total. La condición de manglar está clasificada en: buena 19%, regular 60% y mala 22% (Fig. I.8.3). Dentro del área se puede identificar las carreteras de Mérida-Progreso y Mérida-Chelem las cuales atraviesan por áreas de manglar, laguna y ciénaga, siendo una de las causas de impacto y muerte de este ecosistema (Zaldívar-Jiménez *et al.*, 2010). También se observa la extensa mancha urbana al norte (en gris) que ha contribuido al deterioro de los manglares en esta localidad. Los manglares de Progreso podrían considerarse que se encuentra en mal estado de conservación considerando que los impactos antrópicos que llevaron a su deterioro se mantienen y en algunos han aumentado con muy escaso éxito en los esfuerzos de restauración.

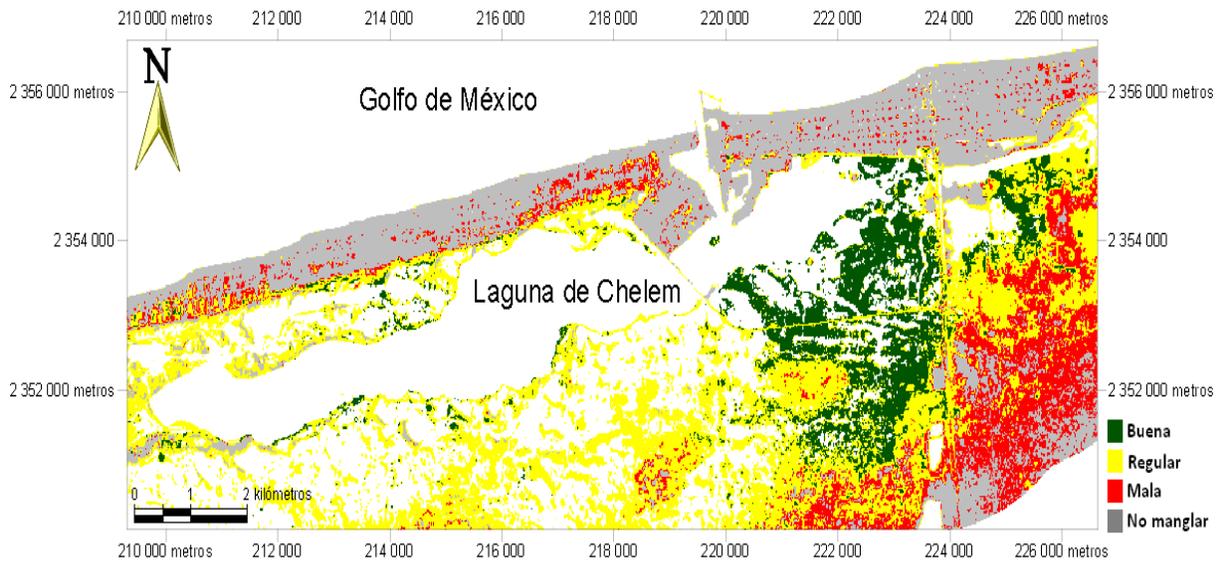


Figura I.8.3. Cobertura de manglar de diferente condición de la localidad de Progreso.

Dzilam de Bravo. El área de Dzilam de Bravo se determinó a partir de una distancia de 2 km de la línea de costa, lo que dio un total de 254 ha, de las cuales 83.8 ha es cobertura de manglar (32.95% del área total). La proporción de manglar en los distintos tipos de condición fue buena 27%, regular 39% y mala 34% (Fig. 1.8.4). Dentro del área de estudio se puede identificar la carretera Mérida-Dzilam de Bravo la cual atraviesa por área de manglar y la ciénaga, también se observa el puerto de abrigo y la zona urbana al norte (gris). De manera general, Dzilam de Bravo se encuentra entre regular y mal estado de conservación, pero a diferencia de Progreso la causa principal es por el efecto de huracanes (Isidoro 2002). Durante la visitas de campo se pudo observar que hay síntomas de recuperación de los manglares en esta localidad, y probablemente el análisis de imágenes de satélite recientes y apoyados con puntos de verificación, podría ayudar a determinar la magnitud de la recuperación. Se han emprendido acciones de restauración ecológica por parte del grupo de trabajo que elaboro este informe y los resultados son alentadores.

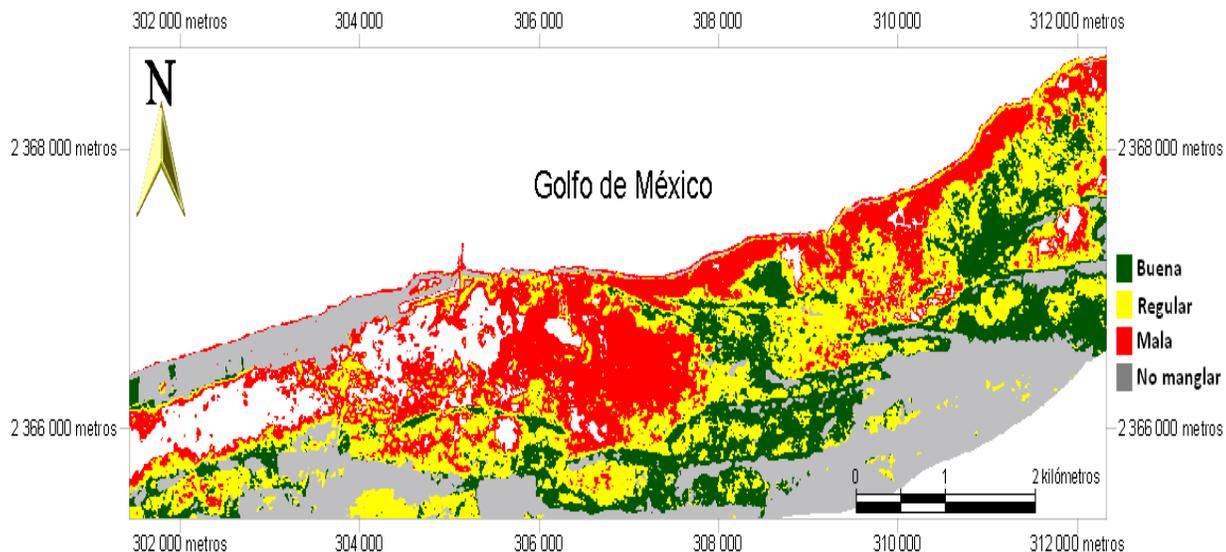


Figura 1.8.4. Cobertura de manglar de diferente condición de la localidad de Dzilam.

Río Lagartos. El área de cobertura para el análisis en Río Lagartos, se determinó a partir de una distancia de 3 km de la laguna cubriendo un área de 33,841 ha, de las cuales 10,177 ha es cobertura de manglar y corresponde al 30.1% del área total. El análisis preliminar indica que de manglar en buena condición es el 41%, regular 33% y mala 26%. Dentro del área que se pueden identificar están cuatro carreteras, la que va hacia San Felipe, Río Lagartos, Las Coloradas y El Cuyo; de las cuales dos de ellas pasan por el manglar y las otras dos por el manglar y la ría (Fig. I.8.5). También se observan las áreas de la industria salinera, las bocas de conexión con el mar y los poblados de San Felipe, Río Lagartos y Coloradas. De manera general Río Lagartos se encuentra en regular estado de conservación, y durante las visitas al campo se observó que el manglar está siendo amenazado por cambios de uso de suelo para la ganadería en su frontera sur.

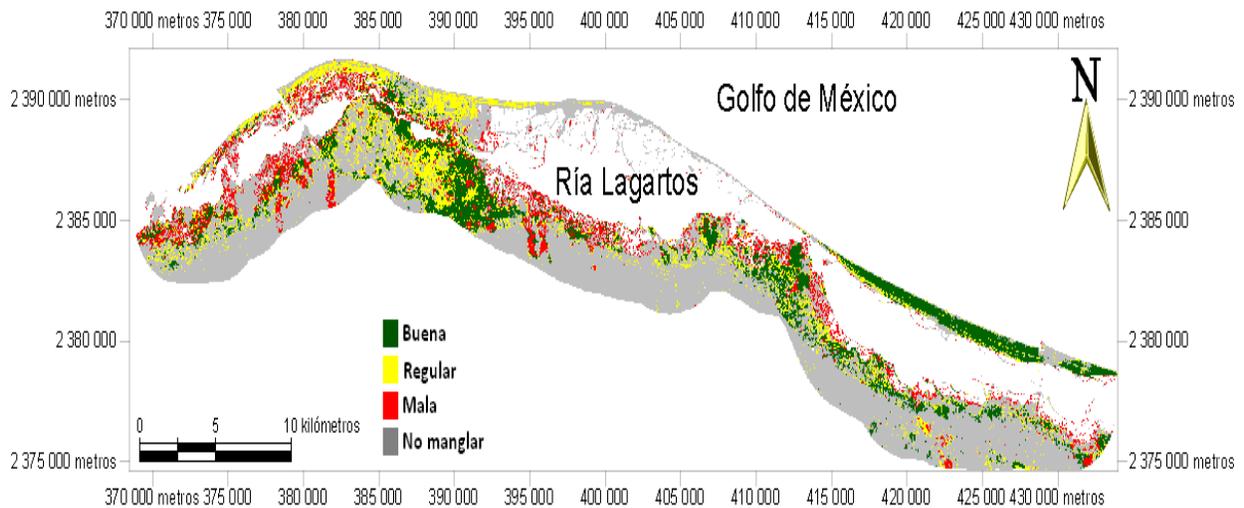


Figura I.8.5. Cobertura de manglar de diferente condición de la localidad de Río Lagartos.

Cancún: El área de cobertura para el análisis de Cancún se determinó a partir de las carreteras que rodean a la laguna de Nichupte, ya que se encuentra bien delimitada por estas. El área de estudio comprendió 9,500 ha, de las cuales 2,276 ha es manglar (23.96 % del área total). La condición de manglar en esta localidad tiene las coberturas relativas de buena 16%, regular 55% y mala 29%. Dentro del área de estudio se puede identificar una gran extensión de zona urbana que se encuentran en los alrededores de la laguna. De manera general, los manglares de Nichupté se encuentran entre regular y mal estado de conservación ecológica como resultado de los impactos antrópicos, y más recientemente por el huracán Willma (Fig. I.8.6).

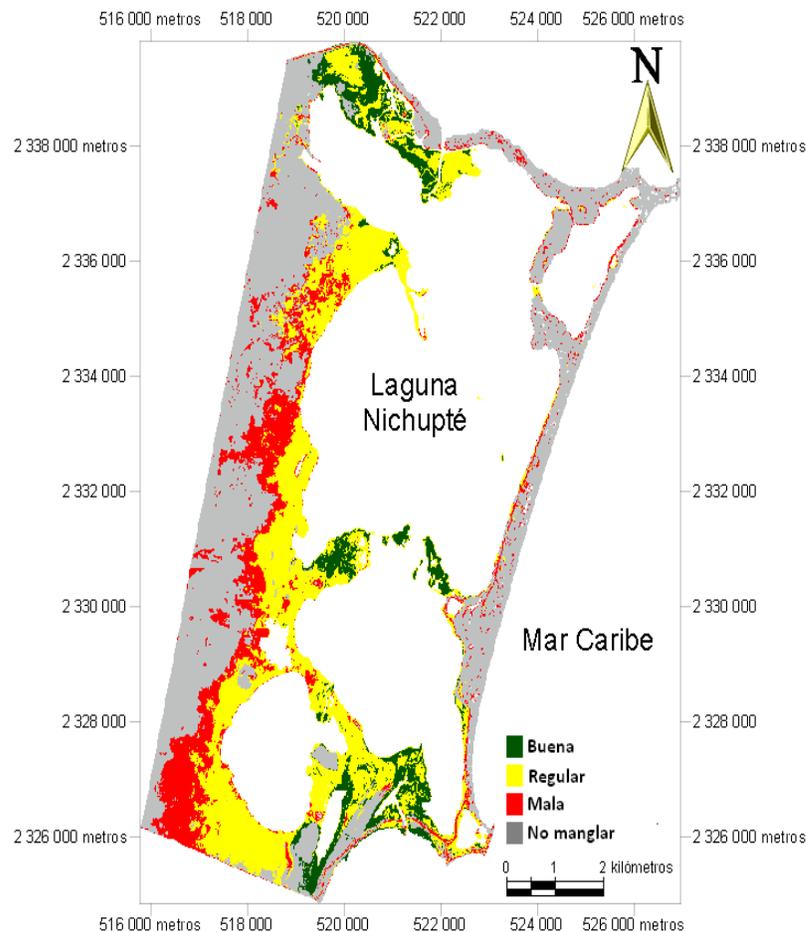


Figura I.8.6. Cobertura de manglar de diferente condición de la localidad de Cancún.

Puerto Morelos. El área para el análisis de coberturas de Puerto Morelos se determinó a partir de la carrera Playa del Carmen-Cancún y hasta 6 km de la entrada a Puerto Morelos, lo que da un total de 2,834 ha, de las cuales 1,996.5 ha corresponden a manglar que son el 70.45 % del área total. La cobertura relativa de la condición del manglar preliminarmente es de buena 40%, regular 36% y mala 24%. Dentro del área se pueden identificar cinco carreteras que van hacia la costa las cuales dos de ellas pasan por el humedal de manglar originando que se interrumpan los flujos sub-superficiales del agua, así como la mancha urbana-costera al este de la zona de estudio. De acuerdo al análisis de las imágenes los manglares de Puerto Morelos se encontraban en un estado de bueno a regular en términos de su conservación ecológica. Sin embargo, el acelerado crecimiento de la infraestructura turística sobre el manglar además de los impactos por huracanes, hace pensar que actualmente (2011) el área podría estar en condición de regular a mala. Los recorridos durante los muestreos permitieron observar que se siguen construyendo carreteras a través de áreas de manglar así como infraestructura turística muy cerca e inclusive sobre este ecosistema.

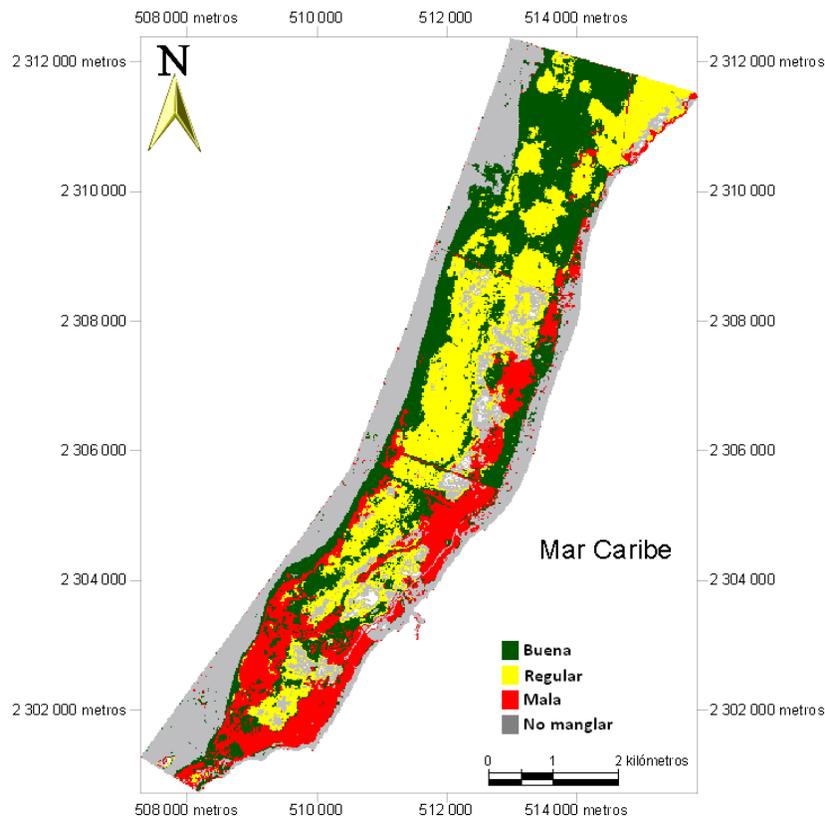


Figura I.8.7. Cobertura de manglar de diferente condición de la localidad de Puerto Morelos.

Sian Ka'an. El área para el análisis de coberturas de Sian Ka'an se determinó a partir de la línea de costa y hasta 10 km tierra adentro dando un total de 63,304 ha, de las cuales 35,780 ha son cobertura de manglar lo que corresponde al 56.52% del área total. La cobertura relativa de la condición del manglar preliminarmente es de buena 23%, regular 16% y mala 61% (Fig.I.8.8). Sin embargo para este caso en particular, los manglares clasificados en condición mala no reflejan su verdadero estado. Las diferencias detectadas son por la baja densidad de árboles y no por las condiciones de los manglares. Estas observaciones sólo fueron posibles gracias a los recorridos de campo y las fotografías que CONABIO tomó durante vuelos en helicóptero, destacando la importancia de la interacción entre el trabajo de campo y la información que arrojan los sensores remotos. Los resultados corregidos serían: condición buena 74%, regular 16% y mala 10% (Tabla 3). De manera general, los manglares de Sian Ka'an se encuentran en buen estado de conservación ecológica.

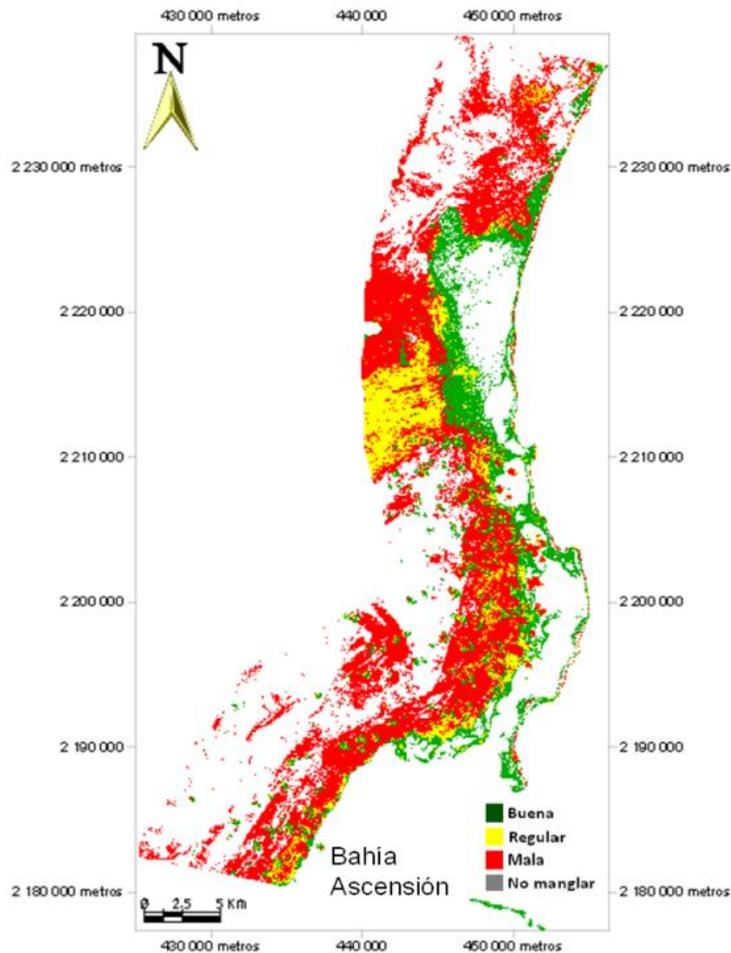


Figura I.8.8. Cobertura de manglar de diferente condición de la localidad de Sian Ka'an.

Xcalak. El área para el análisis de coberturas de Xcalak se determinó a partir de la línea de costa y hasta 3 km tierra adentro, lo que da un total de 9,759 ha, de las cuales 5,222 ha son cobertura de manglar correspondiendo al 53.50% del área total. La cobertura relativa de la condición del manglar en esta localidad preliminarmente es de buena 58%, regular 34% y mala 8%. De manera general, los manglares de Xcalak se encuentran en buen estado de conservación (Fig. I.8.9). Sin embargo, durante los recorridos se pudo observar la tala clandestina y el crecimiento de la mancha urbana del poblado de Mahahual está poniendo en riesgo a los manglares en esta localidad es alto.

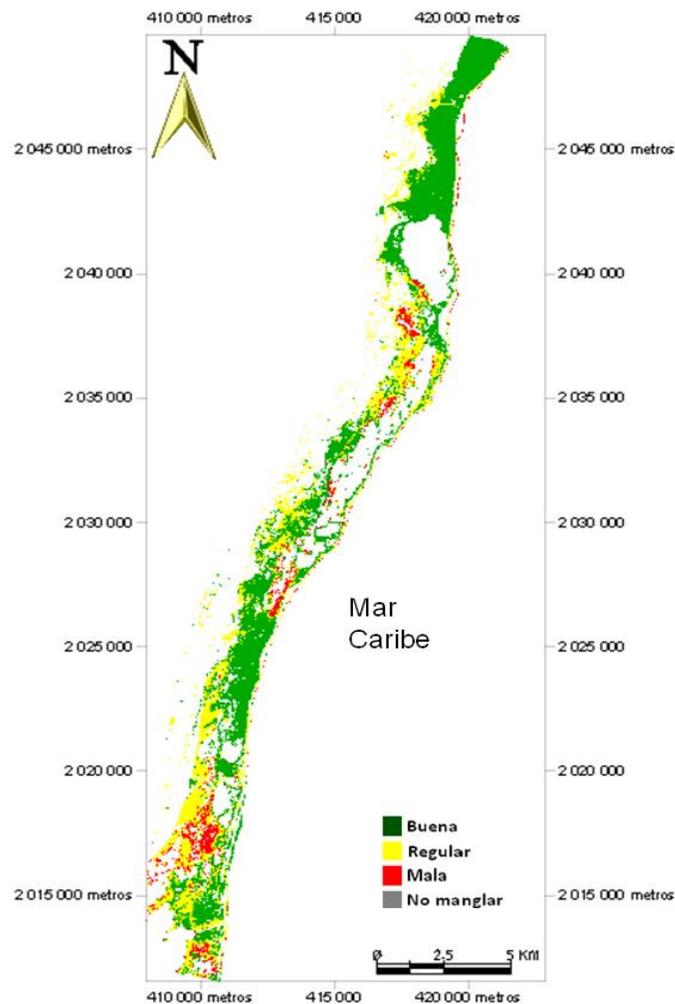


Figura I.8.9. Cobertura de manglar de diferente condición de la localidad de Xcalak

Chetumal. El área para el análisis de coberturas de Chetumal se determinó a partir de la línea de costa y hasta 3 km tierra adentro, lo que da un total de 12,747 ha, de las cuales 3003 ha son cobertura de manglar correspondiendo al 23.55% del área total. La cobertura relativa de la condición del manglar, preliminarmente es de buena 56%, regular 23% y mala 21%. Dentro del área se pueden identificar una carretera que va hacia la costa la cual pasa por el humedal de manglar. De manera general los manglares de Chetumal se encuentran en buen estado de conservación (Fig. I.8.10). Durante los recorridos se observó que el crecimiento de las ciudades de Chetumal, Calderitas y Bacalar pueden ser un riesgo para la cobertura de manglar en esta localidad.

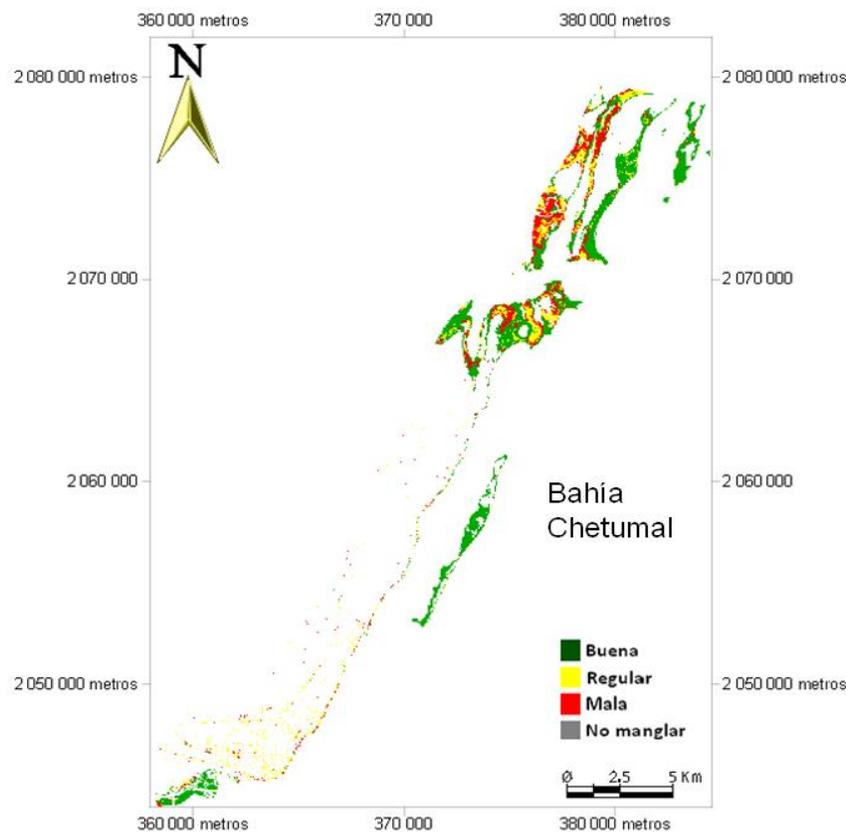


Figura I.8.10. Cobertura de manglar de diferente condición de la localidad de Chetumal

Se recomienda el análisis de imágenes recientes (2012-2013) con el uso de información de sitios de verificación. La heterogeneidad observada en los tipos y condiciones de manglar en una misma localidad hacen sugerir que se realicen más puntos de muestreo y de menos área por la relación costo beneficio.

I.9.-VULNERABILIDAD DE LOS MANGLARES

Los manglares están identificados como ecosistemas altamente resilientes a factores ambientales. Sin embargo, esta capacidad de recuperación se asocia al buen estado que deben guardar sus características estructurales y funcionales, ya que esto le permite adaptarse a la variación de factores externos. En la interacción de las características ecológicas, el uso y aprovechamiento por las comunidades circundantes a los manglares y los instrumentos de gestión para su conservación y restauración juegan un papel importante sobre los manglares, ya que en su conjunto determinan la sensibilidad de estos ecosistemas a ciertos impactos y/o perturbaciones. La sensibilidad a ser afectados por un factor natural y/o antrópicos es lo que se conoce como su vulnerabilidad.

La combinación de las características ecológicas intrínsecas de cada manglar (geohidrología, condición de su estructura forestal, especie dominante), el estatus de protección y uso (áreas naturales protegidas, desarrollo urbano) y las presiones antrópicas y naturales (amenazas y perturbaciones), fueron consideradas para determinar el grado de vulnerabilidad de los manglares, sobre todo en su estructura, función y servicios ecológicos.

En la Península de Yucatán (PY) a diferencia de otras regiones costeras de México, las principales zonas de distribución de manglares tienen un estatus de protección de áreas naturales protegidas de índole estatal o federal. Al inicio del estudio (2009) de las 10 localidades estudiadas en PY, solo los manglares de las localidades de Sisal y Progreso no se encontraban bajo un régimen de protección, sin embargo, ahora (2013) estas dos zonas forman parte de un área natural protegida estatal. No obstante el régimen de protección, todas las localidades son altamente vulnerables frente a los efectos del desarrollo urbano mal planeado, la sobreexplotación y la contaminación (Tabla 3). Por otra parte la densidad de población es una característica indirecta de las necesidades de infraestructura y de servicios que muchas veces no son acordes desde el punto de vista ambiental. El crecimiento urbano no ordenado que por lo general cambia las condiciones del agua y del suelo ocasiona el deterioro y muerte de los manglares. Por ejemplo, Progreso es la localidad del estado de Yucatán con mayor densidad de población (112 habitantes km^{-2}), en el caso del estado de Quintana Roo son Nichupté (Cancún) y Puerto Morelos los de mayor densidad de población con 252 habitantes km^{-2} . En ambos casos tanto Progreso como Cancún son las localidades que menor proporción de manglar con buena condición presentaron con $<19\%$ del total de cobertura, y si bien las causas principales del deterioro son diferentes, en ambos casos son de tipo antrópico (Tabla 3).

La geohidrología y la relación área cuerpo de agua/área humedal obtenida del análisis de las imágenes de satélite proporcionadas por CONABIO, también son un indicador del escenario ecológico y por tanto la vulnerabilidad a cambios ambientales. La localidad de Celestún por su condición de tener una laguna costera influenciada por descargas de agua subterránea crea condiciones adecuadas para el establecimiento y distribución de los manglares reflejándose en la proporción de área de agua que apenas es 0.12 respecto al área de humedal. Por otra parte, la localidad de Puerto Morelos (Quintana Roo) presentó la menor proporción (0.08) de agua respecto a área de manglar (Tabla 3). Esta localidad es una ciénega separada del mar por una barra costera que ha sido muy modificada por el desarrollo de infraestructura costera turística.

Las amenazas sobre los manglares y que causan deterioro son principalmente asociados a modificaciones hidrológicas, contaminación del agua/suelo y cambio de uso de suelo. Aunque de manera general las amenazas pueden ser las mismas para todas las localidades, la magnitud y la intensidad pueden causar diferentes impactos dependiendo del escenario ecológico en el que se encuentre. En Celestún la construcción de carretera sin pasos de agua tiene efectos en sitios localizados; esto es debido a que presenta alta circulación e influencia de agua subterránea, por lo que el agua se mueve en diferentes direcciones. Lo contrario sucede en la localidad de Progreso, donde de un lado de las carreteras se encuentra manglar en buen estado y por el otro manglar deteriorado, esto sucede porque al ser una ciénega con la apertura de bocas artificiales y la falta de pasos de agua en las carreteras resulta en una distribución heterogénea de los flujos y reflujos de agua. Sisal y Puerto Morelos también son muy susceptibles a cambios hidrológicos por la construcción de carreteras.

Por otra parte, los huracanes son una perturbación que afecta en general a la PY, pero la frecuencia de sus trayectorias es mayor en las localidades de Progreso-Dzilam de Bravo y Puerto Morelos al menos en los últimos 100 años (Tabla 3).

Las observaciones de campo y resultados de los análisis de datos de laboratorio sugieren que los efectos de los impactos antrópicos dependen de los escenarios ambientales en que se encuentre, por lo que la vulnerabilidad a los efectos de los cambios hidrológicos es menor en las lagunas costeras (Celestún, Nichupté), en comparación con las ciénagas (Sisal, Progreso y Puerto Morelos) (Tabla 3). Por otra parte, los huracanes tienen efectos importantes en los manglares de la PY, sin embargo, parece incrementarse en localidades donde el cambio del uso del suelo es mayor (Progreso, Cancún, Puerto Morelos), y la recuperación de manera natural se ve afectada en sitios con alta presión antrópica y escenario ambiental de ciénega.

Tabla 3. Características ecológicas, de gestión y amenazas que definen la vulnerabilidad de los manglares en la Península de Yucatán.

LOCALIDAD	Celestún	Sisal	Progreso	Dzilam de Bravo	Rio Lagartos	Nichupte	Puerto Morelos	Sian Ka'an	Xcalak	Chetumal
ESTATUS DE PROTECCION	ANP Federal	ANP Estatal	ANP Estatal	ANP Estatal	ANP Federal	ANP Federal	ANP Federal	ANP Federal	ANP Federal	ANP Estatal
DENSIDAD DE POBLACION (Habitante km⁻²)	10	30	112	12	10	252	252	14	13	13
ESCENARIO GEOHIDROLOGICO	Laguna costera con descargas de subterránea	Ciénega	Lagunar costera/ Ciénega	Litoral Costero con descargas de agua subterránea	Laguna costera	Laguna costera	Litoral Costero/ciénega	Laguna costera con descargas de agua subterránea	Litoral Costero	Laguna costera con descargas de subterránea y río.
RELACION CUERPO DE AGUA/HUMEDAL	3.34	1.29	2.77	1.49	1.66	1.15	0.16	0.85	0.27	0.53
COBERTURA DE MANGLAR CON CONDICION BUENA (%)	47	22	19	27	41	16	40	74	58	56
COBERTURA DE MANGLAR CON CONDICION REGULAR (%)	37	41	60	39	33	55	36	16	34	23
COBERTURA DE MANGLAR CON CONDICION MALA (%)	16	37	22	34	26	29	24	10	8	21

Continuación tabla 3....

LOCALIDAD	Celestún	Sisal	Progreso	Dzilam de Bravo	Río Lagartos	Nichupte	Puerto Morelos	Sian ka'an	Xcalak	Chetumal
ESPECIE DOMINANTE	<i>Rhizophora mangle</i>	<i>Avicennia germinans</i>	<i>Rhizophora mangle</i>	<i>Laguncularia racemosa</i> y <i>Rhizophora mangle</i>	<i>Avicennia germinans</i>	<i>Rhizophora mangle</i>	<i>Rhizophora mangle</i>	<i>Rhizophora mangle</i>	<i>Rhizophora mangle</i>	<i>Rhizophora mangle</i>
HURACANES EN LOS ULTIMOS 100 AÑOS (Se incluyen todas las categorías)	3	5	9	10	3	5	8	3	5	4
AMENAZAS	Tala, carreteras, rellenos con basura para casas irregulares	Cambio del uso del suelo, y cambios hidrológicos	Cambio del uso del suelo, carreteras, cambios hidrológico, rellenos con basura para casas irregulares	Cambio del uso del suelo, cambios hidrológicos y huracanes.	Cambio del uso del suelo, carreteras, cambios hidrológicos y huracanes.	Cambio del uso del suelo, carreteras, cambios hidrológicos, huracanes y desarrollo para turismo.	Cambio del uso del suelo, carreteras, cambios hidrológicos, huracanes y desarrollo para turismo.	Tala, carreteras, huracanes	Cambio del uso del suelo, cambios hidrológicos, huracanes y desarrollo para turismo.	Cambios de uso del suelo, huracanes

I.10.- VARIACIONES ENTRE AÑOS: ESTRUCTURA DE ÁRBOLES ADULTOS.

Celestún: Las variaciones entre años (2009-2011) en las características estructurales de los sitios de la localidad de Celestún son muy pequeñas (Fig. I.10.1). Se registraron pequeños cambios en el área basal en los tres sitios hacia el incremento (Fig. I.10.1A). Por ejemplo, en la zona Interna pasó de 40.5 a 41 entre muestreos, sugiriendo que los árboles están creciendo en grosor del tronco. La densidad solo cambio en la zona Interna disminuyendo de 1108 a 991 ind. ha⁻¹ (Fig. I.10.1B). Las alturas promedio no presentaron variaciones (Fig. I.10.1C), y el índice de complejidad fue menor en la zona Interna entre años (de 16.4 a 14.8) (Fig. I.10.1D). La composición y dominancia de especies no varió entre años de muestreo (Fig. I.10.1E).

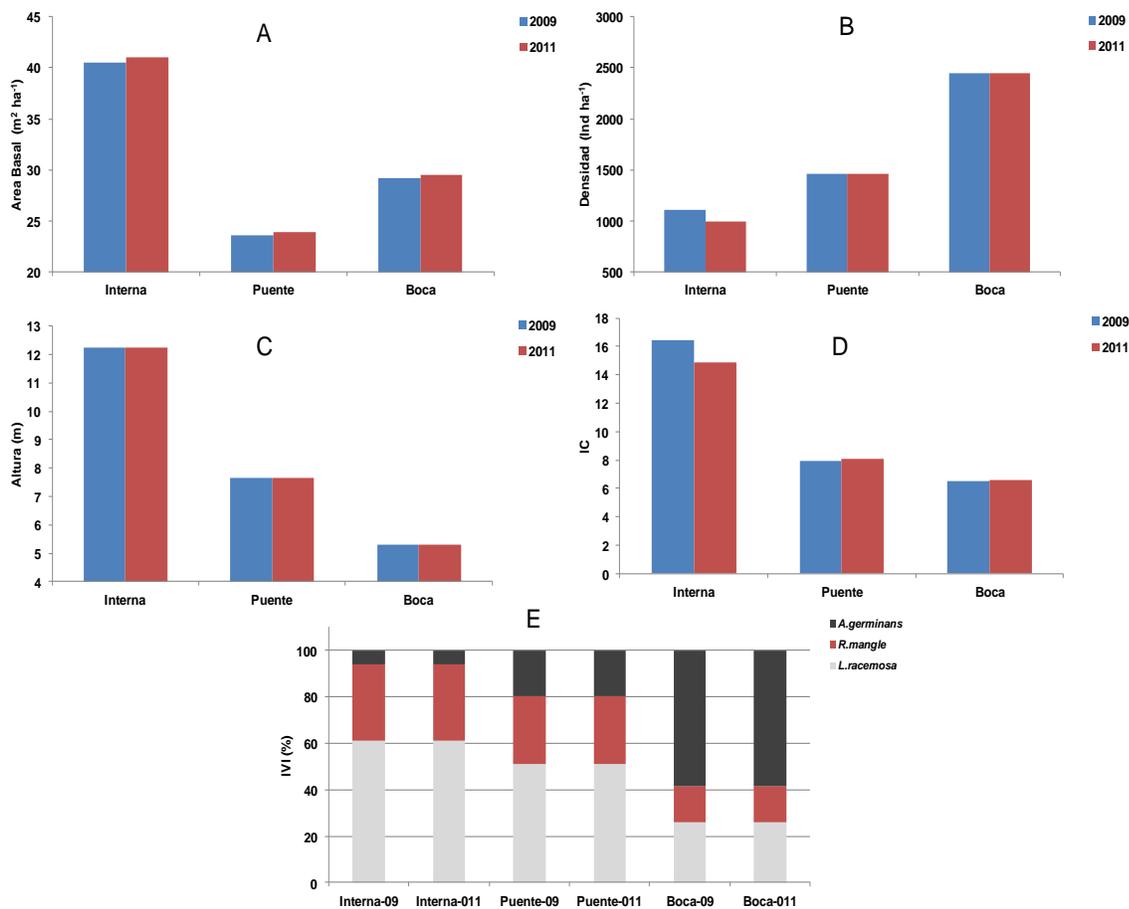


Figura I.10.1. Variables estructurales de la localidad de Celestún de los años 2009 y 2011.

Estos resultados sugieren que la localidad de Celestún es estable y que se mantienen condiciones favorables para su desarrollo.

Sisal: Cambios entre años (2009-2011) de las características estructurales de la vegetación de manglar de la localidad de Sisal se presentan en la figura I.10.2, en la que se destacan cambios en área basal, densidad e índice de complejidad. El área basal aumento en ambos sitios siendo mayor en Pecis III (de 17.3 a 18 m² ha⁻¹ entre 2009 y 2011 respectivamente) (Fig. I.10.2A). La densidad disminuyó entre años en ambos sitios, en Pecis I pasó de 4944 a 4830 ind. ha⁻¹ (Fig. I.10.2B). Las alturas promedio no presentaron variaciones (Fig. I.10.2C). En el caso del índice de complejidad en ambos sitios varió entre años disminuyendo en Pecis I (9.7 a 7) y aumentando en Pecis III (5.1 a 6.8) (Fig. I.10.2D). De acuerdo al índice de valor de importancia la dominancia de las especies no varió entre años para ninguno de los sitios de esta localidad siendo *A. germinans* la especie más importante (Fig. I.10.2E).

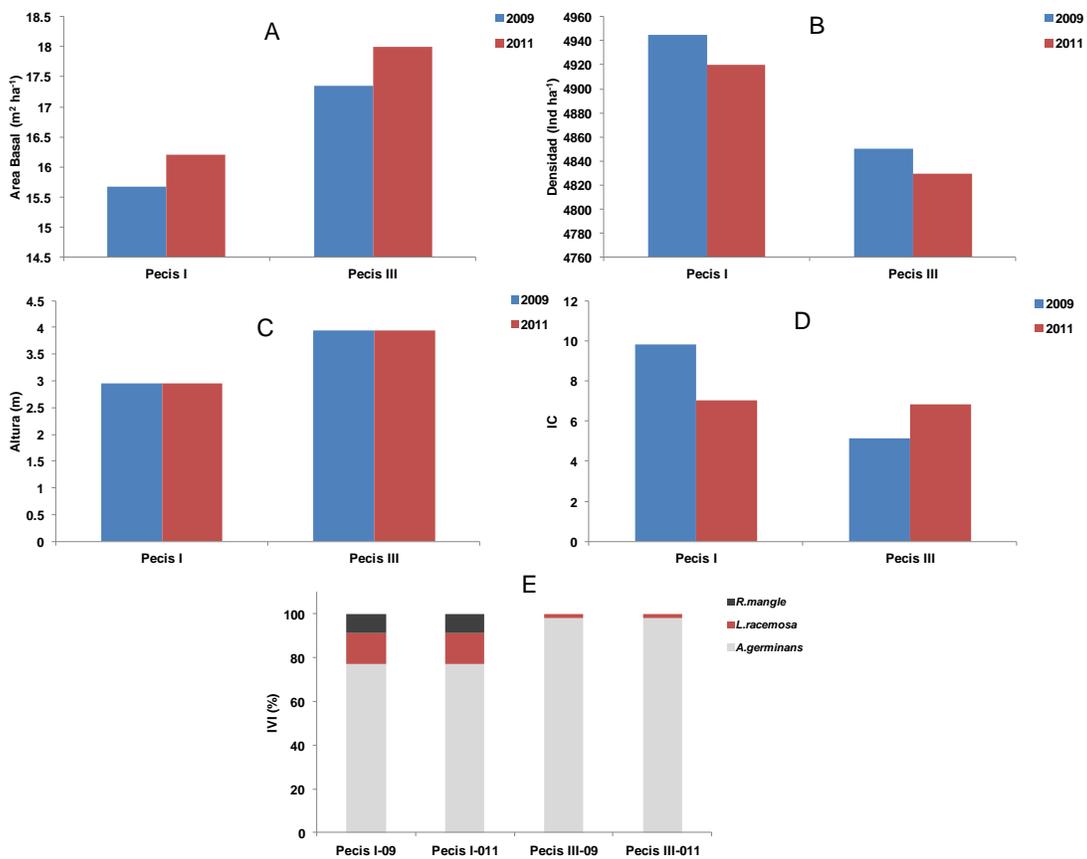


Figura I.10.2. Variables estructurales de la localidad de Sisal de los años 2009 y 2011.

Esta localidad presenta ligeros cambios en la estructura, probablemente relacionado con el cierre de la granja camaronera. Habría que darle seguimiento puntual al sitio Pecis I y observar si no continua disminuyendo la estructura de la vegetación de este sitio, y en su caso poder determinar las causas para proponer acciones de mitigación.

Progreso: En Progreso las variaciones entre años (2009-2011) se dieron en varias características. El área basal aumento en los 3 sitios siendo mayor este en Chelem II de 32.1 a 32.8 m² ha⁻¹ (Fig. I.10.3A). La densidad de árboles disminuyó entre años en los tres sitios en la misma proporción (alrededor de 300 ind. ha⁻¹) (Fig. I.10.3B). Las alturas promedio no presentaron variaciones (Fig. I.10.3C). Respecto al índice de complejidad sólo el sitio Contenedores no varió, pero en Chelem I y Chelem II aumentó el valor en ambos entre años de 1.1 a 1.5 y de 10 a 14 respectivamente (Fig. I.10.3D). La dominancia de las especies por sitio no cambió entre años de muestreo (Fig. I.10.3E).

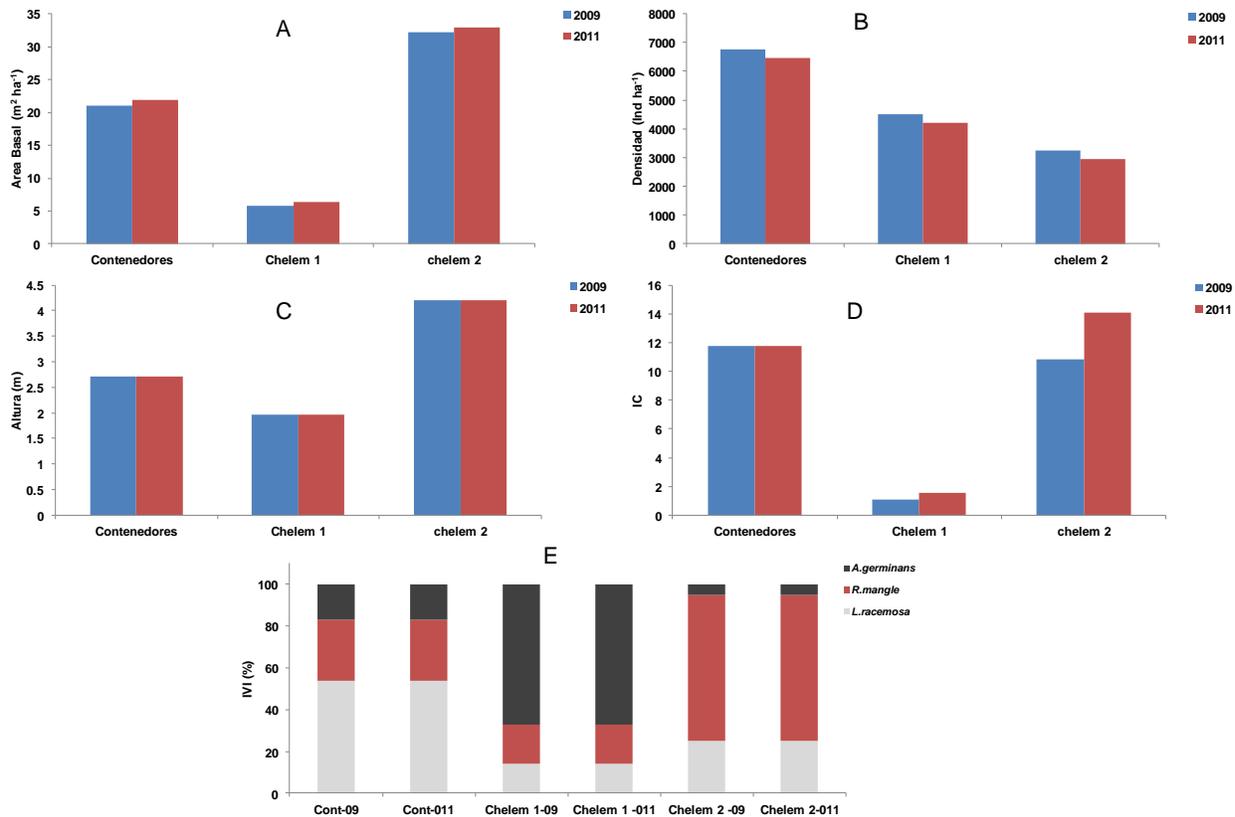


Figura I.10.3. Variables estructurales de la localidad de Progreso, de los años 2009 y 2011.

En esta localidad se observan ligeros cambios en la estructura, la continuidad del programa de monitoreo permitirá establecer una mejor perspectiva en cuanto a sus trayectorias.

Dzilam: Los aspectos relevantes a destacar de los cambios entre años (2009-2011) de las características estructurales de la vegetación de manglar de la localidad de Dzilam, están los aumentos del área basal, siendo mayor en proporción el sitio de Elepetén de $6.2 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ en 2009 a $6.65 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ en 2011 (Fig. I.10.4A). La densidad de árboles disminuyó entre años en ambos sitios siendo mayor en número Elepetén pasando de 1683 a 1483 ind. ha^{-1} (Fig. I.10.4B). Las alturas promedio no presentaron variaciones (Fig. I.10.4C). Respecto al índice de complejidad en ambos sitios varió entre años, sin embargo, mientras que en el sitio de Elepetén bajo (de 1.3 a 1.2) en el sitio del Pueblo aumento de 0.01 a 0.2 (Fig. I.10.4D). De acuerdo al índice de valor de importancia la dominancia de las especies no varió entre años para ninguno de los sitios de esta localidad (Fig. I.10.4E)

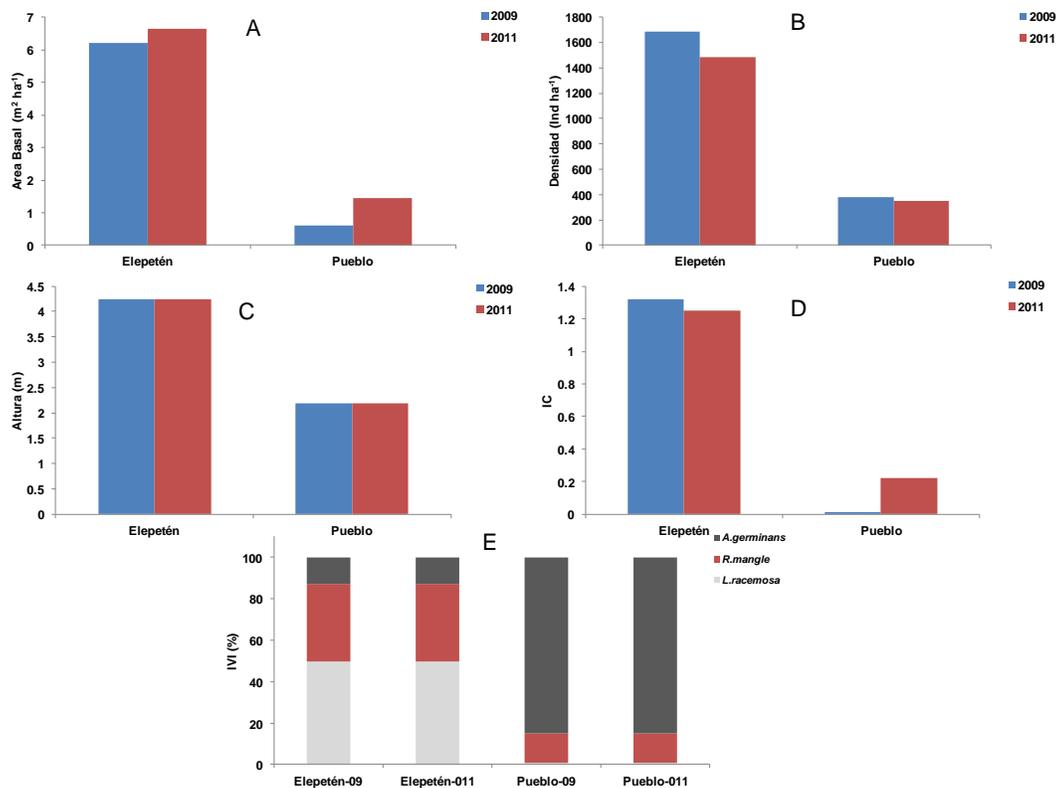


Figura I.10.4. Características estructurales de la localidad de Dzilam para el año 2009 y 2011.

Esta localidad fue impactada por el huracán Isidoro en 2002, y después 5 años se inició su recuperación natural, por ello probablemente el incremento en áreas basales, reducción de densidad y aumento del índice de complejidad. En ambos sitios ha aumentado el desarrollo estructural de la vegetación y en general esta localidad ha mejorado en sus características.

Río Lagartos: Cambios entre años (2009-2011) de las características estructurales de la vegetación de manglar de la localidad de Río Lagartos se presentan en la figura I.10.5, destacando la escasa variación de todas las características medidas. Se registraron pequeños cambios en el área basal de Río Lagartos de 9.4 a 10.3 m² ha⁻¹ entre 2009 y 2011 respectivamente (Fig. I.10.5A). La densidad disminuyó entre años en ambos sitios siendo mayor el número en el Cuyo (4250 a 4050 ind. ha⁻¹) (Fig. I.10.5B). Las alturas promedio no presentaron variaciones (Fig. I.10.5C). En el caso del índice de complejidad en ambos sitios varió entre años con disminuciones en ambos casos pero que no son significativas (Fig. I.10.5D). De acuerdo al índice de valor de importancia la dominancia de las especies no varió entre años para ninguno de los sitios de esta localidad siendo *R. mangle* en Río Lagarto y *A. germinans* en El Cuyo (Fig. I.10.5E).

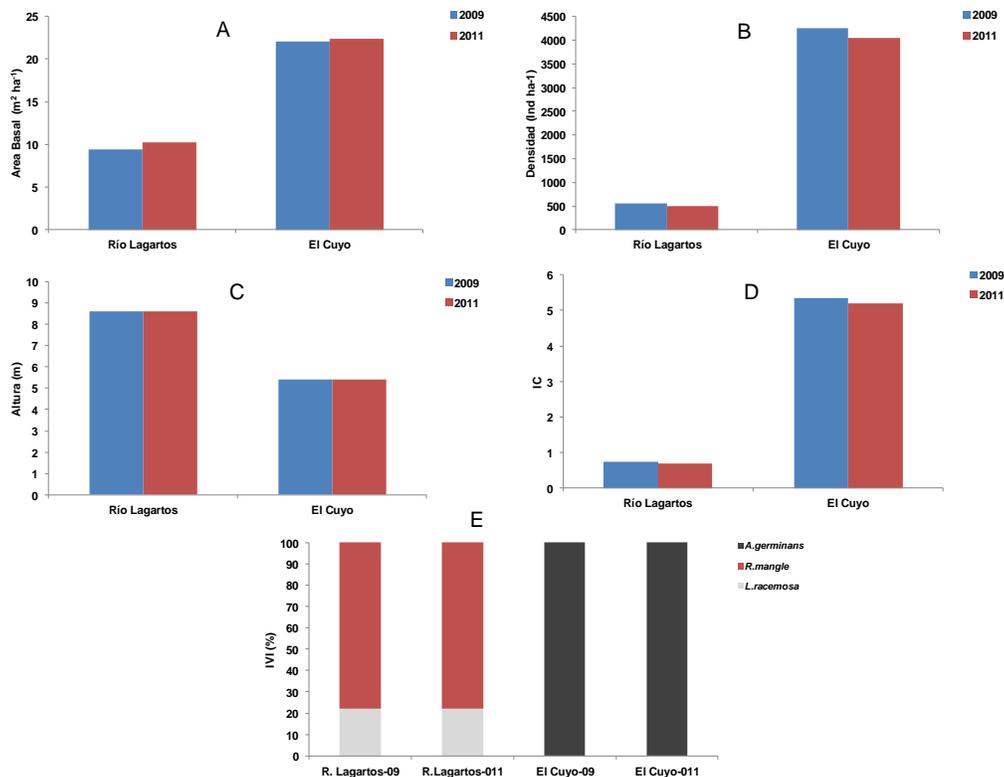


Figura I.10.5. Variables estructurales de la localidad de Río Lagartos de los años 2009 y 2011.

De acuerdo a los resultados de las evaluaciones de estructura de la vegetación de esta localidad en los años 2009 y 2011 no se presentan cambios significativos. Sin embargo, durante las visitas a campo entre los periodos de muestreo se observó que el cambio de uso de suelo (expansión de la ganadería) podría tener efectos negativos en el corto plazo en esta localidad, por lo que el monitoreo es relevante para las acciones de mitigación.

Cancún: En Cancún las variaciones entre años (2009-2011) se dieron principalmente en la densidad de árboles e índice de complejidad (Fig. 1.10.6). La densidad de árboles disminuyó entre años en ambos sitios siendo mayor esta reducción en Polígono 1 (de un poco más de 7000 a 6100 ind. ha⁻¹) (Fig. 1.10.6B). Las alturas promedio no presentaron variaciones (Fig. 1.10.6C). Respecto al índice de complejidad en ambos sitios bajo este valor, en Polígono 9 de 8.2 a 7.6, y en Polígono 1 de 19.1 a 17.9 (Fig. 1.10.6D). La dominancia siguió siendo de *R. mangle* (Fig. 1.10.6E).

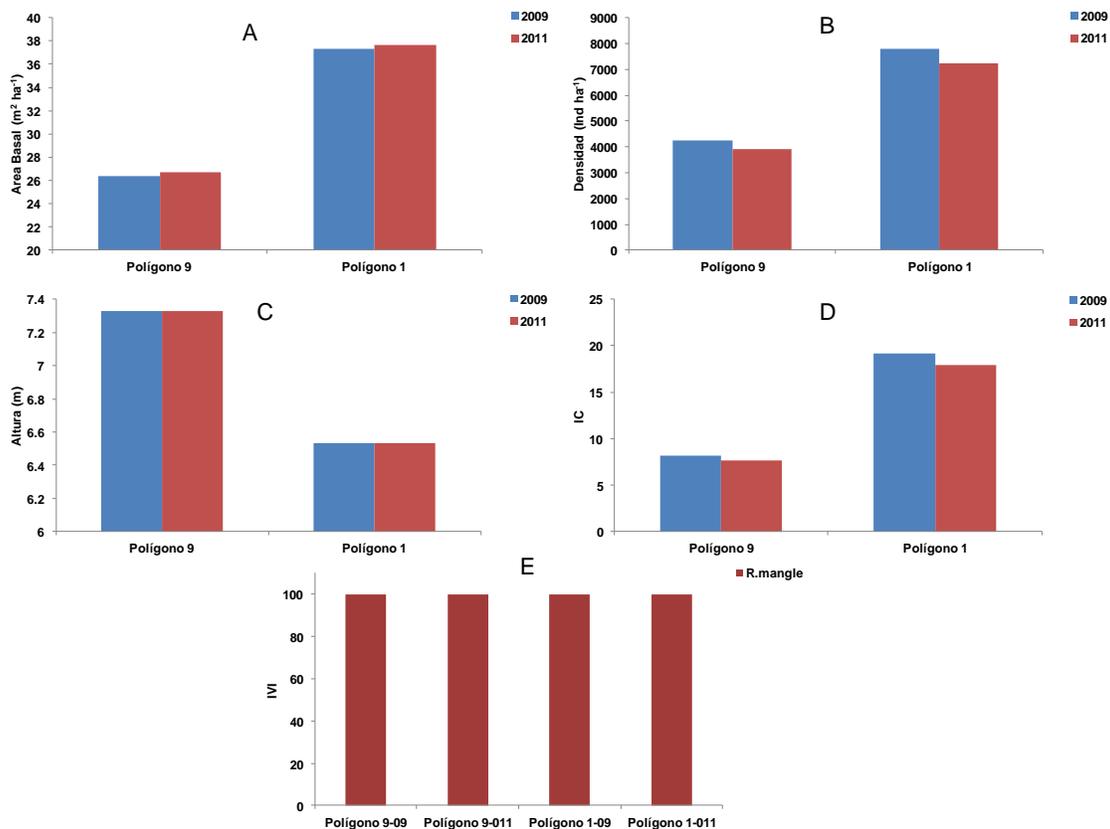


Figura 1.10.6. Variables estructurales de la localidad de Cancún de los años 2009 y 2011.

Esta localidad fue severamente impactada por el huracán Willma en 2005, y no fue sino hasta que se iniciaron acciones de restauración que se observó recuperación. Los sitios muestreados para este estudio permiten observar ligeros cambios. Ambos sitios han aumentado el desarrollo estructural de su vegetación. En general esta localidad ha mejorado en sus características de estructura de la vegetación. Una observación adicional es que se registraron plántulas y juveniles tanto de *Rhizophora mangle* como de *Laguncularia racemosa* como resultado de las acciones de restauración que estuvieron coordinadas por el mismo grupo de trabajo de este proyecto.

Puerto Morelos: Cambios entre años (2009-2011) de las características estructurales de la vegetación de manglar en la localidad de Puerto Morelos se presentan en la figura I.10.7. Se registraron pequeños incrementos en el área basal siendo más evidentes en el sitio la Ceiba (de 12 a 13.2 m² ha⁻¹ entre 2009 y 2011) (Fig. I.10.7A). La densidad disminuyó entre años en ambos sitios siendo mayor en número esta disminución en el sitio la Ceiba (de 4450 a 4400 ind. ha⁻¹) (Fig. I.10.7B). Las alturas promedio no presentaron variaciones (Fig. I.10.7C). En el caso del índice de complejidad en ambos sitios varió entre años con aumento de sus valores en ambos casos, pasando de 8.6 a 8.9 y de 8.2 a 8.7 en la Ceiba y el Cid respectivamente (Fig. I.10.7D). De acuerdo al índice de valor de importancia la dominancia de las especies no varió entre años para ninguno de los sitios de esta localidad (Fig. I.10.7E).

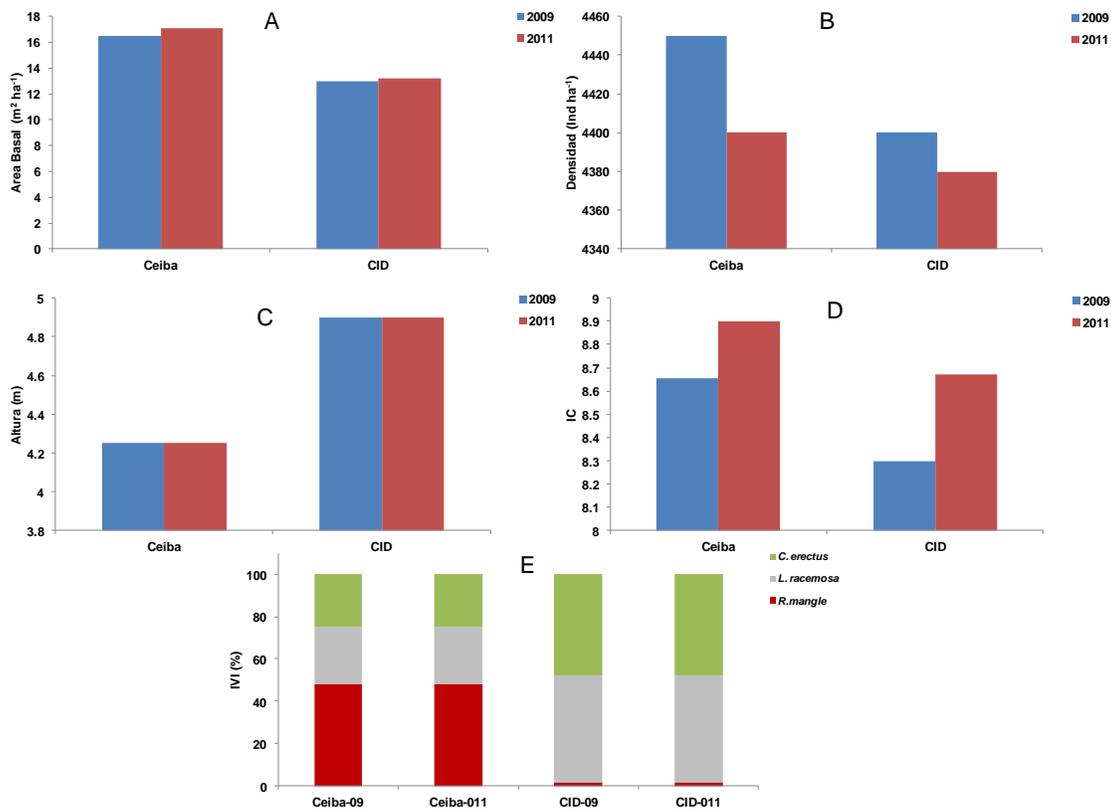


Figura I.10.7. Variables estructurales de la localidad de Puerto Morelos de los años 2009 y 2011.

Sian Ka'an: Los aspectos relevantes a destacar de los cambios entre años (2009-2011) de las características estructurales de la vegetación de manglar de la localidad de Sian Ka'an están los pequeños aumentos del área basal en el sitio de Cayo Culebras, de 63 a 64 $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ entre muestreos (Fig. I.10.8A). La densidad de árboles disminuyó entre años en ambos sitios siendo mayor el número en El Playón de 14600 a 13200 ind. ha^{-1} (Fig. I.10.8B). Las alturas promedio no presentaron variaciones (1.2 m en El Playón y 8.8 m en Cayo Culebras) (Fig. I.10.8C). El índice de complejidad varió entre años siendo mayor el cambio en Cayo Culebras (de 30.9 a 29.5) (Fig. I.10.8D). De acuerdo al índice de valor de importancia la dominancia de las especies no varió entre años para ninguno de los sitios de esta localidad (Fig. I.10.8E).

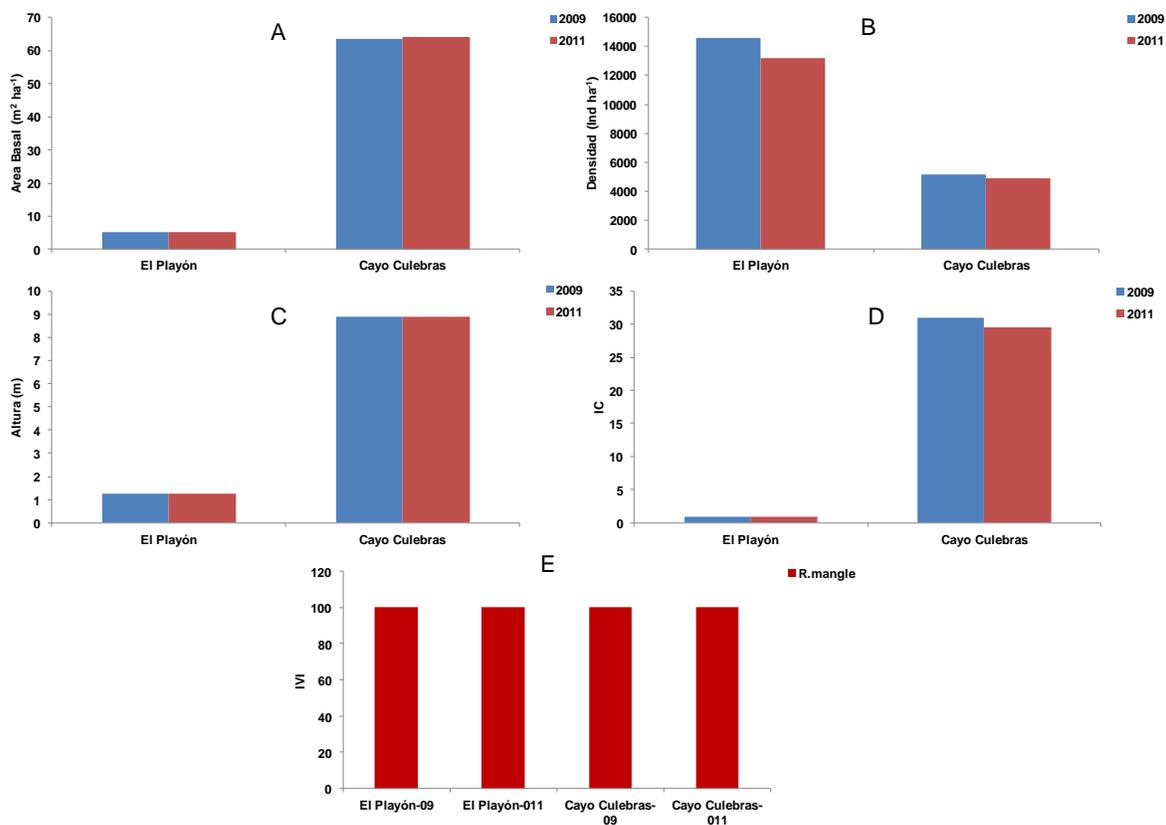


Figura I.10.8. Variables estructurales de la localidad de Sian Ka'an, de los años 2009 y 2011.

En esta localidad no se presentan cambios significativos de la estructura entre años de muestreo. Sin embargo, durante las visitas a campo se observó que en el sitio El Playón hay impacto hidrológico causado por una carretera. En el lado sur al camino se observa una zona extensa de manglar muerto, no obstante que hay áreas con evidencias de acciones de reforestación que no tuvieron éxito.

Xcalak: En la localidad de Xcalak las variaciones entre años (2009-2011) se dieron principalmente en la densidad de árboles e índice de complejidad (Fig. 1.10.9A). La densidad de árboles disminuyó entre años en ambos sitios siendo mayor esta reducción en Portilla (550 ind. ha⁻¹ menos) (Fig. 1.10.9B). Las alturas promedio no presentaron variaciones (4.4 m en Pueblo y 6.7 m en Portilla) (Fig. 1.10.9C). Respecto al índice de complejidad en ambos sitios bajo este valor, en Pueblo de 4.5 a 4.3 y en Portilla de 12.6 a 12.1 (Fig. 1.10.9D). La dominancia siguió dada por *R. mangle* (Fig. 1.10.9E).

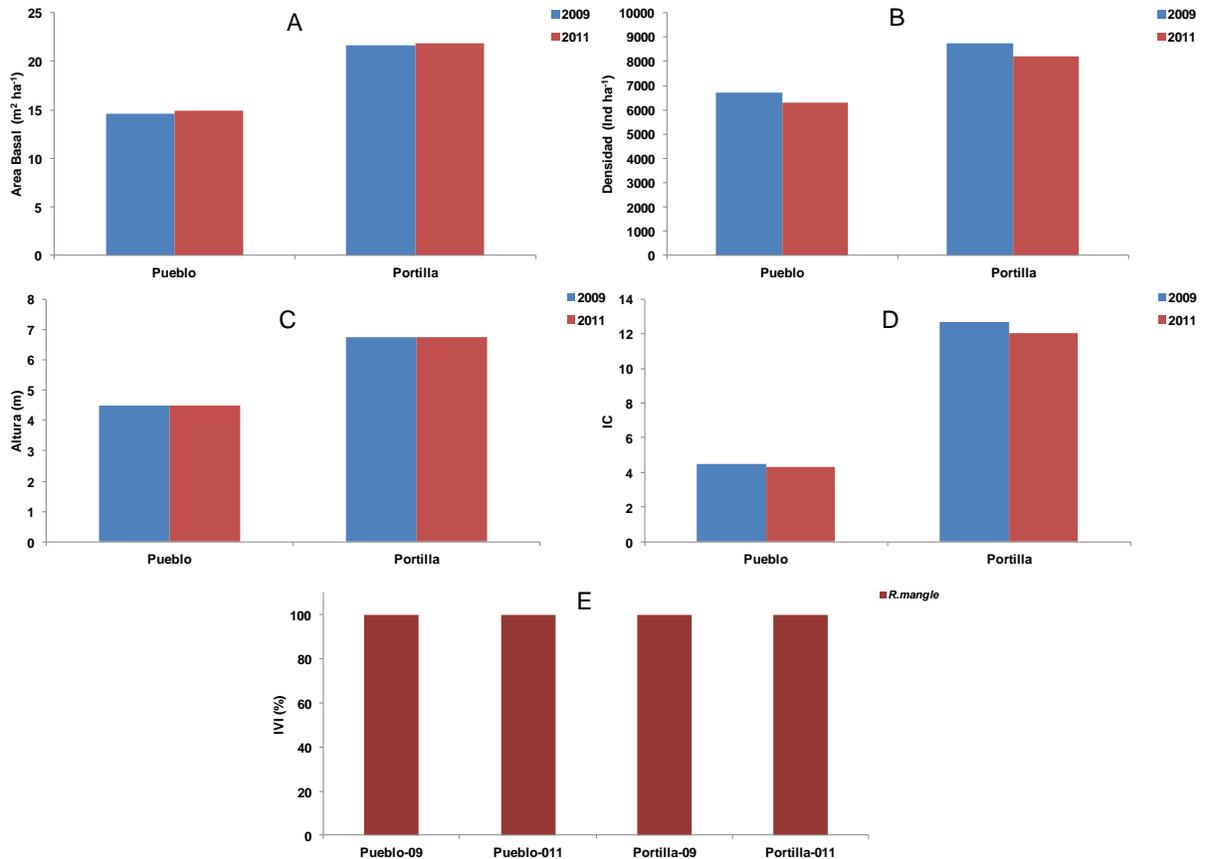


Figura 1.10.9. Variables estructurales de la localidad de Xcalak de los años 2009 y 2011.

De acuerdo a los resultados entre años de la estructura de la vegetación de manglar en esta localidad, no presentan cambios significativos entre años. Sin embargo, durante las visitas a campo se observó que en el sitio Pueblo, la tala y contaminación por desechos sólidos podrían provocar impactos negativos.

Chetumal: Los aspectos relevantes a destacar de los cambios entre años (2009-2011) de las características estructurales de la vegetación de manglar de la localidad de Chetumal, están los pequeños aumentos del área basal. En el sitio Río Hondo pasó de $23.2 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ en 2009 a $23.5 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ y en Tamalcab de 22.5 a $23.5 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (Fig. I.10.10A). La densidad de árboles disminuyó entre años en ambos sitios, siendo mayor en número en Río Hondo pasando de 1750 a $1550 \text{ ind. ha}^{-1}$ (Fig. I.10.10B). Las alturas promedio no presentaron variaciones (5.7 m en Río Hondo y 9.6 m en Tamalcab) (Fig. I.10.10C). El índice de complejidad varió entre años siendo similares, de 7.2 a 6.4 y de 7.1 a 6.6 en Río Hondo y Tamalcab respectivamente (Fig. I.10.10D). De acuerdo al índice de valor de importancia la dominancia de las especies no varió entre años para ninguno de los sitios de esta localidad (Fig. I.10.10E).

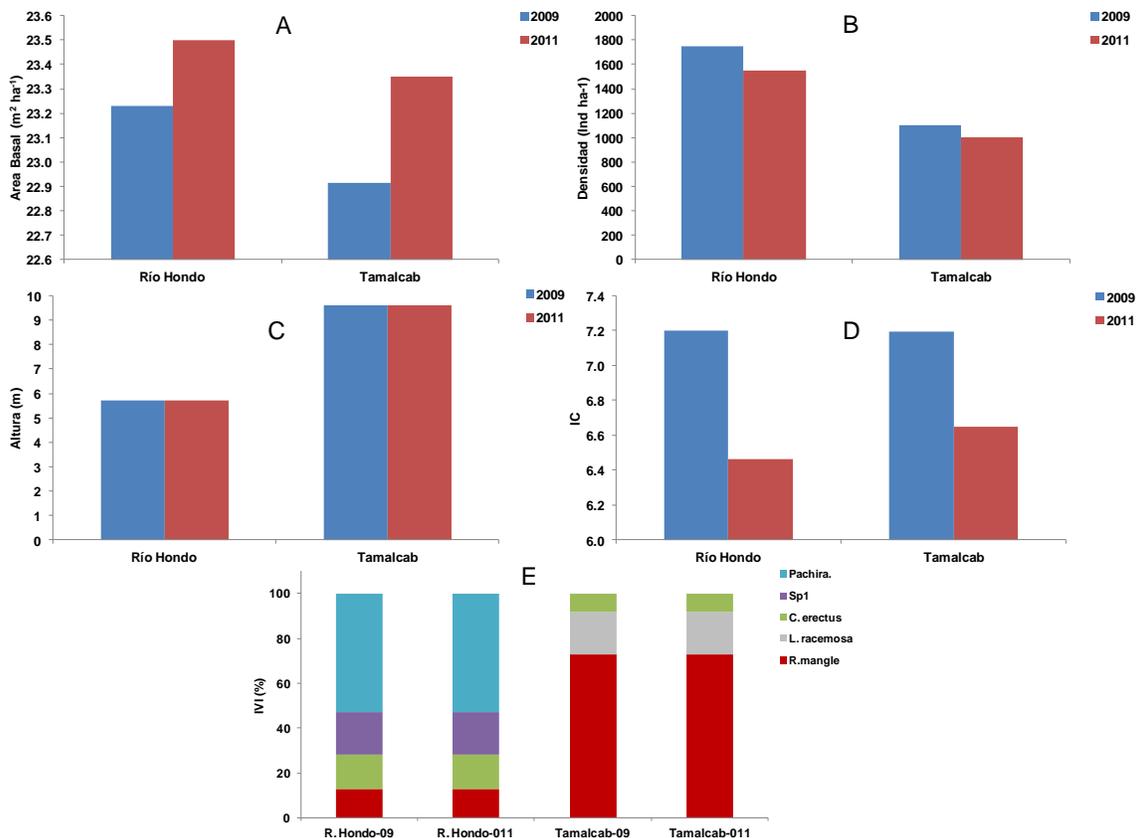


Figura I.10.10. Variables estructurales de la localidad de Chetumal de los años 2009 y 2011.

Los sitios de manglar en Chetumal no presentan cambios significativos entre los muestreos de 2009-2011. Sin embargo, durante las visitas de campo se observó que el sitio de Río Hondo por su proximidad a centros de población podría tener impactos en el corto plazo.

I.-VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SEDIMENTO.

Los patrones a nivel local de salinidad, nutrientes, pH, Redox son variables controladoras de las características de la vegetación del manglar. En todo programa de monitoreo robusto de manglares deben considerarse su medición, ya que los cambios en la vegetación no podrán ser explicados sin el apoyo de estas variables y por lo tanto las propuestas de mitigación, rehabilitación, etc., no podrán ser sustentadas técnicamente.

I.11.-Salinidad Intersticial:

Celestún: La salinidad es un factor que ayuda a explicar los patrones de distribución de las especies de manglar, lo cual se ve reflejado en la localidad de Celestún. Se observa un gradiente que va de menor a mayor salinidad de la zona Interna a la Boca, registrándose el menor valor en el sitio de la zona Interna (22.4 g/kg), aumentando al sitio de la Boca (51.5 g/kg) durante el año 2009 (Fig. I.11.1). Para el año 2010 la salinidad intersticial incrementa en los 3 sitios (Interna =26 g/kg; Puente = 44.5 g/kg; Boca = 56.2 g/kg). Para el año 2011 la salinidad promedio disminuye en los 3 sitios observándose el mismo patrón donde el sitio de la zona Interna presenta la menor salinidad intersticial (20.7 g/kg), seguido de la zona del Puente (26.6 g/kg), y en la zona de la Boca la salinidad es mayor (40.7 g/kg) con respecto a los demás sitios (Fig. I.11.1). Este comportamiento de gradiente se asocia a que este ecosistema recibe aportes continuos tanto de agua marina por la boca como dulce proveniente de los manantiales en la zona Interna. En la Boca la especie dominante es *Avicennia germinans*, mientras que en la zona Interna es *Laguncularia racemosa*.

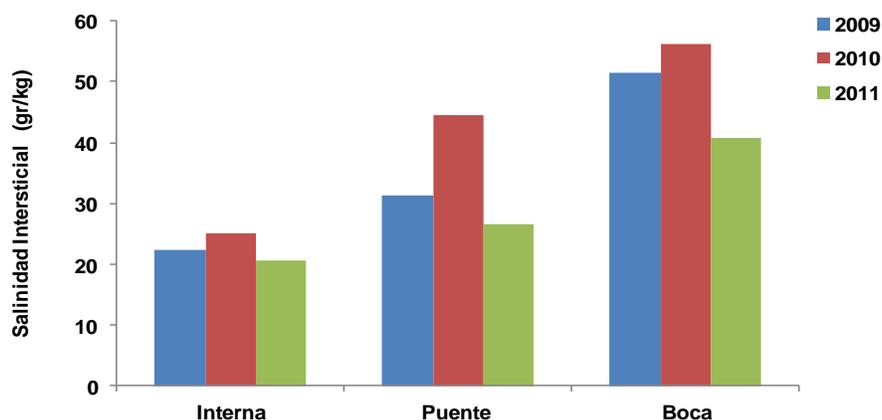


Figura I.11.1. Salinidad intersticial de los tres sitios de la localidad de Celestún de los años 2009, 2010 y 2011.

Sisal: En la localidad de Sisal, el sitio que presentó mayor salinidad promedio fue Pecis III (46.3 g/kg) la menor salinidad se observó en el sitio de Pecis I (38.6 g/kg) durante el 2009 (Fig.I.11.2), para el año 2010 la salinidad en Pecis I disminuye (27.5 g/kg), mientras que en Pecis III aumenta (46.7 g/kg). La salinidad promedio durante el año 2011 disminuye en los 2 sitios de esta localidad registrándose las mayores salinidades en Pecis III (36.17 g/kg) y las menores en Pecis I (16.7 g/kg) (Fig. I.11.2). La variación entre sitios se debe a que en Pecis III el único aporte de agua que recibe es por escorrentía o lluvias por lo que es escaso y dado que la evaporación supera a la precipitación la concentración de sales es mayor. El sitio de Pecis I se caracteriza por estar inundado frecuentemente, ya que alrededor de él se ubica un pequeño cuerpo de agua y durante algún tiempo este sitio recibió aportes continuos de los efluentes de una granja camaronera. La presencia de especies es respuesta de la condición del sitio ya que *Avicennia germinans* fue la especie dominante en Pecis III pero en Pecis I se observa la presencia de *Rhizophora mangle*.

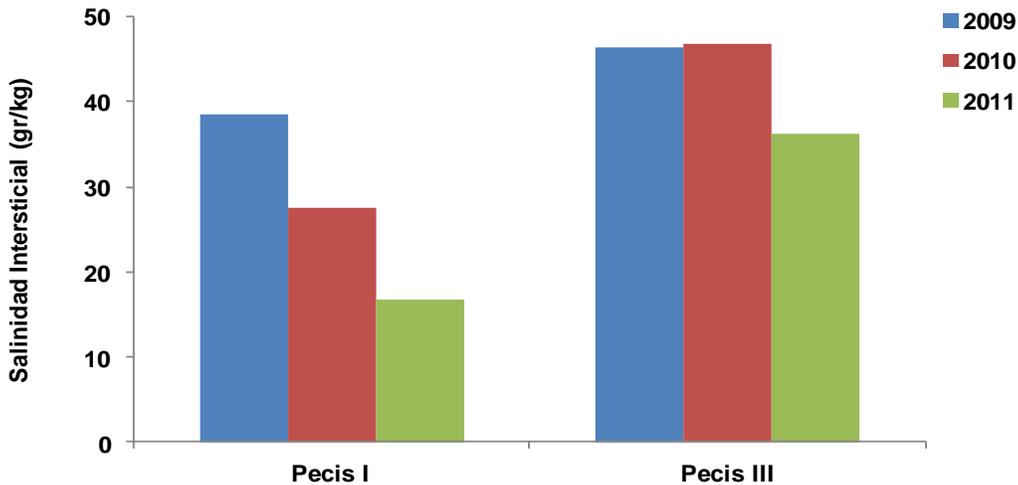


Figura I.11.2. Salinidad intersticial de los 2 sitios de la localidad de Sisal de los años 2009, 2010 y 2011.

Progreso: En el sitio de Chelem I se presentó la mayor salinidad promedio para el período de estudio del 2009 (66.15 g/kg) seguido de Chelem II (53.41 g/kg). El sitio de Contenedores presento la menor salinidad intersticial (50.13 g/kg) con respecto a los demás sitios (Fig.I.11.3), para el año 2010 la salinidad disminuye en los 3 sitios presentando el mismo patrón, ya que la menor salinidad se observó en el sitio de Contenedores (43.4 g/kg) seguido del sitio de Chelem II (45.6 g/kg). La mayor salinidad intersticial se presentó en Chelem I (59.5 g/kg), en el año 2011 en el sitio de Contenedores la salinidad disminuye (37.6 g/kg), mientras que en Chelem II aumenta ligeramente (45.9 g/kg), y en Chelem I la salinidad es ligeramente menor (59.3 g/kg). Cuando la salinidad intersticial es alta se favorece la disminución del desarrollo del manglar, lo cual podría explicar el bajo desarrollo estructural del sitio de Chelem I. La variación Interanual de la salinidad probablemente se asocie a condiciones de años relativamente más lluviosos.

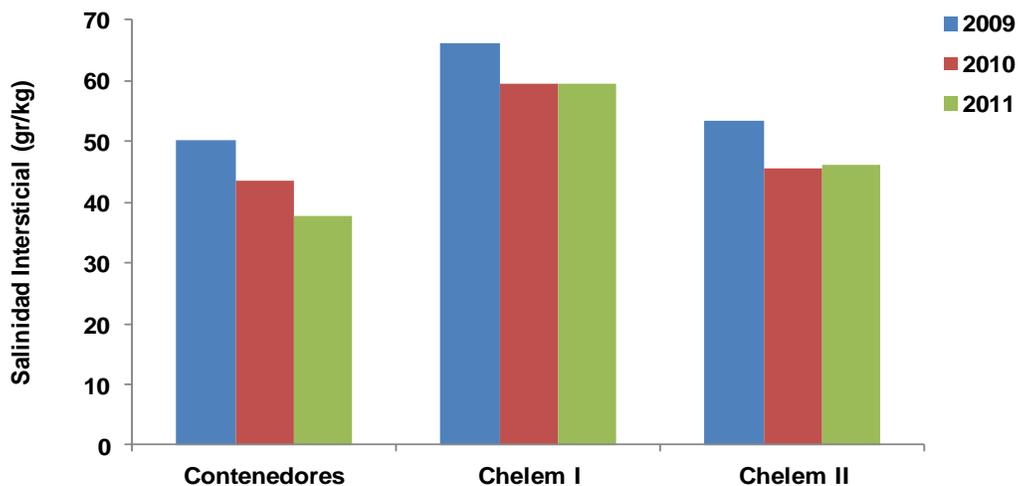


Figura I.11.3. Salinidad intersticial de los 3 sitios de la localidad de Progreso de los años 2009, 2010 y 2011.

Dzilam: La salinidad intersticial promedio en ambos sitios de esta localidad no fue diferente en el primer año de muestreo (2009) presentándose ligeramente mayor en el sitio del Pueblo (46.8 g/kg) y menor en Elepetén (46.2 g/kg). Para el año 2010 la salinidad disminuye en ambos sitios registrándose la mayor salinidad en el sitio de Elepetén (43.81 g/kg) y menor en el sitio del Pueblo (30.67 g/kg) (Fig.I.11.4). En el sitio del Pueblo la salinidad en 2011 fue menor (24.18 g/kg) que en Elepetén (33.3 g/kg) (Fig.I.11.4). Si bien los valores de salinidad considerados de “stress” (>60 g/kg) para el manglar no fueron registrados en esta localidad, en el sitio del Pueblo se presentó un bajo desarrollo estructural, probablemente haya efectos de cambios de hidroperíodo o escases de algún recurso (nutrientes).

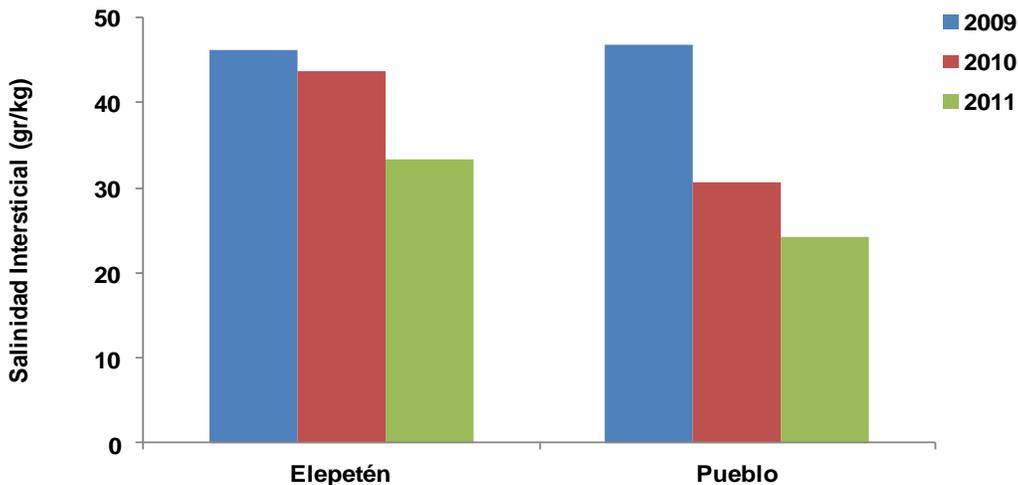


Figura I.11.4. Salinidad Intersticial se los 2 sitios de la localidad de Dzilam de los años 2009, 2010 y 2011.

Río Lagartos: La salinidad intersticial de la localidad de Río Lagartos presentó diferente comportamiento entre años. En el año 2009 el sitio de Río Lagartos presentó la mayor (16.1 g/kg) salinidad con respecto al sitio del Cuyo (15.18 g/kg). Para el año 2010 en este sitio se presenta disminución de la salinidad (11.3 g/kg), mientras que en el sitio Río Lagartos se observa un incremento (24.7 g/kg) de esta variable (Fig. I.11.5). En el año 2011 se presenta un cambio drástico en ambos sitios con el mismo comportamiento, donde la salinidad más alta se registró en el sitio de Río Lagartos (40.5 g/kg), y la menor en el sitio del Cuyo (3.3 g/kg) (Fig. I.11.5). Las salinidades registradas en ambos sitios de Río Lagartos no llegan a ser un factor de estrés para el desarrollo estructural de la vegetación, por lo que sería el cambio de uso del suelo el factor que determina el bajo desarrollo estructural. Los cambios de salinidad tan drásticos en el sitio de Río Lagartos no tienen una causa específica, el seguimiento podría determinar los factores que han determinado esta variación.

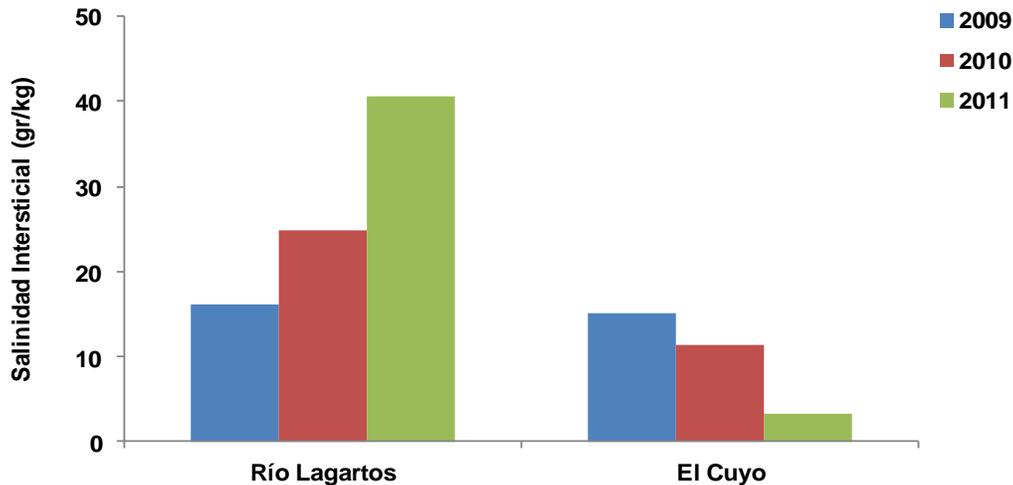


Figura I.11.5. Salinidad intersticial de la localidad de Río Lagartos de los años 2009, 2010 y 2011.

Cancún: En la localidad de Cancún (cuyos sitios se ubican en el Área Natural Protegida Manglares de Nichupte), se observa que la salinidad presentó diferente comportamiento entre años y entre sitios. En el Polígono 9 la salinidad es mayor (36.4 g/kg) con respecto al Polígono 1 (32.6 g/kg) durante el año 2009, y se presenta incremento en la salinidad para ambos sitios en el año 2010 con menor salinidad en el Polígono 1 (34 g/kg), y mayor en el Polígono 9 (38 g/kg) (Fig. I.11.6). En el año 2011 se presentan cambios en ambos sitios, ya que en el Polígono 9 la salinidad disminuye (35 g/kg) mientras que en el Polígono 1 esta aumenta (36 g/kg) (Fig. I.11.6). Se observó un patrón en el Polígono 1 de aumento de la salinidad intersticial a lo largo de los años del monitoreo (Fig. I.11.6). El intercambio de agua en estos sitios es constante por lo que las salinidades no son tan altas. En promedio la salinidad del Polígono 9 es mayor (36.4 g/kg) que la del Polígono 1 (34 g/kg) (Fig. I.11.6).

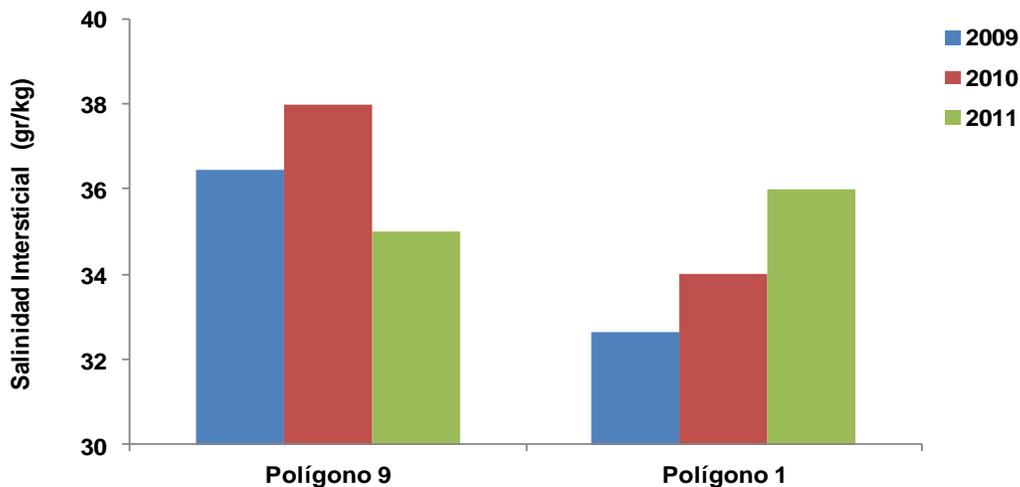


Figura I.11.6. Salinidad intersticial de la localidad de Cancún de los años 2009, 2010 y 2011.

Puerto Morelos: En la localidad de Puerto Morelos el comportamiento de la salinidad intersticial entre sitios es diferente al igual que entre años, presentándose disminución de la salinidad en ambos sitios durante el periodo de muestreo. En el año 2009 la mayor salinidad se presentó en el sitio de la Ceiba (18.5 g/kg), mientras que el sitio del Cid fue menor (17.4 g/kg). Para el año 2010 en el sitio de la Ceiba se presenta reducción de la salinidad (5.38 g/kg), siendo menor con respecto al sitio del Cid (14.66 g/kg). En el año 2011 la menor salinidad se registra en el sitio de la Ceiba (2.83 g/kg), mientras que en el sitio del Cid se incrementa (15 g/kg) (Fig. I.11.7). Pese a que no son salinidades que pueden llegar a ser un factor de estrés, es probable que otras variables como la topografía y los impactos antrópicos sean importantes. Por ejemplo, en el sitio de la Ceiba se registró *Conocarpus erectus*, la cual se caracteriza por presentarse en sitios de menor inundación, mientras que en el sitio del Cid la especie dominante es *Rhizophora mangle*.

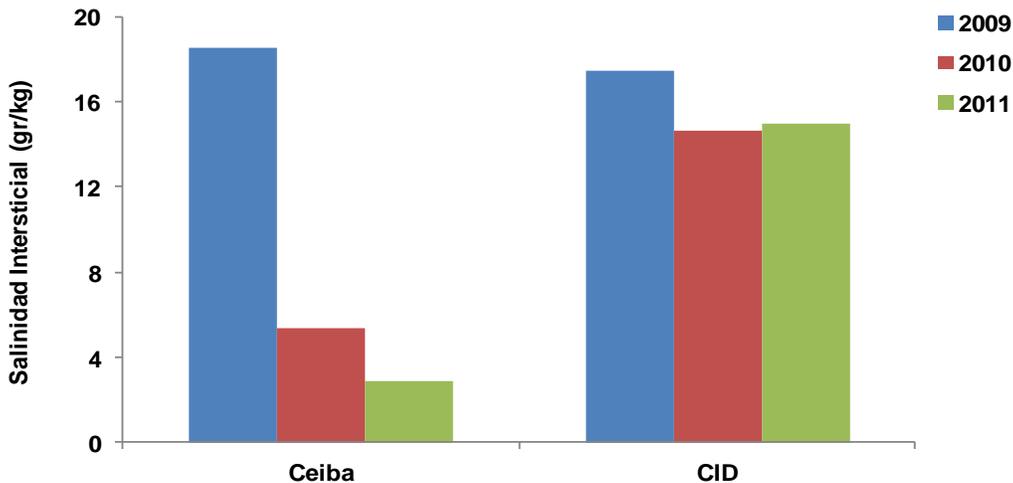


Figura I.11.7. Salinidad Intersticial de la localidad de Puerto Morelos de los años 2009, 2010 y 2011.

Sian Ka'an: En esta localidad se observa que las diferencias en salinidad entre sitios se mantienen entre años. En el sitio El Playón las salinidades son en promedio más altas (47.2 g/kg) con respecto al sitio de Cayo Culebras (37.1 g/kg) durante el año 2009. Para el año 2010 la salinidad disminuye para ambos sitios donde Cayo Culebras registra la menor salinidad (30 g/kg), con respecto a El Playón (44 g/kg). En el año 2011 la salinidad intersticial se incrementa en ambos sitios siendo mayor en El Playón (45 g/kg) con respecto al sitio de Cayo Culebras (34 g/kg) (Fig. I.11.8). Probablemente el aporte de agua en el sitio El Playón es sólo por escorrentía sub-superficial y la salinidad aumenta debido a la evaporación. En el sitio de Cayo Culebras el aporte de agua es continuo ya que es un bosque de manglar tipo franja asociado directamente a la fuente de agua (laguna costera). Entre años la salinidad tiene tendencia a disminuir en ambos sitios.

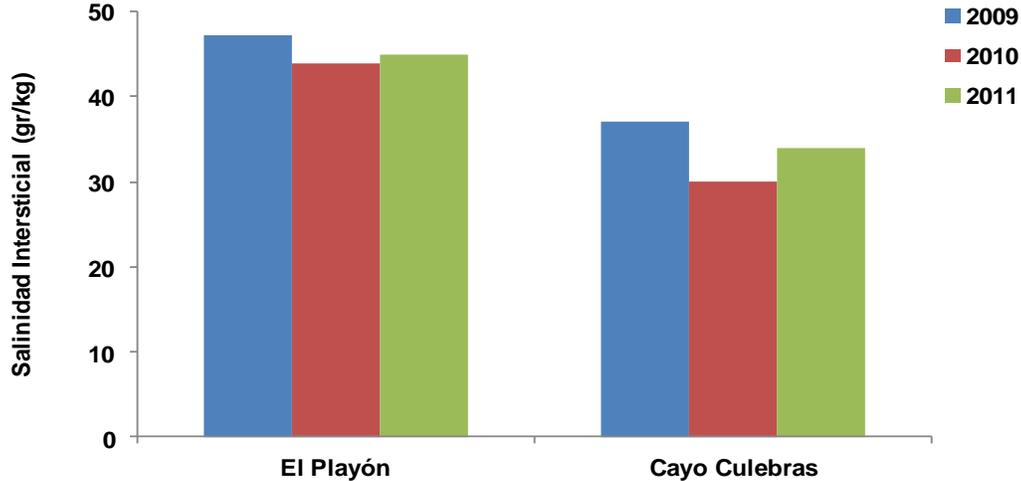


Figura I.11.8. Salinidad intersticial de la localidad de Sian Ka'an de los años 2009, 2010 y 2011.

Xcalak: En esta localidad los sitios presentan comportamiento diferente en cuanto a la variación interanual de salinidad intersticial. En el sitio del Pueblo la salinidad intersticial promedio fue mayor (47.1 g/kg) con respecto al sitio de Portilla (46.2 g/kg) durante el año 2009. Para el año 2010 se presenta disminución en ambos sitios donde en Portilla se observa la salinidad más baja (34.8 g/kg) con respecto al Pueblo (42.1 g/kg). En el año 2011 se presenta incremento en el sitio del Pueblo (45.6 g/kg) mientras que en el sitio de Portilla la salinidad disminuye (31.4 g/kg) (Fig.I.11.9). Es probable que la salinidad no determine el tipo de estructura de la vegetación pero si la abundancia relativa de especies.

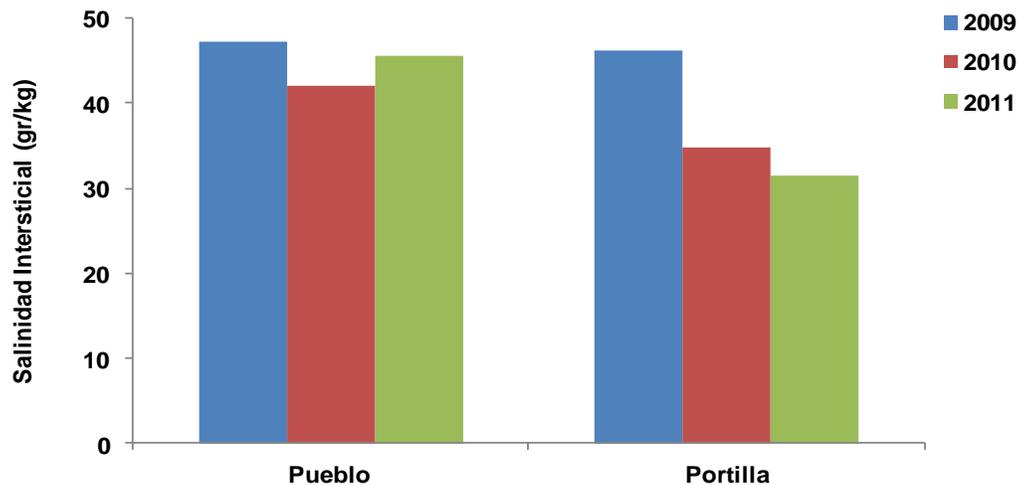


Figura I.11.9. Salinidad intersticial de la localidad de Xcalak de los años 2009, 2010 y 2011.

Chetumal: En esta localidad la salinidad intersticial es significativamente diferente entre sitios, siendo menor en Río Hondo (2.8 g/kg) que en Tamalcab (24.7 g/kg) durante el 2009. Para el año 2010 en ambos sitios se presenta incremento en esta variable siendo mayor en el sitio de Tamalcab (38.1 g/kg), mientras que en Río Hondo es menor (5.5 g/kg). En el año 2011 esta variable disminuye en ambos sitios presentando el mismo comportamiento, donde la menor salinidad se registró en el sitio de Río Hondo (4.8 g/kg), y la más alta en Tamalcab (36.8 g/kg) (Fig. I.11.10). La salinidad que se presenta en el sitio de Río Hondo permite el establecimiento de otras especies como *Pachira sp.* Es probable que esta variable no sea limitante para el desarrollo del manglar en esta localidad.

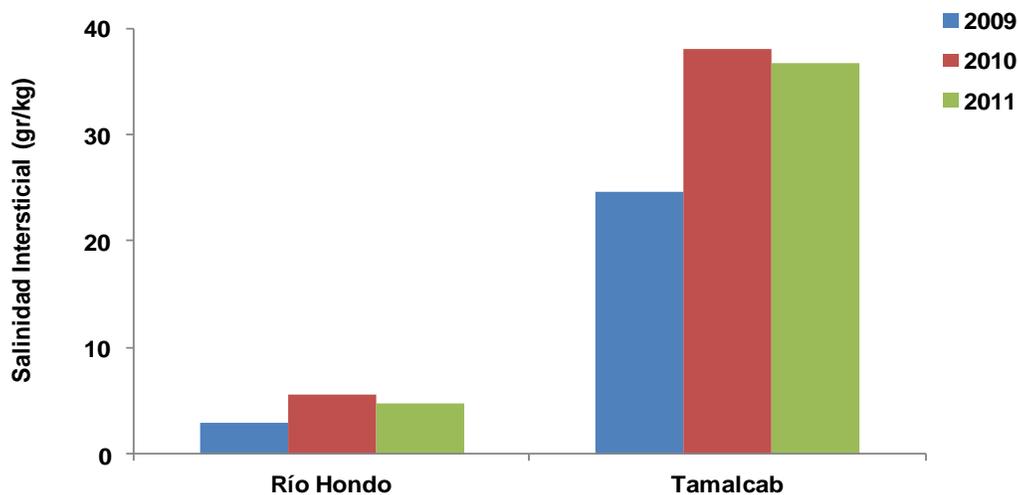


Figura I.11.10. Salinidad Intersticial de la localidad de Chetumal de los años 2009, 2010 y 2011.

I.12.- POTENCIAL REDOX y pH.

El potencial Redox es una medida del flujo de electrones durante el proceso de óxido-reducción de la materia orgánica y está relacionado con el pH y con el contenido de oxígeno. Es análogo al pH ya que éste mide la actividad de protones y el potencial Redox mide la de los electrones.

Celestún: En el año 2009 el sitio de la Boca presento suelos muy reducidos reflejándose en el potencial Redox el cual es el más negativo (-457.7 mV) con respecto a los demás sitios. Donde se registraron sedimentos menos reducidos fue en el sitio del Puente (-190.15 mV) (Fig. I.12.1B). Con respecto al pH se observan suelos básicos ya que los valores van de 7.45 en la zona Interna a 7.91 en el sitio de la Boca. Para el año 2010 se presenta el mismo comportamiento con respecto al potencial Redox donde el valor menos negativo se observa en el sitio del Puente (-187 mV), seguido del sitio de la zona Interna (-210 mV), el más negativo se presentó en el sitio de la Boca (-451 mV) (Fig. I.12.1B). El pH no varía mucho en ese año ya que en el sitio de la zona de la Boca presenta un valor alto (7.8), y el menor pH se observó en la zona Interna (7.5) (Fig. 12.1A). En el año 2011 no se presentan cambios importantes en estas variables, se observa pequeño incremento pero siguiendo el mismo patrón, en el que la zona de la Boca se registran los valores más negativos (-451 mV) con respecto al potencial Redox, mientras que los menos negativos se presentan en la zona del Puente (-190 mV) (Fig. I.12.1B). El pH presenta cambios pero no significativos observándose alto pH en la zona de la Boca (7.8), y menor en la zona Interna (7.4) (Fig. 12.1A). La variación interanual es prácticamente inexistente en los tres sitios de esta localidad.

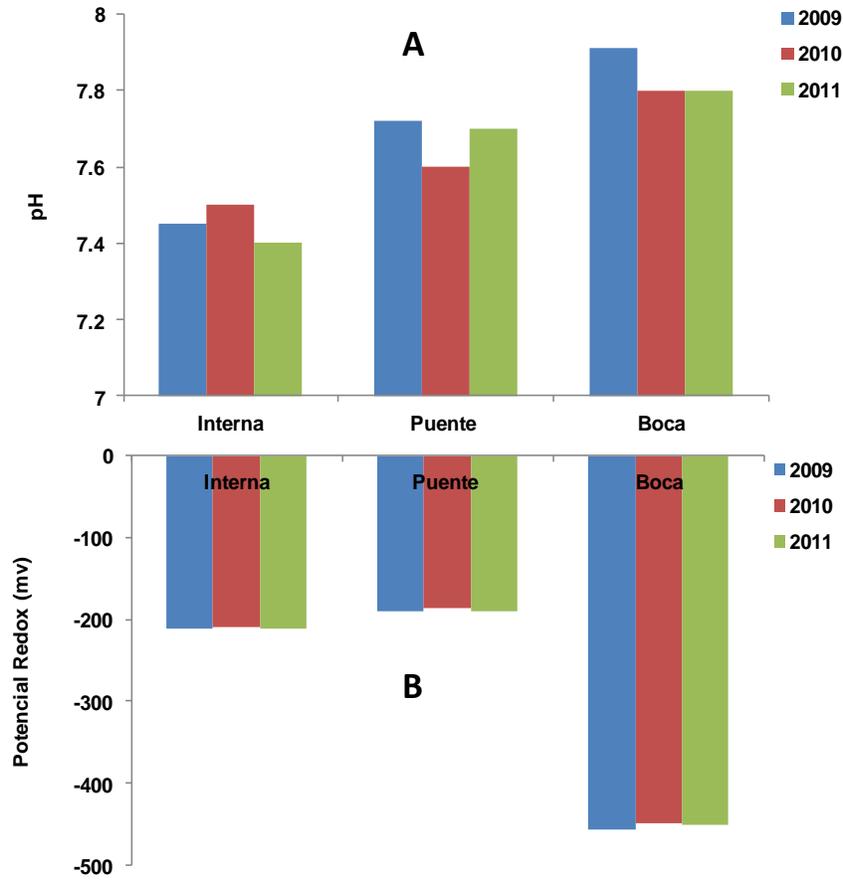


Figura I.12.1-. Potencial Redox (B) y pH (A) en sedimentos de manglar en la localidad de Celestún de los años 2009, 2010 y 2011.

Sisal: El pH en ambos sitios de esta localidad varió interanualmente pero siempre entre valores de 7.1 a 7.3 (Fig. I.12.2A), por lo que los cambios no fueron significativos. En el caso del potencial Redox el sitio Pecis I presento valores más negativos (-87 mV) con respecto al Pecis III (-59 mV) durante el año 2009. Para el año 2010 el potencial Redox es más negativo en ambos sitios donde se mantiene el mismo comportamiento ya que Pecis III presentó los valores menos negativos (-65 mV). En 2011 ambos sitios son menos reducidos presentándose el valor más negativo en el sitio de Pecis I (-87 mV) (Fig. I.12.2B). Los valores registrados no indican problemas de producción de ácido sulfhídrico, pero podrían sugerir que el contenido de materia orgánica en el sedimento es bajo, mientras que las variaciones interanuales son pequeñas y no son significativas.

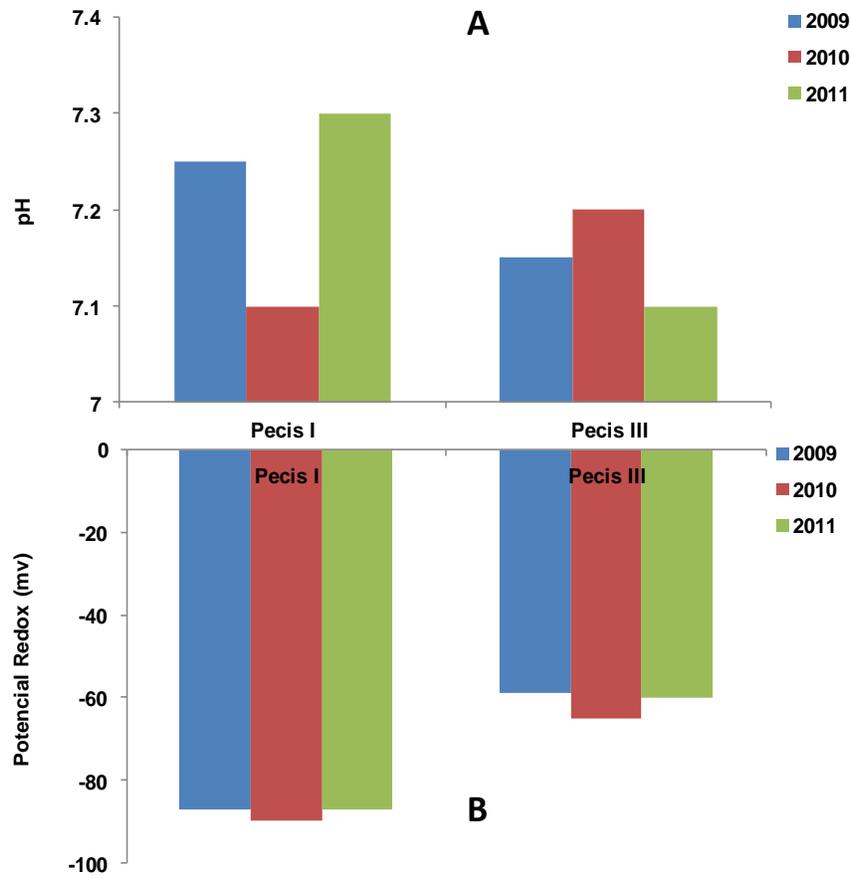


Figura I.12.2. Potencial Redox (B) y pH (A) en sedimentos de manglar de la localidad de Sisal de los años 2009, 2010 y 2011.

Progreso: En esta localidad los valores de pH son en promedio neutros con tendencia a la acidificación principalmente en el sitio de Contenedores donde los valores se mantienen en 6.4 (2009) a 6.8 (2010), mientras que en los sitios de Chelem I y Chelem II los datos de pH indican que son sedimentos más básicos para ambas localidades variando de 7.0 (2009) a 7.1 (2011) para el caso de Chelem I, mientras que en Chelem II en el año 2009 presenta el mismo valor que Chelem I (7.0). Para el año 2010 se incrementa (7.1) y este disminuye para el año 2011 (7) (Fig.I.12.3A). Interanualmente no hay diferencias entre o intra-sitios (Fig. I.12.3A). Con respecto al potencial Redox el sitio que presentó suelos más reducidos fue de Chelem II (-257 mV), mientras que el sitio con sedimentos menos reducidos fue el de Contenedores (-137.5 mV) durante el año 2009. Respecto al año 2010 los valores incrementan su negatividad en los 3 sitios manteniendo el mismo comportamiento con los valores más negativos en los sitios de Chelem II (-258 mV) y Chelem I (-233 mV), y el menos reducido se observó en el sitio de Contenedores (-135 mV) (Fig.

I.12.3B). Para el año 2011 en el sitio de Contenedores el valor de Redox se vuelve más negativo con respecto a los otros años (-138 mV), mientras que en el sitio de Chelem II disminuye la negatividad de esta variable (-250 mV). Esta es una de las características ambientales que podría explicar las diferencias en la estructura de estos sitios. Interanualmente las diferencias entre sitios se mantienen y los cambios intra-sitio no son significativos (Fig. I.12.3).

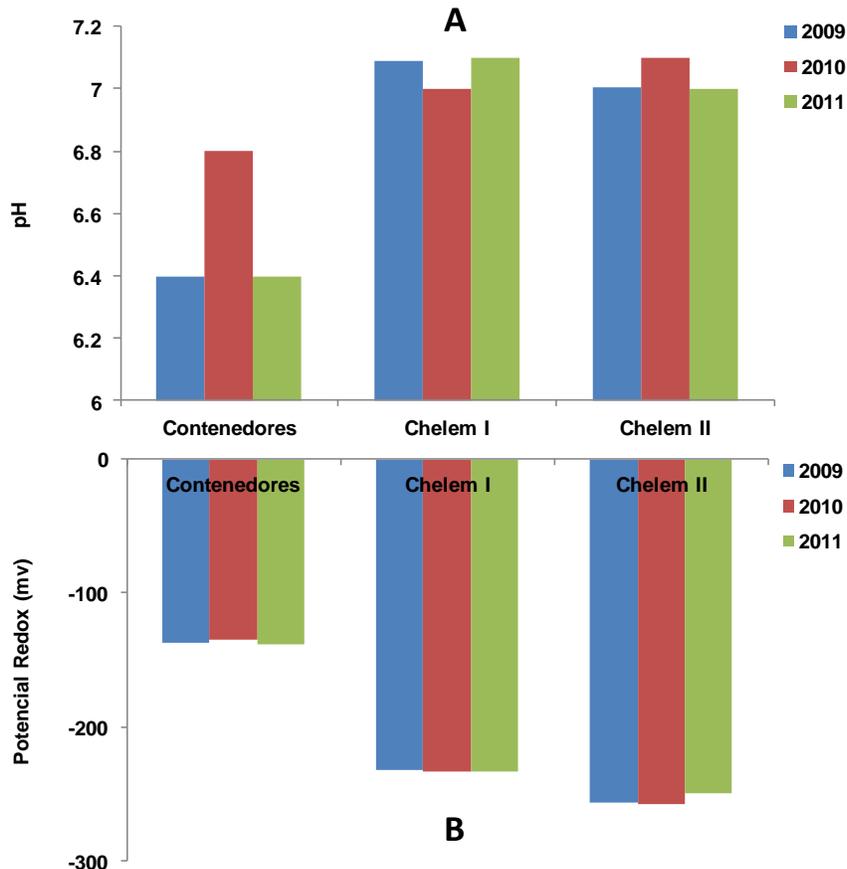


Figura I.12.3. Potencial Redox y pH en suelos de manglar en la localidad de Progreso de los años 2009, 2010 y 2011.

Dzilam: En esta localidad el pH de sedimentos es mayor en Elepetén (7.8) durante los 3 años presentándose el valor más alto en el 2009 y 2011 (7.9). El sitio del Pueblo registro los valores más bajos donde en el año 2009 (7.6) y 2011 (7.5) los valores son altos y en el 2010 disminuye (7.8), presentándose registros que indican que son sedimentos básicos para ambos sitios (Fig. I.12.4A). No se observaron diferencias significativas inter-anualmente (Fig. I.12.4). Respecto al potencial Redox el sitio del Pueblo presenta suelos más reducidos (-304.5 mV) con respecto al sitio de Elepetén (-99 mV) durante el año 2009. Para el año 2010 en el sitio de Elepetén la negatividad se incrementa (-100 mV) mientras que en el Pueblo disminuye (-299 mV). En el año

2011 se presenta el mismo comportamiento donde los sedimentos más reducidos se observaron en el sitio del Pueblo (-300 mV) y los menos reducidos en Elepetén (-97 mV) (Fig.I.12.4). La variabilidad entre los sitios puede indicar que en Pueblo el periodo de inundación es mayor favoreciéndose las condiciones anóxicas. En el sitio de Elepetén los suelos son menos reducidos de manera general (Fig. I.12.4), y probablemente se deba a los aportes de agua intermitentes del manantial, lo que favorecería un hidroperíodo en el que el sedimento puede tener ciclos de inundación y sequía, dando condiciones menos anóxicas. No se registraron variaciones inter-
anuales.

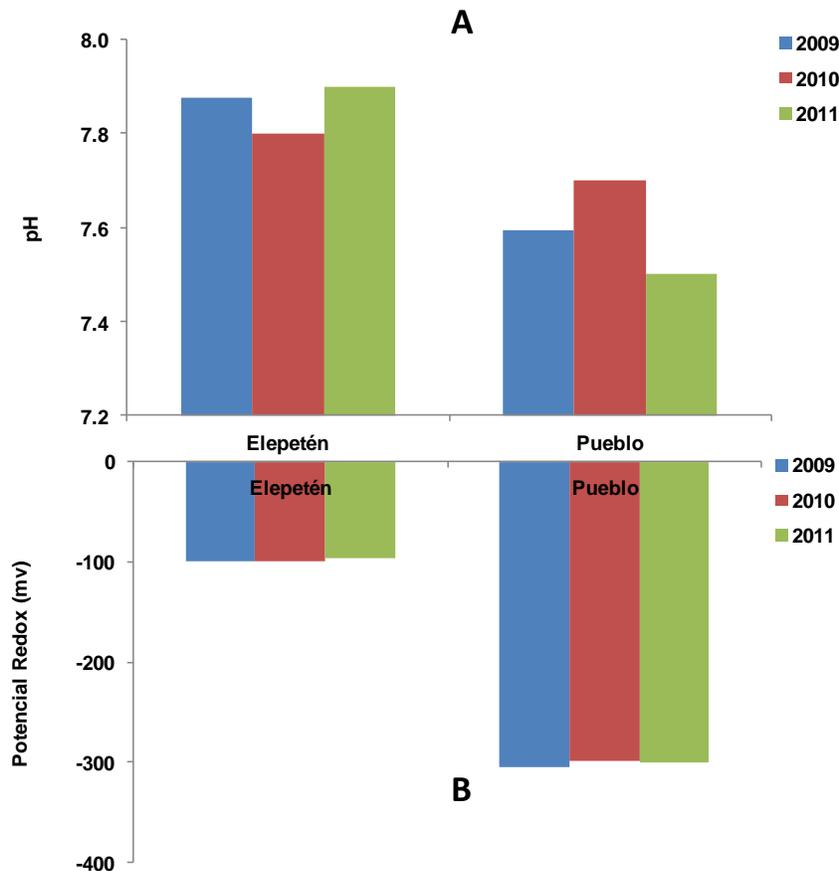


Figura I.12.4. Potencia Redox (B) y pH (A) en sedimentos de manglar en la localidad de Dzilam de los años 2009, 2010 y 2011.

Río Lagartos: Con respecto al pH en el 2009 se registró el más alto en El Cuyo (7.53) con respecto al sito de Río Lagartos (7.3). Para el año 2010 este incrementa para ambos sitios manteniendo el mismo comportamiento donde el de Río Lagartos es menor (7.4) y El Cuyo más

Herrera-Silveira, J.A., Teutli-Hernández, C., Zaldívar-Jiménez, A., Pérez-Ceballos, R., Cortés-Balán, O., Osorio-Moreno, I., Ramirez-Ramirez, J., Caamal-Sosa, J., Andueza-Briceño M.T., Torres, R., Hernández-Aranda H. 2013. 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, FB1307-N009/08. Informe Final, Noviembre 2013

elevado (7.7). En el año 2011 en el sitio del Cuyo el valor de pH incrementa hasta 8.2, y en el sitio de Río Lagartos a 7.51 (Fig. I.12. 5A), sin embargo, los sedimentos de este sitio siguen siendo de tipo básicos. Respecto al potencial Redox en el 2009 el sitio El Cuyo presento los valores más negativos (-151.5 mV) con respecto a Río Lagartos (-119 mV). Para el 2010 en el sitio de Río Lagartos la negatividad incrementa (-100 mV), y en El Cuyo disminuye muy poco (-151 mV). En el año 2011 se presentan cambios notorios en ambos sitios donde en El Cuyo el potencial Redox presenta valores positivos (67 mV), mientras que en el sitio de Río Lagartos los sedimentos son más reducidos (-152 mV) (Fig. I.12.5B). Esta variación en cuanto al potencial Redox en el sitio de El Cuyo tal vez pueda deberse a condiciones hidrológicas que favorezcan el proceso de descomposición de la materia orgánica, mientras que en el sitio de Río Lagartos el aporte de agua es continuo y hay mayor acumulación de materia orgánica favoreciendo las condiciones anóxicas del sitio.

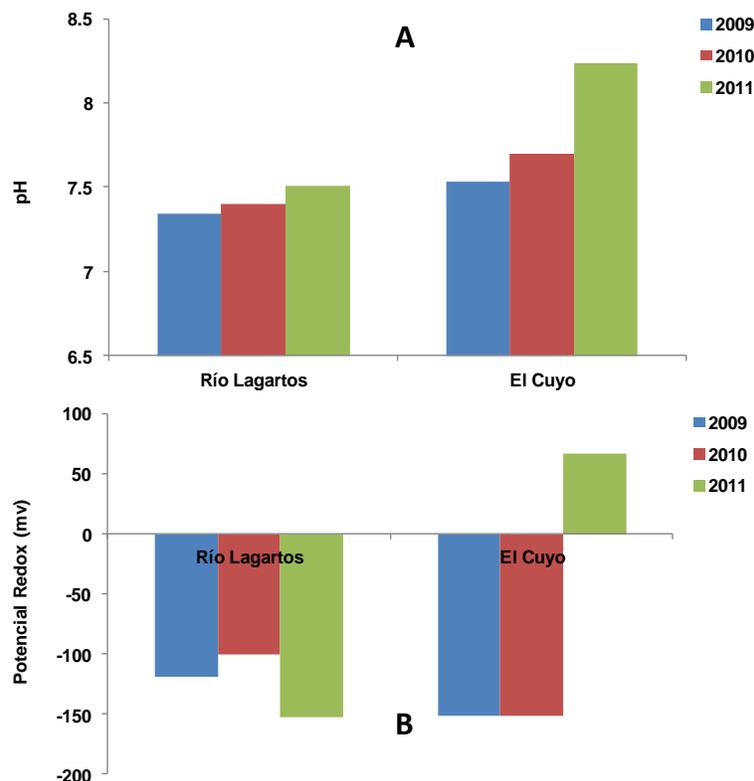


Figura I.12.5. Potencial Redox y pH en sedimentos de manglar de la localidad de Río Lagartos de los años 2009, 2010 y 2011.

Cancún: De acuerdo al pH ambos sitios presentan suelos ligeramente ácidos, observándose en el sitio de Polígono 9 el valor más bajo (6.4) y el más alto en el Polígono 1 (6.9) para el año 2009. En el año 2010 el pH incrementa en ambos sitios siendo ligeramente menor en el Polígono 9 (6.9)

y un poco mayor en el Polígono 1 (7). En el 2011 el sitio del Polígono 9 presenta disminución del pH (6.7), mientras que en el Polígono 1 este mantiene el mismo valor (Fig.I.12.6A). Con respecto al potencial Redox, el sitio de Polígono 9 presentó suelos más reducidos durante el 2009 (-304.5 mV) y menos en Polígono 1 (-277.5 mV). Para el año 2010 en ambos sitios se presenta una reducción en la negatividad del potencial Redox (Polígono 1 -268 mV; Polígono 9 -300 mV). En el 2011 se incrementa la negatividad de los datos para ambos sitios, siendo más negativo en Polígono 9 (-307 mV) (Fig.I.12.6B). Esta variación entre sitios puede ser debido a que probablemente en el sitio de Polígono 9 el proceso de descomposición de materia orgánica es mayor favoreciendo las condiciones anóxicas del sedimento. Este sitio fue impactado por el huracán Wilma con aporte de materia orgánica debido a la defoliación de los árboles así como la caída de madera. El sitio de Polígono 1 presentó suelos menos reducidos durante todo el periodo de muestreo, se ubica en un área con aportes de agua más frecuentes (Fig. I.12.6B). En general las variaciones inter- anuales no son significativas, por lo que no se esperan cambios negativos en la comunidad de manglar de esta localidad debida a estas variables (Fig. I.12.6).

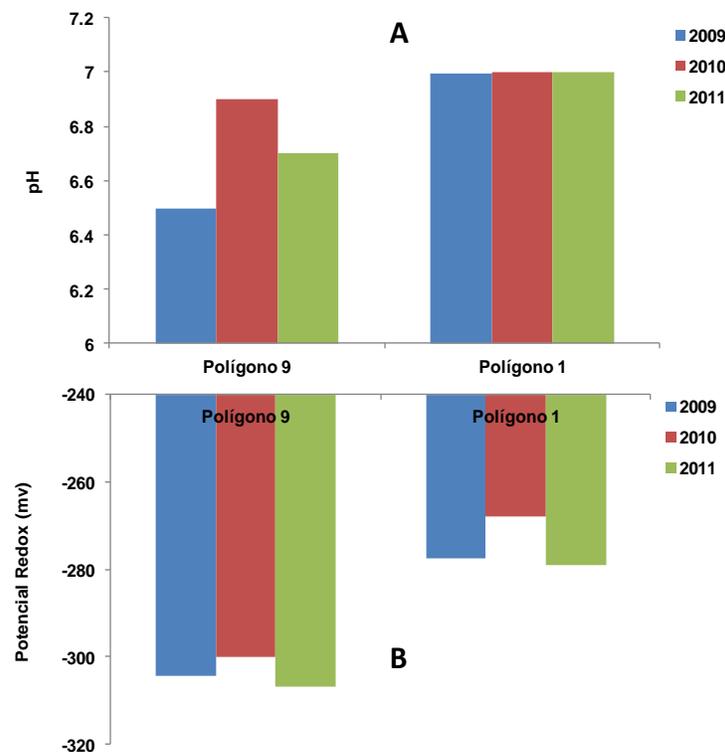


Figura I.12.6. Potencial Redox y pH en suelos de manglar de la localidad de Cancún.

Puerto Morelos: En esta localidad el pH fue en promedio menor pero manteniéndose en condiciones neutras en el sitio del Cid (7) durante los 3 años, mientras que en el sitio de la Ceiba presenta cambios en el 2009 siendo el pH mayor (7.6) disminuyendo en 2010 (7.5). Para el 2011 se registra el valor más bajo de pH (7.4) (Fig.I.12.7A), para ambos sitios, y por los valores

Herrera-Silveira, J.A., Teutli-Hernández, C., Zaldívar-Jiménez, A., Pérez-Ceballos, R., Cortés-Balán, O., Osorio-Moreno, I., Ramirez-Ramirez, J., Caamal-Sosa, J., Andueza-Briceño M.T., Torres, R., Hernández-Aranda H. 2013. 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, FB1307-N009/08. Informe Final, Noviembre 2013

registrados se consideran sedimentos básicos. El potencial Redox fue más reducido en promedio en el sitio del Cid (-221 mV) respecto al sitio de la Ceiba (-100.5 mV) para el año 2009. En 2010 se presenta reducción en la negatividad de los datos donde el patrón es el mismo, ya que los valores más negativos se observaron en el sitio del Cid (-200 mV), seguido de la Ceiba (-100 mV). En el año 2011 el sitio del Cid presenta reducción de la negatividad (-103 mV) mientras que en la Ceiba el cambio fue mínimo (-99 mV) (Fig. I.12.7B). Estos resultados podrían indicar malas condiciones del sitio del Cid donde se llevan a cabo actividades de construcción de infraestructura turística impactando variables del agua y sedimentos del manglar. Inter-anualmente mientras que en el sitio de la Ceiba no varía el potencial Redox, en el sitio del Cid la tendencia fue a ser menos reducido el sedimento (Fig. I.12.7B).

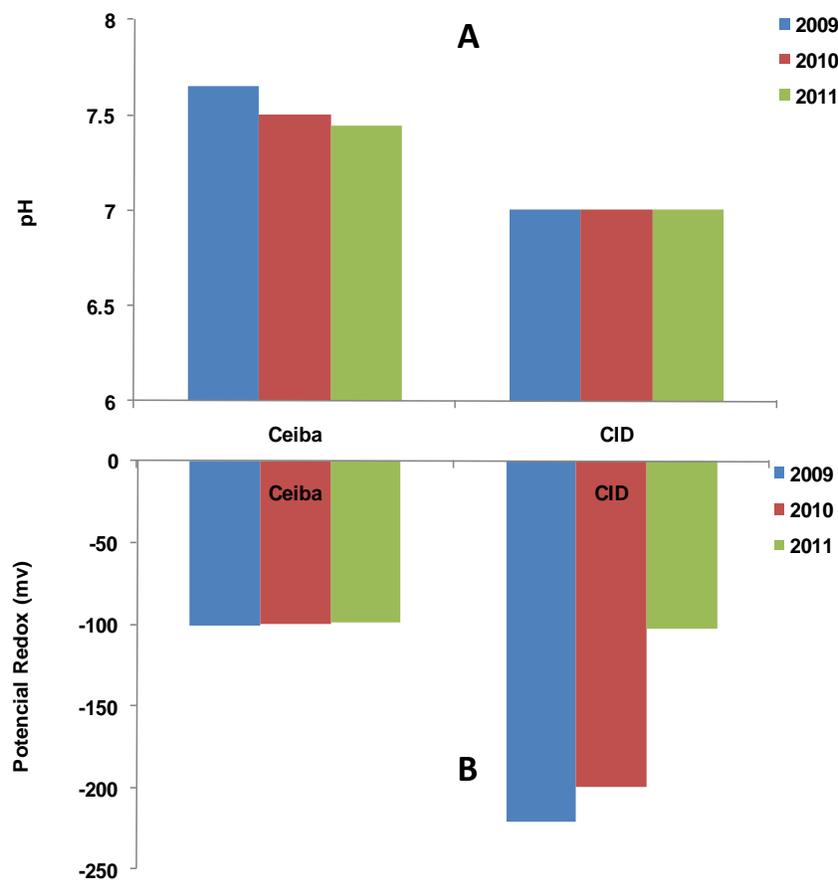


Figura I.12.7. Potencial Redox y pH de la localidad de Puerto Morelos de los años 2009, 2010 y 2011.

Sian Ka'an: Con respecto al pH durante el 2009 el valor más alto se presentó en el sitio El Playón (7.8), seguido del sitio Cayo Culebras (7.4). Para el año 2010 en el sitio de Cayo Culebras se presenta reducción del pH (7.3) mientras que en el sitio El Playón aumenta (7.85). En el 2011 en el sitio de Cayo Culebras esta variable aumenta (7.4), mientras que el sitio El Playón se mantiene (7.8) (Fig.I.12.8A). De acuerdo a estos resultados los sedimentos se mantienen en condición básica. Respecto al potencial Redox, el sitio El Playón presentó suelos más reducidos (-246.5 mV), respecto a Cayo Culebras (-194 mV) durante el 2009. Para 2010 se presenta reducción en la negatividad para ambos sitios donde El Playón registra los valores más negativos (-160 mV), con respecto al sitio de Cayo Culebras (-110 mV). En 2011 ambos sitios presentan reducción de la negatividad siendo el menos negativo Cayo Culebras (-94.6 mV), seguido de El Playón (-156.6 mV) (Fig. I.12.8B). En ambos sitios la tendencia inter-anual fue la de ser menos reducidos los sedimentos. El hidroperíodo podría ser una variable que influya este comportamiento, ya que en Cayo Culebras por su proximidad con la fuente de agua este manglar se inunda y seca probablemente con mayor frecuencia.

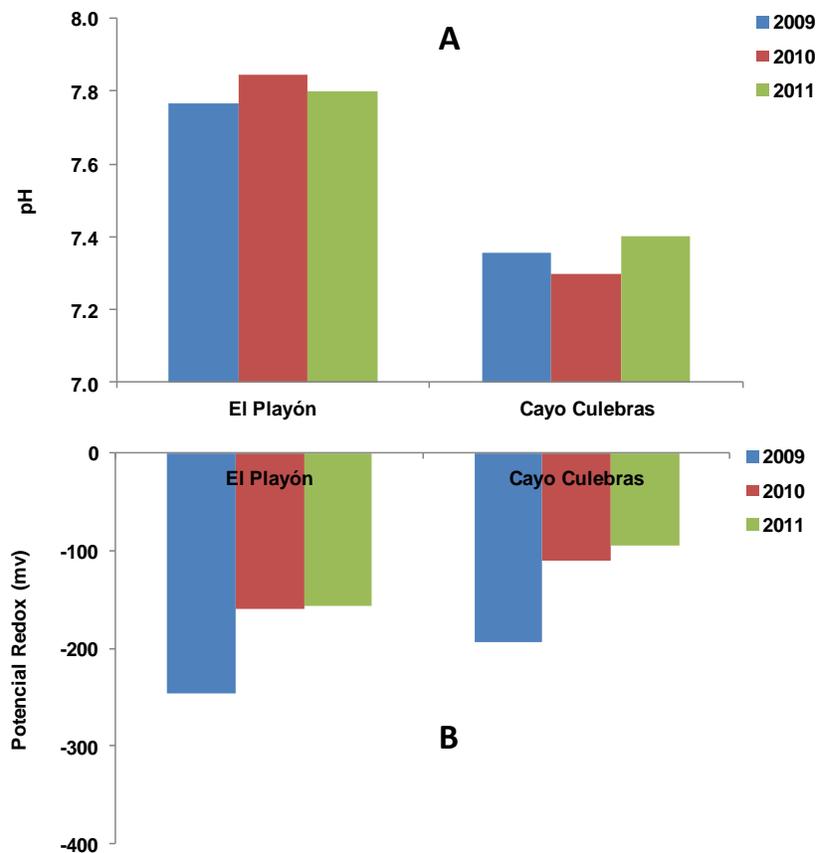


Figura I.12.8. Potencial Redox y pH de suelos de manglar en la localidad de Sian Ka'an de los años 2009, 2010 y 2011.

Xcalak: El pH en el sitio del Pueblo fue mayor (7.4) con respecto al sitio de Portilla (7.1) para el 2009. En el 2010 se presenta incremento en los 2 sitios donde el sitio Portilla registra el valor más alto (7.8) y en el Pueblo es menor (7.5). Para el 2011 esta variable se incrementa siendo menor en el sitio del Pueblo (7.7) respecto al sitio de Portilla (8.12) (Fig.I.12.9A). En ambos sitios los suelos son básicos. Con respecto al potencial Redox se observaron suelos más reducidos en el sitio del Pueblo (-276.6 mV) respecto al de Portilla (-120.5 mV) en el 2009. Para el 2010 en el sitio del Pueblo se presenta reducción de la negatividad del sedimento (-150 mV), mientras que en el sitio de Portilla se vuelve más negativo (-125 mV). En el 2011 el sitio del Pueblo el Redox es menos negativo (-61.75 mV) con respecto a los demás años, mientras que en el sitio de Portilla los sedimentos son más reducidos (-183.6 mV) (Fig. I.12.9B). Es importante que se observe el drenaje en el sitio del Pueblo, ya que el crecimiento urbano no ordenado además de impactar a este manglar, podría modificar las condiciones hidrodinámicas de esta localidad con impactos negativos a una escala espacial más amplia.

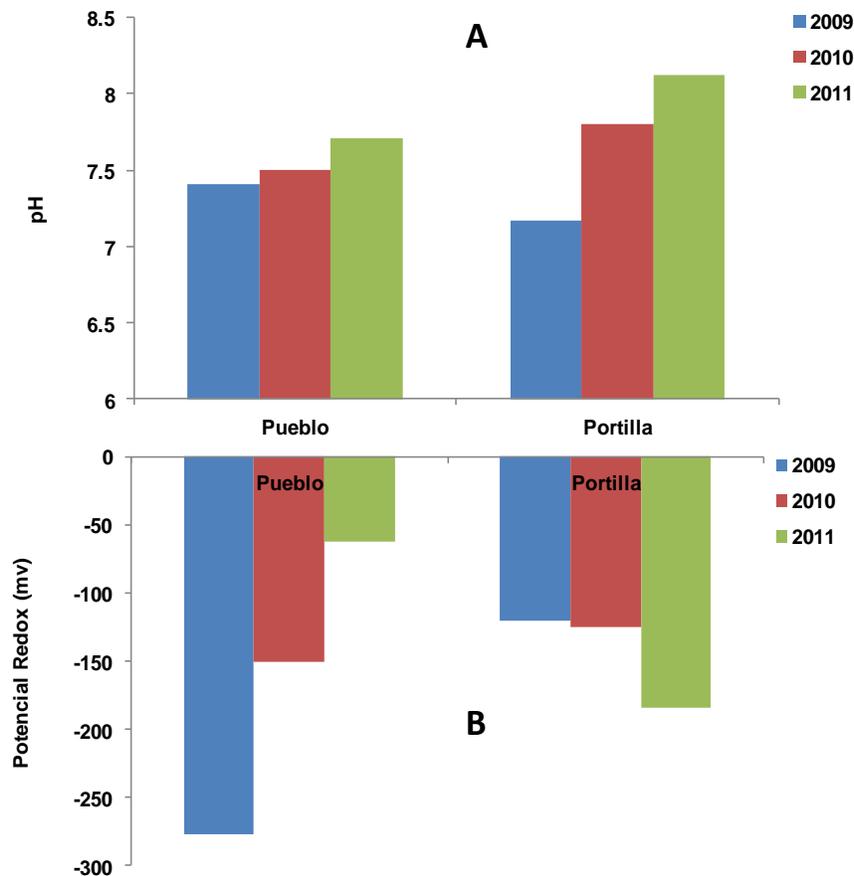


Figura I.12.9. Potencial Redox y pH en sedimentos de manglar en la localidad de Xcalak.

Chetumal: En esta localidad en ambos sitios la tendencia del pH inter-anualmente fue la de aumentar de 7.38 (2009) a 7.8 (2011) en Río Hondo, y de 7.31 (2009) a 7.75 (2011) en el sitio de Tamalcab, por lo que ambos sitios presentan sedimentos básicos (Fig. I.12.10A). Con respecto al potencial Redox se observaron suelos más reducidos en el sitio de Tamalcab (-119 mV) respecto al de Río Hondo (-69.5 mV) en el 2009. En el 2010 la negatividad del potencial Redox disminuye en ambos sitios donde Tamalcab registra la mayor negatividad (-101.5 mV) respecto al sitio de Río Hondo (-65.2 mV). Para el año 2011 se presentan los valores menos reducidos en ambos sitios siendo menos negativos en Río Hondo (-62 mV), mientras que el Sitio de Tamalcab sigue presentando los valores más negativos (-97.7 mV) (Fig. I.12.10B). En ambos sitios se observa tendencia a ser menos reducidos a lo largo de los muestreos. Los valores de potencial Redox no son tan negativos como para indicar que el sedimento contiene condiciones de estrés (ácido sulfhídrico) que limiten el desarrollo del manglar en estos sitios. (Fig. I.12.10).

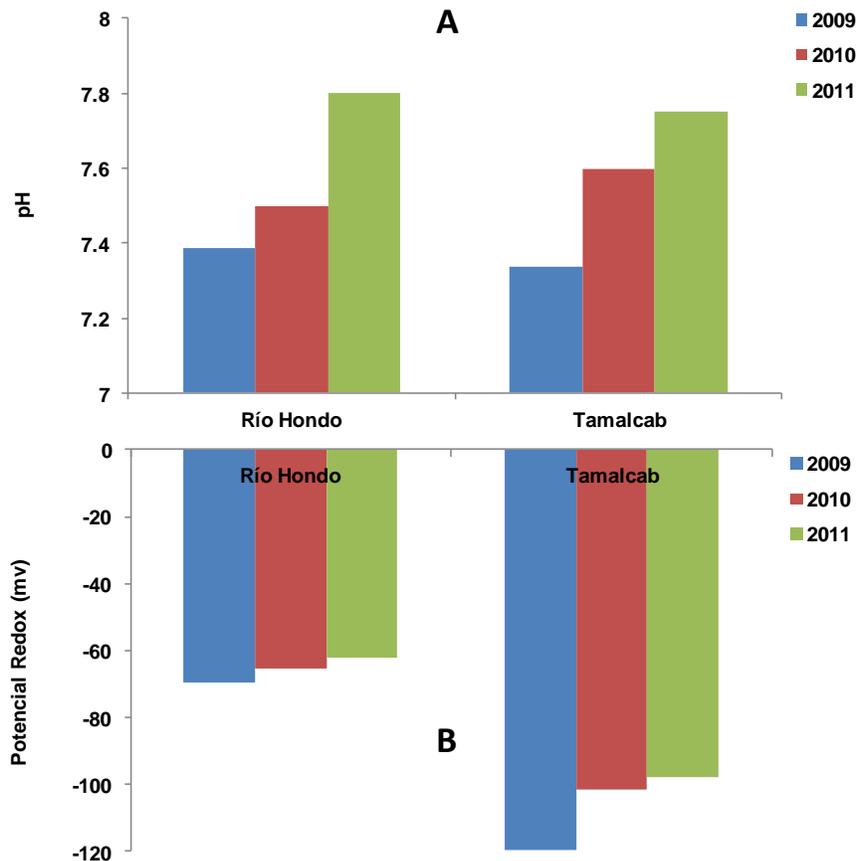


Figura I.12.10. Potencial Redox y pH en suelos de manglar en la localidad de Chetumal de los años 2009, 2010 y 2011.

I.13.-DENSIDAD APARENTE Y MATERIA ORGANICA

La dinámica de la materia orgánica en sedimentos está fuertemente relacionada con los aportes internos y externos de nutrientes a los que están sujetos estos ecosistemas. Para el caso de la región de la Península de Yucatán los aportes internos son probablemente dominantes debido a la falta de ríos que se caracterizan por su carga de sedimentos y que aportan a los humedales principalmente durante las épocas de aumento de los niveles de sus cauces durante las épocas de lluvias.

Celestún: Con respecto a la densidad del sedimento en el 2009 en el sitio del Puente presento la mayor densidad (0.35 gr cm^{-3}), seguido del sitio de la Boca (0.28 gr cm^{-3}), mientras que en el sitio de la zona Interna se observó la menor densidad (0.20 gr cm^{-3}). Para el año 2010 la densidad disminuyó para los 3 sitios presentándose el mismo patrón donde la menor densidad se ubicó en la zona Interna (0.19 gr cm^{-3}) y el mayor en el Puente (0.33 gr cm^{-3}). En el 2011 los valores se incrementan ligeramente pero se mantiene el patrón espacial de menor densidad en la zona Interna (0.2 gr cm^{-3}) y mayor en el Puente (0.35 gr cm^{-3}) (Fig.I.13.1A). En relación al contenido de materia orgánica, en el sitio de la zona Interna se observó que en 2009 el mayor porcentaje (47.4 %), seguido del sitio de la Boca (35.4%), mientras que en el sitio del Puente se presentó el menor contenido de materia orgánica (33.5 %). Para el 2010 se presenta un ligero incremento en esta variable para los 3 sitios registrándose el mismo patrón espacial de menor porcentaje en el sitio del Puente (34%) y mayor en la zona Interna (48 %). En el 2011 se presenta el mismo patrón que en el 2009 (Fig.I.13.1B). No se mostraron cambios inter-anales en estas variables del sedimento.

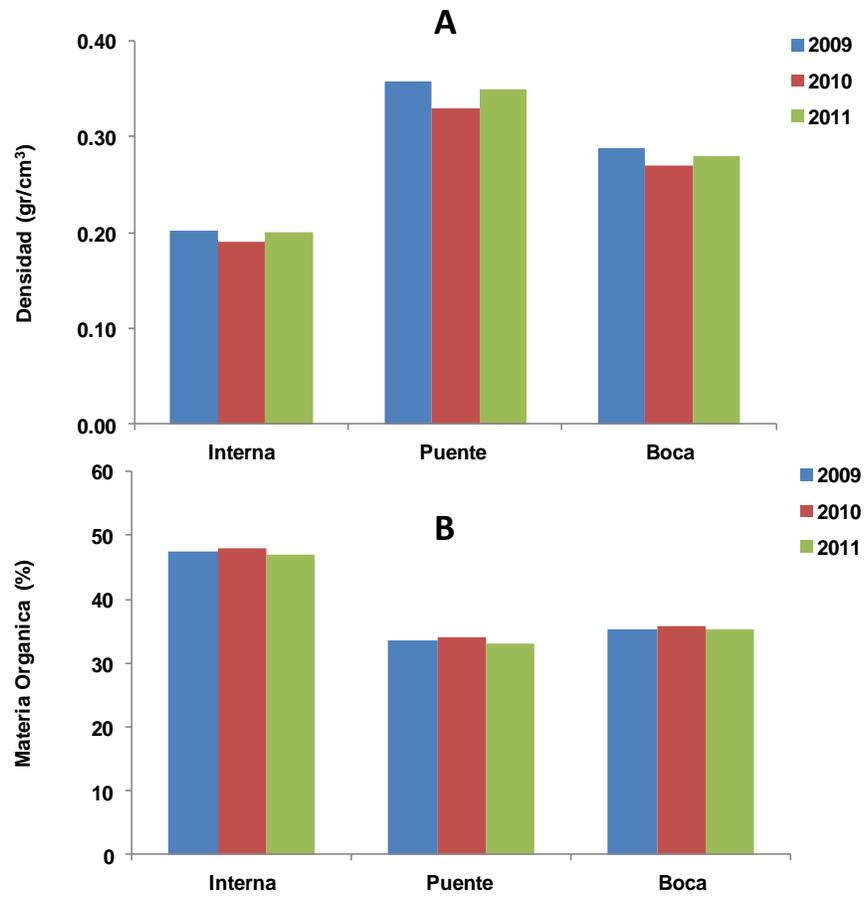


Figura I.13.1. Densidad y Contenido de Materia orgánica de la localidad de Celestún de los años 2009, 2010 y 2011.

Sisal: La densidad del sedimento en esta localidad varió entre sitios donde el mayor se presentó en el sitio de Pecis I (0.81 gr cm^{-3}) y la menor en Pecis III (0.61 gr cm^{-3}) durante el año 2009. En el 2010 se presenta un ligero incremento en ambos sitios con el mismo patrón espacial, con la menor densidad en Pecis III (0.62 gr cm^{-3}). Para el 2011 se presentan valores muy similares que el año 2009 (Fig.I.13.2A). En el caso del contenido de materia orgánica esta fue mayor en el sitio Pecis III (18.9 %) y menor en Pecis I (10.3 %) durante el 2009. Para el 2010 se presenta un ligero incremento donde en el sitio de Pecis III (18.8 %) se registró el mayor contenido de materia orgánica y en Pecis I sólo de 10.5%. En el 2011 en el sitio Pecis III presenta valores similares a 2009, mientras que en el sitio Pecis I el porcentaje disminuye (10.4 %) (Fig.I.13.2B). No se registraron variaciones interanuales en ninguno de los dos sitios de esta localidad (Fig. I.13.2B).

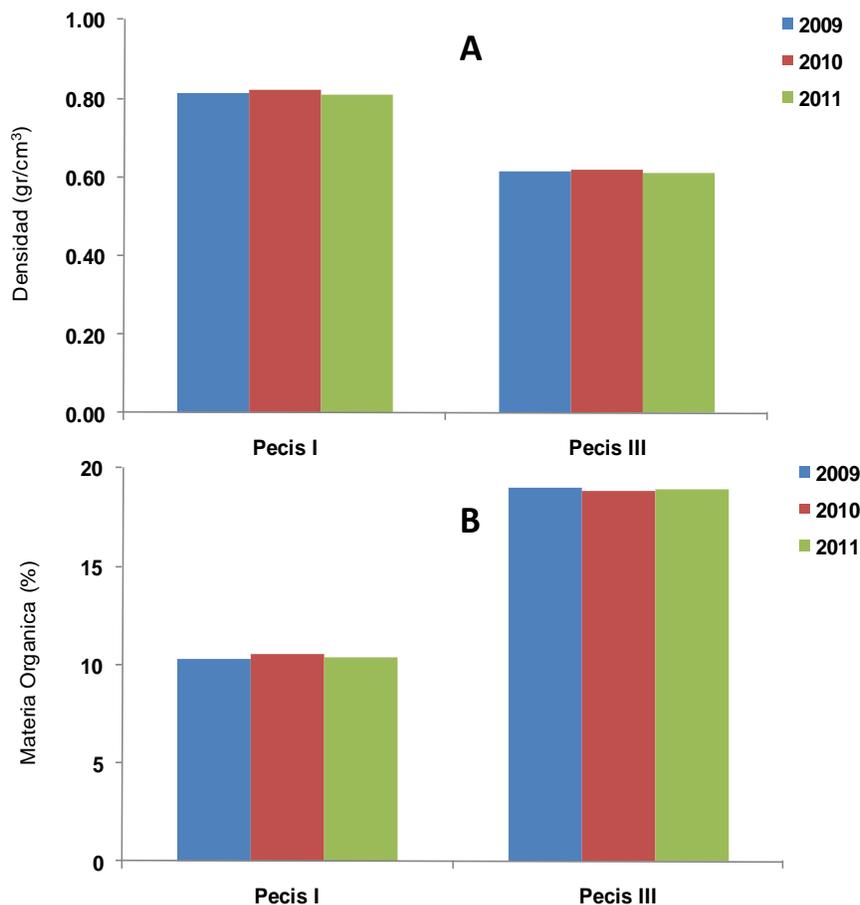


Figura I.13.2. Densidad y Materia orgánica en sedimentos de manglar en la localidad de Sisal de los años 2009, 2010 y 2011.

Progreso: En relación a las características del sedimento como densidad aparente y materia orgánica en la localidad del Progreso los resultados se presentan en la Figura I.13.3, observándose que la mayor densidad se registró en el sitio de Chelem I (0.73 gr cm^{-3}), y la menor en Chelem II (0.3 gr cm^{-3}) durante el año 2009. En el año 2010 la densidad en el sedimento de manglar presenta un ligero incremento en el sitio de Contenedores (0.35 gr cm^{-3}) y Chelem II (0.32 gr cm^{-3}), disminuyendo en el sitio de Chelem I a 0.71 gr cm^{-3} . En el año 2011 se presenta mayor densidad en Chelem I (0.73 gr cm^{-3}), mientras que en Contenedores (0.34 gr cm^{-3}) y Chelem II (0.31 gr cm^{-3}) disminuye (Fig. I.13.3A). Por lo que respecta a la materia orgánica el mayor contenido se determinó en el sitio Contenedores (33.2 %) y la menor en el sitio Chelem II (16 %) en el año 2009. Para el año 2010 en el sitio de Chelem I se presenta un incremento (26 %) de esta variable, mientras que en el sitio de Contenedores (32 %) y Chelem II (15 %) disminuye el contenido de materia orgánica en el sedimento. En el 2011 el sitio de Chelem I presenta disminución (24 %) en comparación con el año anterior, mientras que en los sitios de Contenedores (34 %) y Chelem II (15.5 %) aumenta el porcentaje de esta variable (Fig.I.13.3B). Las variaciones interanuales no son significativas (Fig. I.13.3B).

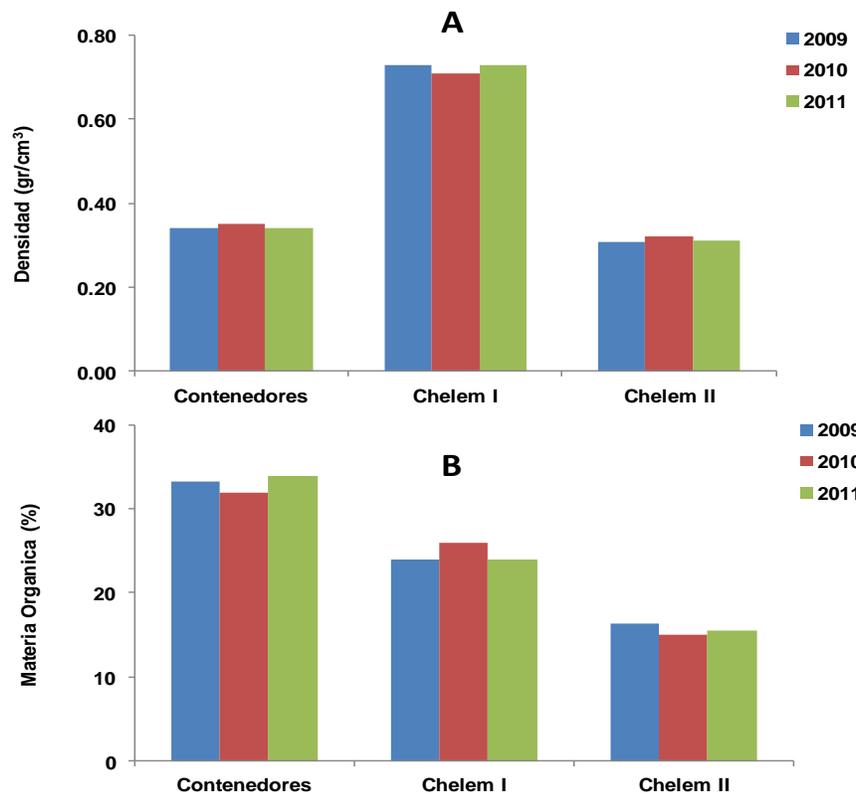


Figura I.13.3. Densidad y contenido de Materia orgánica en sedimentos de manglar en la localidad de Progreso.

Dzilam: En esta localidad el sitio del Pueblo presentó la mayor densidad aparente en los sedimentos (0.88 gr cm^{-3}), seguido del sitio de Elepeten (0.26 gr cm^{-3}) en el año 2009. Para el año 2010 se presenta un incremento en el sitio del Pueblo (0.91 gr cm^{-3}), mientras que en el sitio de Elepetén se presenta disminución de esta variable (0.22 gr cm^{-3}). En el 2011 se presenta el mismo comportamiento donde Elepetén presenta la menor densidad (0.23 gr cm^{-3}), mientras que en el sitio del Pueblo es mayor (0.87 gr cm^{-3}). Respecto al contenido de materia orgánica en 2009 en el sitio de Elepetén se observó el mayor contenido (21 %) y el menor valor en el sitio del Pueblo (11 %). En el sitio de Elepetén se presenta incremento (25 %) en el 2010, mientras que en el sitio del Pueblo disminuye (9 %) (Fig. I.13.4B). Para 2011 el contenido de materia orgánica en Elepetén disminuyó (23 %) pero no alcanzó los valores de 2009, mientras que el Pueblo aumentó (10 %) pero tampoco se alcanzaron los valores de 2009. Las variaciones interanuales en ambas variables no fueron significativas.

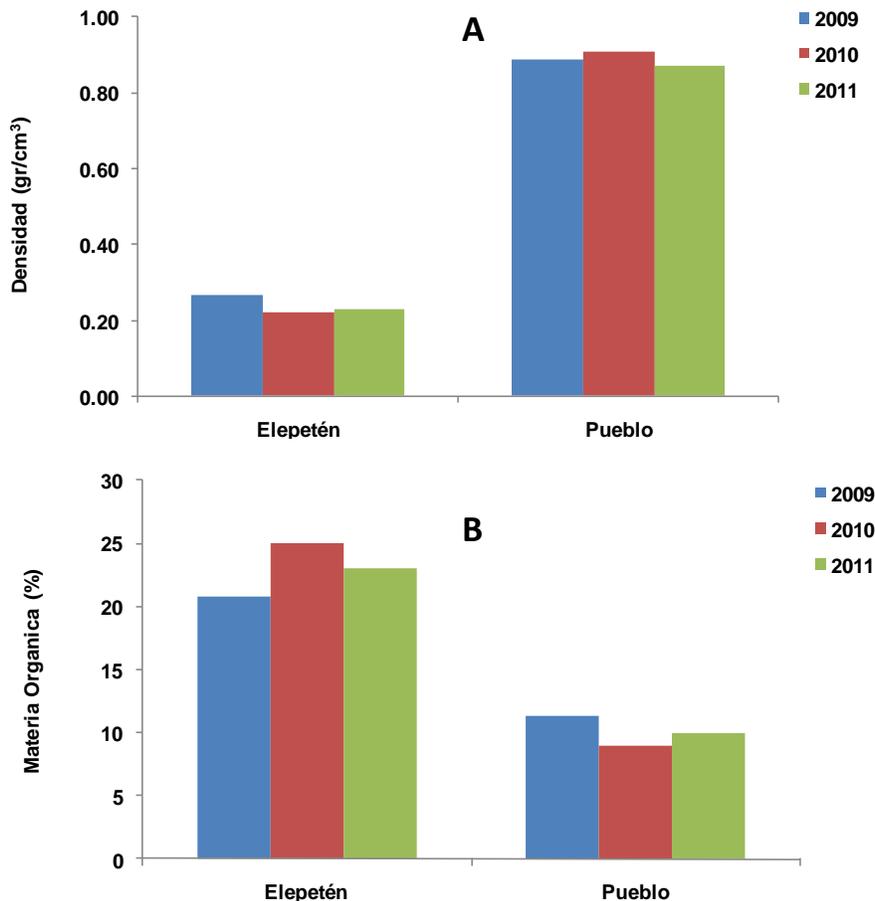


Figura I.13.4. Densidad y contenido de materia orgánica en sedimentos de manglar en la localidad de Dzilam de los años 2009, 2010 y 2011.

Río Lagartos: En el sitio de Río Lagartos en 2009 se presentó la menor densidad (0.08 gr cm^{-3}), y la mayor se observó en el sitio del Cuyo (0.69 gr cm^{-3}). Para el 2010 se presenta el mismo comportamiento donde en el sitio del Cuyo la densidad se incrementa (0.73 gr cm^{-3}), siendo mayor con respecto al sitio de Río Lagartos (0.06 gr cm^{-3}). Para 2011 se presentan valores similares que en el año 2009 (Fig.I.13.5A), observándose gran variabilidad entres sitios. Con respecto al contenido de materia orgánica el mayor porcentaje se presentó en el sitio de Río Lagartos (44.2 %) seguido del Cuyo (7.6 %) durante el año 2009: En el sitio de Río Lagartos se presenta un incremento (47%) y en el sitio del Cuyo esta variable disminuye (7%) en el 2010. Durante el año 2011 ambos sitios presentan ligero incremento con el mismo patrón espacial (Fig.I.13.5B). De acuerdo a lo anterior, en ninguna de las dos variables se registraron variaciones interanuales significativas entre sitios de esta localidad.

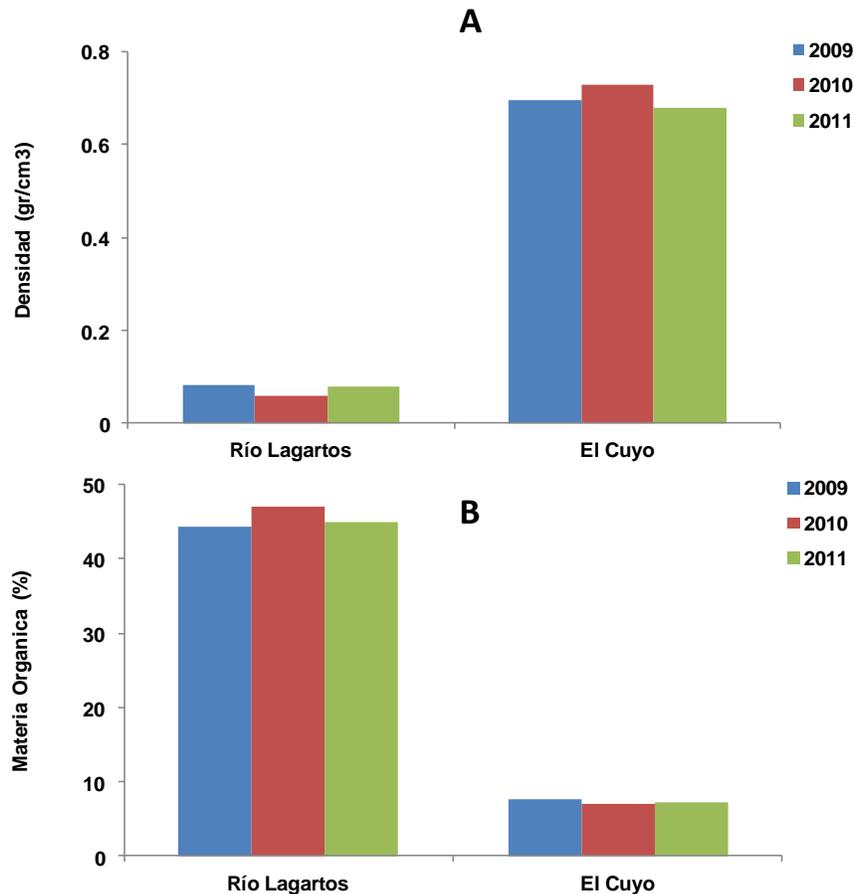


Figura I.13.5. Densidad y contenido de materia orgánica en sedimentos de manglar de la localidad de Río Lagartos de los años 2009, 2010 y 2011.

Cancún: En la localidad de Cancún se observa que las características de los sedimentos como densidad aparente y contenido de materia orgánica presentan características diferentes entre sitios. Durante el año 2009 en el Polígono 9 la densidad es menor (0.09 gr cm^{-3}) y mayor en el Polígono 1 (0.34 gr cm^{-3}). En el año 2010 se registra ligero incremento en el Polígono 1 (0.4 gr cm^{-3}), mientras que en el Polígono 9 esta disminuye (0.05 gr cm^{-3}). Para el año 2011 se presenta el mismo comportamiento donde la mayor densidad se registra en el Polígono 1 (0.36 gr cm^{-3}) (Fig.I.13.6A). Con respecto al contenido de materia orgánica, en el sitio del Polígono 9 se observó el mayor porcentaje (54.8 %) y en el Polígono 1 el menor (34.9 %) durante el 2009. Para el año 2010 se presenta incremento en esta variable en ambos sitios siendo mayor en el Polígono 9 (58%). Durante el 2011 el contenido de materia orgánica disminuye registrándose 56 % en el Polígono 9 y 35 % en el Polígono 1 (Fig.I.13.6B). Entre años las diferencias en estas variables no son significativas para los sitios de esta localidad.

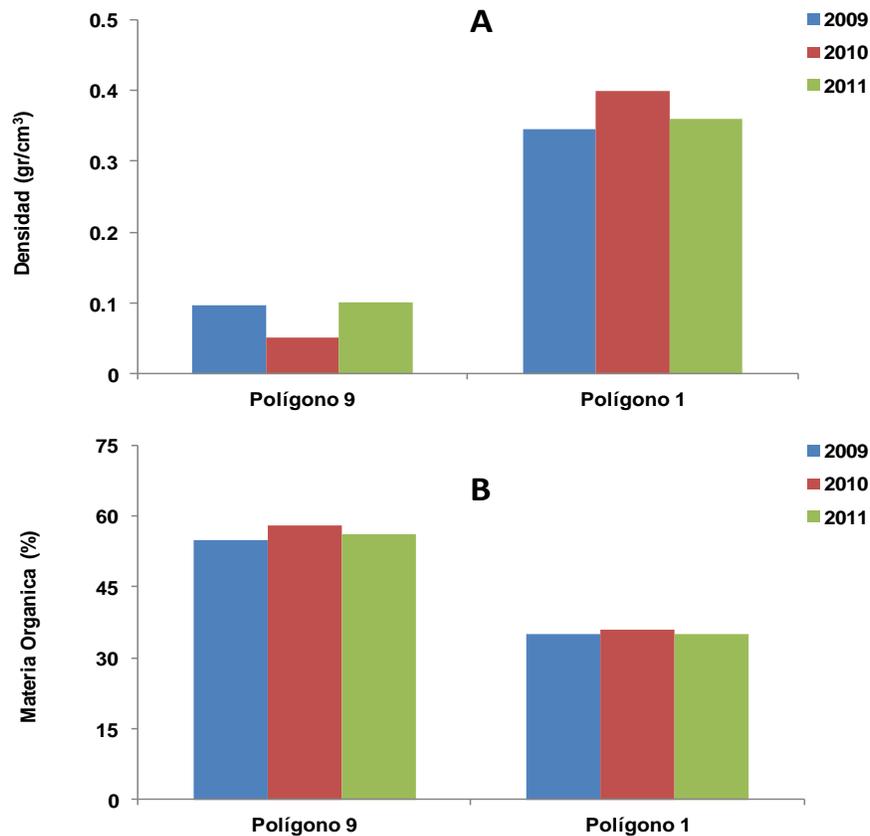


Figura I.13.6. Densidad y contenido de materia orgánica en sedimentos de manglar en la localidad de Cancún de los años 2009, 2010 y 2011.

Puerto Morelos: Esta localidad sigue el mismo comportamiento general que las anteriores en el sentido de tener dos sitios de condiciones diferentes en cuanto a estas variables del sedimento. En el sitio de la Ceiba se registró la mayor densidad del sedimento (0.20 gr cm^{-3}) con respecto al sitio del Cid (0.10 gr cm^{-3}) durante el 2009. En el año 2010 el sitio del Cid presenta una ligera disminución (0.08 gr cm^{-3}), mientras que en el sitio de la Ceiba esta se incrementa (0.22 gr cm^{-3}). Para el 2011 se presenta el mismo comportamiento espacial donde en el sitio del Cid la densidad del sedimento es menor (0.15 gr cm^{-3}) respecto al sitio de la Ceiba (0.21 gr cm^{-3}) (Fig.I.13.7A). El contenido de materia orgánica en el sitio del Cid fue alto (72.7 %) respecto al sitio de la Ceiba (36.8 %) durante el año 2009. Para el año 2010 en el sitio del Cid se presenta incremento (75 %) mientras que el sitio de la Ceiba disminuye (34 %). Durante el año 2011 en el sitio de la Ceiba esta variable se incrementa (36 %) y en el sitio del Cid disminuye (73 %) (Fig.I.13.7 B). Las variaciones interanuales no fueron significativas. No obstante que hubo un pequeño incremento en la densidad del sedimento en el sitio del Cid, esta no reflejó cambio en el contenido de materia orgánica (Fig. I.13.7-B).

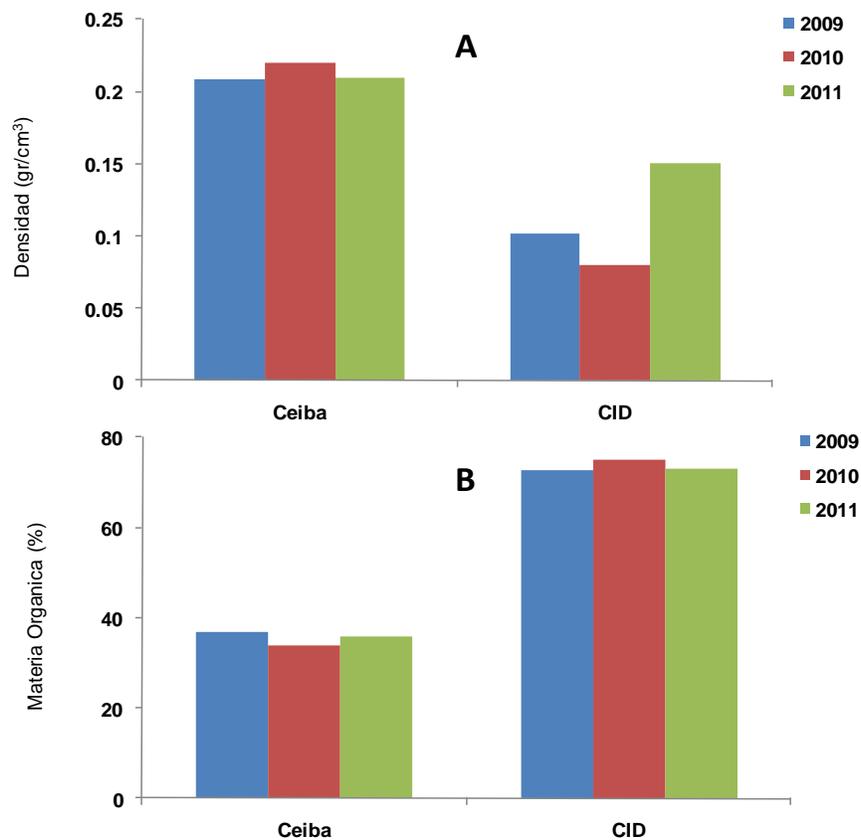


Figura I.13.7. Densidad y contenido de materia orgánica en sedimentos de manglar en la localidad de Puerto Morelos 2009, 2010 y 2011.

Sian Ka'an: Si bien el patrón de tener dos sitios de condiciones diferentes en cuanto a estas variables del sedimento para esta localidad también se observa, hay que destacar que en Cayo Culebras a pesar de una menor densidad del sedimento este no se refleja en el contenido de materia orgánica (Fig. I.13.8A). Durante el año 2009 la mayor densidad de sedimento se presentó en el sitio del Playón (1.11 gr cm^{-3}), y menor en el sitio de Cayo Culebras (0.38 gr cm^{-3}). Para el año 2010 en el sitio de Cayo Culebras se presenta una ligera disminución (0.28 gr cm^{-3}), mientras que en el sitio El Playón se incrementa (2 gr cm^{-3}). Durante el año 2011 la densidad incrementa en el sitio de Cayo Culebras (0.4 gr cm^{-3}) y esta variable disminuye en el sitio El Playón (1.6 gr cm^{-3}). Con respecto al contenido de materia orgánica en el año 2009 el menor porcentaje se presentó en el sitio de Cayo Culebras (45.7 %) y mayor en el sitio El Playón (61.8 %). Para el año 2010 esta variable disminuye presentándose el mismo comportamiento donde el mayor contenido de materia orgánica se observó en el sitio del Playón (59 %). Durante el año 2011 se presenta incremento en el contenido de materia orgánica en ambos sitios siendo menor en Cayo Culebras (47 %) y mayor El Playón (63 %) (Fig. I.13. 8B). Las variaciones interanuales no son significativas en esta localidad (Fig. I.13.8B).

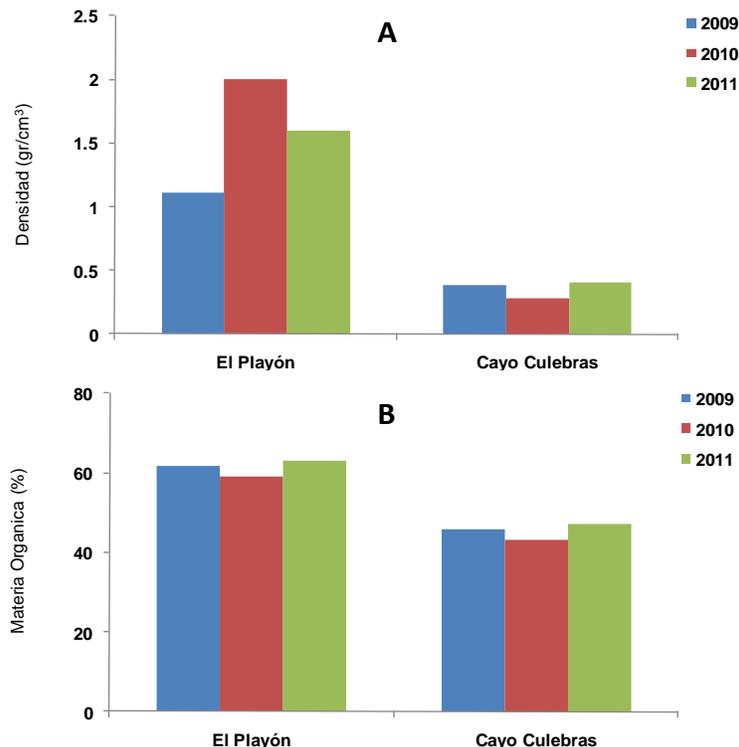


Figura I.13.8. Densidad y contenido de materia orgánica en sedimentos de manglar en la localidad de Sian Ka'an de los años 2009, 2010 y 2011.

Xcalak: Esta localidad mantiene el mismo patrón de comportamiento de dos sitios de condiciones diferentes en cuanto a las variables de densidad aparente del sedimento y contenido de materia orgánica. La mayor densidad se observó en el sitio del Pueblo (0.64 gr cm^{-3}), mientras que en el sitio de Portilla es menor (0.3 gr cm^{-3}) durante el año 2009, presentándose incremento en ambos sitios durante el año 2010, siendo mayor en el sitio del Pueblo (1 gr cm^{-3}). Para el año 2011 la menor densidad se presentó en el sitio Portilla (0.33 gr cm^{-3}) (Fig. I.13.9A). En el sitio de Portilla se registró el mayor contenido de materia orgánica (21.0 %), seguido del sitio del Pueblo (9.2 %) en el año 2009. Para el año 2010 se presenta ligero incremento en el sitio del Pueblo (9.7 %) mientras que en el sitio de Portilla disminuye (20 %). Durante el 2011 presentan el mismo comportamiento de mayor contenido de materia orgánica en el sitio de Portilla (22 %) y menor en sitio del Pueblo (<10%) (Fig.I.13.9B). También se mantuvo el patrón de no haber diferencias importantes en los valores de estas variables interanualmente.

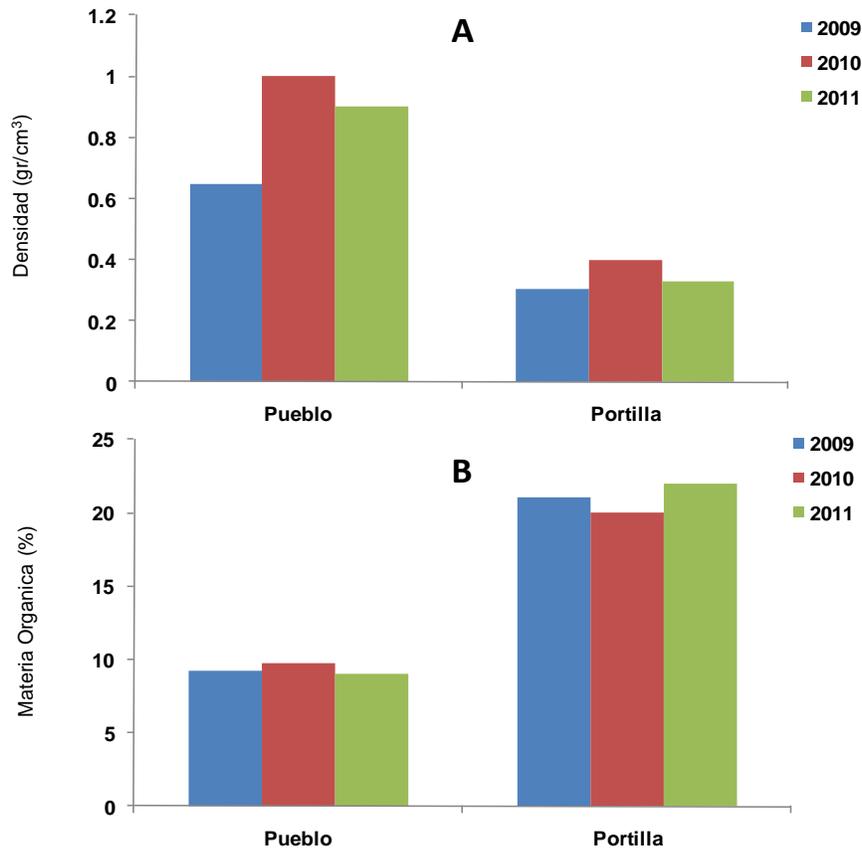


Figura I.13.9. Densidad y contenido de Materia orgánica en sedimentos de manglar de la localidad de Xcalak de los años 2009, 2010 y 2011.

Chetumal: Esta localidad si bien presenta características de la vegetación de manglar diferente entre sitios, las variables del sedimento no reflejan diferencias relevantes. En el sitio de Río Hondo se presentó la menor densidad (0.28 gr cm^{-3}) y la mayor densidad se observó en el sitio de Tamalcab (0.37 gr cm^{-3}) durante el año 2009. Para el año 2010 esta variable se incrementa en ambos sitios presentando el mismo patrón (0.3 y 0.4 gr cm^{-3} en Río Hondo y Tamalcab respectivamente). Durante el 2011 aumenta la densidad en el sitio de Río Hondo (0.35 gr cm^{-3}) y es baja en el sitio de Tamalcab (0.34 gr cm^{-3}) (Fig. I.13.10A). Con respecto al contenido de materia orgánica en el sedimento en el sitio de Río Hondo se presentó el mayor porcentaje (35.4%) y el menor en el sitio de Tamalcab (24.3%), esta variable disminuye para ambos sitios durante el año 2010 (33 y 23% en Río Hondo y Tamalcab respectivamente). Para el año 2011 esta variable incrementa ligeramente en ambos sitios con respecto al año 2010, donde el sitio de Río Hondo (34%) se presenta el mayor contenido de materia orgánica en el sedimento de manglar y el menor en el sitio de Tamalcab (24%) (Fig. I.13.10B). Los cambios interanuales no fueron significativos, sin embargo el sitio de Río Hondo presentó la tendencia de aumentar en su densidad aparente (Fig. I.13.10B).

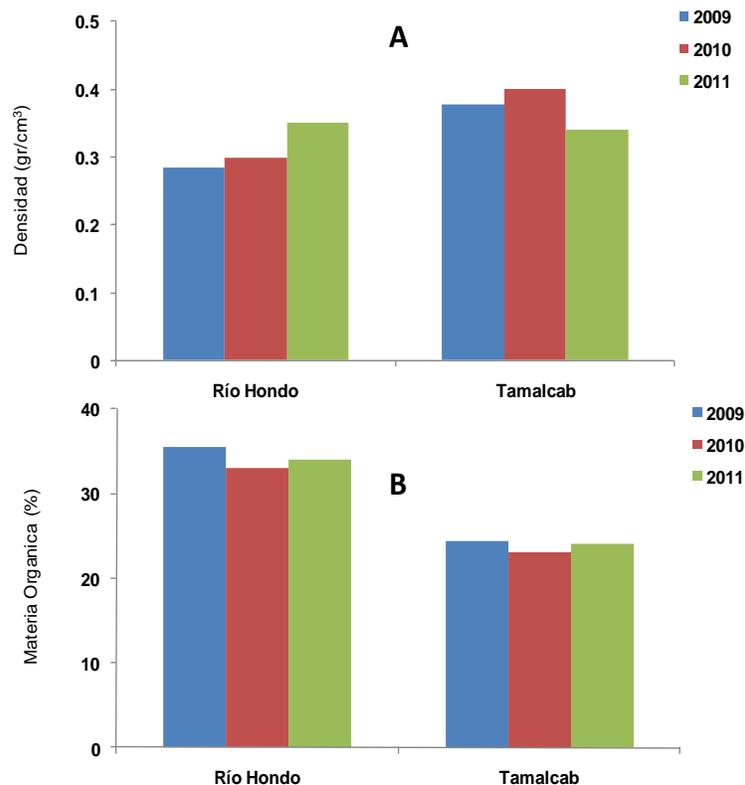


Figura I.13.10. Densidad y contenido de materia orgánica en sedimentos de manglar de la localidad de Chetumal de los años 2009, 2010 y 2011.

I.14.- NUTRIENTES EN SEDIMENTOS: Nitrógeno Total (NT), Fosforo Total (PT) y Carbono Total (CT).

Celestún: Con respecto al contenido de nutrientes en el sedimento el Nitrógeno Total en el sitio de la Boca registró el menor contenido (0.98%), mientras que el sitio del Puente presentó el mayor porcentaje (1.49%) durante el 2009. En 2010 el principal cambio es la reducción de la concentración en el sitio del Puente (1%). En el año 2011 las concentraciones entre sitios es muy similar (1.03%, 0.9 %, 0.98% en los sitios Interna, Puente y Boca respectivamente (Fig.I.14.1A). En relación al contenido de Fósforo Total las concentraciones son en general bajas (0.03-0.04%), esto probablemente a los procesos de absorción o precipitación de este elemento en sedimentos de tipo cárstico-carbonatado, siendo mayores en el sitio del Puente y en el de Boca (0.12%). En el año 2010 las concentraciones prácticamente son las mismas solo disminuyendo ligeramente en el sitio del Puente (0.033%). Para el año 2011 en el sitio Interna y de la Boca las concentraciones aumentan a 0.037% y 0.042% respectivamente (Fig.I.14.1B). Respecto al Carbono Total en el sitio Interna fue el más alto (27.4%), y el menor en el sitio Puente (19.2%) durante el año 2009. Para el año 2010 y 2011 los valores son similares (alrededor de 7% en la zona Interna, 19% en el Puente y 23% en la Boca) así como el patrón espacial (Fig.I.14.1C). Con respecto a la relación N:P el fósforo parece ser el nutriente limitante durante el periodo de muestreo, ya que los valores se mantienen por arriba de 14, siendo mayor la deficiencia en el sitio de la zona Interna, y menor en la Boca (Fig.I.14.1D).

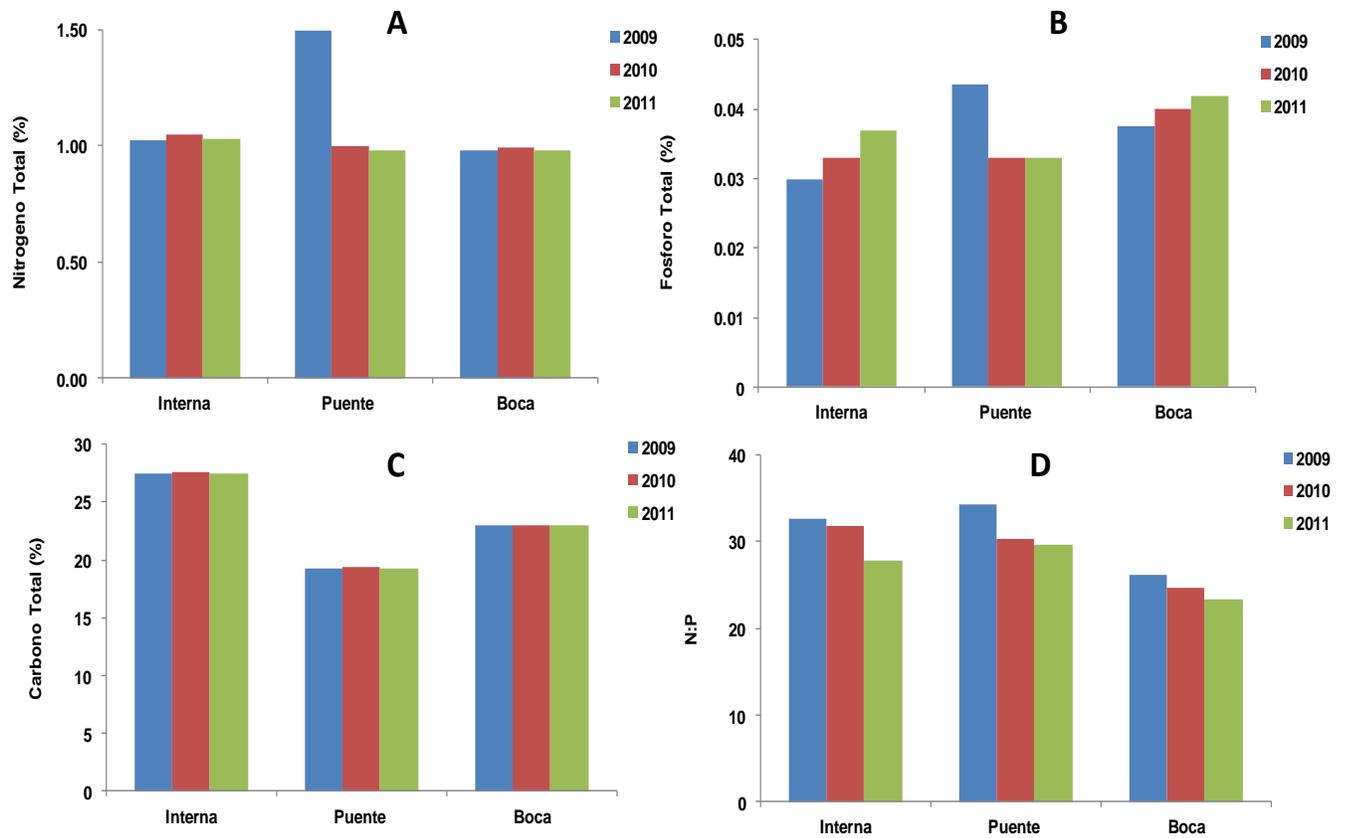


Figura I.14.1. Nutrientes en sedimentos de manglar de la localidad de Celestún. Nitrógeno total (A), fósforo total (B), carbono total (C), relación N:P (D).

Sisal: De acuerdo al contenido de Nitrógeno Total el mayor porcentaje se observó en el sitio de Pecis I (0.90%) y menor en el sitio de Pecis III (0.32%) durante el 2009, registrándose decremento en Pecis I (0.13%) en 2010 y sin cambios significativos en Pecis III. Para el año 2011 se presenta pequeña disminución en ambos sitios siendo mayor la concentración en Pecis III (0.32%) (Fig.I.14.2A). Las variaciones interanuales en Pecis I podrían relacionarse con el cierre de la granja de camarón y el cese de las descargas de las aguas residuales a este manglar. Con respecto al contenido de Fósforo Total, ambos sitios presentaron bajos porcentajes (0.02 y 0.01% en Pecis I y Pecis III respectivamente) durante el 2009. Para los muestreos de 2010 y 2011 las concentraciones son las mismas para ambos sitios (0.003 y 0.007 % en Pecis I y Pecis III respectivamente) (Fig.I.14.2B). El contenido de Carbono Total es mayor en Pecis III (10.2%) respecto a Pecis (8.4%) y así se mantiene durante los siguientes años de muestreo en el año 2009 (Fig.I.14.2C). De acuerdo a la relación Redfield en ambos sitios el fósforo es el nutriente limitante (Fig. I.14.2D). Fue mayor la deficiencia de fósforo en 2011 en Pecis I en 2009.

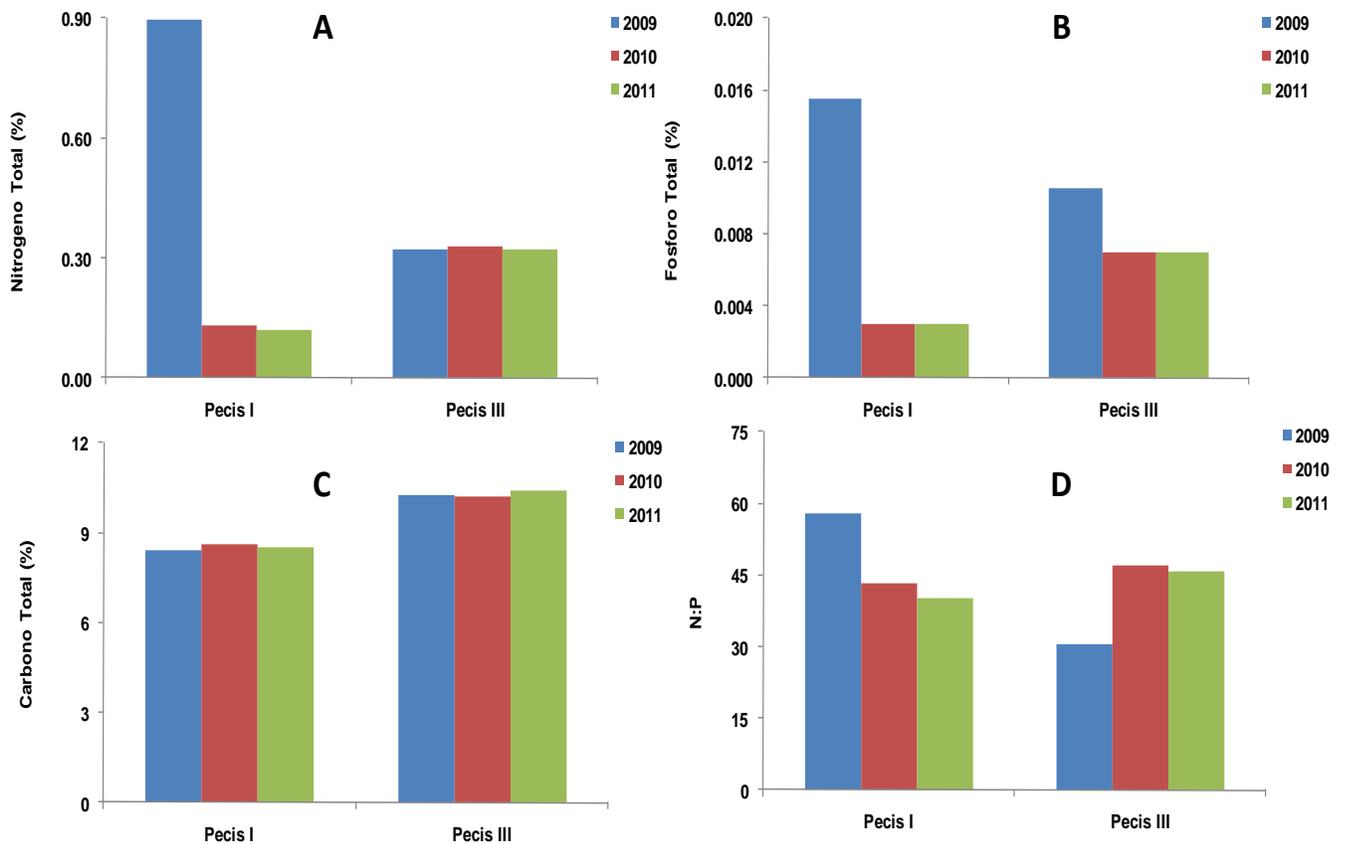


Figura I.14.2. Nutrientes en sedimentos de manglar en la localidad de Sisal de los años 2009, 2010 y 2011. Nitrógeno total (A), fósforo total (B), carbono total (C), relación N:P (D).

Herrera-Silveira, J.A., Teutli-Hernández, C., Zaldívar-Jiménez, A., Pérez-Ceballos, R., Cortés-Balán, O., Osorio-Moreno, I., Ramirez-Ramirez, J., Caamal-Sosa, J., Andueza-Briceño M.T., Torres, R., Hernández-Aranda H. 2013. 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, FB1307-N009/08. Informe Final, Noviembre 2013

Progreso: Con respecto al contenido de Nitrógeno Total en el sedimento en 2009 el sitio de Contenedores presento el mayor porcentaje (0.72%) seguido de Chelem I (0.38%), mientras que en Chelem II se registró el menor contenido de nitrógeno (0.24%). Para los años 2010 y 2011 se mantienen las concentraciones y el patrón espacial también (Fig.I.14.3A). Con respecto al Fósforo Total las concentraciones son mayores en el sitio Contenedores (0.027-0.03%) que en los sitios de Chelem I (0.010-0.01%) y Chelem II (0.008%) para el periodo de muestreo (Fig.I.14.3B). Respecto al contenido de Carbono Total en el sedimento de manglar el mayor porcentaje se observó en el sitio de Contenedores (17.6%), seguido del sitio de Chelem II (13.6%), el menor se registró en el sitio de Chelem I (11.9%). Los muestreos de 2010 y 2011 presentan el mismo comportamiento tanto en concentraciones como en el patrón espacial (Fig. I.14.3C). De acuerdo a la relación N:P el fósforo es el nutriente limitante en los 3 sitios de la localidad de Progreso (Fig. I.14.3D). La mayor deficiencia de fósforo se observa en el sitio Chelem I.

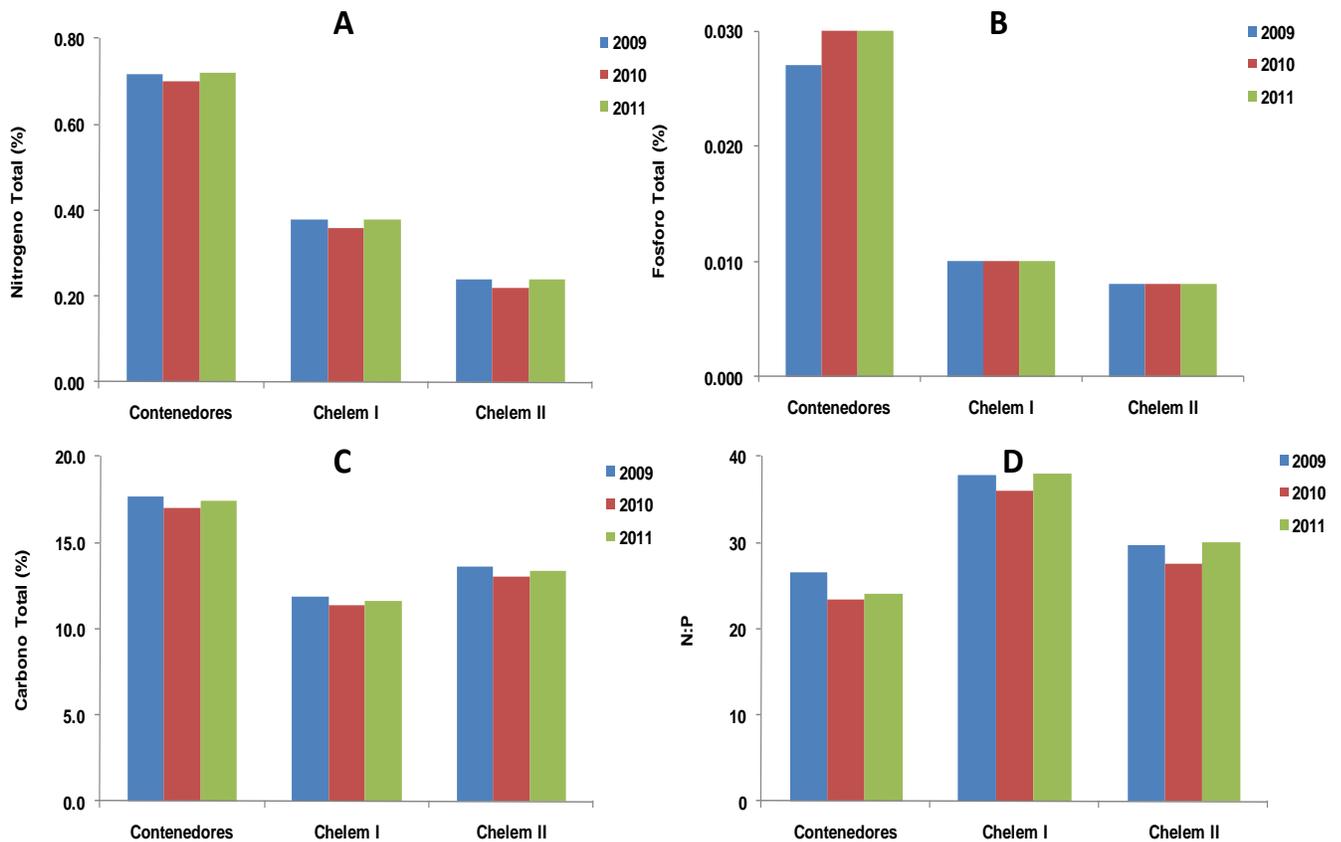


Figura I.14.3. Nutrientes en sedimentos de manglar de la localidad de Progreso de los años 2009, 2010 y 2011. Nitrógeno total (A), fósforo total (B), carbono total (C), relación N:P (D).

Dzilam: El contenido de nutrientes en los sedimentos de esta localidad no varió significativamente entre años. El Nitrógeno Total en promedio es muy similar entre sitios (0.35%). Temporalmente no hay diferencias significativas y espacialmente en el sitio de Elepetén el contenido de nitrógeno fue mayor (0.37%) para el año 2010 y 2011 (0.35%) respecto al sitio del Pueblo (0.33%). Con respecto al Fósforo Total en el 2009 el sitio de Elepetén presentó mayor concentración (0.024%) respecto al sitio del Pueblo (0.008%). En 2010 y 2011 las concentraciones en Elepetén disminuyen (0.015% y 0.011%) y en el Pueblo aumentan (0.011 y 0.015%) (Fig. I.14.4B). El contenido de Carbono Total fue similar para ambos sitios en el 2009 siendo ligeramente mayor en el sitio del Pueblo (15.8%) con respecto al sitio de Elepetén (15.1%), mientras que para el 2010 en el sitio de Elepetén presenta un ligero incremento (15.6 %), y en el sitio del Pueblo esta disminuye (15%). En 2011 la concentración de Carbono Total el sitio de Elepetén disminuyó a 15.3% y aumento en el sitio del Pueblo (15.4%) (Fig. I.14.4C). De acuerdo a la relación N:P, en el año 2009 en el sitio de Elepetén no presenta deficiencia de nutrientes con valor de 14, mientras que el Pueblo presentó un valor de 47 indicando deficiencia de fósforo. Para los años 2010 y 2011 los valores de N:P en ambos sitios es mayor 14 por lo que el nutriente limitante es el fósforo (Fig. I.14.4D).

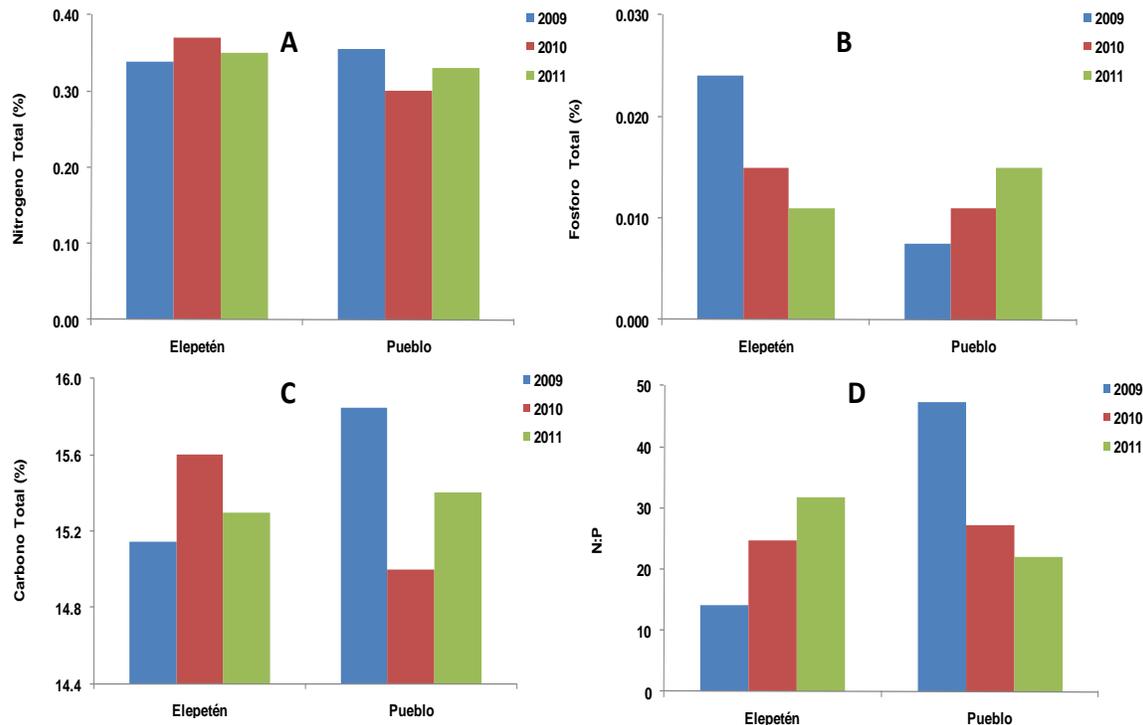


Figura I.14.4. Nutrientes en sedimentos de manglar en sedimentos de manglar en la localidad de Dzilam de los años 2009, 2010 y 2011. Nitrógeno total (A), fósforo total (B), carbono total (C), relación N:P (D).

Río Lagartos: En esta localidad se observan diferencias en el contenido de Nitrógeno Total, siendo mayor en el sitio de Río Lagartos (1.04%) y menor en el sitio del Cuyo (0.08%) durante el 2009. Para el 2010 el patrón espacial entre sitios se mantiene pero mientras que en Río Lagartos la concentración aumenta (1.3%), en El Cuyo disminuye (0.06%) (Fig. I.14.5A). Con respecto al contenido de Fósforo Total el patrón espacial de mayor concentración en el sitio de Río Lagartos respecto al El Cuyo se mantiene los tres años. Las concentraciones variaron entre 0.030 y 0.033% en Río Lagartos y 0.005 a 0.05% en El Cuyo (Fig. I.14.5B). En relación al contenido de Carbono Total en el sedimento este fue mayor en todo el periodo de estudio en el sitio del Cuyo, variando de 54% en 2010 a 57% en 2009 y 2011. En el caso de Río Lagartos las concentraciones estuvieron entre 23 y 26%, indicando muy pequeños cambios entre años (Fig. I.14.5C). De acuerdo a la relación N:P en ambos sitios el nutriente limitante es el fósforo, pero lo es más en el sitio de Río Lagartos porque sus valores están entre 30 y 40 (Fig. I.14.5D).

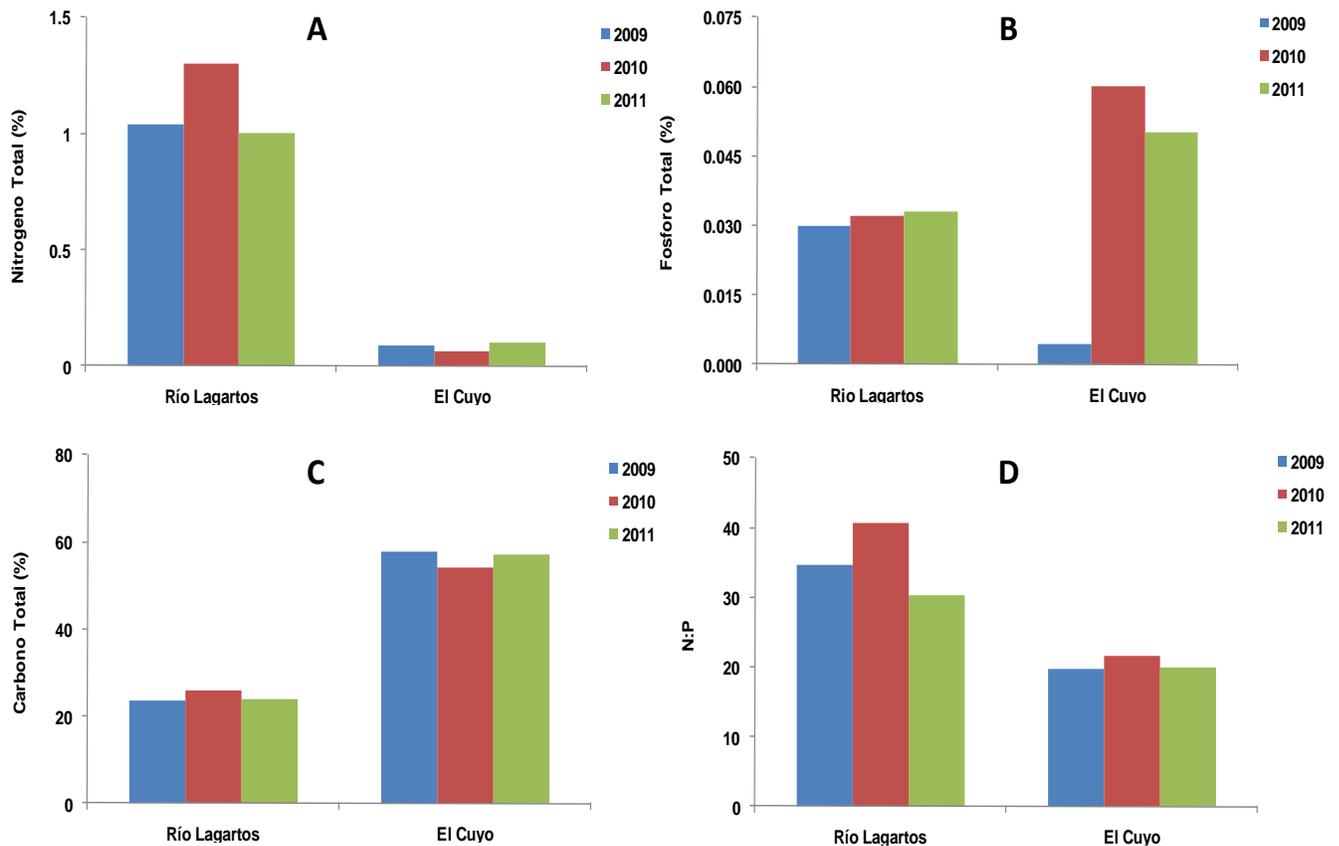


Figura I.14.5. Nutrientes en sedimentos de manglar en la localidad de Río Lagartos de los años 2009, 2010 y 2011. Nitrógeno total (A), fósforo total (B), carbono total (C), relación N:P (D).

Cancún: Con respecto al contenido de Nitrógeno Total en el sedimento durante el año 2009 en el sitio de Polígono 9, este es ligeramente mayor (1.8%) respecto al Polígono 1 (1.6%), manteniéndose este patrón para el año 2010 (Polígono 9 con 2%, Polígono 1 con 1.9%). Durante el 2011 este nutriente disminuye en el sitio de Polígono 9 (1.6%) y aumenta en el Polígono 1 (2%) (Fig. I.14.6A). El contenido de Fósforo Total en el sedimento de manglar presenta el mismo patrón espacial de mayor en el Polígono 1 (2009 = 0.050%; 2010 = 0.051%; 2011 = 0.054%) y menor en el Polígono 9 (2009 = 0.053%; 2010 = 0.047%; 2011 = 0.055%) (Fig. I.14.6B). El contenido de Carbono Total en el sedimento de manglar en ambos Polígonos fue similar, variando entre 26.4% en 2011 a 26.9% en 2009 en el Polígono 1, y entre 27.8% en 2009 y 28.5% en 20011 en Polígono 9 (Fig. I.14.6C). La relación N:P indica que es el fósforo el nutriente limitante en esta localidad (Fig. I.14.6D). El valor más alto se registró en el sitio de Polígono 9 en el año 2010.

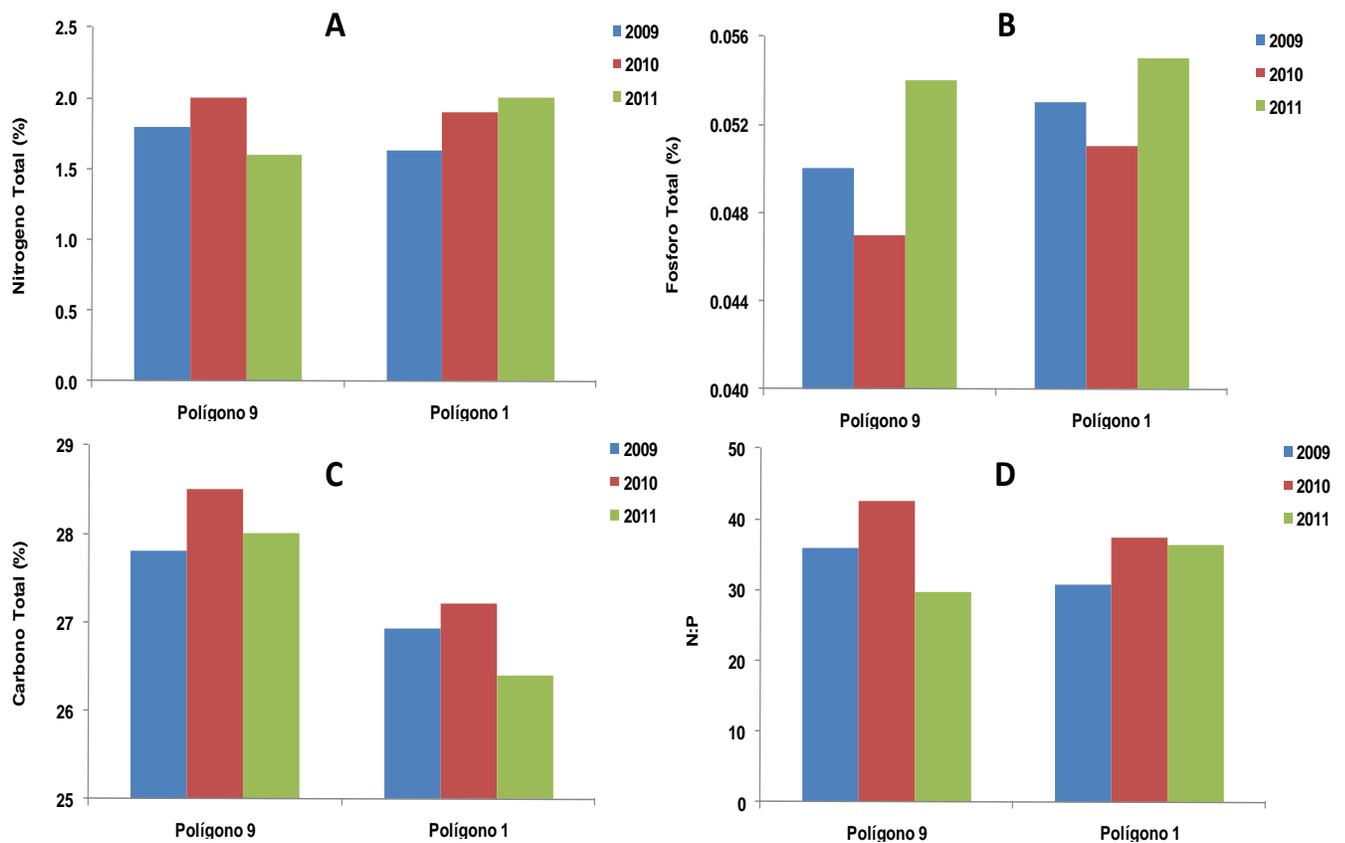


Figura I.14.6. Nutrientes en sedimentos de manglar en la localidad de Cancún de los años 2009, 2010 y 2011. Nitrógeno total (A), fósforo total (B), carbono total (C), relación N:P (D).

Puerto Morelos: Con respecto al contenido de Nitrógeno Total en el sedimento de manglar durante el 2009 fue mayor en el sitio del Cid (2.3%) y menor en el sitio de la Ceiba (1.4%). Para el año 2010 en el sitio de la Ceiba se presenta una ligera disminución (1.2%), mientras que en el sitio del Cid aumenta (1.9%). Durante el año 2011 el valor más alto fue en el sitio del Cid (2.6%) y el más bajo en el sitio de la Ceiba (1.5%) (Fig. I.14.7A). El contenido de Fósforo Total fue mayor en el sitio de la Ceiba (0.048%) y menor en el del Cid (0.040%). Para 2010 y 2011 los valores son mayores en el Cid (0.042 y 0.038% respectivamente) que en la Ceiba (0.039 y 0.031%) (Fig. I.14.7B). El contenido de Carbono Total fue mayor en el sitio del Cid (43%) y menor en el sitio de la Ceiba (27.6%), este mismo comportamiento se presenta con pequeñas variaciones en las concentraciones (Fig. I.14.7C). En esta localidad se observa de acuerdo a la relación N:P que hay una alta limitación de fósforo, observándose valores Redfield de hasta 69 en el Cid en 2010, y menores de 30 en la Ceiba tanto en 2009 como 2010. (Fig. I.14.7D). El sitio del Cid presentaba un bajo desarrollo estructural por muerte del manglar debido al impacto del huracán Wilma.

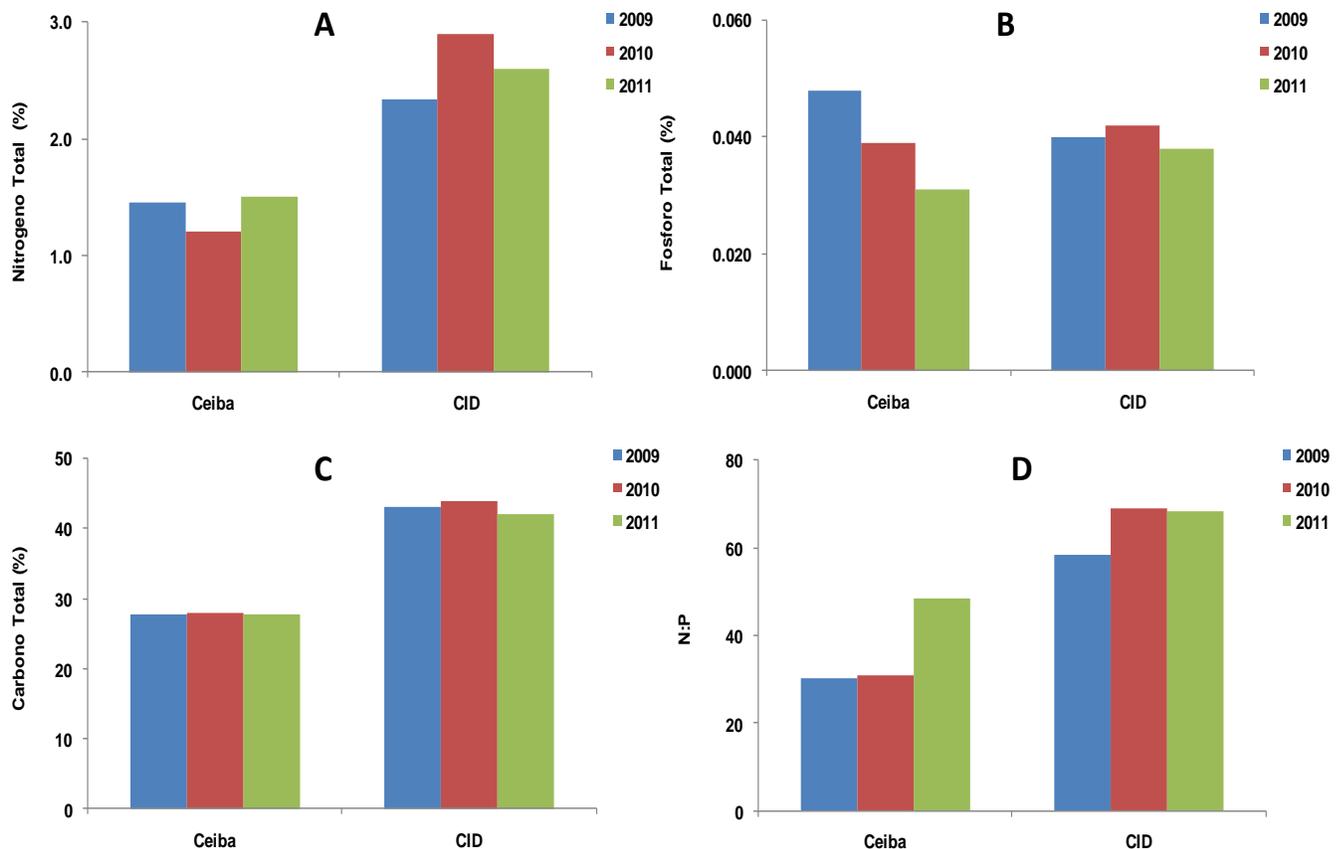


Figura I.14.7. Nutrientes en sedimentos de manglar en la localidad de Puerto Morelos de los años 2009, 2010 y 2011. Nitrógeno total (A), fósforo total (B), carbono total (C), relación N:P (D).

Sian Ka'an: El contenido de Nitrógeno Total es en promedio ligeramente mayor en el sitio del Playón (1.7%) que en el sitio de Cayo Culebras (1.6%) durante el año 2009. Para el año 2010 se presenta una disminución en ambos sitios presentando el mismo comportamiento (1.5% en El Playón y 1.2% en Cayo Culebras). En el muestreo de 2011 ambos sitios presentan el mismo contenido de nitrógeno (1.9%) (Fig. I.14.8A). El contenido de Fósforo Total en el sedimento es mayor en el sitio de Cayo Culebras para todos los años (2009 = 0.07%, 2010= 0.06%; 2011= 0.07%) respecto al de El Playón (2009 = 0.04%, 2010= 0.03%; 2011= 0.02%) (Fig.I.14.8B). El contenido de Carbono Total en el sedimento es ligeramente mayor en el sitio de El Playón (2009 = 38.4%, 2010= 36%; 2011= 38.7%), y menor en el sitio de Cayo Culebras (2009 = 33.4%, 2010= 33%; 2011= 33.7%) durante el periodo de estudio. (Fig. I.14.8C). De acuerdo a la relación N:P, ambos sitios están siendo limitados por fósforo, sin embargo, es mayor la limitación en el sitio del El Playón con valores de hasta 95 como en 2011 (Fig. I.14.8D).

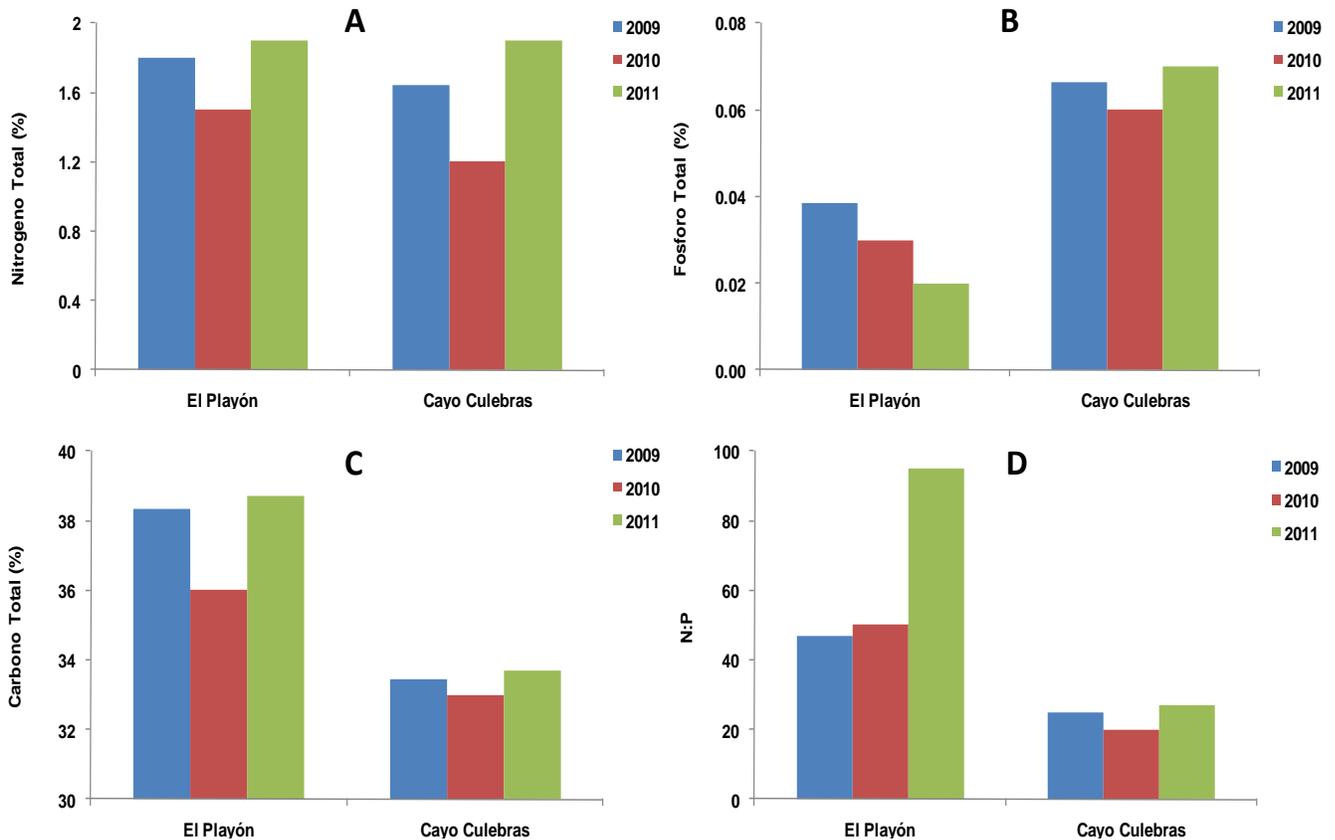


Figura I.14.8. Nutrientes en sedimentos de manglar de la localidad de Sian Ka'an de los años 2009, 2010 y 2011. Nitrógeno total (A), fósforo total (B), carbono total (C), relación N:P (D).

Xcalak: El contenido de Nitrógeno Total en el sedimento de manglar durante los tres años de estudio fue mayor en el sitio de Portilla (2009 = 0.04%, 2010= 0.03%; 2011= 0.02%) y menor en el sitio del Pueblo (2009 = 0.04%, 2010= 0.03%; 2011= 0.02%). Las variaciones interanuales fueron muy pequeñas (Fig. I.14.9A). El contenido de Fósforo Total en el sedimento fue mayor en el sitio de Portilla durante todo el periodo de estudio (2009 = 0.04%, 2010= 0.03%; 2011= 0.04%) y menor en el Pueblo (2009 = 0.01%, 2010= 0.02%; 2011= 0.01%) (Fig. I.14.9B). El Carbono Total en el sedimento fue mayor en el sitio de Portilla durante todos los años, registrándose el mayor contenido en el 2009 (24%) y el menor en el 2010 (22%), mientras que en el sitio del Pueblo se presentó el menor contenido de carbono durante todos los años observándose valores de 13% (2010) hasta 14% (2011) (Fig. I.14.9C). Para ambos sitios el fósforo es el nutriente limitante de acuerdo a la relación N:P, y siendo mayor esta deficiencia en el sitio del Pueblo con valores de hasta 79 (Fig. I.14.9D).

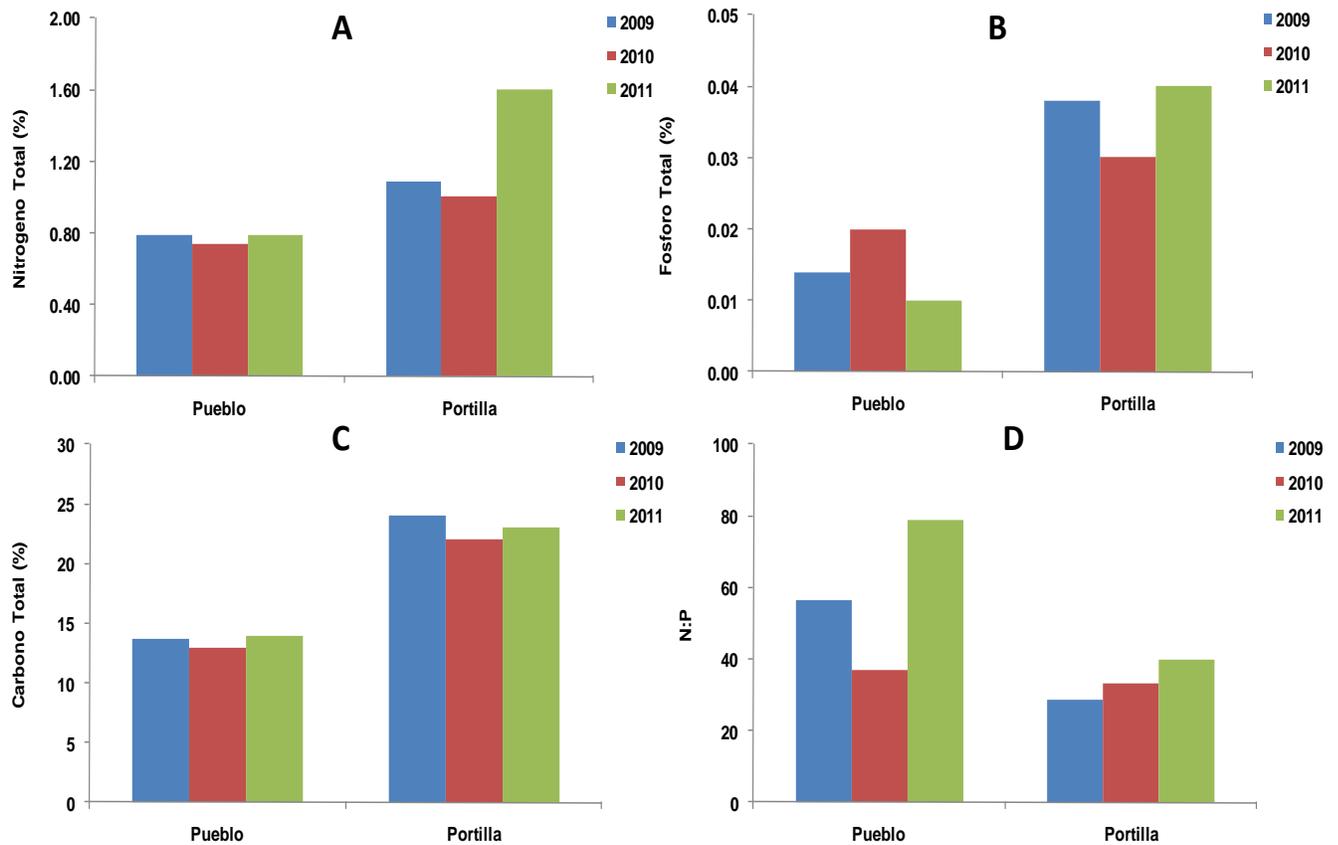


Figura I.14.9. Nutrientes en sedimentos de manglar de la localidad de Xcalak de los años de 2009, 2010 y 2011. Nitrógeno total (A), fósforo total (B), carbono total (C), relación N:P (D).

Chetumal: El contenido de Nitrógeno Total en el sitio de Río Hondo fue mayor durante todo el periodo de muestreo (2009 = 1.95%, 2010= 1.6%; 2011= 2%) respecto al sitio de Tamalcab (2009 = 1.1%, 2010= 1%; 2011= 1.8%) no habiendo diferencias importantes interanualmente (Fig. I.14.10A). El contenido de Fósforo Total fue también mayor en sedimentos de Río Hondo (2009 = 0.07%, 2010= 0.06%; 2011= 0.08%) en relación a Tamalcab (2009 = 0.02%, 2010= 0.03%; 2011= 0.03%) con tendencia al aumento hacia el final del periodo de muestreo (Fig. I.14.10B). Con respecto al contenido de Carbono Total este es mayor en el sitio de Río Hondo y de forma significativa (2009 = 26.1%, 2010= 26.8%; 2011= 26%) respecto a los valores registrados en Tamalcab (2009 = 1.1%, 2010= 1.3%; 2011= 1.1%), y sin observarse variaciones interanuales (Fig. I.14.10C). De acuerdo a la relación N:P en ambos sitios hay déficit o limitación de fósforo, siendo mayor está en el sitio de Tamalcab con valores de hasta 60 (Fig. I.14.10D).

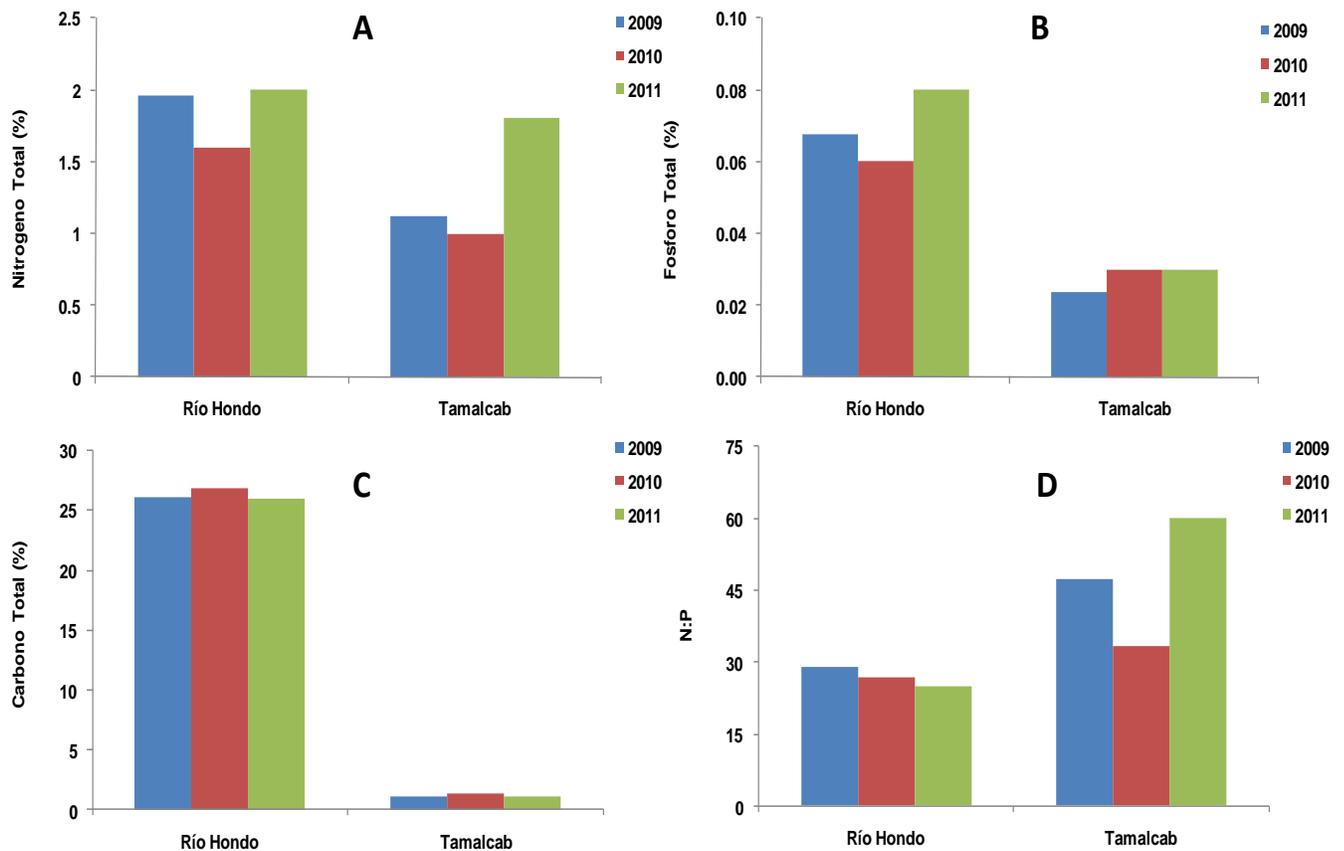


Figura I.14.10. Nutrientes en sedimentos de manglar en la localidad de Chetumal de los años 2009, 2010 y 2011. Nitrógeno total (A), fósforo total (B), carbono total (C), relación N:P (D).

II. RESULTADOS DE LA FASE DE MONITOREO

II.1.- CLIMA: PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA AMBIENTAL.

El clima general de la PY se caracteriza por ser cálido con lluvias en verano y escasas el resto del año (García y Mosiño, 1992). El patrón está asociado a la variación de la precipitación reconociéndose tres épocas climáticas: secas (marzo-mayo), lluvias (junio-octubre) y nortes noviembre-febrero). Los vientos dominantes son del sureste ($0-15 \text{ km h}^{-1}$), sin embargo, entre noviembre y febrero se presentan vientos intensos entre $50-90 \text{ km h}^{-1}$ llamados localmente como “nortes”, ya que están asociados con frentes polares. Las variaciones en cada localidad están principalmente determinadas por la abundancia de la precipitación habiéndose identificado un patrón de menores precipitaciones en el norte y mayores en el sur de la Península. Los huracanes son frecuentes durante la última parte del verano y el comienzo del otoño (agosto-octubre e incluso noviembre). Los valores que se describen a continuación en relación a la precipitación son los acumulados por mes, y las temperaturas son los promedios de mes.

Celestún: En esta localidad la precipitación media anual es de 760 mm. En el año 2009 se observó la menor temperatura durante el mes de enero (22.9 °C) y la más alta durante el mes de julio (29.5 °C), mientras que en el mes de noviembre se presentó la mayor precipitación con 178.5 mm y la menor en marzo con valor de 1.51 mm. En 2010 la mayor temperatura se registró en el mes de junio (29.29 °C) y la menor en febrero (22.25 °C). Con respecto a la precipitación la menor se registró en el mes de enero (5.61 mm) y la mayor durante el mes de agosto con 183.4 mm (Fig. II.1.1). Para el 2011 se presentó disminución en la precipitación con respecto al 2010. El mes de mayo fue un mes seco al no observarse precipitación con respecto al 2009 y 2010. La mayor precipitación se registró en el mes de junio con 182.4 mm. Respecto a la temperatura, esta fue menor en el mes de enero con un valor de 23.3 °C, mientras que la mayor fue durante abril con 29.01°C.

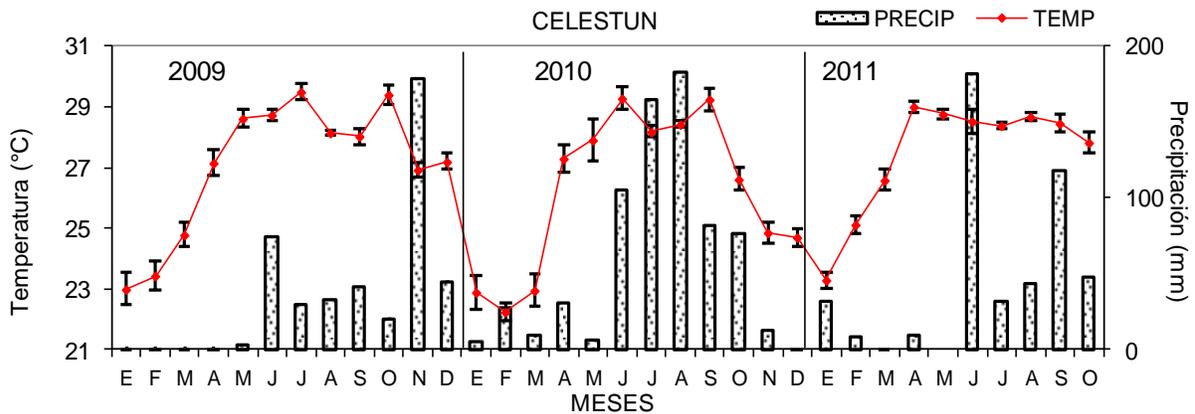


Figura II.1.1. Distribución de precipitación y temperatura en la localidad de Celestún.

Sisal: La precipitación media anual en esta localidad es de 598 mm. Durante el año 2009 la mayor precipitación se registró en el mes de noviembre (147 mm), la menor precipitación se observó en el mes de marzo (1.35 mm). La temperatura más alta se presentó durante este año (29.2 °C) en el mes de septiembre. En el mes de enero se observó la menor temperatura (22.4 °C). En 2010 la temperatura más alta se registró en septiembre (29.1 °C) y la menor en enero con un valor de 22.5 °C. En el mes de diciembre se observó la menor precipitación (0.6 mm) y la mayor durante agosto con 192.5 mm (Fig. II.1.2). El mes de enero se mantiene con la menor temperatura durante 2011 con un valor de 23 °C, aunque se observó incremento con respecto a 2009 y 2010. La más alta temperatura se presentó en el mes de mayo (28.8 °C), y la mayor precipitación se registró en junio con 183.1 mm, mientras que mayo fue un mes seco (Fig. II.1.2).

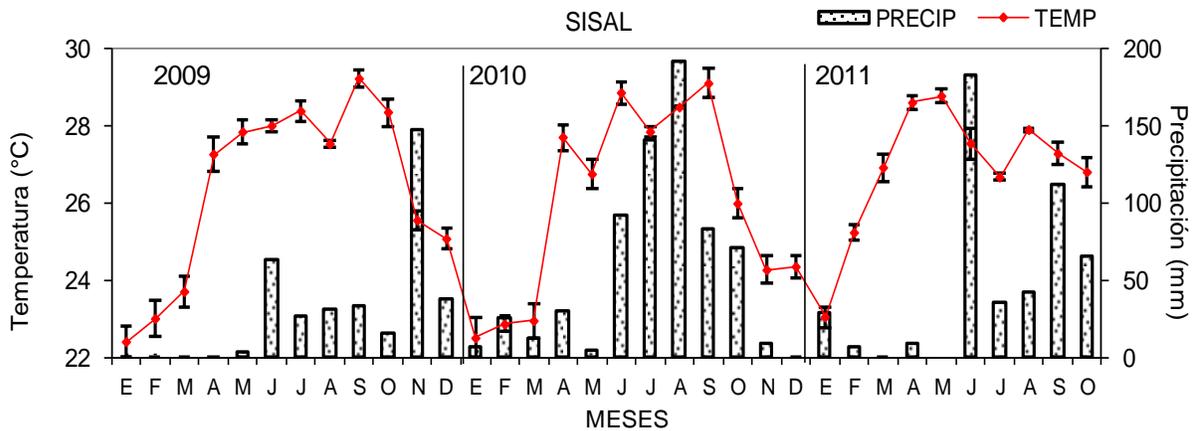


Figura II.1.2. Distribución de precipitación y temperatura en la localidad de Sisal.

Progreso: La precipitación promedio anual de esta localidad es de 444 mm. Durante el año 2009, en el mes de noviembre se registró la mayor precipitación con 178.5 mm correspondiendo al inicio de la temporada de nortes, mientras que la menor precipitación se presentó durante el mes de marzo (1.51 mm). En el mes de enero se observó una temperatura promedio de 23.1 °C siendo el valor más bajo durante este año. El mayor promedio de temperatura se registró en mayo con 29.3 °C, correspondiendo a la temporada de secas. En el año 2010 la mayor temperatura promedio fue de 28.9 °C durante el mes de junio, y la menor en el mes de febrero (22.8 °C). En relación a la precipitación, el mes de agosto fue el mes más lluvioso con una precipitación media de 200.8 mm, el mes de diciembre presento la menor precipitación con un valor de 0.42 mm (Fig. II.1.3). Para el 2011 la precipitación disminuye en todos los meses, siendo el año que menor lluvias presentó para esta localidad, sin embargo, el mes de mayor precipitación fue junio (199.8 mm) y el menor el mes de mayo. La mayor temperatura se presentó en el mes de mayo (29.1 °C), el cual fue un mes seco y la menor en enero con un valor de 23.56 °C.

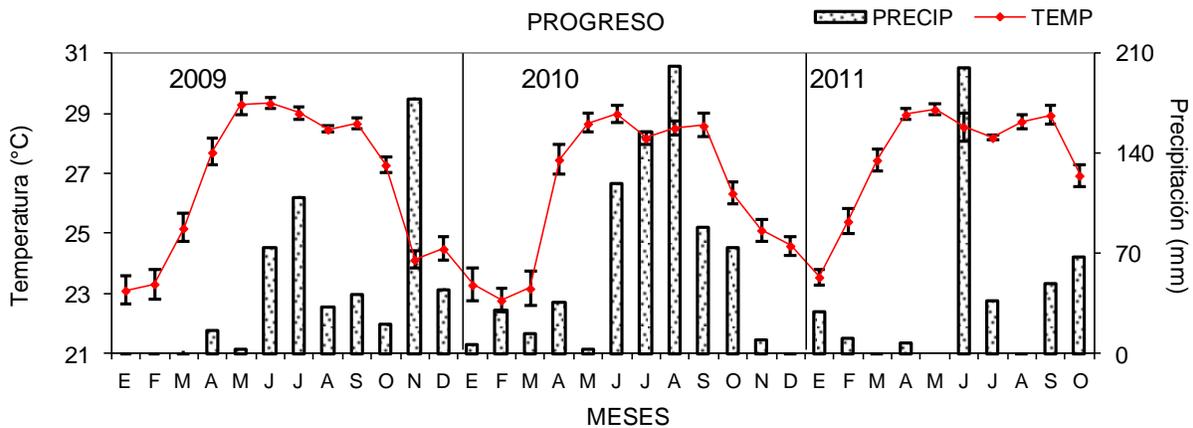


Figura II.1.3. Distribución de precipitación y temperatura en la localidad de Progreso.

Dzilam: En esta localidad la precipitación promedio anual es de 970 mm. Las mayores precipitaciones se observaron en los meses de junio en el año 2009 (214.5 mm), julio en el 2010 (262.55 mm) y junio en el 2011 (115.30 mm), los cuales corresponden a la temporada de lluvias. Las menores precipitaciones se presentaron en enero de 2009 con 1.61 mm, diciembre de 2010 con 5.03 mm y en 2011 sin precipitaciones los meses de abril y mayo. Las menores temperaturas se presentaron en el mes de enero de 2009 con 22.64 °C, en 2010 en febrero con un valor de 22.08 °C y en enero de 2011 con 22.31 °C. En los meses de septiembre de 2009 (29.5 °C), junio del 2010 (29.9 °C) y abril de 2011 (28.68 °C) se observaron las mayores temperaturas (Fig. II.1.4). La precipitación en 2011 fue menor con respecto a los otros años.

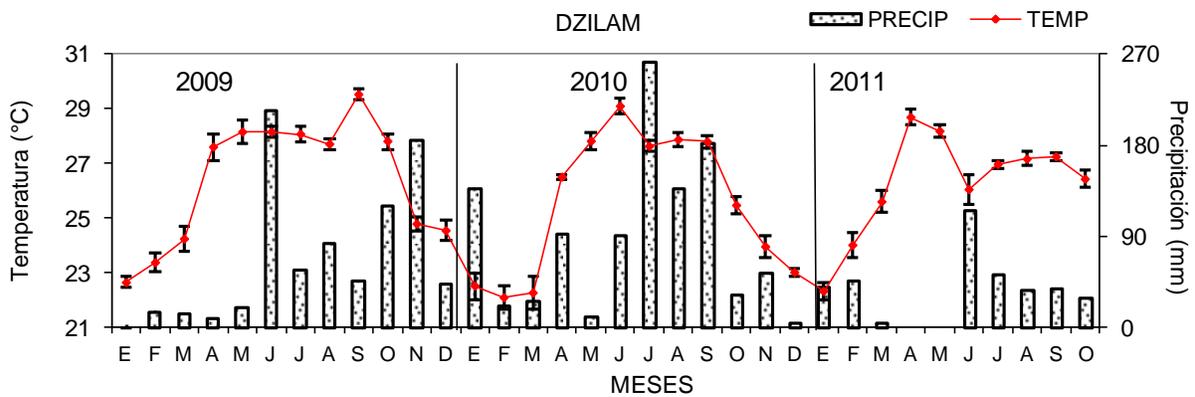


Figura II.1.4. Distribución de precipitación y temperatura en la localidad de Dzilam.

Río Lagartos: La precipitación media anual para esta localidad es de 413 mm. Las mayores precipitaciones se registraron en el mes de noviembre de 2009 (173 mm), en julio del 2010 (245.5 mm), y en el mes de septiembre del 2011 (195.7 mm). Con respecto a la temperatura, los mayores valores se observaron durante el mes de septiembre de 2009 (29.6 °C), en junio del 2010 (28.97 °C) y en agosto del 2011 (28.3 °C). En enero del 2009 y 2011 se observaron las menores temperaturas para esta localidad (21.84 °C y 21.98 °C). Durante el año 2009 en el mes de marzo se presentó la menor temperatura (23.1 °C) así como la menor precipitación (1.0 mm) (Fig. II.1.5). En el año 2010 en el mes de diciembre se registró la menor precipitación con un valor de 4 mm, observándose que este año fue el más lluvioso. Para el año 2011 la precipitación es menor con respecto a los demás años, en el mes de mayo no se presentaron lluvias (Fig. II.1.5).

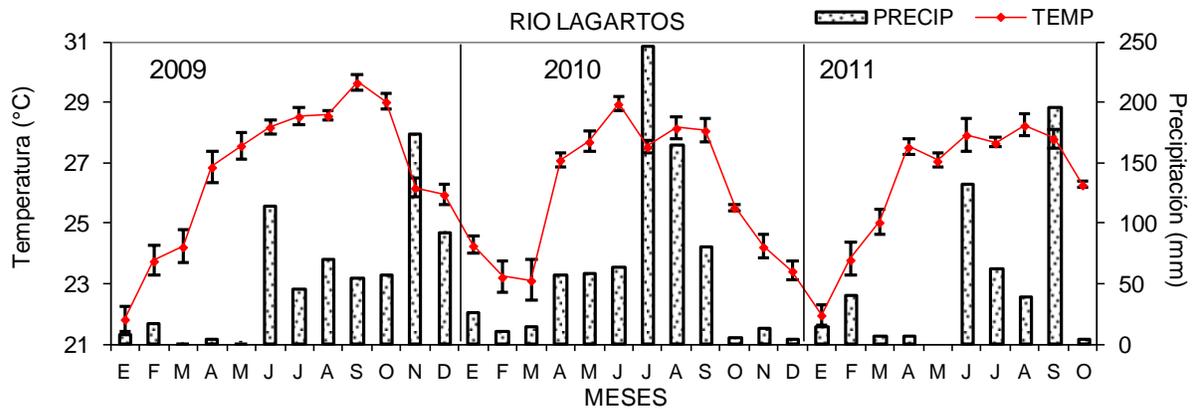


Figura II.1.5. Distribución de precipitación y temperatura en la localidad de Río Lagartos.

Cancún: En esta localidad la precipitación promedio anual es de 1,000 mm. Durante el año 2009 la mayor temperatura se registró en el mes de agosto (30.4 °C), mientras que en el mes de enero se observó la menor temperatura con 23.5 °C. Con respecto a la precipitación en el mes de noviembre se presentó la mayor (259 mm) y en el mes de abril la menor con 1.71 mm. En el 2010 la menor temperatura se presentó en el mes de diciembre con valor promedio de 24.3 °C y la mayor en agosto (29.3 °C). La mayor precipitación se registró en el mes de abril con un valor de 292.5 mm y la menor en diciembre (4.7 mm) (Fig. II.1.6), observándose que el año 2010 fue un año lluvioso. Durante el año 2011 las mayores precipitaciones se registraron en los meses de junio y julio (183.5 mm y 187.03 mm), y las menores en abril y mayo (0.01 mm y 0.82 mm). La mayor temperatura se presentó en el mes de mayo (28.9 °C) y la menor en el mes de enero con un valor de 23.78 °C.

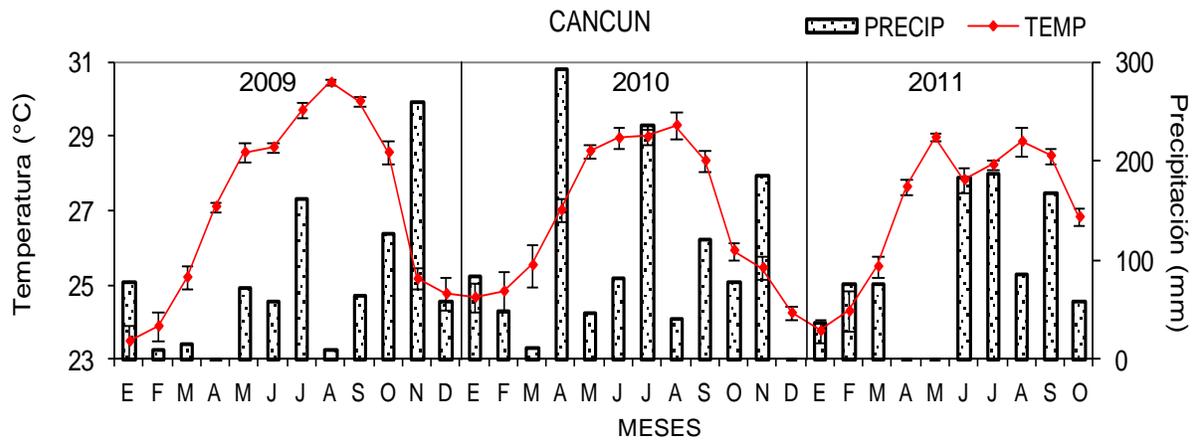


Figura II.1.6. Distribución de precipitación y temperatura en la localidad de Cancún.

Puerto Morelos: La precipitación media anual de la localidad de Puerto Morelos es de 1041 mm. Durante los años 2009 y 2010 el mes de julio presento las mayores precipitaciones con valores de 195.1 y 280.9 mm, y en el mes de junio para el año 2011 (325.5 mm). En el mes de marzo del 2009 (0.5 mm) y enero del 2010 (0.8 mm) se registraron las menores precipitaciones, en los meses de abril y mayo del 2011 no se presentaron lluvias. Con relación a la temperatura en el mes de septiembre del 2009 (29.2 °C), agosto del 2010 (29.69 °C) y 2011 (28.8 °C) se registraron los mayores valores y en los meses de enero del 2009, abril del 2010 y enero del 2011 se observaron los menores valores (23 °C, 22.22 °C y 24.2 °C) respectivamente (Fig. II.1.7).

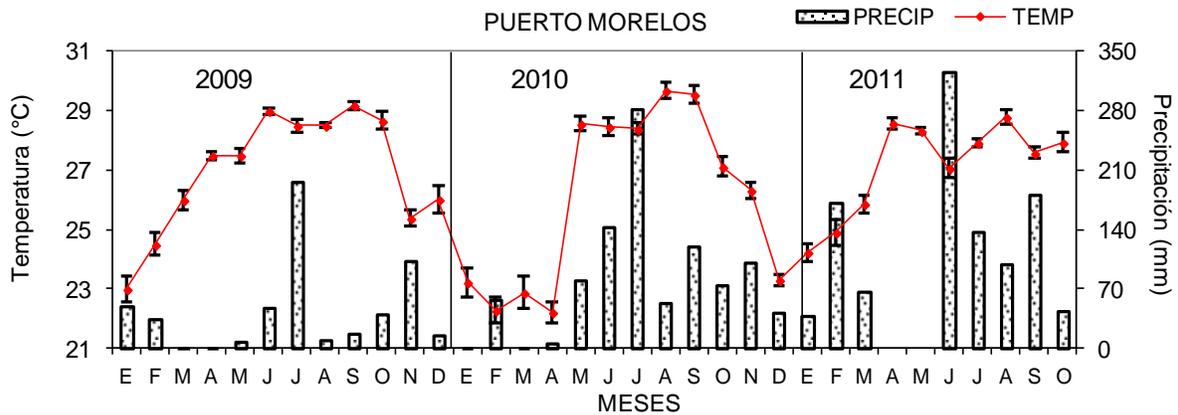


Figura II.1.7. Distribución de precipitación y temperatura en la localidad de Puerto Morelos.

Sian Ka'an: En esta localidad la precipitación promedio anual es de 1,300 mm. La región está comprendida dentro de la zona ciclónica tropical del Caribe. Durante el año 2009 en el mes de noviembre se registró la mayor precipitación (141 mm), ésta aumentó durante el 2010 presentándose la más alta en julio (382.2 mm). La precipitación durante el 2011 fue menor respecto al 2009 y 2010 en el mes de junio (183.2 mm). Las menores precipitaciones se registraron en marzo de 2009 con un valor de 3.51 mm, en 2010 en el mes de marzo con 8.5 mm y en mayo con 3.62 mm. Con respecto a la temperatura en el mes de septiembre de 2009 se observó la mayor temperatura (30.5 °C), en 2010 fue en junio (30.4 °C), mientras que en el 2011 la temperatura promedio más alta se presentó en el mes de agosto (29.9 °C) y las menores en los meses de enero del 2009 (23.4 °C) y 2010 (24.3 °C), y en febrero del 2011 (23.8 °C) (Fig. II.1.8).

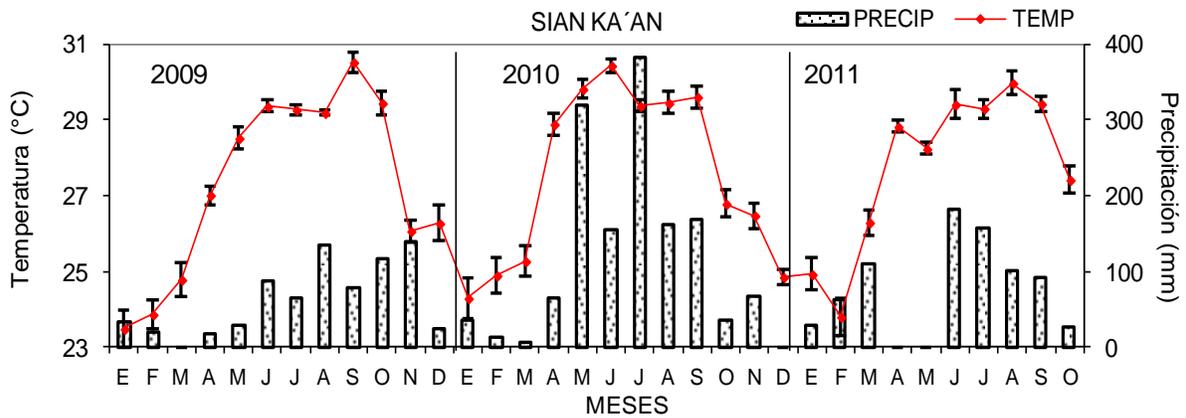


Figura II.1.8. Distribución de precipitación y temperatura en la localidad de Sian Ka'an.

Xcalak: La precipitación media anual en esta localidad es de 1500 mm. La mayor precipitación en el año 2009 se registró en el mes de noviembre (149.6 mm), en el año 2010 durante el mes de julio (376.81 mm), siendo la más alta durante el todo el monitoreo. En el año 2011 la mayor precipitación se presentó en junio (187.1 mm) y las menores durante el meses de marzo de 2009 (3.7 mm), diciembre 2010 (2.5 mm) y abril 2011 (3.6 mm). Con respecto a la temperatura, la menor se observó en el mes de enero 2009 (24.8 °C), en marzo 2010 con 23.83 °C y en enero del 2011 con un valor de 24.5°C. Las más altas se registraron en los meses de julio del 2009 (30.7 °C), mayo de 2010 (31.6 °C) y mayo de 2011(30.2 °C) (Fig. II.1.9).

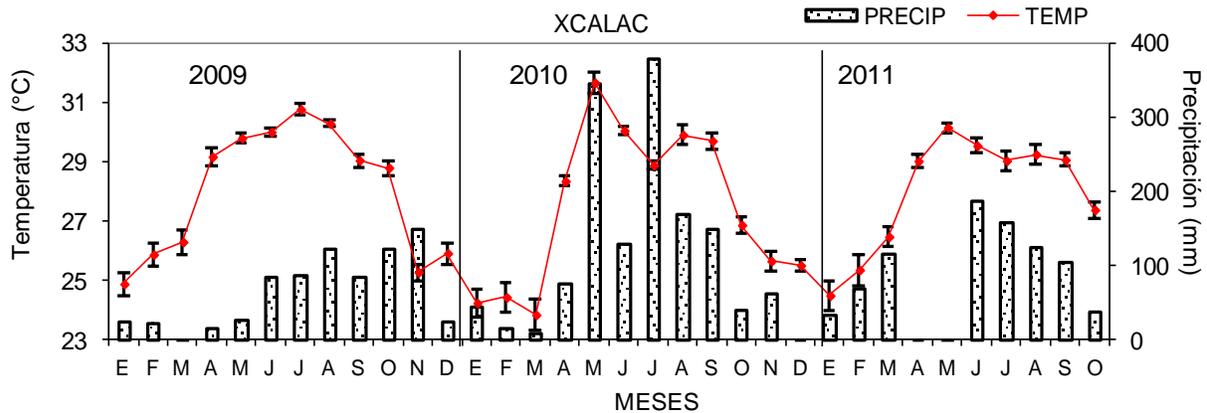


Figura II.1.9. Distribución de precipitación y temperatura en la localidad de Xcalak.

Chetumal: La precipitación promedio anual es de 1290 mm. En el año 2009 la mayor precipitación se registró en el mes de junio (369 mm), en el 2010 se presentó en el mes de septiembre (379.7 mm), y en el 2011 la mayor precipitación se observó en el mes de junio (287.8 mm), mientras que en el mes de abril 2009 (26 mm), diciembre 2010 (3.9 mm) y abril 2011 (0.81 mm) se presentaron las menores precipitaciones (Fig. II.1.10). Con respecto a la temperatura los meses más calurosos fueron julio 2009 (30.7 °C), junio 2010 (30.75 °C) y agosto 2011(30.44 °C), mientras que el mes de enero fue el más frío de los tres años, 24.6 °C para 2009, 24.9 °C en 2010 y 25.2 °C en el 2011, (Fig. II.1.10).

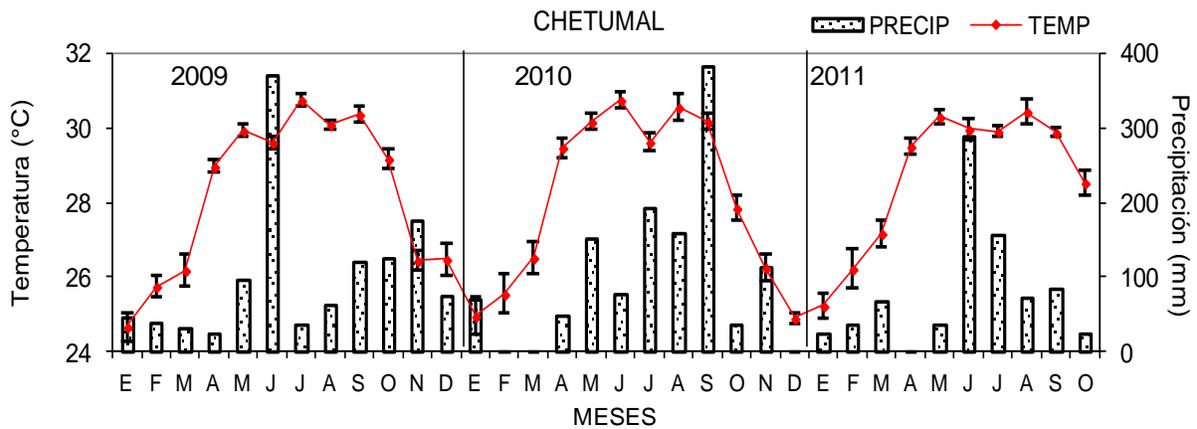


Figura II.1.10. Distribución de precipitación y temperatura en la localidad de Chetumal.

II.2.-SALINIDAD INTERSTICIAL:

Celestún: El sitio de la zona Interna presentó la salinidad intersticial más baja con respecto a los demás sitios durante todo el año 2009, observándose la menor salinidad en el mes de enero (17 g/kg), y la más alta en el mes de abril (32 g/kg) (Fig. II.2.1A). En el sitio del Puente la salinidad aumenta con respecto a la zona Interna, observándose en el mes de septiembre la salinidad más alta (42.5 g/kg) durante ese periodo de muestreo y las más baja en enero (25.5 g/kg). El sitio de la Boca por recibir los aportes de agua marina registró las salinidades más altas con respecto a los demás sitios. En el mes de mayo se presentó la mayor salinidad (63 g/kg), y la menor durante el mes de noviembre (38 g/kg) (Fig.II.2.1C). En el sitio Interna en enero de 2010 la salinidad disminuye (11.7 g/kg), y esta aumenta para el siguiente mes (26.5 g/kg), el resto de los meses la salinidad se mantiene entre 24.9 a 26 g/kg (Fig. II.2.1A). Para el 2011 la salinidad más baja se registró en el sitio de la zona Interna presentándose en el mes de julio con el menor valor de 13.5 g/kg. En el sitio del Puente la salinidad intersticial aumenta hasta 48.4 g/kg (agosto) siendo el valor más alto con respecto a los demás años. En la zona de la Boca se observaron las salinidades más altas con respecto a los demás sitios presentándose salinidades de 30.5 g/kg (marzo) a 59.1 g/kg (junio) (Fig. II.2.1 C). En octubre de 2011 la salinidad fue más alta en el sitio de la zona Interna (37.1 g/kg) respecto al sitio del Puente siendo el valor más alto con respecto a los demás años (Fig. II.2.1B).

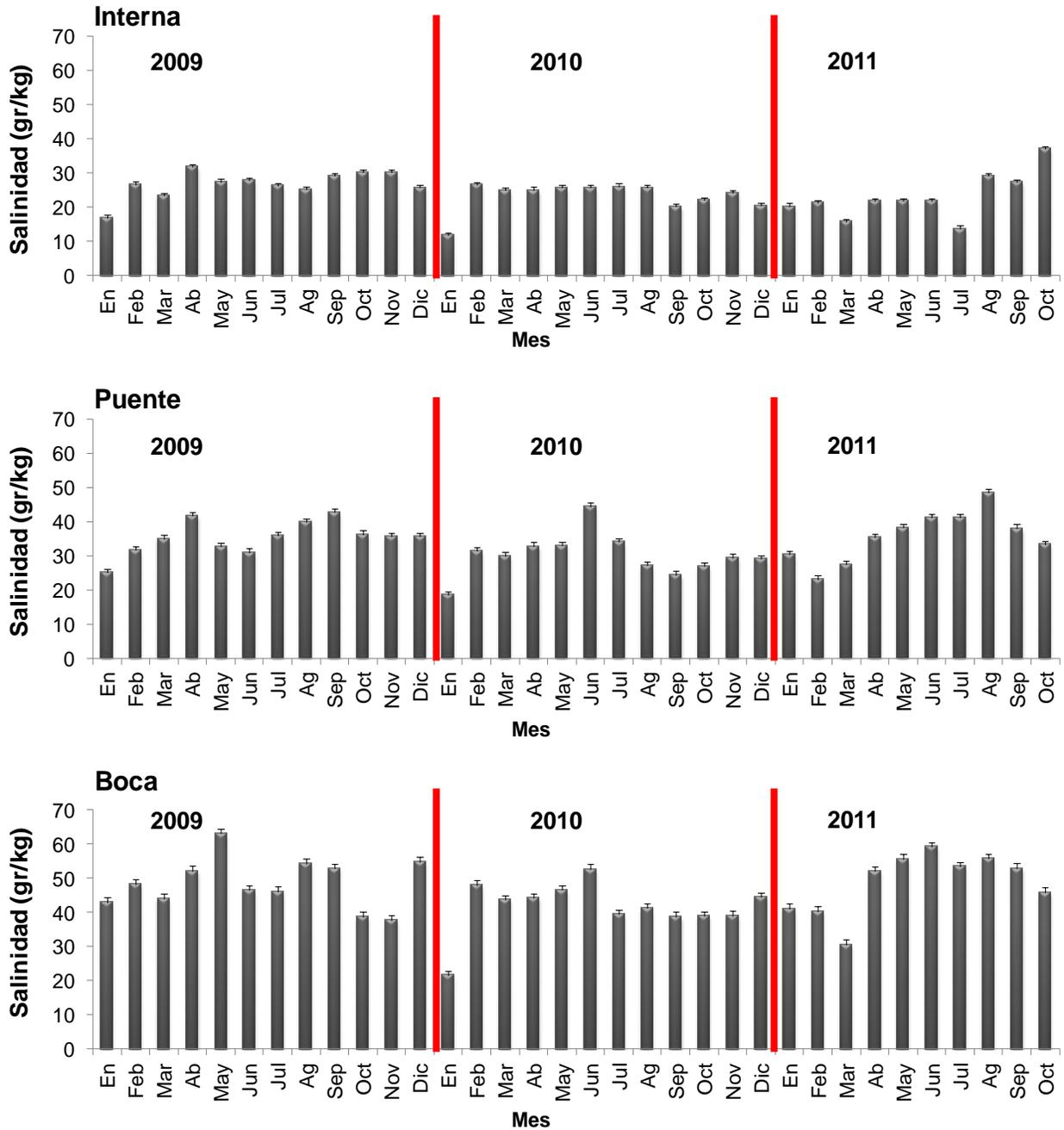


Figura II.2.1. Salinidad intersticial de los 3 sitios de la localidad de Celestún.

Sisal: El sitio de Pecis III en 2009 se observaron las salinidades más altas con respecto a Pecis I, registrándose esta en el mes de julio (65.7 g/kg). En el mes de agosto se observó la salinidad más baja (27.8 g/kg) del periodo de muestreo (Fig. II.2.2A). En el sitio de Pecis I las salinidades más bajas se observaron durante los meses de mayo y junio (23.9 y 23.4 g/kg), la salinidad más alta se presentó durante el mes de octubre (42.1 g/kg) (Fig. II.2.2A). Para el año 2010 en el sitio de Pecis I la salinidad más alta se registró en el mes de mayo (38.1 g/kg), mientras que en el mes de noviembre se observó la menor salinidad (13.8 g/kg) (Fig. II.2.2A). El sitio de Pecis III registró las salinidades más altas con respecto al sitio de Pecis I, observándose altos valores en los meses de abril a mayo (56.5 g/kg) (Fig. II.2.2B). Para el año del 2011 en el sitio de Pecis I la salinidad intersticial más baja se presentó en el mes de enero (15.4 g/kg), mientras que las salinidades más altas se presentaron en los meses de agosto y octubre (30.4 y 30.8 g/kg). En el sitio de Pecis III se registraron las mayores salinidades con respecto al sitio de Pecis I observándose valores de hasta 59.1 g/kg (Fig. II.2.2B).

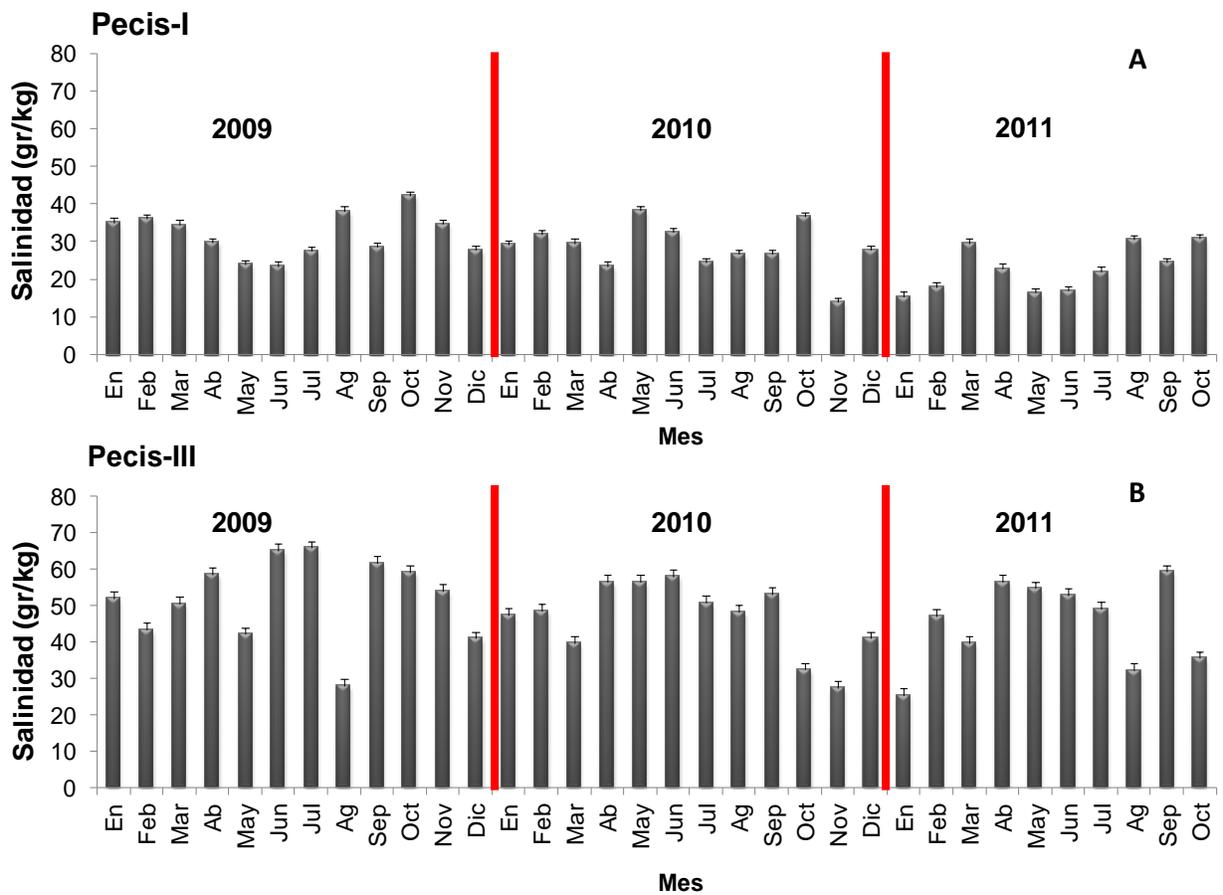


Figura II.2.2. Salinidad intersticial de los 2 sitios de la localidad de Sisal.

Progreso: En el 2009 el sitio de Chelem I registró las salinidades más altas con respecto a los demás sitios, observándose los valores altos en los meses de junio (73.3 g/kg) y septiembre (73.1 g/kg), mientras que la salinidad más baja se registró en diciembre (27.1 g/kg) (Fig. II.2.3A). En el sitio de Chelem II durante el mes de diciembre se registró la salinidad promedio más baja (39.4 g/kg), y en junio se observó la salinidad más alta (59.7 g/kg). El sitio de Contenedores presentó las salinidades más bajas durante el periodo de monitoreo, observándose la menor durante el mes de enero (36.6 g/kg), y las más alta en septiembre (47.4 g/kg) (Fig. II.2.3C). Para el siguiente año en el sitio de Chelem I la salinidad intersticial más alta se registró en octubre (70 g/kg), y en julio la salinidad disminuyó a 43.6 g/kg. En el sitio de Chelem II la salinidad más alta se presentó en julio (62.6 g/kg), en el sitio de Contenedores la salinidad menor se presentó en enero (33.2 g/kg), mientras que en marzo se registró al salinidad más alta (48.9 g/kg) (Fig. II.2.3C). Para 2011 el sitio de Chelem I sigue presentando las salinidades más altas con respecto a los demas sitios, excepto en el mes de septiembre cuando el valor más alto se observó en el sitio de Chelem II (72.8 g/kg). En Chelem I la salinidad intersticial más alta se presentó en el mes de junio (71.9 g/kg). Las salinidades más bajas que se observaron durante todo el periodo de muestreo fueron en el sitio de Contenedores con valores de 37.2 g/kg (Febrero) a 47.6 g/kg (Julio) (Fig. II.2.3C).

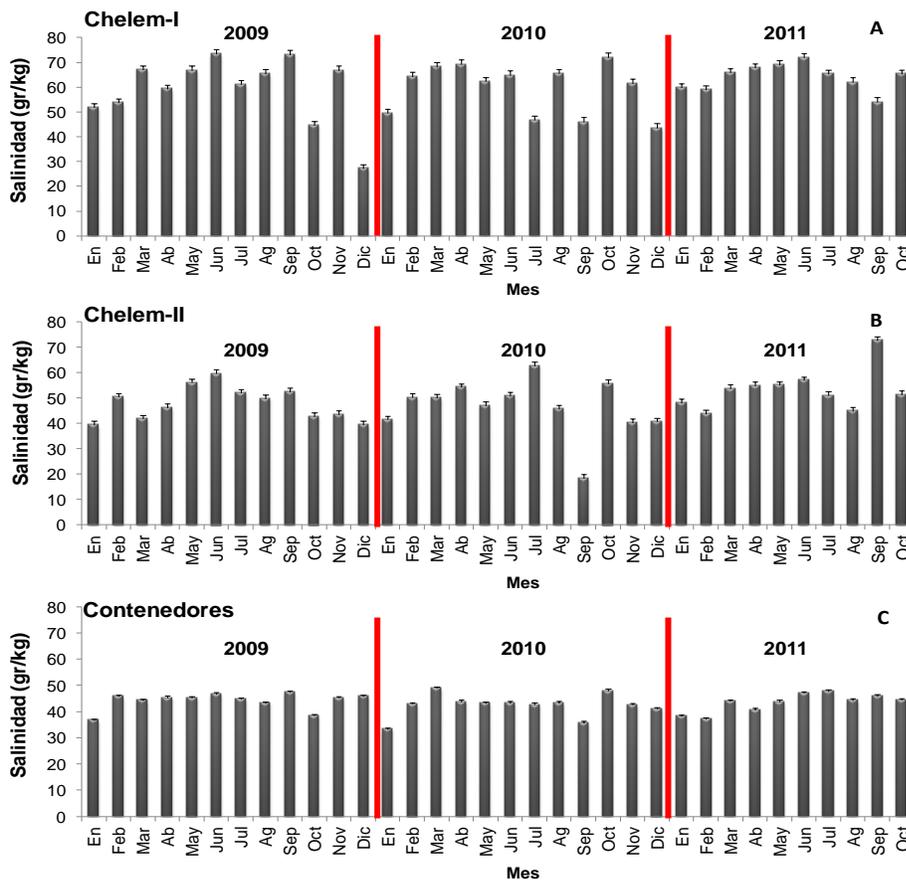


Figura II.2.3. Salinidad intersticial de los 3 sitios de la localidad de Progreso.

Herrera-Silveira, J.A., Teutli-Hernández, C., Zaldívar-Jiménez, A., Pérez-Ceballos, R., Cortés-Balán, O., Osorio-Moreno, I., Ramirez-Ramirez, J., Caamal-Sosa, J., Andueza-Briceño M.T., Torres, R., Hernández-Aranda H. 2013. 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, FB1307-N009/08. Informe Final, Noviembre 2013

Dzilam: El sitio de Elepetén en 2009 presentó las salinidades más altas con respecto al sitio del Pueblo (Fig. II.2.4A). La salinidad más alta fue durante el mes de mayo (60.5 g/kg) disminuyendo en junio hasta 39 g/kg (Fig. II.2.4B). En el sitio del Pueblo el único aporte de agua dulce que recibe es por lluvias y vía escorrentía, observándose la salinidad más baja durante marzo (24 g/kg), aumentando hasta 44.1 g/kg en el mes de octubre. El sitio del Pueblo presentó la mayor salinidad durante el periodo de muestreo del año 2010, registrándose el valor más alto en el mes de abril (42.2 g/kg). En el sitio de Elepetén en el mes de marzo se observó la mayor salinidad (54.1 g/kg), registrándose en el mes de enero la menor (19.5 g/kg) durante el periodo de muestreo en el sitio del Pueblo (Fig. II.2.4). Para el año 2011 en el sitio del Pueblo la salinidad más alta se presentó en el mes de junio (46.9 g/kg). En el sitio de Elepetén las salinidades fueron mayores durante todo el periodo de muestreo observándose valores de 32 g/kg (febrero) hasta 54.8 g/kg (mayo) (Fig. II.2.4B).

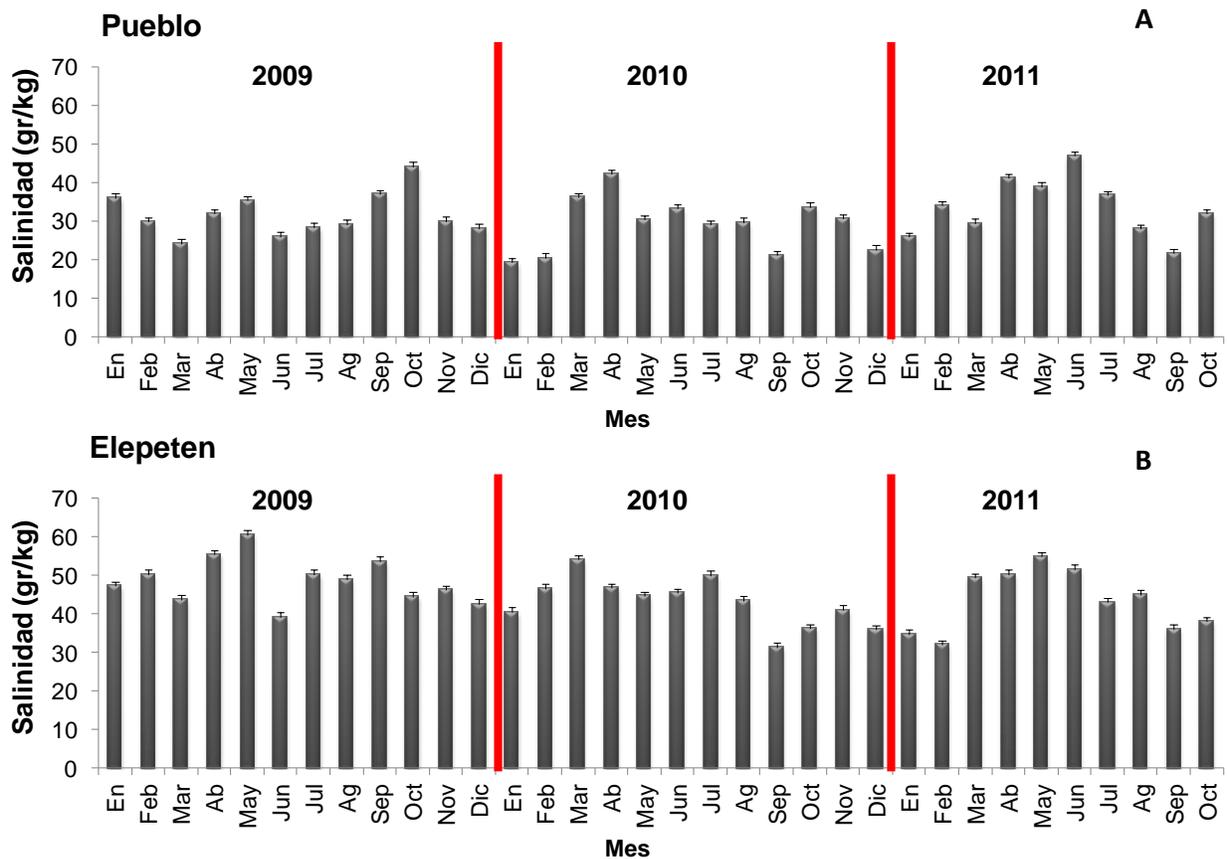


Figura II.2.4. Salinidad intersticial de los 2 sitios de la localidad de Dzilam.

Río Lagartos: La salinidad intersticial más alta se presentó en el sitio del Cuyo en el mes de septiembre del 2009 (24 g/kg). Los meses donde no se presentan datos para este sitio son debido a que no hubo agua, por lo que no se pudo llevar a cabo la medición (Fig. II.2.5B). El sitio de Río Lagartos presentó la mayor salinidad en el mes de marzo (23.2 g/kg) del 2010, mientras que en los meses de septiembre a noviembre las salinidades fueron menores (10.7 g/kg) para el año del 2009 (Fig. II.2.5B). Para el año 2011 la salinidad más alta en el sitio de Río Lagartos se observó en el mes de enero (24 g/kg), en el mes de julio de este año se registró la salinidad más baja (7 g/kg) durante todo el periodo de muestreo (Fig. II.2.5A). En el sitio de El Cuyo por las condiciones particulares del sitio no se pudo colectar la muestra de agua intersticial por lo que no se presentan datos (Fig. II.2.5B). El sitio está siendo transformado y el aplanamiento del terreno y relleno está haciendo difícil la extracción de agua para la toma de muestras. Se recomienda localizar otro sitio de monitoreo, pues el cambio de usos de suelo está siendo muy rápida en esta localidad.

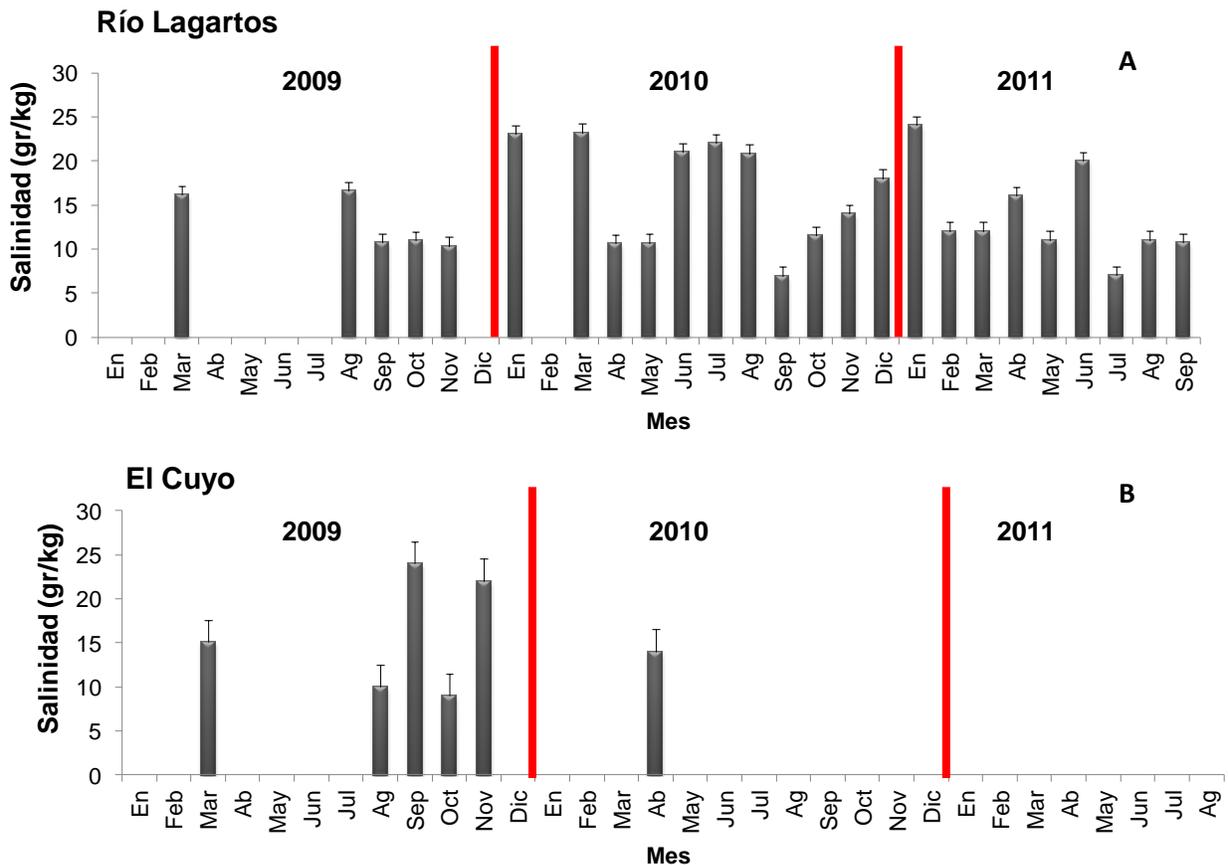


Figura II.2.5 Salinidad Intersticial de los dos sitios de la localidad de Río Lagartos

Cancún: En esta localidad los sitios de monitoreo se empezaron a muestrear con regularidad a partir del año 2010. Los dispositivos que se instalaron previamente (2009) fueron sustraídos en varias ocasiones hasta que se pudo lograr que se respetaran por usuarios del sistema lagunar. En el sitio Polígono 1 en el año 2010 la mayor salinidad intersticial se presentó en el mes de febrero (34 g/kg), seguido de los meses mayo a junio los cuales corresponden a la temporada de secas (Fig. II.2.6A). La menor salinidad se observó en el mes de octubre (20.4 g/kg). En el Polígono 9 se presentaron salinidades de 25 g/kg (junio) hasta 32 g/kg (septiembre) (Fig. II.2.6B). Para el año 2011 la salinidad en el Polígono 1 se registró de 27.8 g/kg (agosto) a 35 g/kg (mayo). En el Polígono 9 la salinidad intersticial fue menor con respecto al Polígono 1 observándose valores de 25 g/kg (junio) a 32.3 g/kg (marzo) (Fig. II.2.6).

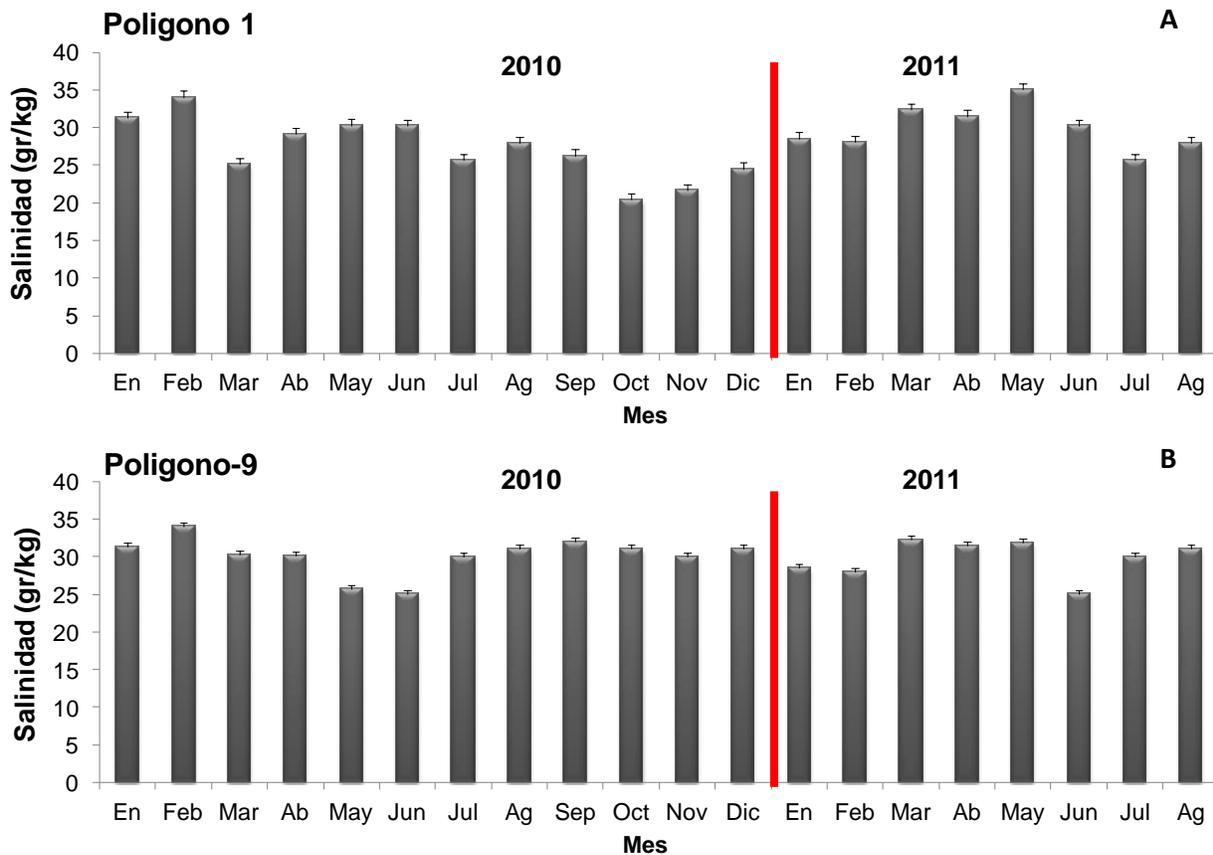


Figura II.2.6. Salinidad Intersticial de los dos sitios de la localidad de Cancún.

Puerto Morelos: El aporte de agua en la localidad de Puerto Morelos es vía escorrentía y subterránea, por lo que la salinidad intersticial no es muy alta con respecto a otras localidades. El sitio del Cid registró salinidades de hasta 11 g/kg durante el mes de diciembre (Fig.II.2.7A). Por las características de este sitio, la salinidad es difícil de tomar porque existe escasa agua intersticial por lo que se tuvo que utilizar un refractómetro, instrumento que solo requiera gotas para hacer la medición, aunque es de menor exactitud. En el mes de enero se observó la salinidad más baja (4.6 g/kg). En el sitio de la Ceiba durante el mes de abril la salinidad fue de 15.8 g/kg, siendo la salinidad más alta para este sitio durante el periodo de muestreo (Fig.II.2.7B). En el año 2010 el sitio del Cid registró las mayores salinidades con respecto al sitio de la Ceiba, observándose las mayores salinidades en los meses de enero y mayo (15 g/kg) (Fig.II.2.7A). Para el año del 2011 el sitio del Cid presentó menores salinidades con respecto al sitio de la Ceiba observándose valores de 3.6 g/kg (julio) a 11.6 g/kg (junio) (Fig.II.2.7A). En el sitio la Ceiba se observaron valores de hasta 14.6 g/kg (Mayo). En los meses donde no se presentaron datos es debido a que no hubo agua por lo que no se pudo realizar la medición de esta variable.

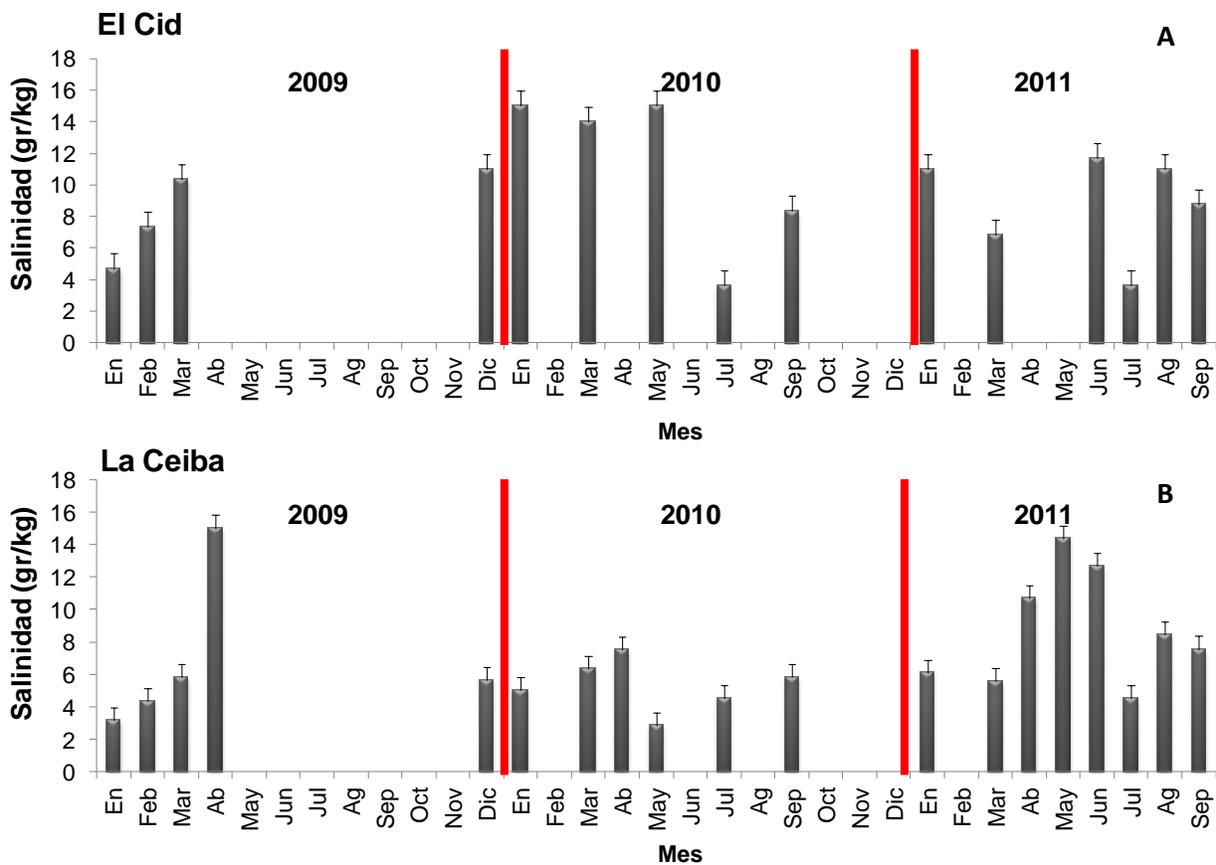


Figura II.2.7. Salinidad Intersticial de los 2 sitios de la localidad de Puerto Morelos

Sian Ka'an: Esta localidad se caracteriza por presentar mayores aportes de agua subterránea y flujo laminar, por lo que si este flujo es interrumpido el lado que queda aislado aumenta rápidamente su salinidad, lo cual se ve reflejado en el sitio El Playón, observándose las salinidades más altas en el mes de diciembre (54.8 g/kg) del 2009 (Fig. II.2.8A), y la menor en el mes de marzo (35 g/kg) del año 2010. En el sitio de Cayo Culebras las salinidades son menores debido a que se presenta en contacto directo con el mar, lo cual facilita el intercambio constante de agua por mareas. En el mes de agosto del 2009 se registró la salinidad más alta (40 g/kg) y en julio de 2010 (41 g/kg). La menor salinidad se presentó en el mes de febrero (24.4 g/kg) del año 2010 (Fig. II.2.8B). Para el año 2011 en el sitio El Playón la salinidad más alta se presentó en el mes de mayo (50 g/kg), y en el sitio de Cayo Culebras la salinidades más bajas se observaron en los meses de febrero y julio (44 g/kg) (Fig. II.2.8B).

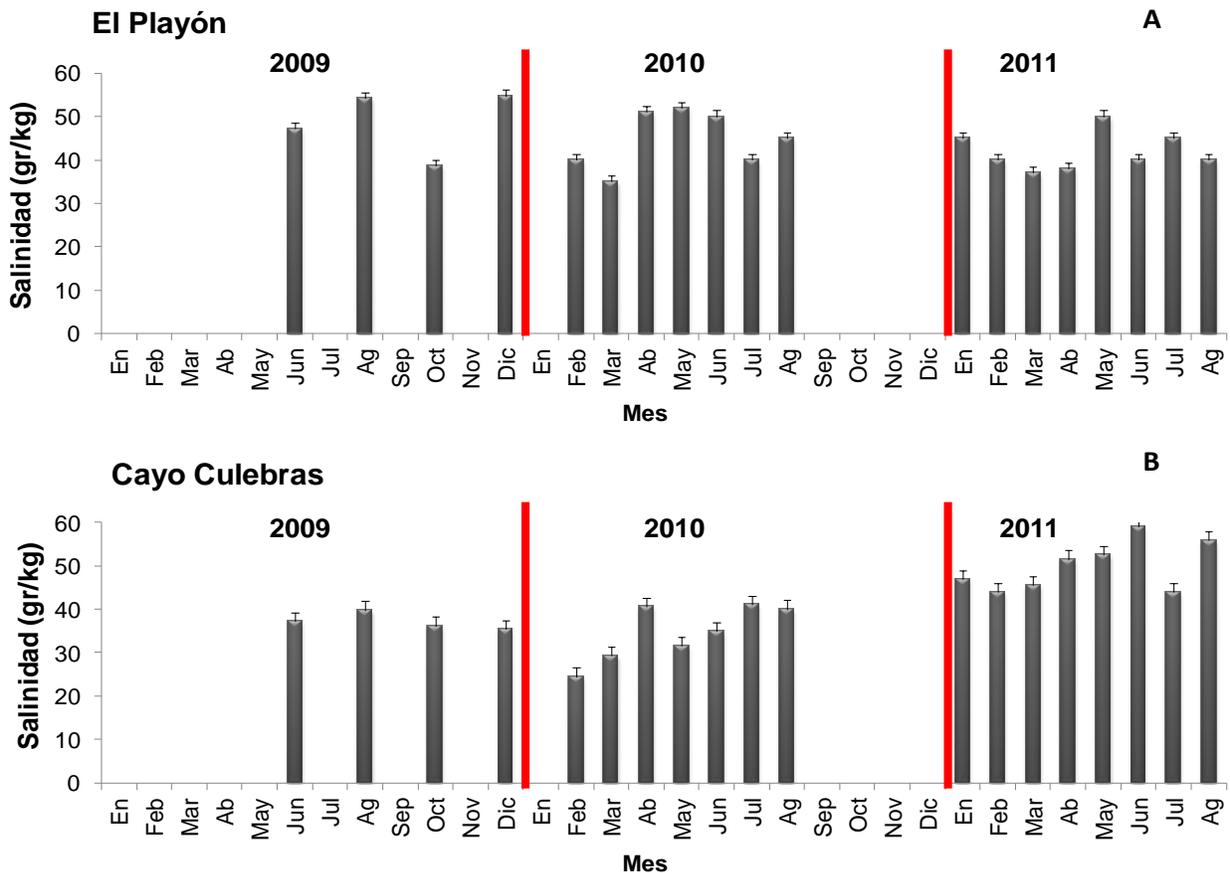


Figura II.2.8. Salinidad intersticial de los 2 sitios de la localidad de Sian Ka'an.

Xcalak: En esta localidad por el problema logístico de ir a muestrear no se tuvieron datos en 2009. En 2010 en el sitio del Pueblo se presentó la salinidad más alta en el mes de julio (53 g/kg) con respecto al sitio de Portilla (Fig. II.2.9A). En el mes de mayo (22 g/kg) se registró la salinidad más baja en el sitio Pueblo y en el mes de julio (27.8 g/kg) en Portilla, los demás meses las salinidades se presentaron arriba de los 44 g/kg (Fig.II.2.9B). Para el 2011 las salinidades más altas se presentaron en el sitio del Pueblo observándose valores de 40.9 g/kg (Febrero) a 52.7 g/kg (Julio) (Fig. II.2.9). En el sitio de Portilla la salinidades que se registraron fueron menores con respecto al sitio del Pueblo, esto debido al aporte continuo de agua por lo que los valores más altos que se presentaron fueron de 42.4 g/kg (julio) (Fig. II.2.9).

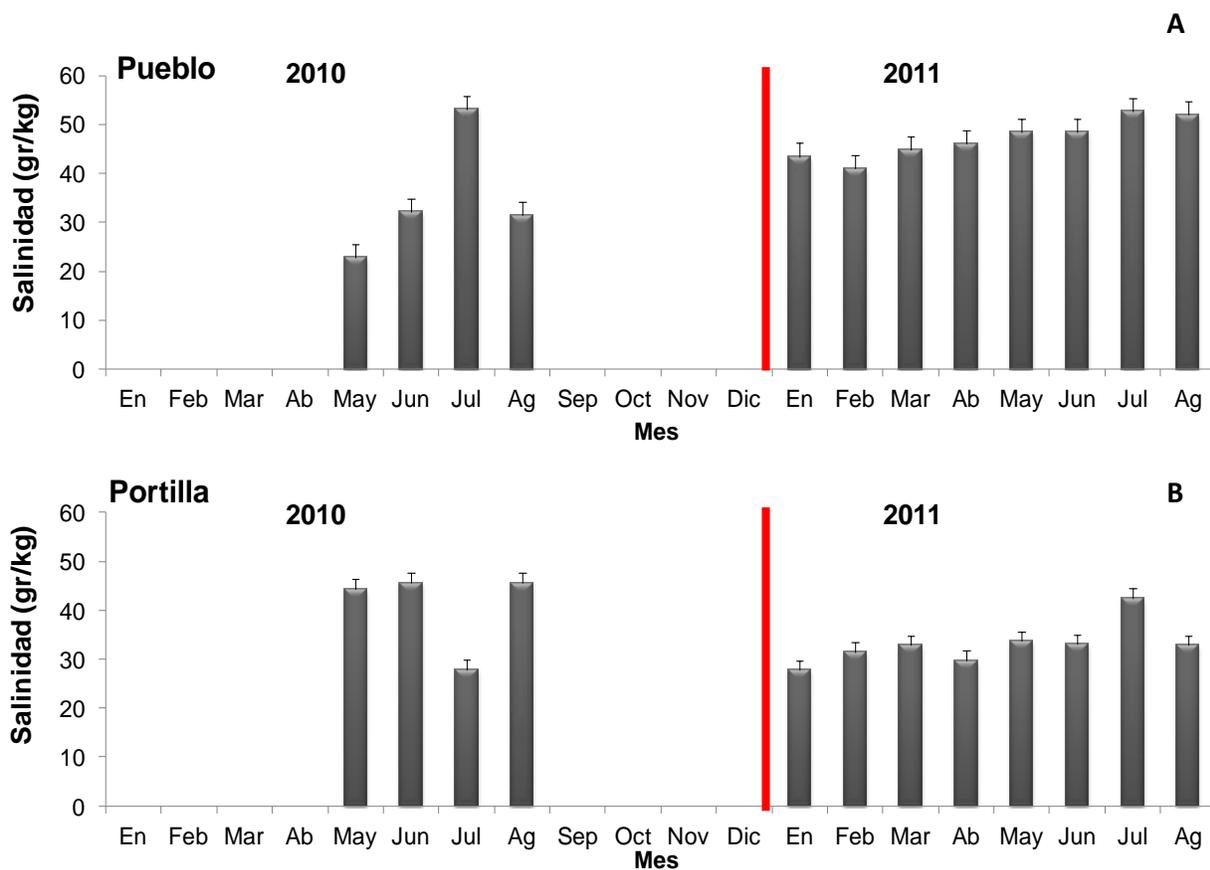


Figura II.2.9. Salinidad intersticial de los 2 sitios de la localidad de Xcalak.

Chetumal: En el sitio de Tamalcab se registraron las salinidades más altas con respecto al sitio de Río Hondo. La salinidad más baja en el año 2009 se presentó en octubre (15.3 g/kg), aumentando en noviembre (40 g/kg). Para 2010 en el mes de enero se observó la salinidad más baja (14.8 g/kg) y en abril la más alta (43 g/kg) (Fig. II.2.10A). En la localidad de Río Hondo la salinidad más baja se presentó en el mes de octubre (<1 g/kg), incrementándose en el mes de noviembre (3 g/kg) (Fig. II.2.10B). Para el año 2010 las salinidades aumentan observándose la más alta en el mes de julio (9.7 g/kg) (Fig. II.2.10). En el sitio de Tamalcab las salinidades se mantuvieron altas con respecto al otro sitio observándose el valor mínimo de 14.8 g/kg (enero) (Fig. II.2.10). En el año 2011 la salinidad más alta que se presentó en Río Hondo fue de 6.6 g/kg que corresponde al mes de abril y la más baja fue de 2.8 g/kg (julio). En el sitio de Tamalcab la salinidad más alta se registró en el mes de junio (42.2 g/kg) (Fig. II.2.10).

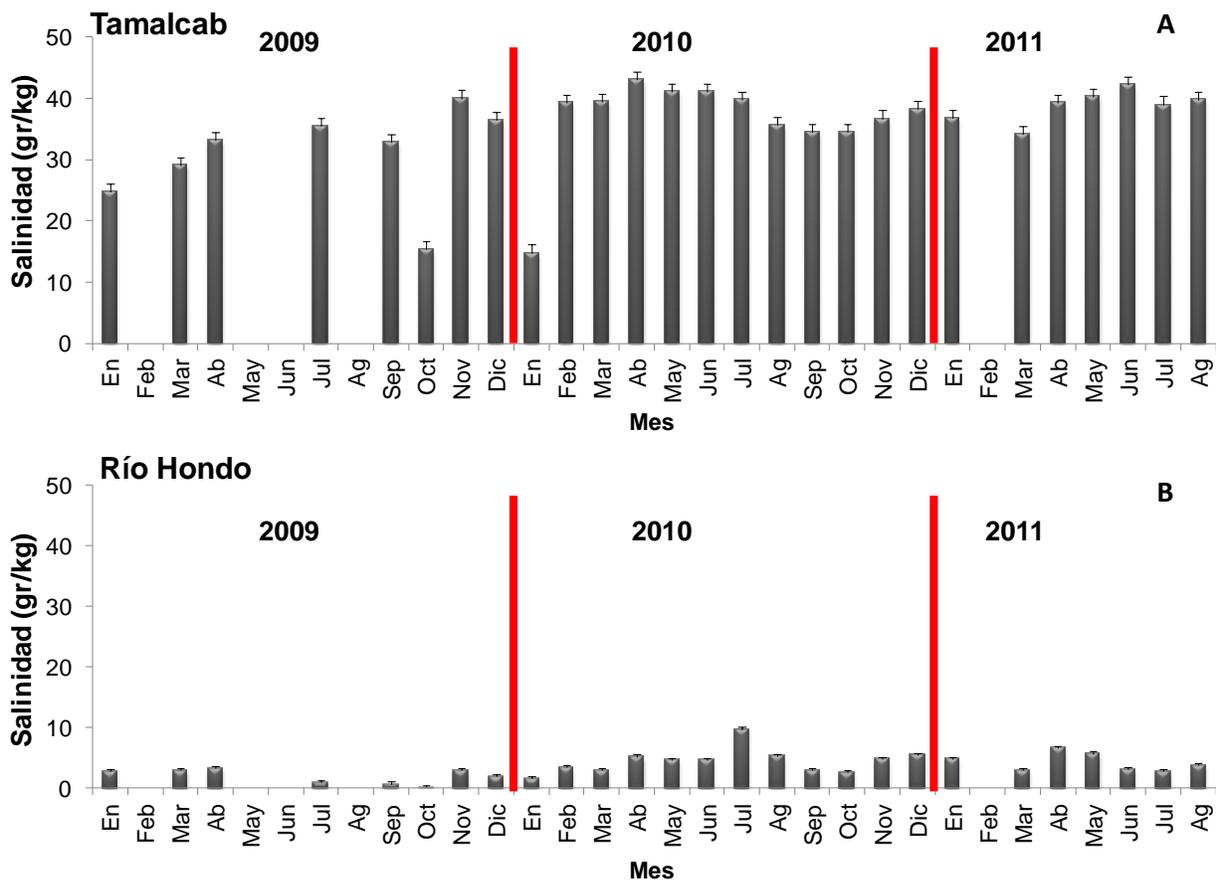


Figura II.2.10. Salinidad intersticial de los 2 sitios de la localidad de Chetumal.

II.3.- pH Y POTENCIAL REDOX.**Monitoreo de pH:**

Las variaciones de pH durante los muestreos de monitoreo no presentaron el mismo patrón en todos los sitios. Esto podría estar asociado a la combinación de los procesos de descomposición de la materia orgánica acumulada en los sedimentos y/o a la frecuencia y tiempo de inundación de cada localidad. En general el sitio con el menor promedio de pH fue Cancún y el mayor Río Lagartos (Tabla 4), cabe mencionar que se presentan 2 columnas de la época de nortes ya que la toma de datos coincidió con esa temporada.

Tabla 4. Monitoreo de pH estacional para los sitios de Yucatán y Quintana Roo.

Localidad	Sitio	Nortes	Secas	Nortes
Celestún	Zona Interna	7.4	7.2	7.0
	Zona Puente	7.7	7.1	6.8
	Zona Boca	7.9	7.0	6.8
Sisal	Pecis I	7.2	7.3	6.8
	Pecis II	7.1	7.2	6.7
Progreso	Contenedores	6.4	7.1	6.5
	Chelem I	7.1	7.3	6.8
	Chelem II	7.0	7.1	6.6
Dzilam	Elepetén I	7.9	7.2	6.8
	Pueblo	7.6	7.0	6.9
Río Lagartos	Río Lagartos	7.3	7.3	7.4
	El Cuyo	7.5	7.2	7.3
Cancún	Polígono 9	6.5	6.3	6.8
	Polígono 1	6.9	6.6	6.5
Puerto Morelos	Ceiba	7.6	7.2	7.0
	EL CID	7.0	6.4	6.8
Sian Ka'an	El Playón	7.8	7.2	6.8
	Cayo Culebras	7.4	7.1	6.7
Xcalak	Pueblo	7.4	7.2	7.4
	Portilla	7.2	7.0	7.2
Chetumal	Río Hondo	7.4	7.2	7.2
	Isla Tamalcab	7.3	7.0	7.4

Monitoreo del Potencial Redox:

Esta variable relacionada con la condición reductora u oxidada de los sedimentos e indicadora de procesos biogeoquímicos del estado de descomposición de la materia orgánica, varió en los manglares de Yucatán ente -100 y -400 mV, relacionándose con la abundancia de materia orgánica, frecuencia y tiempo que permanece inundado el sedimento. La importancia de esta variable de monitoreo se relaciona con la producción de compuestos que pueden ser tóxicos para el desarrollo del manglar como el ácido sulfhídrico, siendo un indicativo de estos valores de Redox entre -200 a -300 mV.

Monitoreo Estacional:

En la localidad de Celestún en el sitio de la Boca durante las temporadas de nortes y lluvias de 2009 se observaron los valores de Redox más negativos (-457 y -451 mV respectivamente). Los valores menos negativos en el sitio de Puente se registraron en la época de secas (-148 mV). Se observa que hay tendencia en todos los sitios a que los valores de Redox sean más negativos en época de lluvias (Fig. II.3.1A).

En la localidad de Sisal en el sitio de Pecis III se registró el valor más negativo en la época de lluvias (-200 mV), mientras que el menos negativo fue en el mismo sitio en la época de nortes (-53 mV). En Pecis I no hay tendencia estacional con valores más negativos en secas (-110 mV) y menos negativos en nortes (-85 mV), a diferencia de Pecis III donde la tendencia estacional es de presentar valores más negativos en de nortes a lluvias (Fig.II.3.1B).

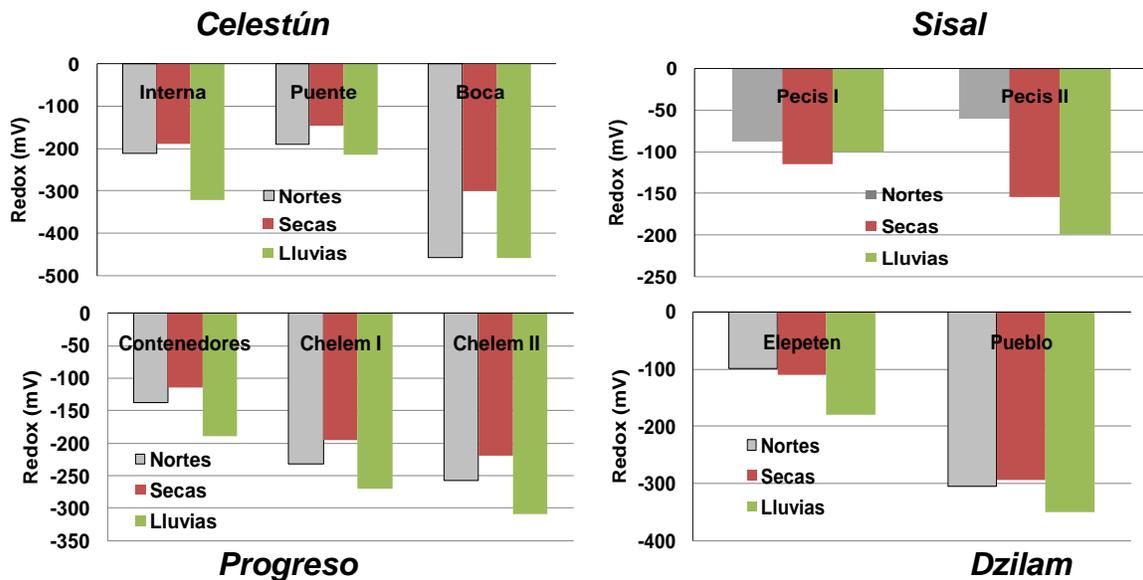


Figura II.3.1. Monitoreo del potencial Redox en los sitios de Celestún (A), Sisal (B), Progreso (C) y Dzilam (D).

Herrera-Silveira, J.A., Teutli-Hernández, C., Zaldívar-Jiménez, A., Pérez-Ceballos, R., Cortés-Balán, O., Osorio-Moreno, I., Ramirez-Ramirez, J., Caamal-Sosa, J., Andueza-Briceño M.T., Torres, R., Hernández-Aranda H. 2013. 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, FB1307-N009/08. Informe Final, Noviembre 2013

En la localidad de Progreso el potencial Redox más negativo se presentó en el sitio Chelem II en temporada de lluvias (-310 mV), mientras que los menos negativos se registraron en el sitio Contenedores en la temporada de secas (-110 mV) y nortes (-180 mV). Los valores de Redox en Chelem I variaron entre -195 y -220 mV., (Fig. II.3.1C).

En la localidad de Dzilam en el sitio del Pueblo se registraron los valores más negativos (-298 a -340 mV) con respecto al sitio de Elepetén (-100 a -190 mV). La tendencia temporal en ambos sitios es de ser más negativos los valores de Redox de la época de nortes a la de lluvias. (Fig. II.3.1D).

En la localidad de Río Lagartos el valor de Redox más negativo se registró en el sitio Río Lagartos (-240 mV) en la época de lluvias, mientras que el menos negativo se obtuvo en el mismo sitio pero en la época de nortes (-105 mV). En el sitio de El Cuyo los valores de Redox variaron entre -150 y -190 mV en la época de secas y lluvias respectivamente. La tendencia temporal en ambos sitios es de valores de Redox más negativos en lluvias (Fig.II.3.2A).

En la localidad de Cancún en el sitio Polígono 9 se registraron los valores más negativos durante todas las épocas (-300 mV), mientras que el sitio Polígono 1 los valores de Redox fueron haciéndose menos negativos de la época de nortes (-280 mV) a la de lluvias (-205 mV) (Fig. II.3.2B). En el sitio de Polígono 9 se caracterizó por estar impactado debido al huracán Willma, por lo que había una gran cantidad de materia orgánica en descomposición y los niveles de inundación altos no favorecerían el intercambio de oxígeno atmósfera-sedimentos.

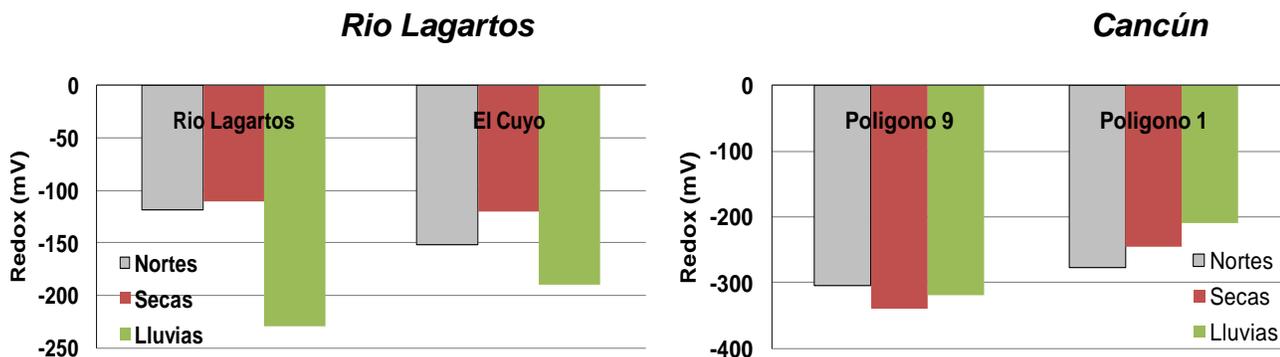


Figura II.3.2. Monitoreo del potencial Redox en los sitios de Río Lagartos (A) y Cancún (B).

En el sitio del Cid el cual pertenece a la localidad de Puerto Morelos se presentaron los valores más negativos en la temporada de secas (-305 mV), y los menos negativos en la época de nortes (-210 mV). Respecto al sitio de la Ceiba sus valores de Redox variaron entre -100 mV en la época de nortes a -205 mV en la época de lluvias (Fig. II.3.3A).

En la localidad e Sian Ka’an en el sitio de Cayo Culebras los valores más negativos se presentaron en la temporada de lluvias (-305 mV), mientras que en el sitio de El Playón se observaron en la temporada de nortes (-250 mV). La variación temporal de nortes a lluvias de los valores de Redox entre sitios fue inversa siendo menos negativos en El Playón y más negativos en Cayo Culebras (Fig. II.3.3B).

En la localidad de Xcalak en el sitio del Pueblo en la temporada de nortes se observaron los valores más negativos (-270 mV), mientras que en el sitio del Portilla los valores más negativos se presentaron en la temporada de secas (-205 mV) (Fig. II.3.3C). La tendencia temporal se observa en el sitio del Pueblo haciéndose los valores menos negativos.

Para la localidad de Chetumal en el sitio de Río Hondo el potencial Redox más negativo se registró en la temporada de secas (-110 mV), al igual que en el sitio de Tamalcab con valores de -155 mV (Fig. II.3.3D). No hay tendencia temporal en ninguno de los sitios de esta localidad.

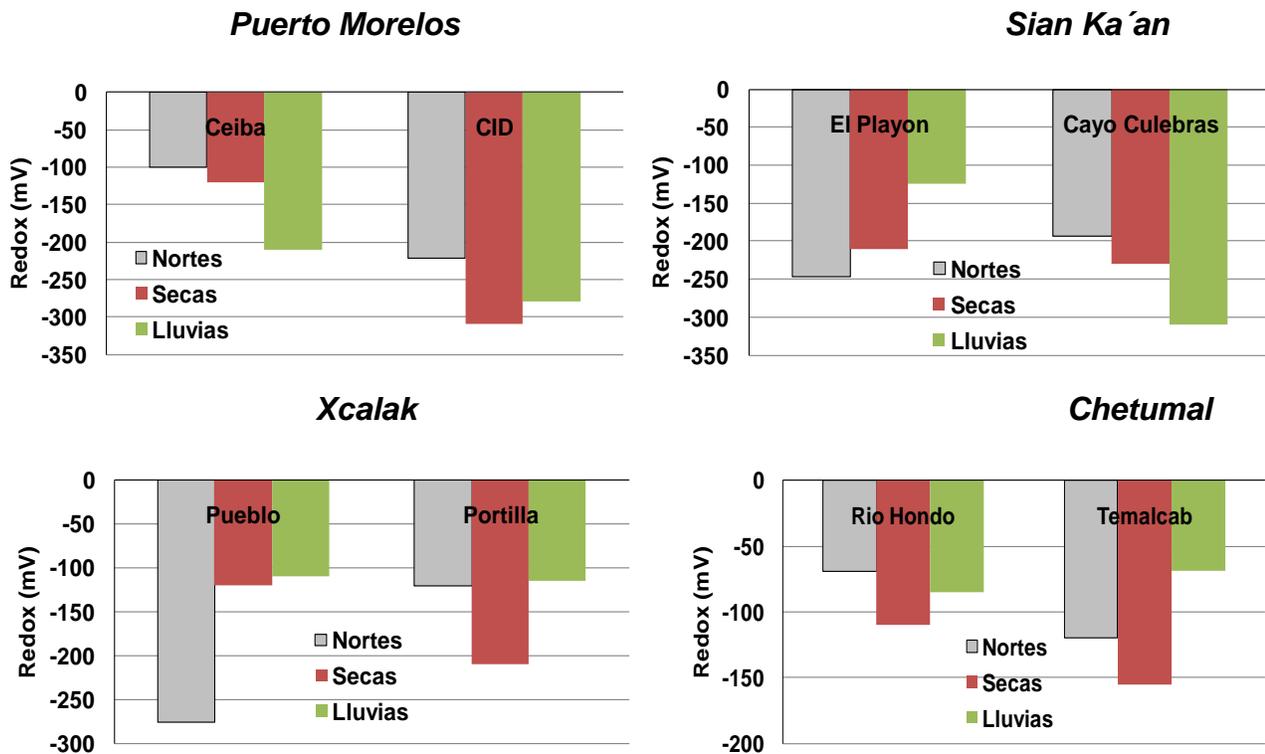


Figura II.3.3. Monitoreo del potencial Redox en los sitios de Puerto Morelos (A), Sian Ka’an (B), Xcalak (C) y Chetumal (D).

Herrera-Silveira, J.A., Teutli-Hernández, C., Zaldívar-Jiménez, A., Pérez-Ceballos, R., Cortés-Balán, O., Osorio-Moreno, I., Ramirez-Ramirez, J., Caamal-Sosa., J., Andueza-Briceño M.T., Torres, R., Hernández-Aranda H. 2013. 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, FB1307-N009/08. Informe Final, Noviembre 2013

II.4.- HIDROPERÍODO

El hidroperíodo es el resultado de la frecuencia (número de eventos de inundación-deseccación en un tiempo determinado), nivel (altura de la inundación dentro del sitio) y duración (tiempo en el cual la localidad permanece inundada en cada evento). En este estudio a los sitios donde la inundación es constante la frecuencia será designada con el valor de 1 que representa un evento. Esta variable está influenciada por los cambios de nivel del agua por mareas, crecidas de ríos, escorrentía de la región (superficial y subterránea), y la topografía. El hidroperíodo es una variable que tiene influencia en los niveles de Redox, salinidad intersticial, disponibilidad de nutrientes, distribución de las especies, productividad, entre otros.

Celestún interna: El sitio de la zona Interna se mantuvo inundado durante casi todo el periodo de estudio con niveles máximos de 0.7 m en octubre y menores de -0.04 m en marzo del 2010, indicando que el sitio se queda sin agua por algunos momentos u horas en ese mes (Fig. II.4.1A). La frecuencia de inundación se aprecia en la figura II.4.1B, observándose que en dos meses el sitio presenta eventos desecación-inundación por periodos de horas durante el mes de febrero (4 veces) y marzo (7 veces), siguiendo probablemente el patrón de las mareas y manteniéndose inundado el resto del periodo de estudio con valor de 1 que implica que permaneció inundado. Con respecto al tiempo de inundación, este sitio permanece casi constantemente inundado, disminuyendo en los meses de febrero (647 horas) y marzo (670 horas), observándose periodos sin agua que deben de corresponder a los tiempos en los cuales la marea disminuye por horas dentro del sitio. El promedio de inundación en el resto de los meses fue de 723 horas por mes y es por estos eventos que en estos meses son los que tienen menor tiempo de inundación. (Fig. II.4.1C). Cabe señalar que en los meses de noviembre 2009 (189 horas) y febrero 2011 (64 horas) se registraron menos horas de inundación debido a que fue cuando se instaló el equipo y se extrajo la información por última ocasión, respectivamente.

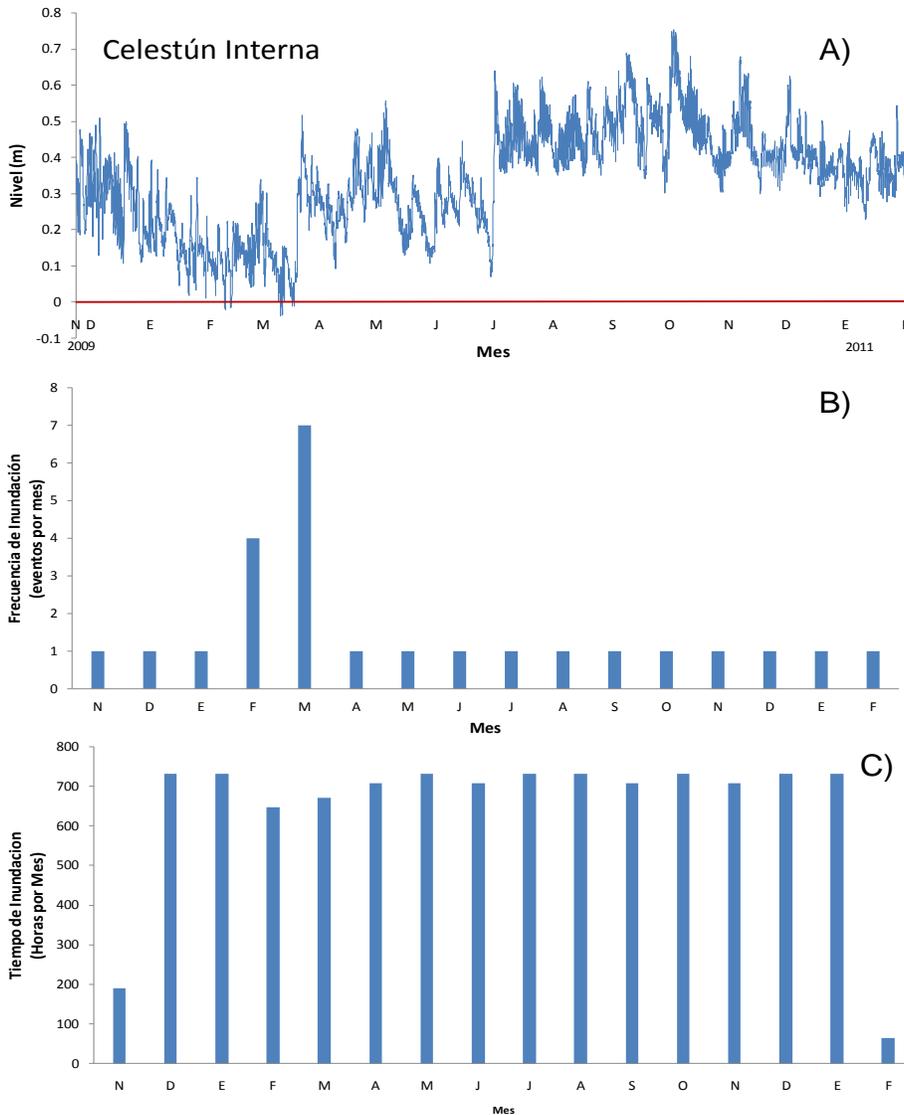


Figura II.4.1. Frecuencia de inundación de Celestún Interna(A). La línea roja continua representa el nivel del suelo, los valores (+) indican el tiempo que el manglar se mantuvo inundado, los valores (-) indican el periodo de tiempo en que el manglar estuvo seco. B) Frecuencia de inundación y C) Tiempo de inundación, en el período estudiado.

Celestún Puente: En la zona del Puente se mantuvo inundada durante todo el periodo de muestreo con niveles que van de 0.2 a 0.6 m (julio y noviembre 2010) (Fig. II.4.2A). Por lo que respecta a la frecuencia de inundación es igual a 1 ya que es solo un evento el que se representa durante el periodo de estudio, debido a que todo el tiempo se mantuvo inundado el sitio (Fig.II.4.2B). El tiempo de inundación se puede apreciar en la figura II.4.2C, donde todas las horas de todos los meses el sitio permaneció inundado, con excepción de noviembre 2009 y febrero 2011, que fue cuando se instaló el equipo y se tomó la última toma de datos.

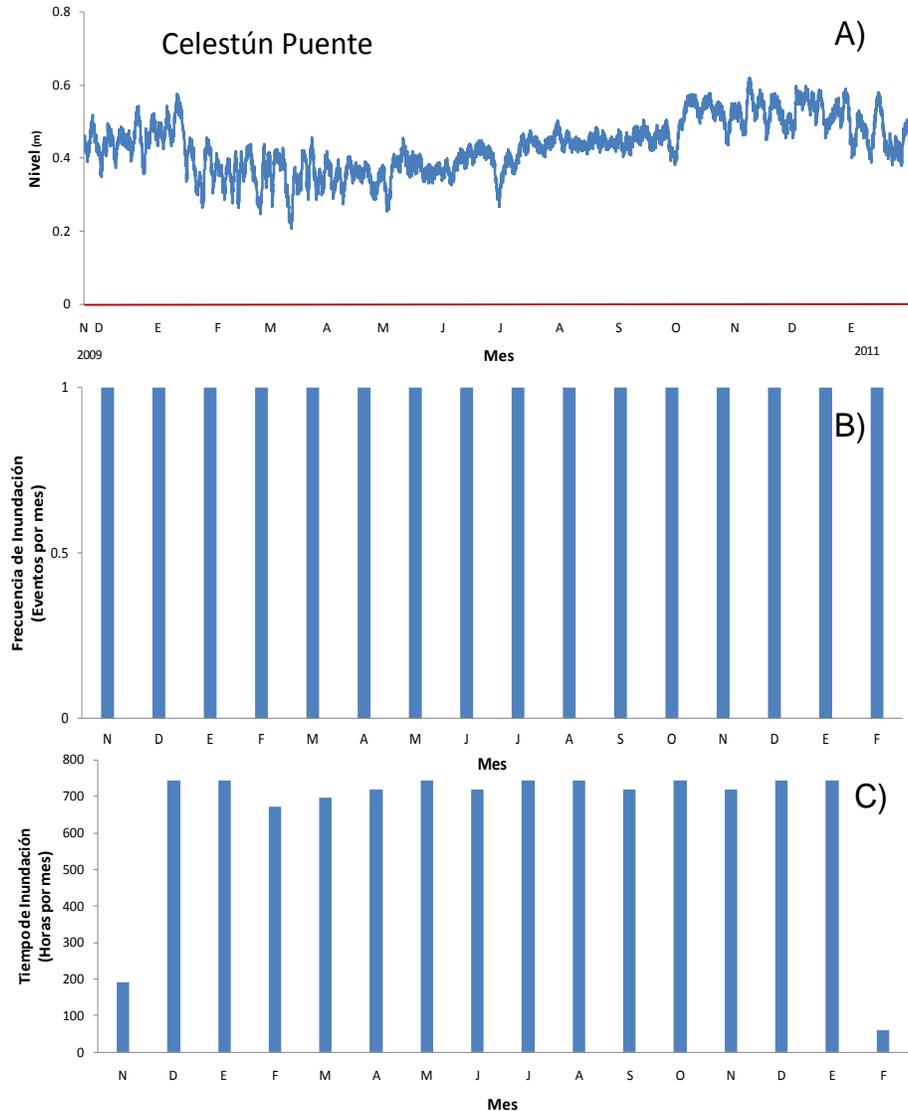


Figura II.4.2. Frecuencia de inundación de Celestún Puente (A). La línea roja continua representa el nivel del suelo, los valores (+) indican el tiempo que el manglar se mantuvo inundado, los valores (-) indican el periodo de tiempo en que el manglar estuvo seco. B) Frecuencia de inundación y C) Tiempo de inundación, en el período estudiado.

Celestún Boca: Este sitio permaneció inundado la mayor parte del tiempo, sin embargo, en algunos meses las variaciones de inundación-deseccación son periódicas y probablemente estén asociadas a la marea, presentando la máxima inundación en el mes de diciembre del 2010 con un nivel de inundación de 0.47 m hasta - 0.1 m en el mes de enero del mismo año (Fig. II.4.3A). La frecuencia de inundación presentó 6 eventos durante el periodo de estudio entre enero a junio de 2010, mientras que el resto del tiempo permaneció inundado con valores de 1 que representa solo un evento de inundación (Figura II.4.3B). En el mes de mayo se observó el mayor número de eventos (9). Respecto al tiempo de inundación, el manglar permaneció la mayor parte de las horas inundado, los menores tiempos de inundación se registraron en el mes de enero del 2010 que fue cuando se presentaron los periodos de baja marea en el sitio (Fig. II.4.3C).

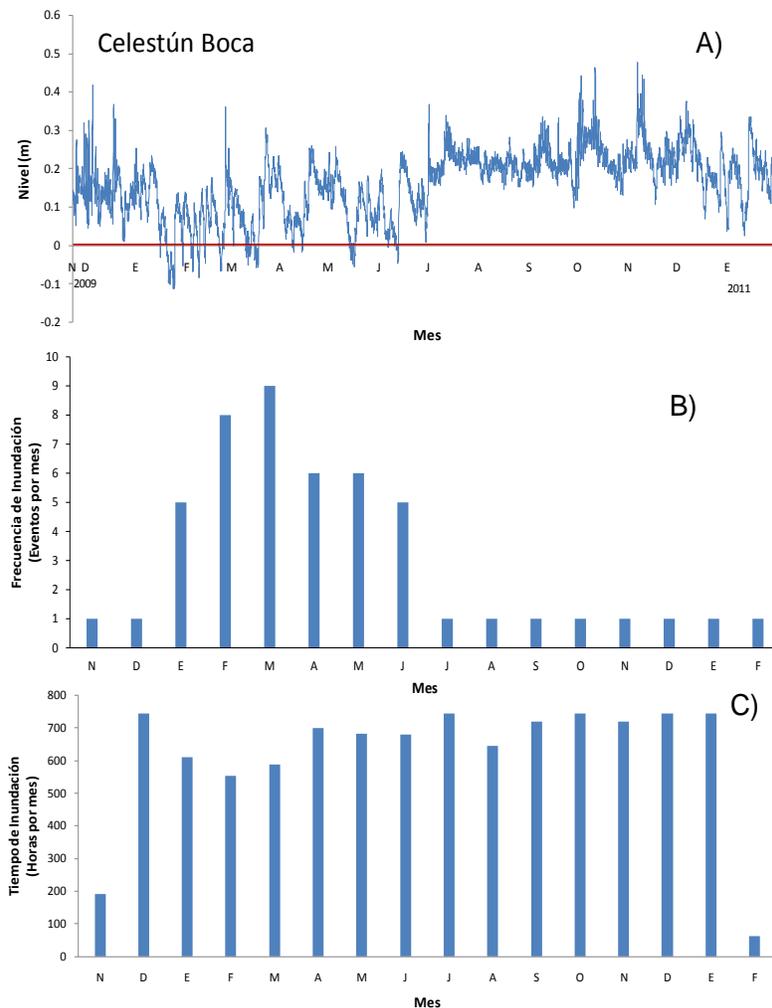


Figura II.4.3. Frecuencia de inundación de Celestún Boca (A). La línea roja continua representa el nivel del suelo, los valores (+) indican el tiempo que el manglar se mantuvo inundado, los valores (-) indican el periodo de tiempo en que el manglar estuvo seco. B) Frecuencia de inundación y C) Tiempo de inundación, en el período estudiado.

Progreso: Para el sitio de Contenedores el intervalo de inundación fue de -0.36 en febrero del 2010 a 0.55 m en el mes de diciembre del 2010, observándose oscilaciones de acuerdo a la época climática del año. En la temporada de secas es cuando se presentan las menores inundaciones (marzo, abril y mayo) llegando a no tener agua por arriba del sedimento, hasta otro periodo donde la inundación se mantiene continua (nortes noviembre y diciembre) (Fig. II.4.4A). Para la frecuencia de inundación, en este sitio se encuentran bien representadas las oscilaciones temporales, de inundación y desecación, donde el mayor número de eventos se registró en febrero (25) (época de nortes) (Fig. II.4.4B). En relación al tiempo de inundación debido a la oscilación de períodos de inundación y sequía hay variación entre los meses y las horas de inundación como se aprecia en la figura II.4.4C, donde el mes de diciembre permanece más tiempo inundado seguido del mes de marzo.

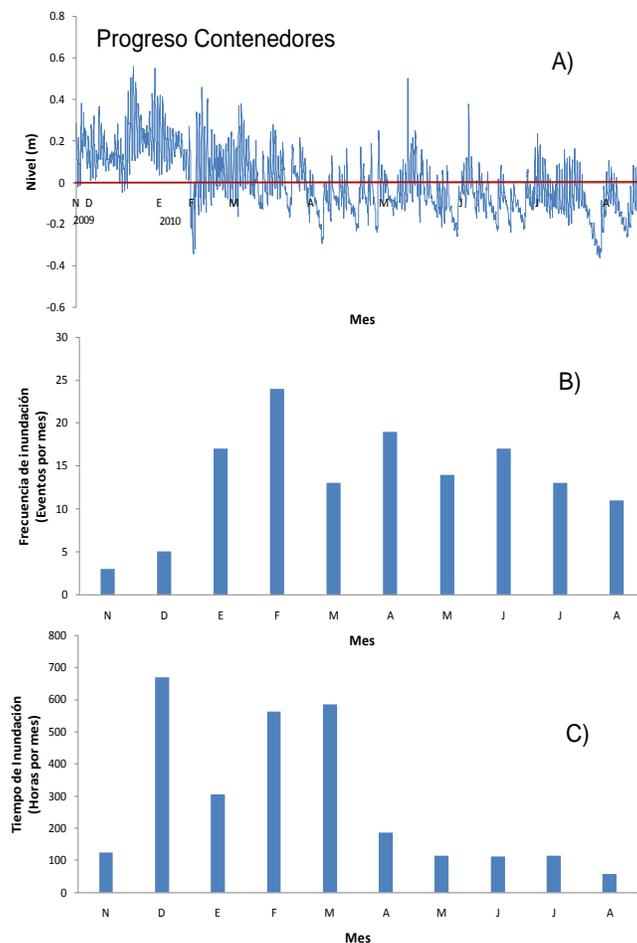


Figura II.4.4. Frecuencia de inundación de Progreso Contenedores (A). La línea roja continua representa el nivel del suelo, los valores (+) indican el tiempo que el manglar se mantuvo inundado, los valores (-) indican el periodo de tiempo en que el manglar estuvo seco. B) Frecuencia de inundación y C) Tiempo de inundación, en el período estudiado.

Dzilam: El sitio de Elepetén se presenta inundado durante casi todo el periodo de muestreo, con un nivel máximo de hasta 0.7 m en el mes marzo del 2010, probablemente debido a la combinación de descarga de agua del manantial y las mareas. También se puede observar la oscilación de acuerdo con la época climática, ya que en secas se observan los menores niveles (marzo-mayo) (Fig. II.4.5A). Respecto a la frecuencia de inundación, en la figura II.4.5B se observa que el único mes que presentó eventos de inundación-desección fue el mes de mayo con 5, y el resto del periodo de estudio el sitio permaneció constantemente inundado con valores de frecuencia de 1. Para el tiempo de inundación en la figura II.4.5C, se puede observar que en casi todos los meses se presentaron la mayoría de las horas de inundación a excepción del mes de noviembre.

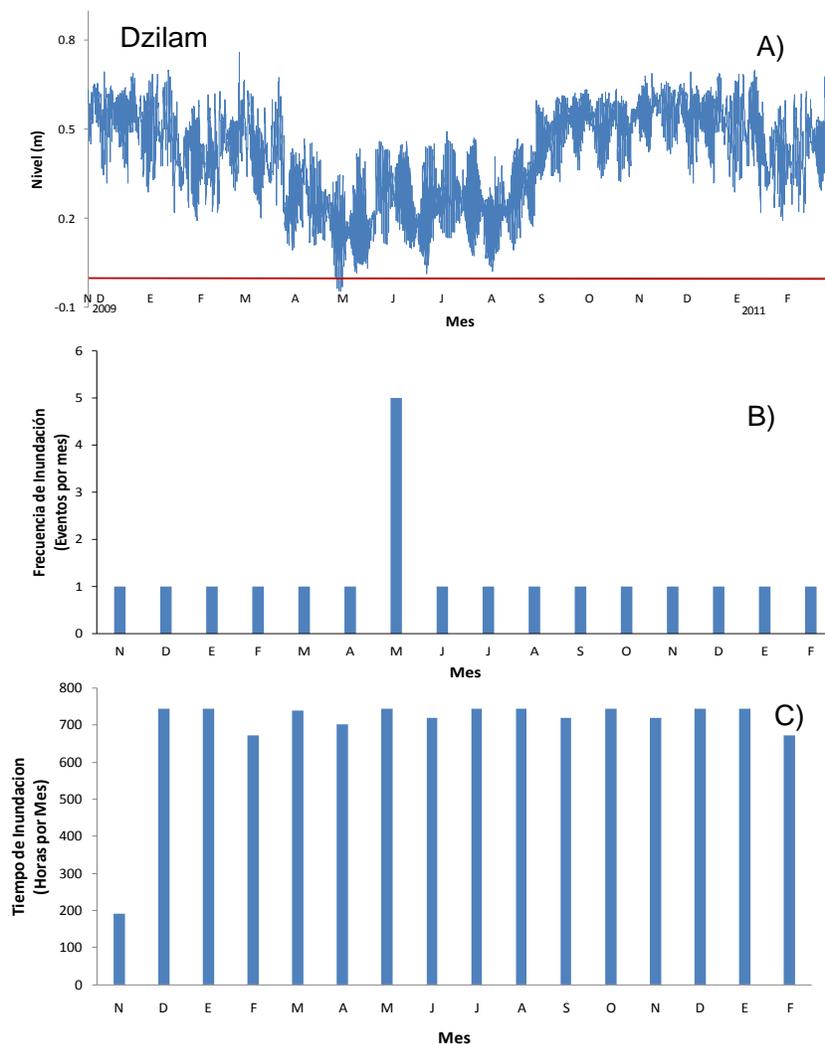


Figura II.4.5. Frecuencia de inundación de Dzilam (A). La línea roja continua representa el nivel del suelo, los valores (+) indican el tiempo que el manglar se mantuvo inundado, los valores (-) indican el periodo de tiempo en que el manglar estuvo seco. B) Frecuencia de inundación y C) Tiempo de inundación, en el período estudiado.

Herrera-Silveira, J.A., Teutli-Hernández, C., Zaldívar-Jiménez, A., Pérez-Ceballos, R., Cortés-Balán, O., Osorio-Moreno, I., Ramirez-Ramirez, J., Caamal-Sosa, J., Andueza-Briceño M.T., Torres, R., Hernández-Aranda H. 2013. 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, FB1307-N009/08. Informe Final, Noviembre 2013

Río Lagartos: El sitio de Río Lagartos se mantuvo inundado continuamente en un intervalo de 0.16 m en el mes de junio del 2010 a 0.77 m en agosto del 2010, relacionándose principalmente con la influencia de marea del sitio. Cabe mencionar que durante la época de lluvias del 2010 (junio-octubre) se observa incremento en el nivel de inundación hasta 0.6 m (Fig. II.4.6A). La frecuencia de inundación en este sitio fue de 1 ya que siempre permanece inundado por lo tanto no hubo eventos de inundación-deseccación y en todo el periodo solo se registra un evento que es la condición de inundación constante (Fig. II.4.6B). Con respecto al tiempo de inundación el sitio permanece en todos los meses con casi todas las horas inundado (Fig.II.4.6C).

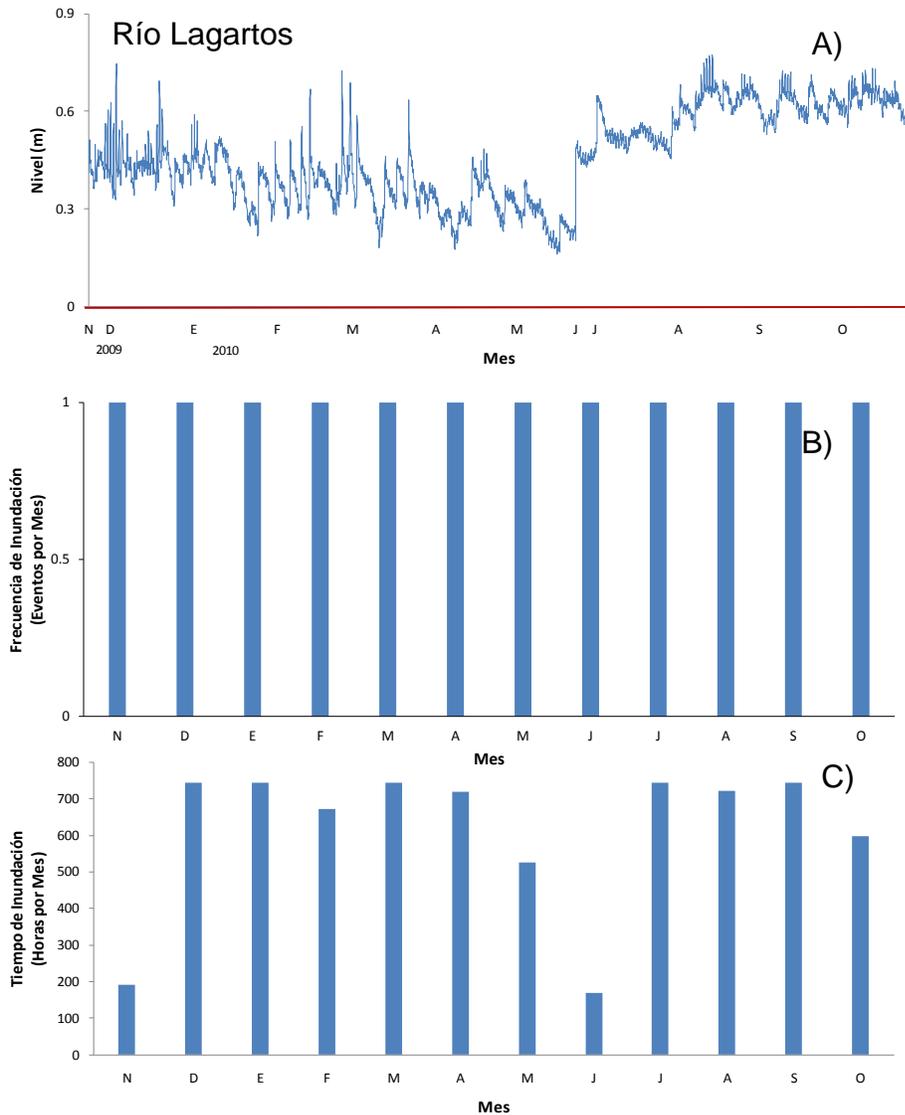


Figura II.4.6. Frecuencia de inundación de Río Lagartos (A). La línea roja continua representa el nivel del suelo, los valores (+) indican el tiempo que el manglar se mantuvo inundado, los valores (-) indican el periodo de tiempo en que el manglar estuvo seco. B) Frecuencia de inundación y C) Tiempo de inundación, en el periodo estudiado.

Cancún (Nichupte): Este sitio permaneció todo el tiempo inundado con niveles entre 0.5 m en el mes de enero del 2010 a 0.8 m en noviembre del 2009, con variaciones en la frecuencia de inundación que podrían estar asociadas a las mareas durante la mayor parte del periodo de estudio (Fig. II.4.7A). La frecuencia de inundación presentó valor de 1 ya que el sitio permanece constantemente inundado (Fig. II.4.7B). Respecto al tiempo de inundación se puede apreciar en la figura II.4.7C, que durante todos los meses de estudio el sitio presentó una alta variabilidad, donde el mes de noviembre del 2009 hubo 183 hr de inundación, siendo el menor con respecto a los demás meses. Las mayores horas de inundación se registraron en los meses de diciembre, enero, marzo, junio y septiembre con 744 hrs (Fig. II.4.7C).

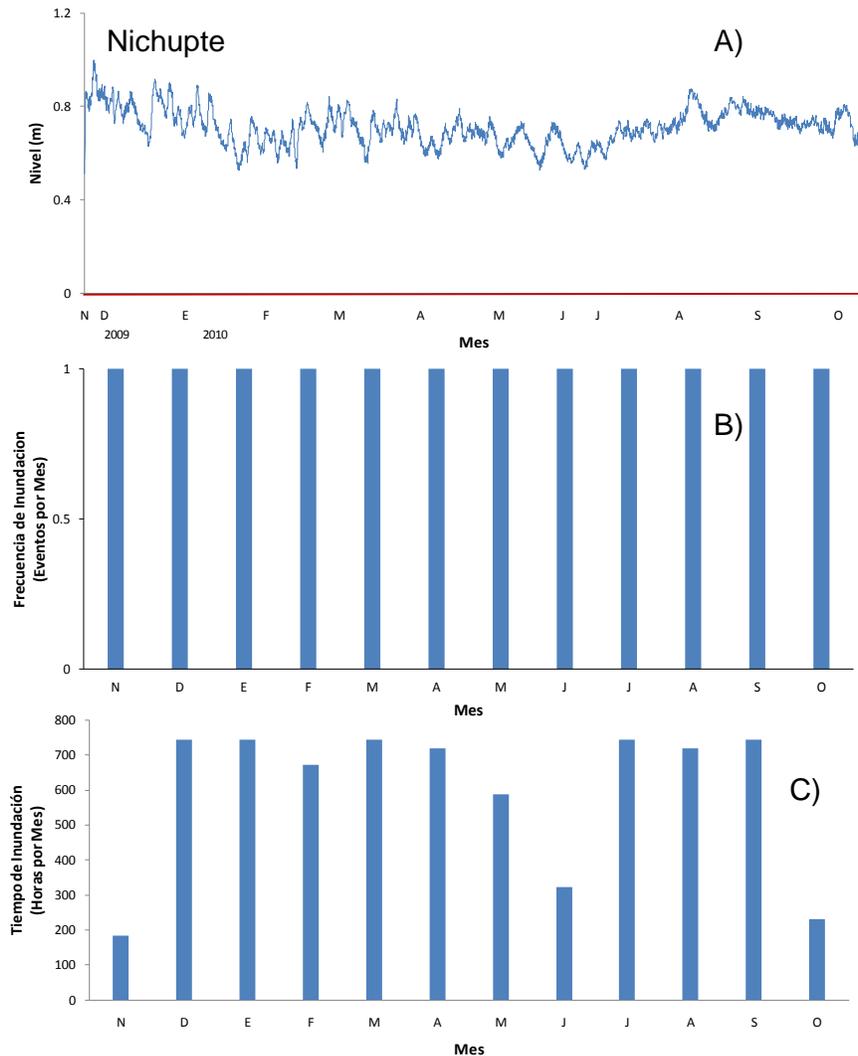


Figura II.4.7. Frecuencia de inundación de Cancún (Nichupte) (A). La línea roja continua representa el nivel del suelo, los valores (+) indican el tiempo que el manglar se mantuvo inundado, los valores (-) indican el periodo de tiempo en que el manglar estuvo seco. B) Frecuencia de inundación y C) Tiempo de inundación, en el periodo estudiado.

Puerto Morelos: La localidad de Puerto Morelos presentó inundación durante todo el periodo de estudio, variando entre 0.4 m (diciembre 2009) y 0.7m (enero 2010). La inundación se debe al incremento del nivel del acuífero, siendo probablemente la razón de que los niveles de agua en esta localidad sean relativamente constantes, ya que no hay aportes aparentes vía marina y la marea no tendría mayor influencia por su ubicación (Fig. II.4.8A). Este sitio presentó frecuencia de inundación de 1 ya que permanece siempre inundado (Fig. II.4.8B). Con respecto al tiempo de inundación el mes de noviembre del 2009 presento las menores horas de inundación (154 hr) por problemas técnicos con el equipo, el mayor tiempo de inundación (744 hr) se registró en los meses de diciembre, enero, marzo, junio y septiembre del 2010 (Fig. II.4.8C).

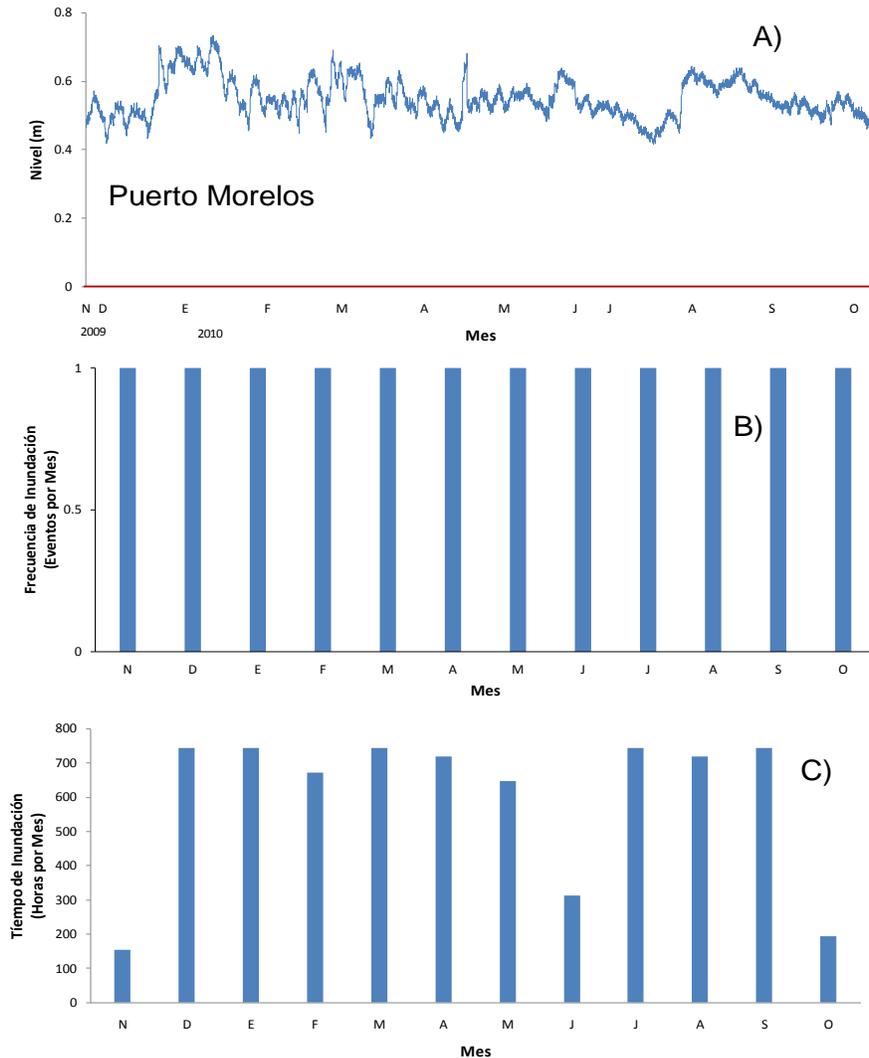


Figura II.4.8. Frecuencia de inundación de Puerto Morelos (A). La línea roja continua representa el nivel del suelo, los valores (+) indican el tiempo que el manglar se mantuvo inundado, los valores (-) indican el periodo de tiempo en que el manglar estuvo seco. B) Frecuencia de inundación y C) Tiempo de inundación, en el período estudiado.

Sian Ka'an: La localidad de Sian Ka'an permanece todo el tiempo inundada debido a que recibe aportes de agua vía escorrentía, el nivel máximo de inundación es de 0.67 m (diciembre 2010), la menor fue de 0.01 m (mayo 2010) (Fig. II.4.9A). Este sitio presentó frecuencia de inundación de 1 ya que todo el tiempo se encuentra debajo del agua (Fig. II.4.9B). En relación al tiempo de inundación, durante todos los meses de estudio esta se presentó durante todas las horas de cada mes, en enero del 2010 (301 hr) y enero del 2011 (324 hr) registraron los menores tiempos de inundación (Fig. II.4.9C).

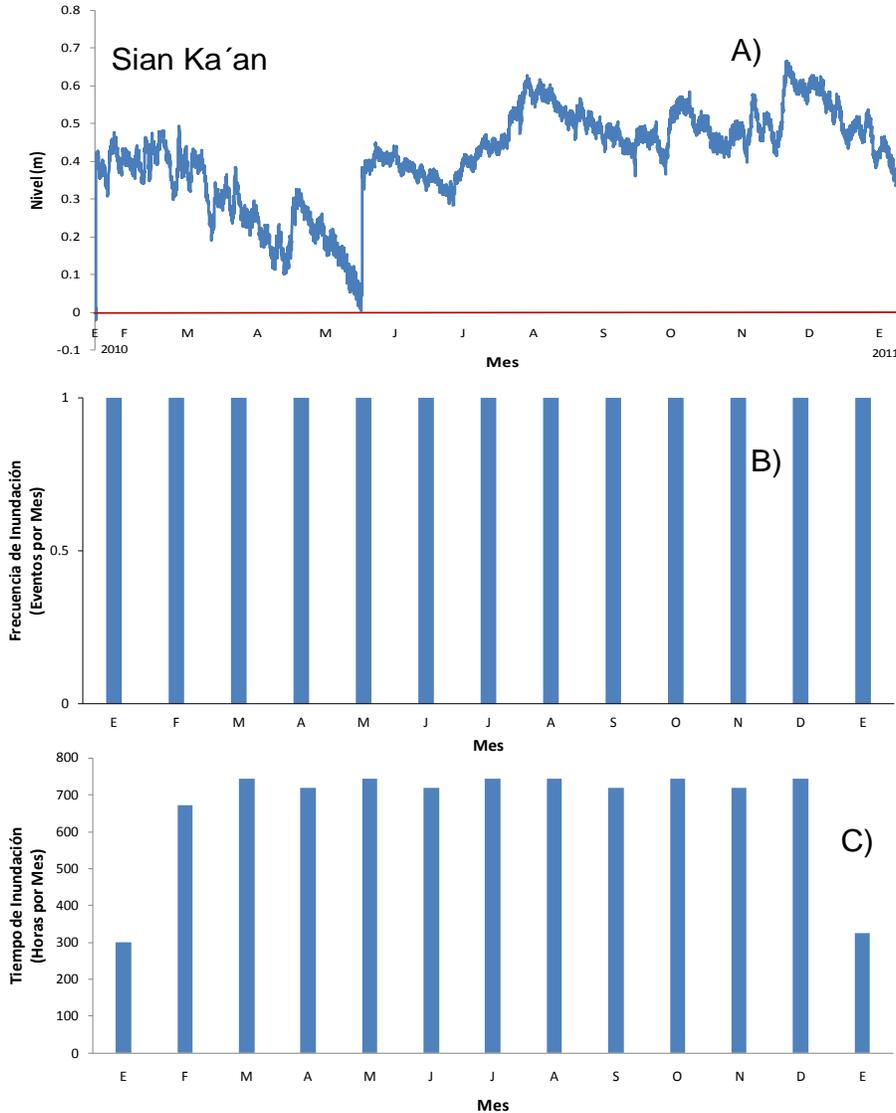


Figura II.4.9. Frecuencia de inundación de Sian Ka'an (A). La línea roja continua representa el nivel del suelo, los valores (+) indican el tiempo que el manglar se mantuvo inundado, los valores (-) indican el periodo de tiempo en que el manglar estuvo seco. B) Frecuencia de inundación y C) Tiempo de inundación, en el período estudiado.

Xcalak: Esta localidad no se inunda frecuentemente (Fig. II.4.10 A), lo cual se ve reflejado en la figura II.4.10A, donde la línea roja indica el nivel de suelo. El mayor nivel de inundación fue de 0.2 m en los meses de abril y diciembre del 2010. Para la frecuencia de inundación en la figura II.4.10B se observa que solo en 7 meses del periodo de estudio es cuando se presentan eventos de inundación-deseccación en la zona y el resto permanece inundado considerándose 1 evento. En el mes de enero es cuando se presentó el mayor número de eventos (5), la mayor parte del tiempo el sitio permanece sin agua por encima del sedimento. Respecto al tiempo de inundación, en dos meses (junio y diciembre) durante todas las horas posibles se encuentra inundado este manglar (Fig. II.4.10C).

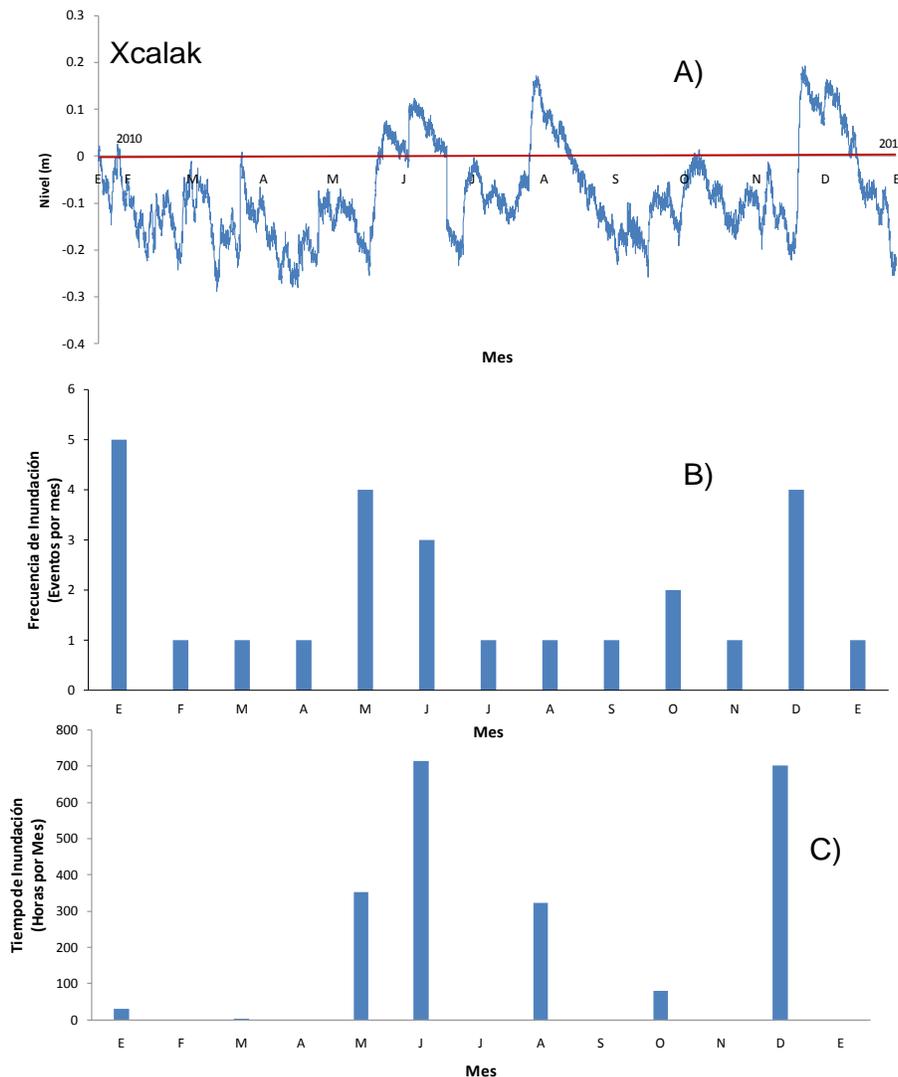


Figura II.4.10. Frecuencia de inundación de Xcalak (A). La línea roja continua representa el nivel del suelo, los valores (+) indican el tiempo que el manglar se mantuvo inundado, los valores (-) indican el periodo de tiempo en que el manglar estuvo seco. B) Frecuencia de inundación y C) Tiempo de inundación, en el período estudiado.

Herrera-Silveira, J.A., Teutli-Hernández, C., Zaldívar-Jiménez, A., Pérez-Ceballos, R., Cortés-Balán, O., Osorio-Moreno, I., Ramirez-Ramirez, J., Caamal-Sosa, J., Andueza-Briceño M.T., Torres, R., Hernández-Aranda H. 2013. 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, FB1307-N009/08. Informe Final, Noviembre 2013

Chetumal: El sitio de Tamalcab presentó un patrón en el que al inicio del periodo de muestreo el nivel del agua del humedal se presenta por debajo del sedimento, aumentando paulatinamente hasta alcanzar un nivel máximo de inundación de 0.5 m en el mes de octubre del 2010 y el mínimo fue de -0.6 m en febrero del 2010 (Fig. II.4.11A). Para la frecuencia de inundación se observa en la figura II.4.11B que se sigue el patrón de momentos de inundación durante los meses de lluvias (mayo, junio y agosto) y nortes (enero, febrero), y durante la época de estiaje (marzo, abril) el nivel del agua permanece por debajo de la superficie. En relación al tiempo de inundación los meses en los cuales el sitio presenta agua por encima del sedimento y las mayores horas de inundado es en el mes de agosto (732 hr) y septiembre (720 hr), los meses de enero, febrero (2010), mayo y junio del 2011 no presentan datos al no estar inundados durante ese periodo de tiempo (Fig. II.4.11C).

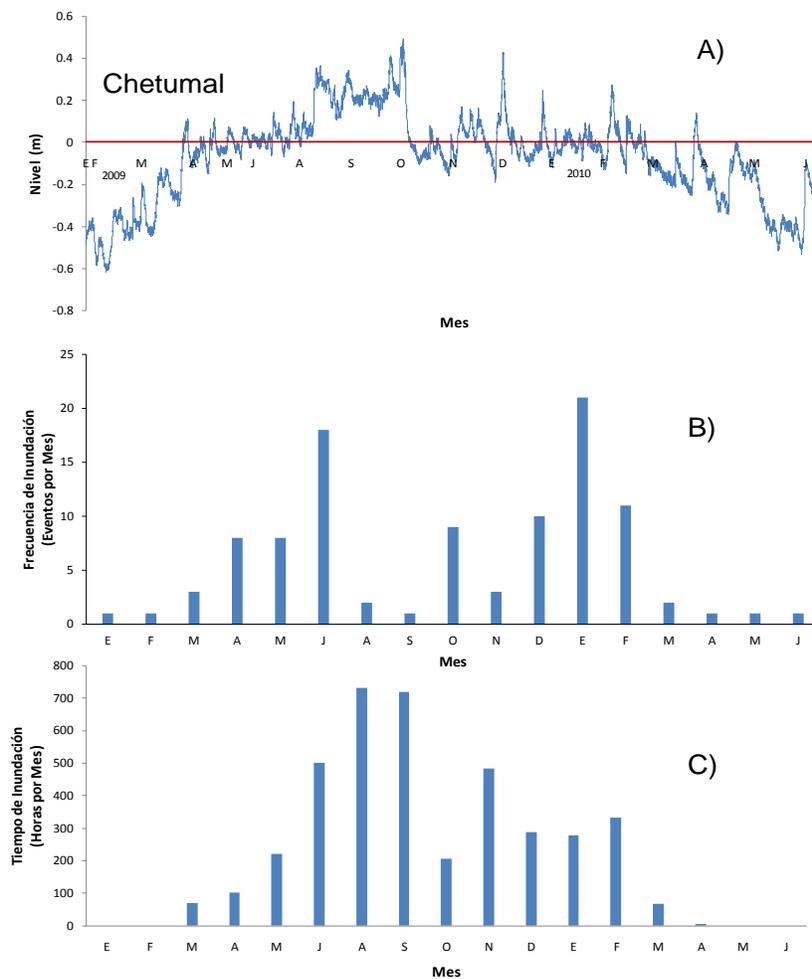


Figura II.4.11. Frecuencia de inundación de Chetumal (A). La línea roja continua representa el nivel del suelo, los valores (+) indican el tiempo que el manglar se mantuvo inundado, los valores (-) indican el periodo de tiempo en que el manglar estuvo seco. B) Frecuencia de inundación y C) Tiempo de inundación, en el periodo estudiado.

II.5.- VULNERABILIDAD AL INCREMENTO DE NIVEL MEDIO DEL MAR (INMM)

Se instalaron un total 36 bases para el SET (Sedimentary Erosion Table) para medir la elevación del suelo y 36 marcas de feldespatos (carbonato de calcio) para medir la acreción, en ambos casos las estaciones de muestreo fueron repartidos en: 12 bases para Celestún, 6 para Sisal, 4 para Progreso y 4 para Dzilam de Bravo para el caso de las localidades en el estado de Yucatán. Para el estado de Quintana Roo se han instalado 6 bases en Sian Ka'an y 4 en Chetumal (Tabla 5).

El levantamiento de datos fue anual (de 2009 a 2011) y para el caso de los manglares de Quintana Roo fueron entre 2010 y 2012.

La diferencia entre la acreción y la elevación indica la subsidencia del suelo, cuando la subsidencia es cero indica que hay un equilibrio entre la acreción y la elevación. Por otra parte, si la subsidencia es alta podría ser una señal de la vulnerabilidad a inundarse dependiendo de la tasa de elevación del suelo.

La elevación del suelo está determinada por factores que ocurren tanto a nivel superficial como sub-superficial, por ejemplo la erosión y acumulación de materiales, la cantidad de agua presente en el suelo y la producción de materia orgánica aérea y subterránea son factores determinantes en el corto y largo plazo sobre los procesos del suelo.

Los manglares de Celestún fueron los que registraron mayor acreción en un periodo de tres años, la ganancia de suelo fue de 9.4 mm, en contraste con los manglares de Sian Ka'an en donde solamente fueron capaces de formar 1 mm de suelo sobre el feldespatos en un periodo de dos años (Fig. II.5.2). Las localidades restantes presentaron valores de acreción entre 3 y 5 mm.

Tabla 5. Localización de las bases del SET y marcas del feldespató por cada localidad y sitios monitoreados.

No.	Estado	Localidad/Sitios	Latitud	Longitud	No. Bases
1	Yucatán	Celestún SET Zona Interna_Franja	20.9328576	-90.3307074	2
2	Yucatán	Celestún SET Zona Interna_Cuenca	20.9327715	-90.3305030	2
3	Yucatán	Celestún SET Zona Mezcla_Franja	20.8584807	-90.3761999	2
4	Yucatán	Celestún SET Zona Boca_Franja	20.7754355	-90.4064020	2
5	Yucatán	Celestún SET Zona Boca_Cuenca	20.8584262	-90.3760526	2
6	Yucatán	Celestún SET Zona Boca_Cuenca	20.7754235	-90.4061639	2
7	Yucatán	Sisal SET I	21.1679167	-90.0064667	1
8	Yucatán	Sisal SET II	21.1733298	-89.9940298	1
9	Yucatán	Sisal SET III	21.1740333	-89.9918333	1
10	Yucatán	Sisal SET IV	21.1707074	-90.0024440	1
11	Yucatán	Sisal SET V	21.1687625	-90.0081167	1
12	Yucatán	Sisal SET VI	21.1683636	-90.0100893	1
13	Yucatán	Progreso SET I	21.2746817	-89.6639857	1
14	Yucatán	Progreso SET II	21.2746594	-89.6642518	1
15	Yucatán	Progreso SET III	21.2561400	-89.6834300	1
16	Yucatán	Progreso SET IV	21.2560500	-89.6831800	1
17	Yucatán	Dzilam SET I	21.4008808	-88.8257919	1
18	Yucatán	Dzilam SET II	21.4012146	-88.8262396	1
19	Yucatán	Dzilam SET III	21.4029800	-88.8272400	1
20	Yucatán	Dzilam SET IV	21.4028800	-88.8273700	1
21	Quintana Roo	Sian Ka'an_El Playón	19.824374	-87.500866	1
22	Quintana Roo	Chetumal SET_Tamalcab	18.5655484	-88.2271817	2
23	Quintana Roo	Chetumal SET_Sitio Rio Hondo	18.4898091	-88.3158841	2

De acuerdo a la elevación vertical se diferencian dos grupos de localidad. El primero corresponde a los manglares entre Celestún y Progreso con valores de elevación entre -3 mm en Sisal y hasta 25 mm en Celestún (Fig. 11.5.2). El segundo grupo lo conforman Dzilam, Sian Ka'an y Chetumal con disminución de la altura del suelo de 18.8, 20.6 y 12.5 mm respectivamente. Los resultados indicaron que los manglares de Celestún, Sisal y Progreso presentaron baja subsidencia (cerca o menores a cero), por lo que su vulnerabilidad es menor con respecto al incremento al nivel medio del mar (Fig. 11.5.2). En contraste, las localidades de Dzilam, Sian Ka'an y Chetumal presentaron alta subsidencia (mayor a 15 mm). En estos sitios con alta subsidencia se presenta una combinación de factores sub superficiales que no favorecen a la elevación vertical, por ejemplo la acumulación de agua en el suelo durante la medición y la producción de raíces, con lo que serían más vulnerables al INMM.

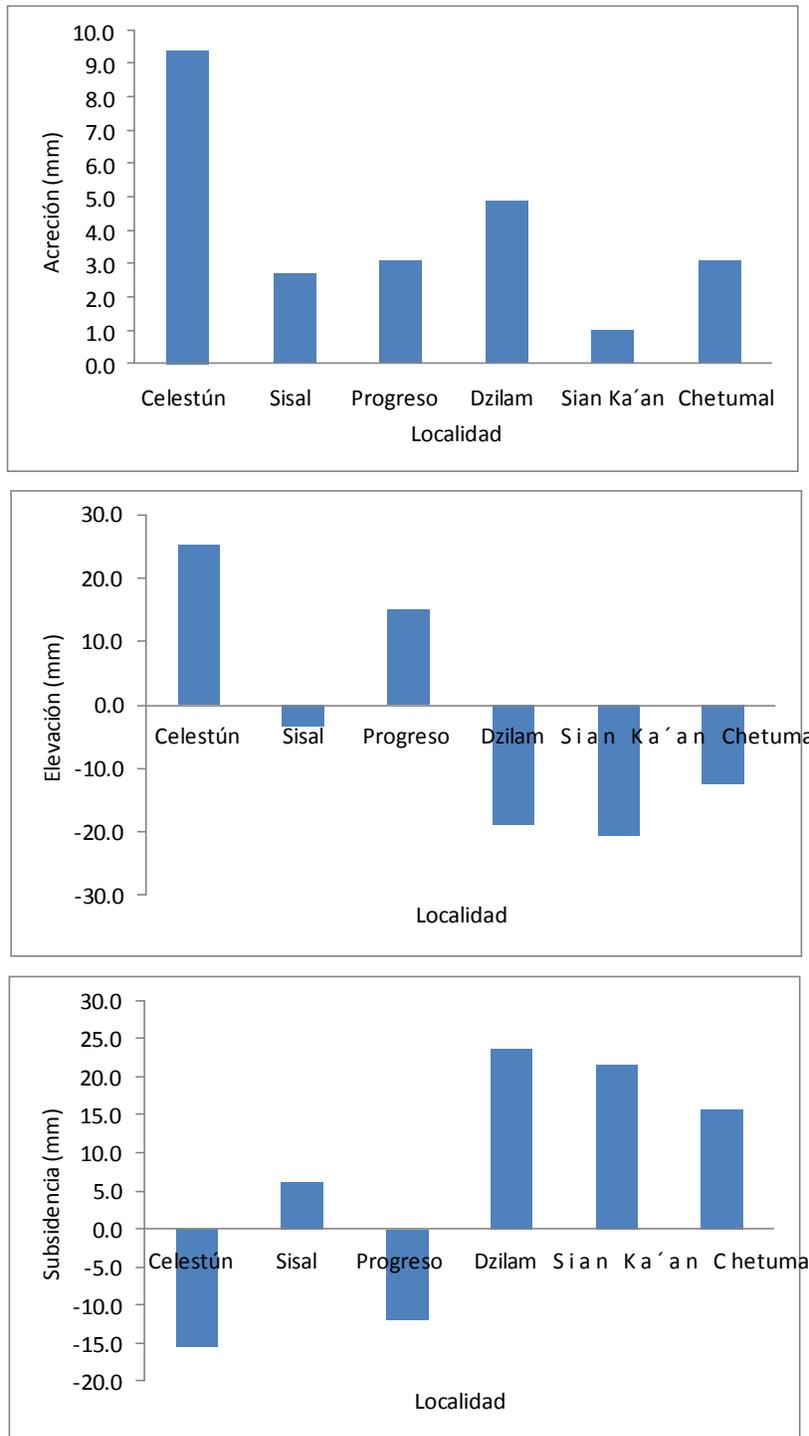


Figura II.5.2. Cambios de elevación, acreción y subsistencia en cada uno de los sitios de cada localidad de manglar.

En la tabla 6 se indica los valores de acreción, elevación y subsidencia registrados para cada sitio de manglar. Es de destacar que los manglares del sitio Interna franja Celestún fue el que presentó mayor acumulación de suelo con 11.8 mm de acreción. El segundo sitio con mayor acreción del suelo fue el sitio Boca cuenca con 10.8 mm. Respecto a la elevación del suelo los sitios de manglar de Celestún presentaron los mayores registros (por arriba de 20.7 mm). Los sitios de Dzilam, Elepeten y Sian Ka'an sitio 3 presentaron pérdida de elevación con -38 y -26 mm respectivamente (Tabla 6). En cuanto a la subsidencia, los manglares de Dzilam (Elepeten), los sitios de Sian Ka'an (El Playón), y los manglares de referencia de Sisal son sitios con alta subsidencia y por lo tanto vulnerables a inundarse con estos valores entre 15.7 y 42.2 mm (Tabla 6).

Tabla 6. Valores promedio por localidad de la acreción, elevación y subsidencia.

Estado	Localidad	Sitio	Acreción (mm)	Elevación (mm)	Subsidencia (mm)
Yucatán	Celestún	Interna Cuenca	7.1	26.3	-19.2
Yucatán	Celestún	Interna Franja	11.8	20.7	-8.9
Yucatán	Celestún	Puente Cuenca	10.8	26.2	-15.4
Yucatán	Celestún	Puente Franja	9.2	25.6	-16.4
Yucatán	Celestún	Boca Cuenca	Erosionado	26.2	Erosionado
Yucatán	Celestún	Boca Franja	8.1	26.2	-18.1
Yucatán	Sisal	Referencia	3.9	-17.3	21.1
Yucatán	Sisal	Reservorio	1.6	10.6	-9.1
Yucatán	Progreso	Chelem	4.2	37.5	-33.3
Yucatán	Progreso	Contenedores	2.0	-7.5	9.5
Yucatán	Dzilam	Elepeten	4.8	-38.0	42.8
Yucatán	Dzilam	Franja	4.9	0.2	4.7
Quintana Roo	Sian Ka'an	El Playón	1.0	-14.7	15.7
Quintana Roo	Chetumal	Rio Hondo	Erosionado	-3.1	Erosionado
Quintana Roo	Chetumal	Tamalcab	3.1	-9.4	12.5

MONITOREO ECOLÓGICO.

II.6.- PRODUCTIVIDAD DE TRONCOS:

Como análisis de caso se presentan los resultados del seguimiento en los manglares de Celestún. Se registraron para la evaluación 10 árboles marcados durante el muestreo de estructura midiéndoles el diámetro a la altura del pecho con lo cual se contó con la medida al tiempo cero (T0) y al tiempo 1 (T1) para la cuantificación del incremento de la biomasa en madera. Para obtener la biomasa se usaron las ecuaciones alométricas propuestas por Day *et al.*, (1987) para Laguna de Términos. La producción de biomasa fue determinada sustrayendo el valor calculado inicialmente al valor final (kg árbol año^{-1}). Para obtener la producción total de biomasa de los troncos posteriormente se multiplicó el valor promedio por la densidad de árboles por unidad de área (árbol ha^{-1}), esto se hizo por especie para cada sitio de la localidad.

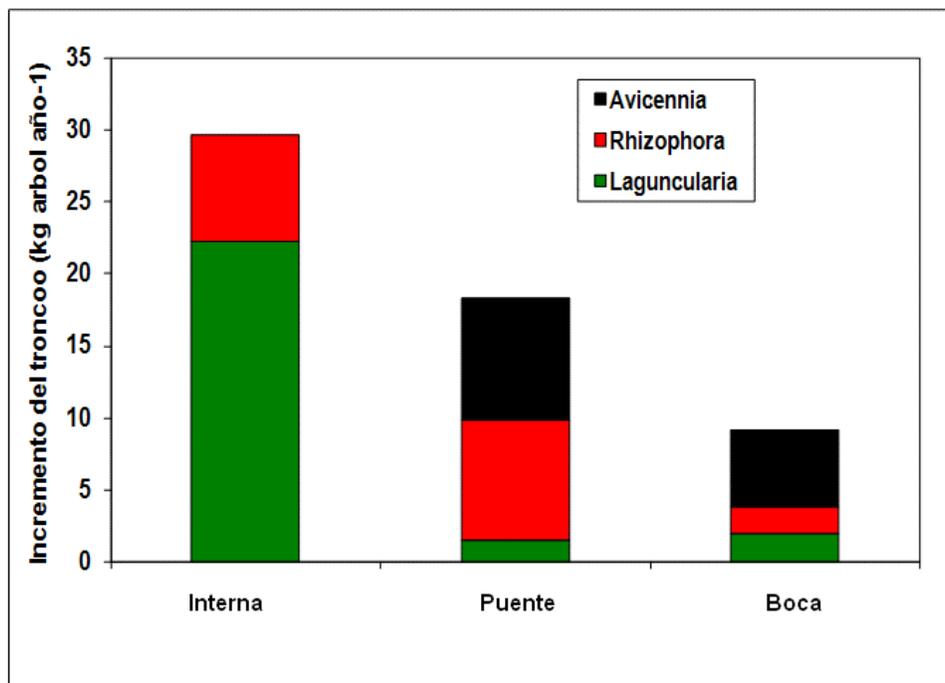


Figura II.6.1. Productividad del manglar a través del incremento del diámetro del tronco en los sitios de Celestún.

Se determinó un gradiente espacial en la producción de madera para el caso de los manglares de Celestún. La zona Interna presentó la mayor tasa de producción con $14.8 \text{ kg árbol año}^{-1}$, seguido por el sitio del Puente con $6.09 \text{ kg árbol año}^{-1}$ y por último la zona de la Boca con $3.02 \text{ kg árbol año}^{-1}$ (Fig.II.6.1).

Respecto a la producción de madera por especie, *Laguncularia racemosa* fue la especie que mayor tasa de producción de biomasa de troncos presentó al encontrarse dominando el sitio Interna de laguna Celestún. Las condiciones ambientales en esta zona favorecen a *L. racemosa*. *Rhizophora mangle* registró un promedio 5.9 kg árbol año⁻¹ para todo el sistema lagunar, aunque su producción de madera fue menor en el sitio de la Boca donde el incremento del tronco tuvo en promedio 1.8 kg árbol año⁻¹ (Fig.II.6.1). Por último, el mangle negro (*Avicennia germinans*) presentó valores de producción de madera entre 5.3 kg árbol año⁻¹ en el sitio de la Boca y 8.5 kg árbol año⁻¹ en el sitio del Puente.

II.7.- PRODUCTIVIDAD DE HOJARASCA

Los patrones espaciales y temporales de la productividad de hojarasca en los ecosistemas de manglar son una medida funcional de la salud de estos ecosistemas al estar relacionados con la estructura de la vegetación y con las características de variables ambientales que la pueden afectar. Hay características que pueden comportarse como estresores (altas salinidades, modificaciones del hidropériodo), o como recursos (nutrientes en los sedimento y agua), por lo que son capaces de reflejar los impactos por eventos naturales y actividades antrópicas, permitiendo a los tomadores de decisión proponer acciones de conservación, restauración, mitigación o saneamiento según sea el caso.

Celestún: En los tres sitios de esta localidad se observa un patrón temporal en la producción de hojarasca presentándose la más alta durante la temporada de lluvias (de mayo a octubre), y las más bajas durante la temporada de nortes (de noviembre a febrero). En el sitio de la zona Interna se observó la mayor producción de hojarasca en el año de 2009 respecto a los otros sitios, registrándose el valor más alto en septiembre (246.7 g m² mes⁻¹) (todos los resultados de este apartado son en base gamos de pesos seco del material colectado) (Fig. II.7.1A), mientras que en el Puente fue de 183.3 g m² mes⁻¹ en marzo (Fig. II.7.1B) y en la Boca de 135.7 g m² mes⁻¹ en octubre (Fig. II.7.1C), observándose la menor producción en enero (41.4 g m² mes⁻¹) (Fig. II.7.1C). Durante el año 2010 se observó disminución de la productividad en la zona Interna con el menor valor (28.3 g m² mes⁻¹) en diciembre y el mayor (140.5 g m² mes⁻¹) en septiembre. En este mismo año la zona del Puente presenta la más alta productividad (294.7 g m² mes⁻¹) en septiembre (lluvias) y la menor en diciembre (43.7 g m² mes⁻¹) (Fig. II.7.1B), mientras que en la Boca el intervalo fue de 30 a 258.3 g m² mes⁻¹ en febrero y septiembre respectivamente (Fig. II.7.1C). Durante 2011 la productividad de la zona Interna vuelve a

aumentar, presentando el valor más alto en mayo (179.3 g m² mes⁻¹) (Fig. II.7.1A). En el Puente y en la Boca la mayor productividad se presentó en agosto (155 g m² mes⁻¹ y 127.4 g m² mes⁻¹ respectivamente). En cuanto a los componentes, en el sitio la Interna se observa una alta producción de hojas (199.3 g m² mes⁻¹) durante el mes de septiembre de 2009. Respecto a los componentes reproductivos (flores y frutos), se observa que son más altos durante los meses de mayor precipitación, sin embargo, en el sitio Puente estas estructuras se observan durante casi todo el año (Fig. II.7.1B). En el sitio de la Boca se observó la mayor producción de estructuras reproductivas (113.4 g m² mes⁻¹) en septiembre de 2010 (Fig. II.7.1C).

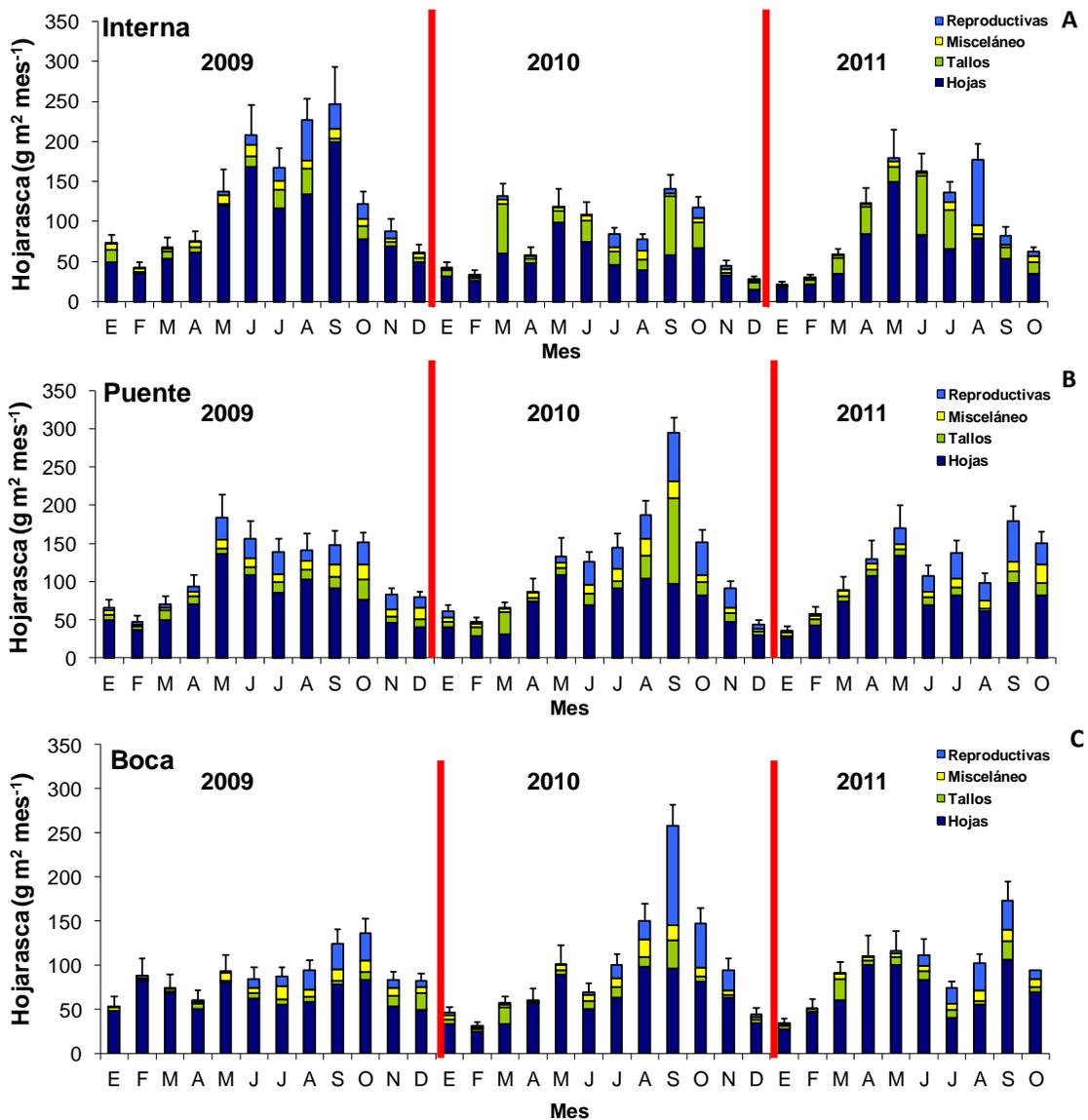


Figura II.7.1. Productividad de hojarasca de la localidad de Celestún en cada uno de los sitios.

Sisal: Se observó un patrón espacial en esta localidad, siendo el sitio de Pecis I el que presentó la más alta productividad durante el periodo de monitoreo. En el año 2011 se registró el valor más alto en septiembre (484.3 g m² mes⁻¹), siendo las estructuras reproductivas las que más aportaron a esta productividad (272.3 g m² mes⁻¹), sugiriendo respuesta a los aportes de los efluentes de la ex-camaronera adyacente a este sitio (Fig. II.7.2A). Sin embargo, octubre de 2010 fue la excepción al presentarse la mayor producción en el sitio de Pecis III (438.8 g m² mes⁻¹), la cual aumentó por el alto aporte de hojas y tallos, probablemente por la caída de ramas asociada a la precipitación acompañada de fuertes vientos. El sitio de Pecis I también presentó menor productividad (49.9 g m² mes⁻¹) en diciembre de 2009 (Fig. II.7.2A), mostrando ser un sitio variable que responde a las épocas climáticas de la región, siendo más altas en lluvias y menores en nortes y secas. En comparación, el sitio de Pecis III presenta productividades de 52.16 g m² mes⁻¹ en abril (secas) de 2010 a 184.08 g m² mes⁻¹ en abril (secas) de 2011 (Fig. II.7.2B), presentando un menor rango de variación y un patrón estacional menos claro. En cuanto a los componentes reproductivos éstos varían de acuerdo a la época climática en los dos sitios, ya que se presentan principalmente durante la temporada de lluvias (mayo-octubre) mientras que en la temporada de nortes (enero-febrero) y secas (marzo-abril) son escasos. En agosto y septiembre de 2011 en el sitio de Pecis I se observaron altas producciones de estructuras reproductivas (241.03 y 272.3 g m² mes⁻¹), las mayores observadas durante todo el monitoreo (Fig. II.7.2A).

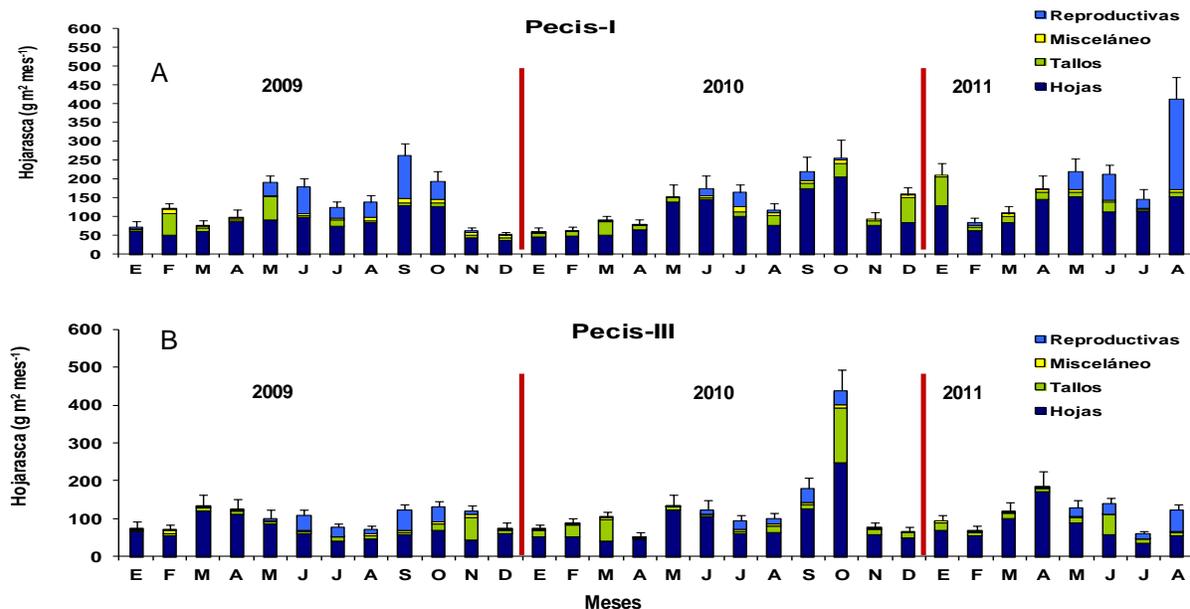


Figura II.7.2. Productividad de hojarasca de los sitios de la localidad de Sisal.

Progreso: El sitio de Contenedores presentó la más alta productividad durante el año 2009 respecto a los otros dos sitios (noviembre = $216.1 \text{ g m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$) y el menor en enero ($25.9 \text{ g m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$). La menor productividad de hojarasca se observó en el sitio Chelem I con el valor de $40.8 \text{ g m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$ en febrero (Fig. II.7.3A). El sitio de Contenedores también presentó la mayor productividad de hojarasca en los años 2010 y 2011, siendo durante el mes de octubre del 2010 cuando se observó el valor más alto ($235.9 \text{ g m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$), en su mayoría por componentes reproductivos ($103.3 \text{ g m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$) (Fig. II.7.3C). Le siguió el sitio Chelem II ($226.0 \text{ g m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$) en mayo de 2010 (inicio de lluvias), siendo en su mayoría el componente hojas ($199.6 \text{ g m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$) (Fig. II.7.3B). En comparación con los sitios anteriores, Chelem I presentó las menores productividades durante el mismo periodo de monitoreo (de $49.4 \text{ g m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$ en febrero del 2010 a $167.9 \text{ g m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$ en octubre del mismo año). Las estructuras reproductivas siguieron el patrón estacional de mayor abundancia en la época de lluvias y menor en secas (Fig. II.7.3).

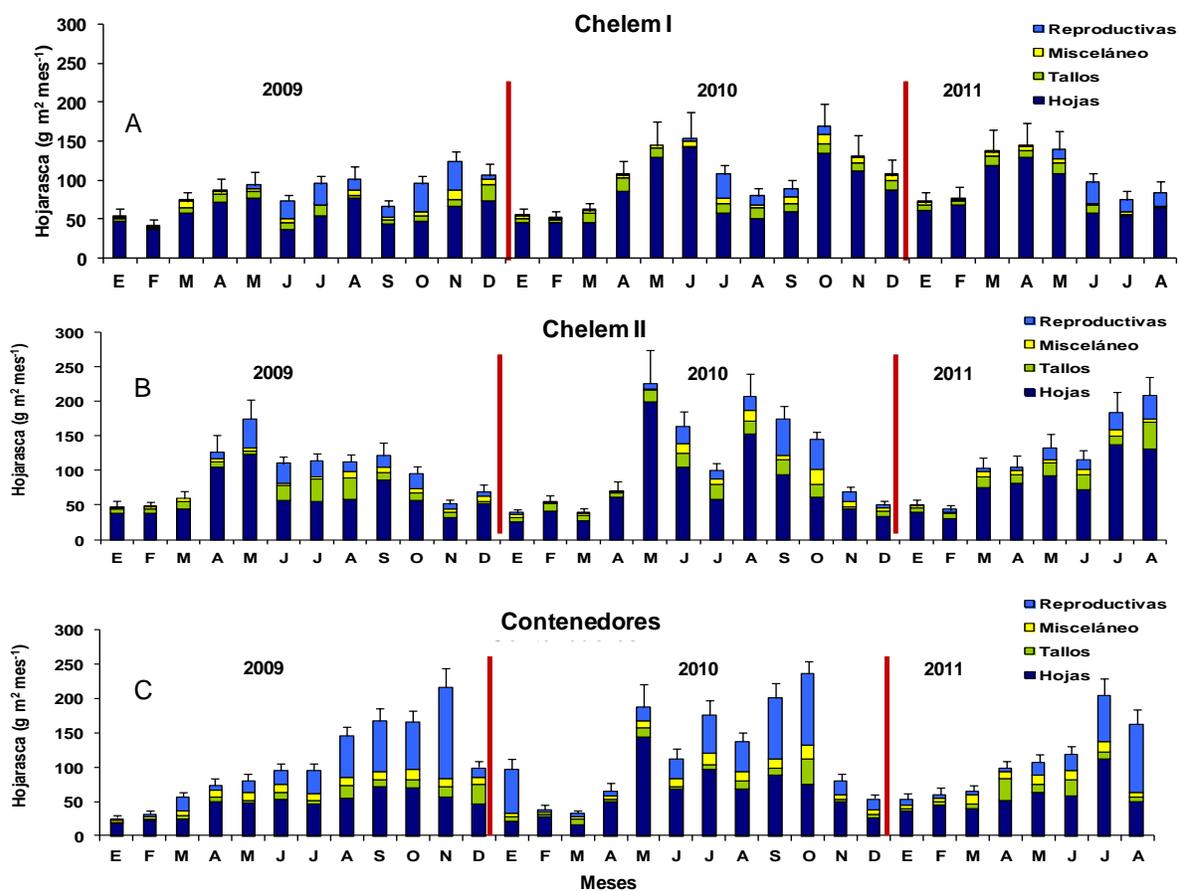


Figura II.7.3. Productividad aérea de cada sitio de la localidad de Progreso.

Dzilam: En el primer año de monitoreo (2009) la productividad más alta se observó en el sitio Elepetén (283 g m² mes⁻¹) en septiembre (lluvias), siendo en su mayoría estructuras reproductivas (190 g m² mes⁻¹), mientras que la menor fue en el sitio Pueblo en febrero (19 g m² mes⁻¹) (Fig. II.7.4A). Durante el periodo del 2010 y 2011 también fue el sitio Elepetén el que presentó la mayor productividad (de 42.3 g m² mes⁻¹ en febrero de 2011 a 244 g m² mes⁻¹ en octubre de 2010) (Fig. II.7.4A) indicando así un patrón espacial, ya que éste es un sitio impactado por huracán, en tanto el sitio Pueblo los es por actividades antrópicas presentando menor productividad que va de 15.2 g m² mes⁻¹ en febrero (2010) a 159.4 g m² mes⁻¹ en agosto (2011) (Fig.II.7.4B). La productividad aérea respecto a sus cuatro componentes (hojas, tallos, misceláneo y estructuras reproductivas) presenta un patrón estacional, observándose los cuatro componentes durante la temporada de lluvias, sin embargo, en el sitio Elepetén durante 2011 se observa decremento de estructuras reproductivas en dicha temporada, mientras que en el sitio Pueblo hubo aumento de estas estructuras en agosto (113.3 g m² mes⁻¹) (Fig.II.7.4B).

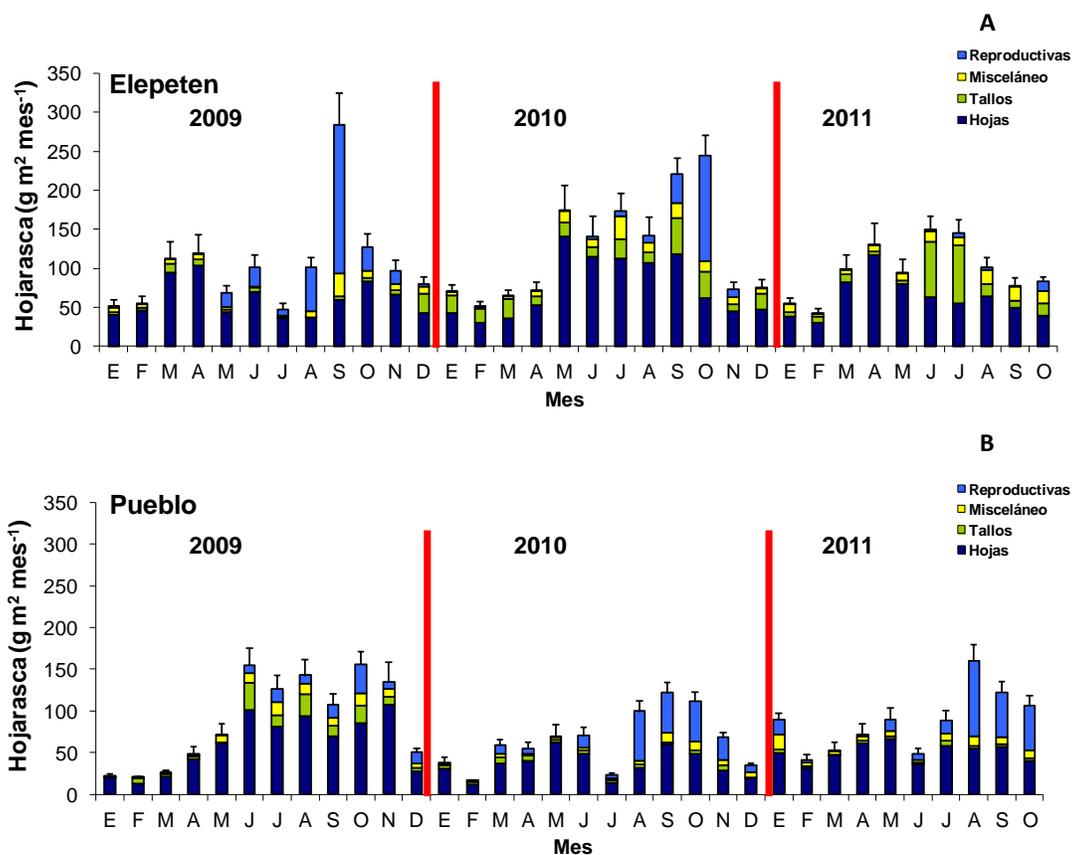


Figura II.7.4. Productividad de hojarasca de la localidad de Dzilam en cada uno de los sitios.

Río Lagartos: El valor más alto se presentó en el sitio de Río Lagartos ($172.5 \text{ g m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$) en mayo de 2009. El sitio El Cuyo a pesar de que es un bosque monoespecífico (de *Avicennia germinans*) también presentó alta productividad durante los meses de septiembre y octubre ($160.9 \text{ g m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$ y $161.4 \text{ g m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$) (Fig. II.7.5A). En el año 2010 el sitio Río Lagartos presentó valores de productividad de $8.3 \text{ g m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$ (febrero) a $78.8 \text{ g m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$ en mayo, mientras que en El Cuyo la productividad durante este año fue muy baja y no fueron colectados durante todos los meses (las canasta fueron robadas en varias ocasiones). La presencia antrópica pudo ocasionar sesgo en estos resultados del monitoreo. Se observa el patrón estacional en las estructuras reproductivas, ya que en ambos sitios se presentan éstas durante lluvias principalmente en septiembre y octubre. Durante el 2011 la mayor productividad se observó en el sitio de Río Lagartos en agosto y septiembre (239.1 y $242.9 \text{ g m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$), y en el sitio El Cuyo la productividad fue de $8.5 \text{ g m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$ a $51.41 \text{ g m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$ (febrero y mayo, respectivamente) (Fig. II.7.5B). A partir de junio de 2011 no hay colecta de hojarasca por cambio de uso de suelo (talado y construcción de cancha deportiva). Esto es importante, pues el sitio de El Cuyo aportaba alta productividad comparada con algunos sitios de otras localidades por lo que para el monitoreo se seleccionara un sitio con condiciones similares al sitio del Cuyo para continuar con el muestreo de la productividad.

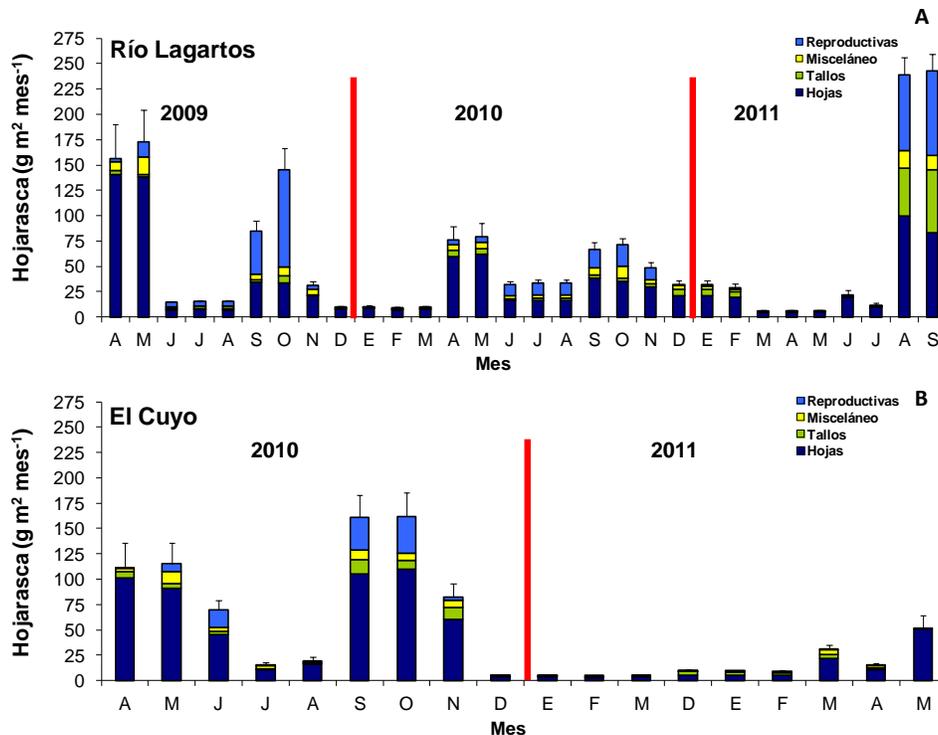


Figura II.7.5. Productividad de hojarasca de la localidad de Río Lagartos en cada uno de los sitios.

Cancún: La mayor productividad se presentó en el sitio Polígono 1 durante todo el monitoreo con respecto al sitio Polígono 9, registrándose el valor más alto en octubre (lluvias) del año 2010 ($273.3 \text{ g m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$) y el menor valor en abril de 2011 ($36.5 \text{ g m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$) (Fig. II.7.6A). El sitio Polígono 9 presentó valores de productividad de $9.1 \text{ g m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$ en junio de 2011 a $104.2 \text{ g m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$ en agosto de 2010 (Fig. II.7.6B), indicando un patrón espacial que responde al desarrollo estructural de cada sitio, ya que el sitio Polígono 1 presentó el mayor índice de complejidad. Las estructuras reproductivas se observaron en mayor abundancia en los meses de mayor precipitación respondiendo así a un patrón estacional (Fig.II.7.6).

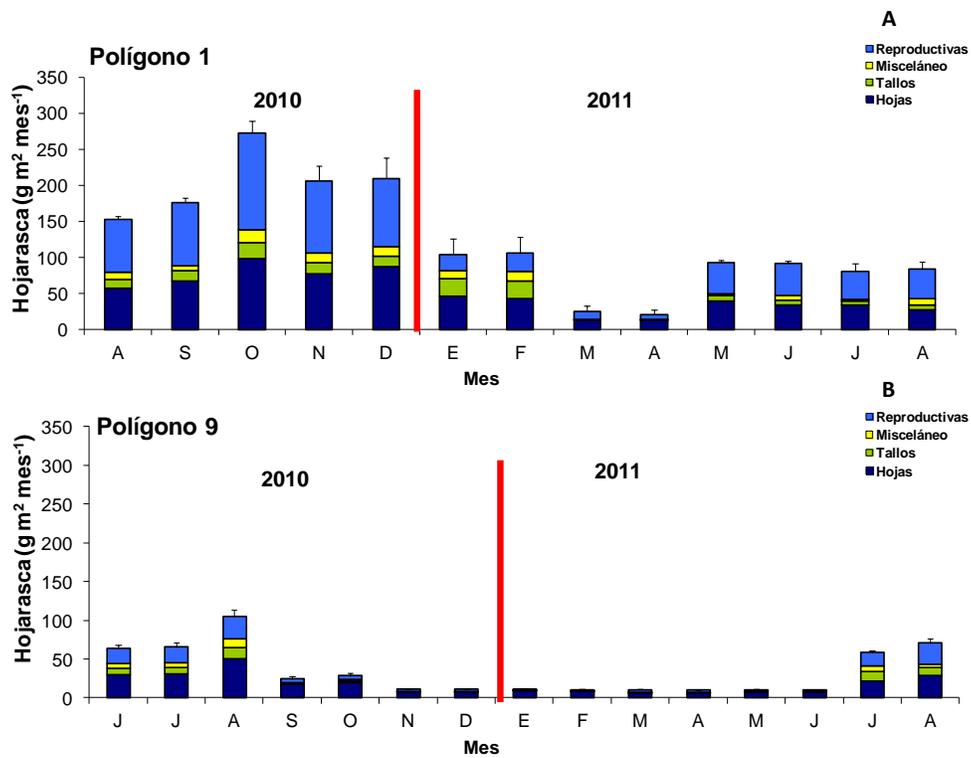


Figura II.7.6. Productividad de hojarasca de la localidad de Cancún en cada uno de los sitios.

Puerto Morelos: Entre los dos sitios de esta localidad la productividad más alta se presentó en La Ceiba durante todo el monitoreo (2009-2011), siendo el mes de diciembre el que presentó el valor más alto ($78.5 \text{ g m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$) durante el 2009 (Fig. II.7.7A), y el menor valor en el sitio del Cid ($7 \text{ g m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$) en febrero (Fig. II.7.7B). Para el 2010 la productividad en el sitio la Ceiba varió de $27 \text{ g m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$ a $88.6 \text{ g m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$ (marzo y abril, respectivamente), mientras que en El Cid es menor, con valores de $6.5 \text{ g m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$ en febrero a $33.2 \text{ g m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$ en julio. La productividad incrementó en ambos sitios a partir de mayo de 2011, siendo el mes de julio el que presentó el valor más alto en la Ceiba ($131.2 \text{ g m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$) (Fig. II.7.7A) y mayo ($61 \text{ g m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$) en El Cid (Fig. II.7.7B). La productividad en El Cid es baja comparada con otros sitios, reflejando probablemente estrés por los impactos a que está sometido este sitio relacionado a la construcción de infraestructura turística, y en el cual se observan áreas de manglar muerto. En general, en los dos sitios se observa un patrón estacional de la caída de la hojarasca presentándose los mayores valores de productividad durante la temporada de lluvias. Sin embargo, las estructuras reproductivas se observan durante casi todo el año (Fig. II.7.7).

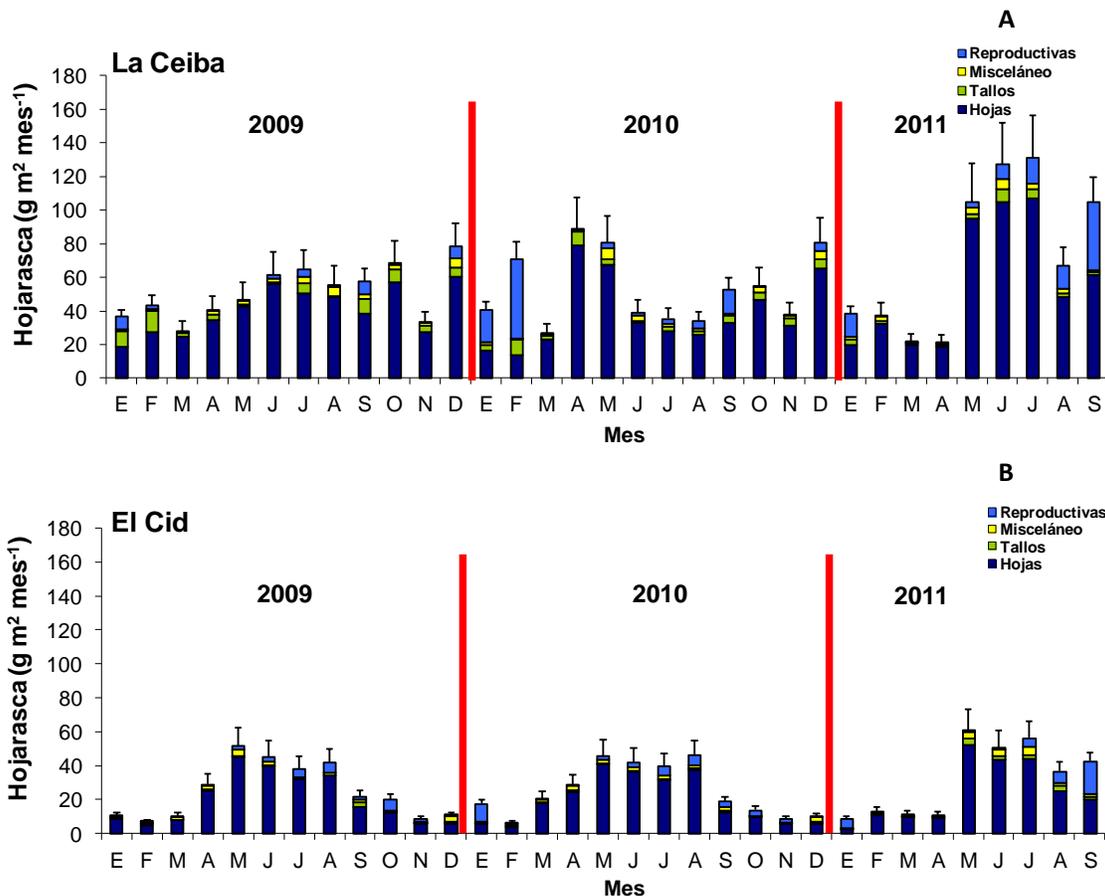


Figura II.7.7. Productividad de hojarasca de cada sitio de la localidad de Puerto Morelos.

Sian Ka'an: En general el sitio Cayo Culebras fue el que presentó la más alta productividad durante todo el monitoreo, de 52.9 g m² mes⁻¹ en diciembre (nortes) a 277.7 g m² mes⁻¹ en septiembre (lluvias) durante el 2010, comparado con el sitio El Playón, del cual se puede observar que su productividad es baja, de 6.2 g m² mes⁻¹ (marzo) a 33.2 g m² mes⁻¹ (septiembre) a pesar de que está en buen estado de conservación. Sin embargo, esto se asocia al tipo de desarrollo estructural de la vegetación que le da la categoría de manglar “chaparro”. Respecto a las estructuras reproductivas, éstas se observaron en casi todos los meses, sin embargo, la mayor abundancia se presentó en los meses de mayor precipitación (julio-octubre) respondiendo así al patrón estacional (Fig. II.7.8).

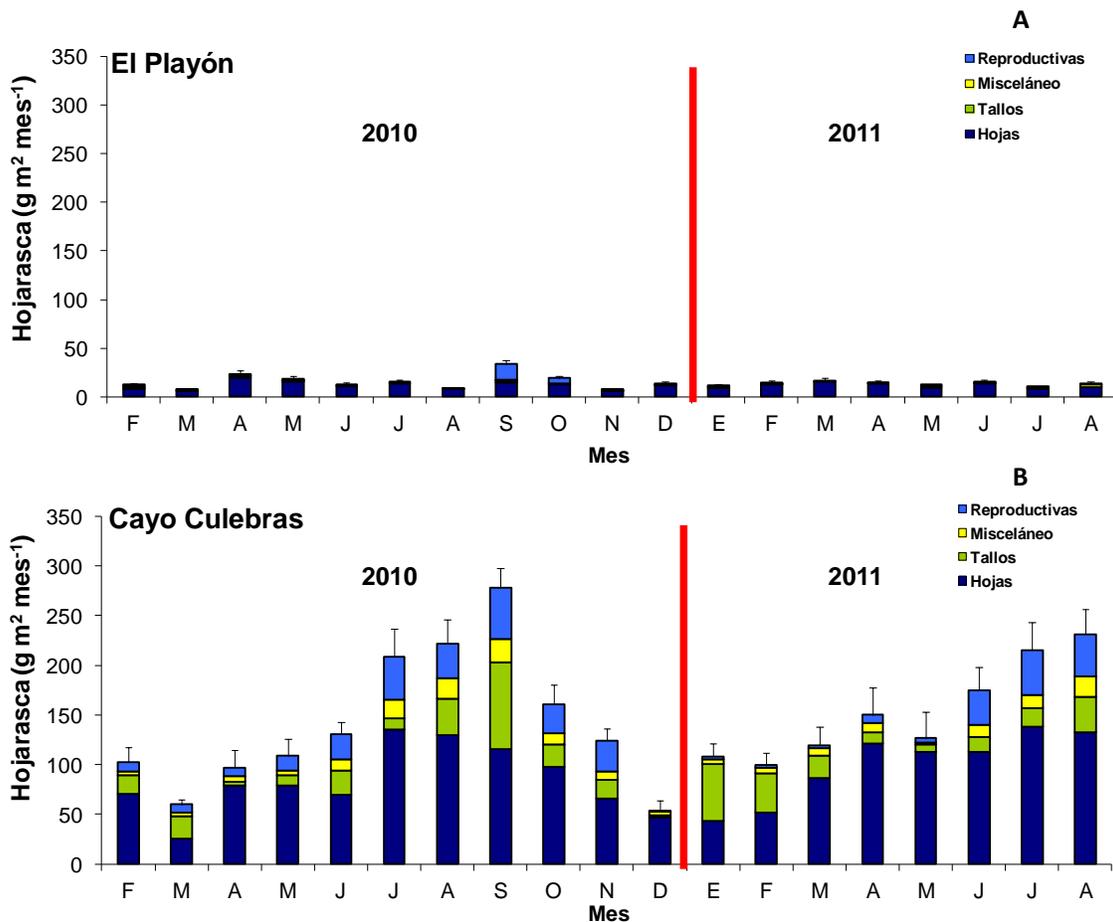


Figura II.7.8. Productividad de hojarasca de cada sitio de la localidad de Sian Ka'an.

Xcalak: El sitio Pueblo presentó la más alta productividad de enero a febrero del año 2009 (956.8 g m² mes⁻¹), de la cual la mayoría fue del componente tallos (926.7 g m² mes⁻¹) (Fig. II.7.9A), probablemente asociado a los fuertes vientos de la temporada de nortes. Haciendo a un lado el valor anterior del componente tallos la productividad en el sitio Pueblo durante el 2009 fue de 39.1 g m² mes⁻¹ en agosto a 60.3 g m² mes⁻¹ en octubre. En el sitio de Portilla 2009 no hubo monitoreo de la productividad por problemas logísticos. La productividad en el sitio Pueblo aumentó durante el 2010, presentándose el valor más alto en octubre (146.8 g m² mes⁻¹) probablemente asociado a que fue un año de mayor precipitación respecto al 2009 y 2011, ya que también la caída de las estructuras reproductivas fue más conspicua durante este año (Fig. II.7.9A). En el sitio Portilla la productividad fue menor (14.8 g m² mes⁻¹ en diciembre a 61.7 g m² mes⁻¹ en septiembre), lo cual indica un patrón espacial en esta localidad (Fig. II.7.9B). Durante el 2011 la productividad en el sitio Pueblo volvió a disminuir, con el valor más alto de 82.9 g m² mes⁻¹ (julio) (Fig. II.7.9A), mientras que en el sitio Portilla la mayor productividad se presentó en junio (39.4 g m²mes⁻¹). De acuerdo a los componentes estructurales de la hojarasca, las estructuras reproductivas son mayores en los meses de mayor precipitación, indicando un patrón estacional, sin embargo, durante el 2011 este componente no es notorio en el sitio Portilla (Fig.II.7.9B).

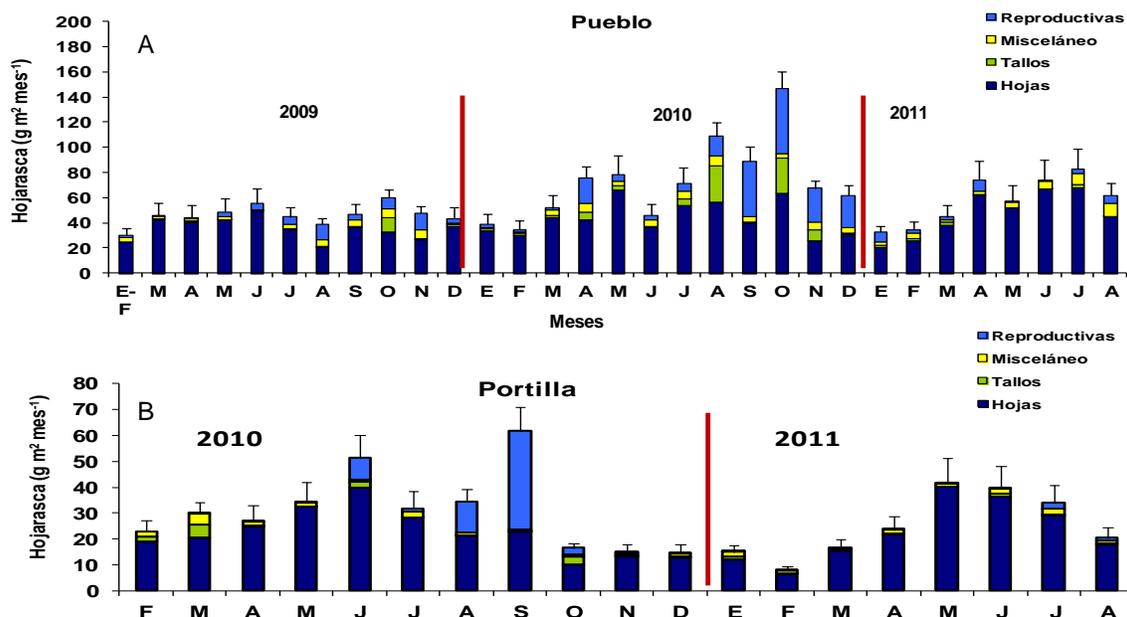


Figura II.7.9. Productividad de hojarasca de los sitios de la localidad de Xcalak.

Chetumal: En los dos sitios se presenta claramente un patrón estacional con las mayores productividades de mayo a octubre de 2009, correspondientes a la temporada de lluvias, y las menores en las temporadas de nortes (noviembre-febrero). En el sitio Río Hondo la productividad varió de 15.2 g m² mes⁻¹ (enero) a 94.2 g m² mes⁻¹ (septiembre) (Fig. II.7.10A). La productividad más alta durante el periodo de monitoreo se presenta en el sitio Tamalcab, registrándose durante el año 2009 el valor más alto en agosto (214 g m² mes⁻¹), siendo las estructuras reproductivas las que más aportaron (112.9 g m² mes⁻¹) (Fig. II.7.10B). Durante el 2010 la productividad aumentó en ambos sitios siendo el mes de agosto el que presentó el valor más alto en el sitio Tamalcab (251.5 g m² mes⁻¹) (Fig. II.7.10B) y en junio en el sitio Río Hondo (124.7 g m² mes⁻¹) (Fig. II.7.10A). En el monitoreo del año 2011, el sitio Tamalcab presentó productividades de 29.7 g m² mes⁻¹ (febrero) a 171.2 g m² mes⁻¹ (julio) y Río Hondo de 17 g m² mes⁻¹ (febrero) a 125.2 g m² mes⁻¹ (julio) (Fig.II.7.10). Ambos sitios presentan un buen desarrollo estructural, pero la diferencia en su productividad puede estar relacionada a la especie dominante, ya que en el sitio Tamalcab se registran 3 especies (*R. mangle*, *L. racemosa* y *A. germinans*), mientras en Río Hondo, sólo 2 especies (*R. mangle* y *C. erectus*).

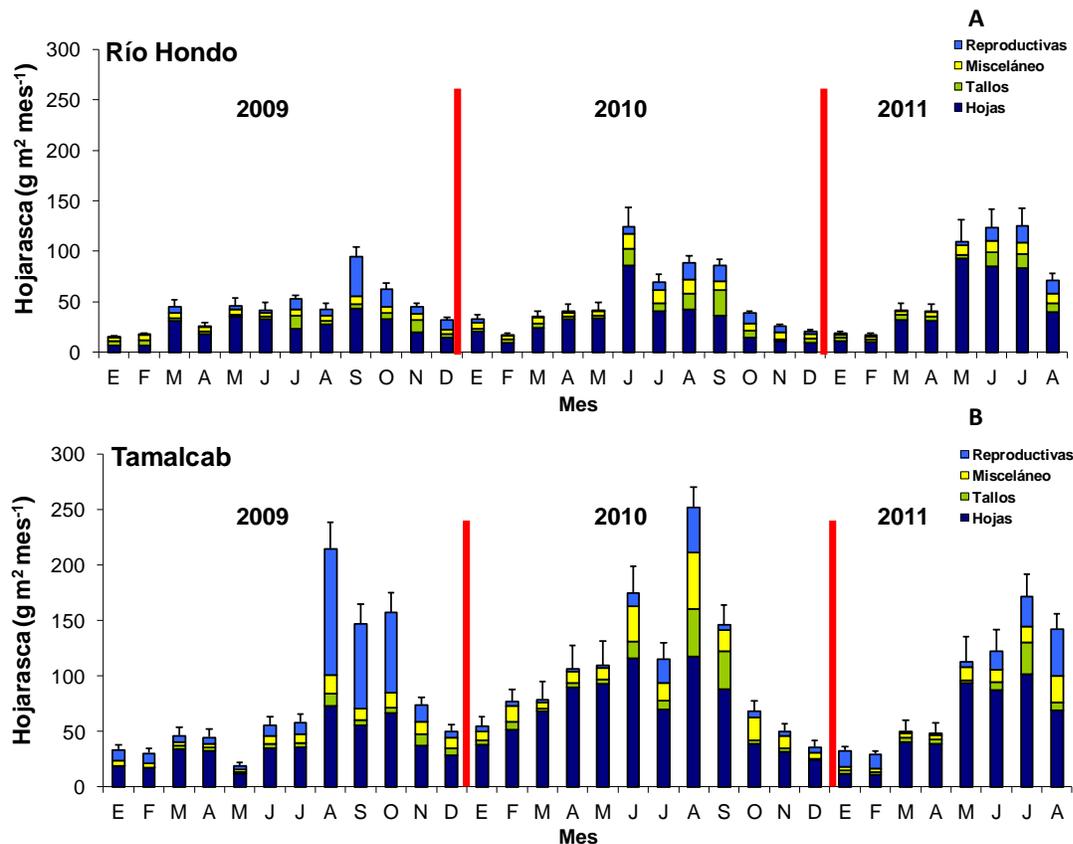


Figura II.7.10. Productividad de hojarasca de la localidad de Chetumal en cada uno de los sitios.

II.8.- PRODUCCIÓN DE RAÍCES FINAS

La productividad de raíces finas (0-2 cm) representa una gran proporción en la producción primaria neta de los ecosistemas de manglar, siendo incluso más importante que la hojarasca ya que contribuyen a la acreción vertical y en la habilidad del manglar para mantener el equilibrio con el incremento del nivel del mar así como también evitar la erosión del suelo (Giraldo, 2005; Castañeda-Moya *et al.*, 2011). Las raíces contribuyen en la producción de turba y la construcción de los suelos que se componen principalmente de las raíces finas que crecen en las condiciones anóxicas de este ecosistema, además de que recientemente se ha observado que proliferan en las raíces viejas y muertas como un proceso de recuperación de nutrientes de los tejidos descompuestos en sitios con bajos nutrientes (McKee *et al.*, 2004).

Para este informe se reporta la productividad de raíces en dos colectas Tiempo 1 (2009) y Tiempo 2 (2010), clasificados en tres categorías según el tamaño de las raíces. Categoría 1: son las raíces finas con tamaño de diámetro de 0 a 0.2 cm, categoría 2: son raíces de 0.21 a 0.5 cm y de categoría 3: raíces de 0.51 a 2.0 cm.

Celestún: Para esta localidad en el primer año la mayor productividad total se presentó en el sitio de la zona Interna ($638.22 \text{ gr/m}^2\text{año}^1$) (Fig. II.8.1A), seguido del sitio del Puente ($308.14 \text{ gr/m}^2\text{año}^1$) (Fig. II.8.1B). El sitio de la Boca registro la menor productividad total en el primer año ($235.77 \text{ gr/m}^2\text{año}^1$) (Fig. II.8.1 C), siendo la categoría 3 de raíces la de mayor aporte en todos los sitios de esta localidad (Fig. II.8.1). Para el segundo año el sitio de la Boca registro la mayor productividad de raíces ($478.51 \text{ gr/m}^2\text{año}^1$) (Fig. II.8.1C), seguido del sitio del Puente ($130.95 \text{ gr/m}^2\text{año}^1$) (Fig. II.8.1B). En el sitio de la zona Interna se observó la menor productividad ($130.95 \text{ gr/m}^2\text{año}^1$). En el año 2009 la categoría 3 de raíces presento el mayor aporte respecto a las categorías 1 ($144.89 \text{ gr/m}^2\text{año}^1$) y 2 ($127.45 \text{ gr/m}^2\text{año}^1$) del sitio de la Boca con la mayor productividad para el segundo año (Fig. II.8.1C), seguido del sitio del Puente donde la mayor abundancia fue de la categoría 1 ($85.47 \text{ gr/m}^2\text{año}^1$), seguido de la categoría 2 ($39.62 \text{ gr/m}^2\text{año}^1$) (Fig. II.8.1B).

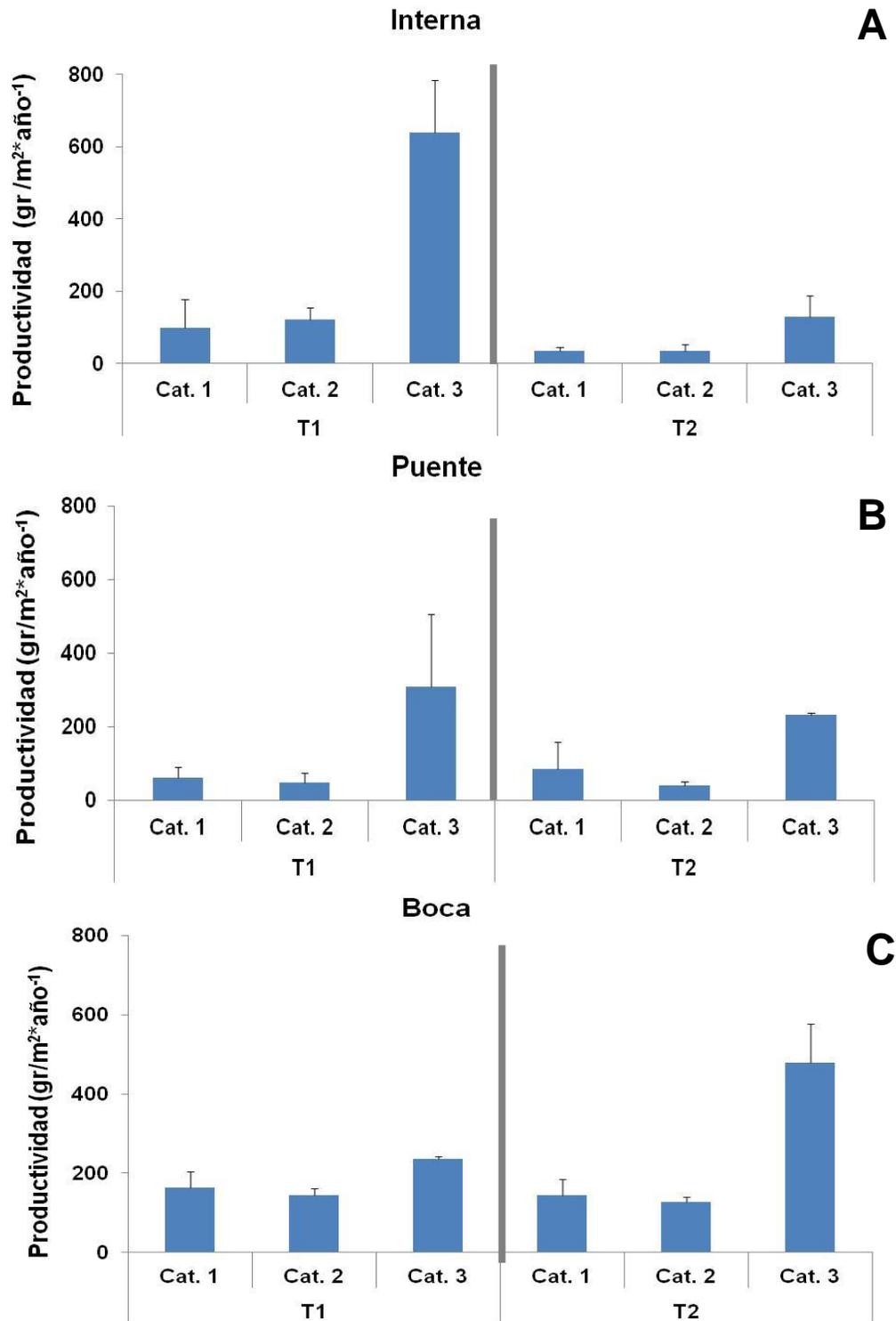


Figura II.8.1.Productividad de raíces en los sitios de la localidad de Celestún donde A) Interna, B) Puente, C) Boca, T1 (Tiempo 1) y T2 (Tiempo 2). Cat. 1 raíces finas de diámetro de 0 a 0.2 cm; Cat. 2 raíces finas de diámetro 0.21 a 0.5 cm; Cat. 3 raíces finas de diámetro 0.51 a 2.0 cm.

Sisal: En esta localidad se observa la mayor productividad de raíces en el sitio de Pecis I, el cual se caracteriza por haber recibido los efluentes de la camaronera, donde en el primer año (2009) registro la mayor productividad en las diferentes categorías de raíces, siendo la categoría 3 la de mayor aporte ($346.51 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$), seguido de la categoría 1 ($168.16 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$) (Fig. II.8.2A). En el sitio de Pecis III la productividad de raíces fue menor donde la producción de raíces finas (categoría 1) fue el mayor aporte ($68.28 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$), seguido de la categoría 2 ($33.97 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$), en este año no hubo presencia de raíces más gruesas (categoría 3) (Fig. II.8.2B). Durante el segundo año, Pecis III presento la menor productividad de raíces donde el mayor aporte fue de raíces gruesas (categoría 3) ($67.01 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$) (Fig. II.8.2 B). En el sitio de Pecis I la productividad fue mayor en las 3 categorías de raíces donde el aporte de raíces finas las cuales pertenecen a la categoría 1 fue mayor ($79.25 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$), seguido de la categoría 3 ($68.37 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$) (Fig. II.8.2A).

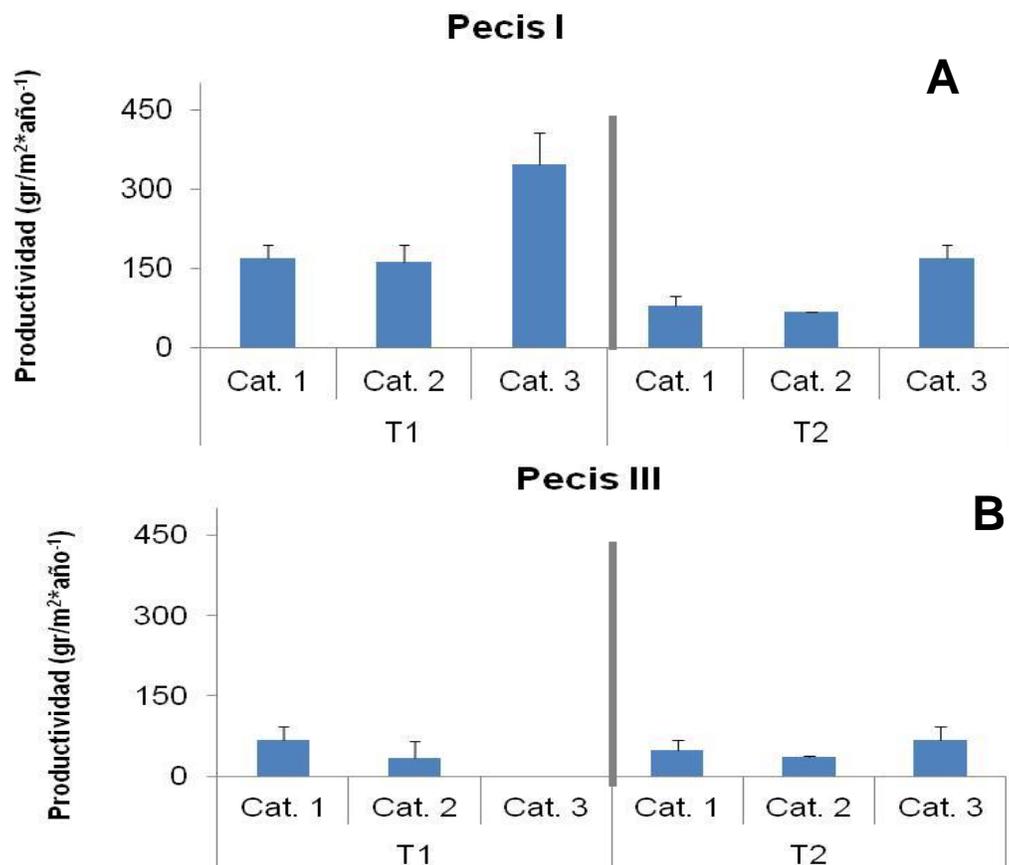


Figura II.8.2. Productividad de raíces de los sitios de la localidad de Sisal donde A) Pecis I, B) Pecis III, T1 (Tiempo 1) y T2 (Tiempo 2). Cat. 1 raíces finas de diámetro de 0 a 0.2 cm; Cat. 2 raíces finas de diámetro 0.21 a 0.5 cm; Cat. 3 raíces finas de diámetro 0.51 a 2.0 cm.

Progreso: Durante el primer año el sitio de Chelem I presento la menor productividad con respecto a los demás sitios, donde solo se registraron raíces finas las cuales pertenecen a la categoría 1 ($14.67 \text{ gr/m}^2 \cdot \text{año}^1$) (Fig.II.8.3B). El sitio de Contenedores presento la menor productividad de raíces con respecto al sitio de Chelem II siendo la categoría 2 ($150.39 \text{ gr/m}^2 \cdot \text{año}^1$) la que mayor aporta, seguido de la categoría 1 ($147.44 \text{ gr/m}^2 \cdot \text{año}^1$) (Fig.II.8.3A). La mayor productividad se registró en el sitio de Chelem II siendo la categoría 2 la de mayor aporte ($659.55 \text{ gr/m}^2 \cdot \text{año}^1$), seguido de la categoría 3 ($476.21 \text{ gr/m}^2 \cdot \text{año}^1$) (Fig.II.8.3C). Para el segundo año el sitio de Chelem II sigue registrando la mayor productividad de raíces siendo la categoría 2 la de mayor aporte ($667.63 \text{ gr/m}^2 \cdot \text{año}^1$) y las de menor las raíces que corresponden a la categoría 1 ($216.24 \text{ gr/m}^2 \cdot \text{año}^1$) (Fig.II.8.3C). El sitio de menor productividad para este año se presentó en Chelem I, siendo la categoría 3 de raíces la de mayor aporte ($53.82 \text{ gr/m}^2 \cdot \text{año}^1$) seguido de la categoría 1 ($19.79 \text{ gr/m}^2 \cdot \text{año}^1$) (Fig.II.8.3 B). En el sitio de Contenedores las raíces categoría 1 presentaron un menor aporte ($71.43 \text{ gr/m}^2 \cdot \text{año}^1$), la categoría 3 de raíces proporcionaron el mayor aporte para este sitio ($138.09 \text{ gr/m}^2 \cdot \text{año}^1$) (Fig.II.8.3A).

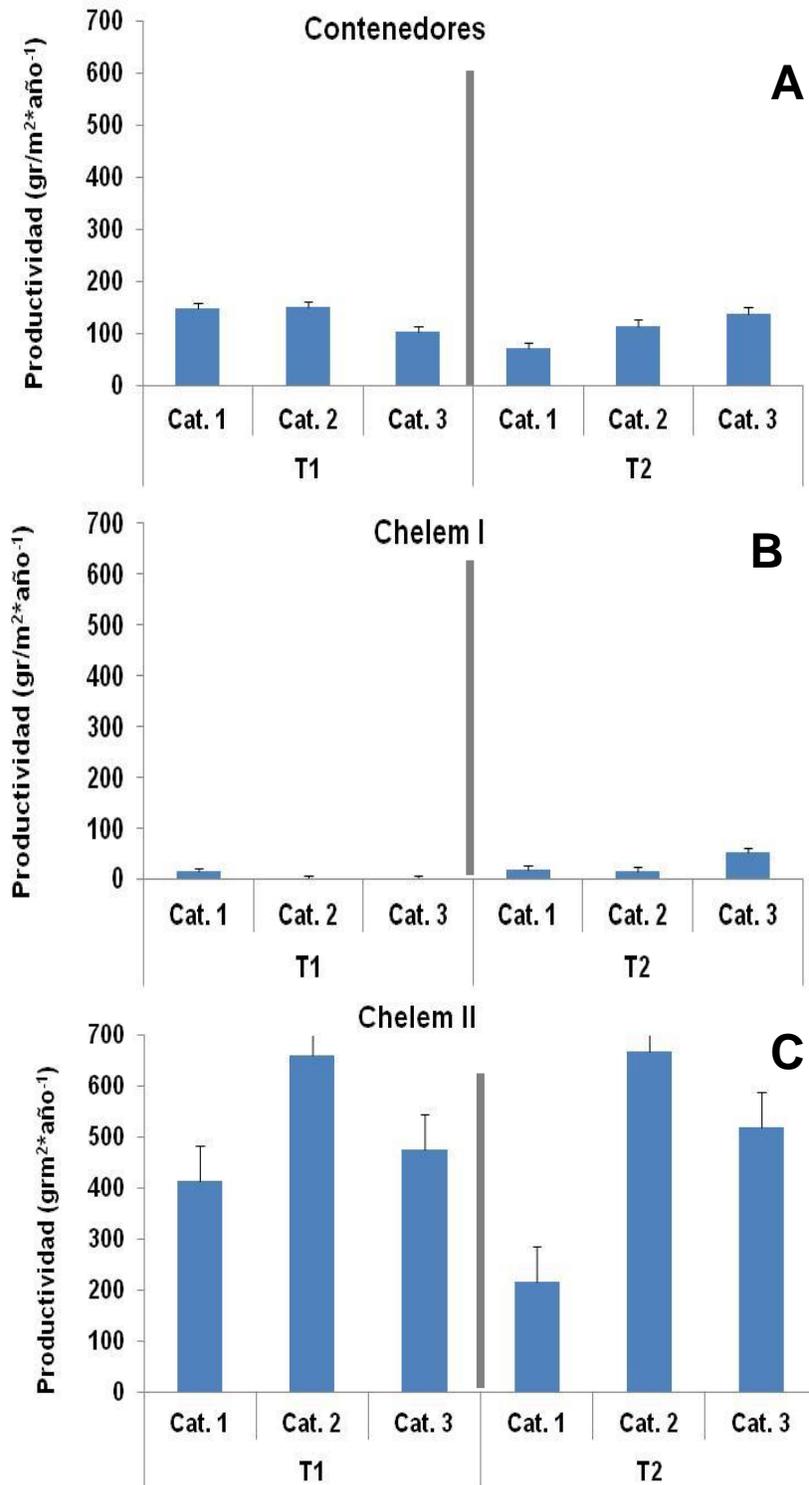


Figura II.8.3. Productividad de raíces de los sitios de la localidad de Progreso donde A) Contenedores, B) Chelem I, C) Chelem II, T1 (Tiempo 1) y T2 (Tiempo 2). Cat. 1 raíces finas de diámetro de 0 a 0.2 cm; Cat. 2 raíces finas de diámetro 0.21 a 0.5 cm; Cat. 3 raíces finas de diámetro 0.51 a 2.0 cm.

Dzilam: Para esta localidad en sitio de Elepetén registro la mayor productividad durante el primer año donde el mayor aporte de raíces son de la categoría 3 ($487.55 \text{ gr/m}^2\text{año}^1$), seguido de la categoría 2 ($261.41 \text{ gr/m}^2\text{año}^1$) (Fig.II.8.4A). En el sitio del Pueblo la productividad fue menor siendo la categoría 3 la de mayor proporción ($490.15 \text{ gr/m}^2\text{año}^1$), mientras que las raíces pertenecientes a la categoría 1 ($162.99 \text{ gr/m}^2\text{año}^1$) proporcionan menos productividad (Fig.II.8.4B). En el segundo año el sitio de Elepetén presento la mayor productividad siendo la categoría 3 de raíces la que más aporta ($540.01 \text{ gr/m}^2\text{año}^1$), seguido de la categoría 2 ($360 \text{ gr/m}^2\text{año}^1$) (Fig.II.8.4A). El sitio del Pueblo presento la menor productividad para este año donde las raíces categoría 3 son las de mayor aporte ($532.39 \text{ gr/m}^2\text{año}^1$), seguido de la categoría 1 ($172.52 \text{ gr/m}^2\text{año}^1$) (Fig.II.8.4B), en ambos sitios para este año el aporte de raíces finas es menor con respecto a las demás categorías (Fig.II.8.4).

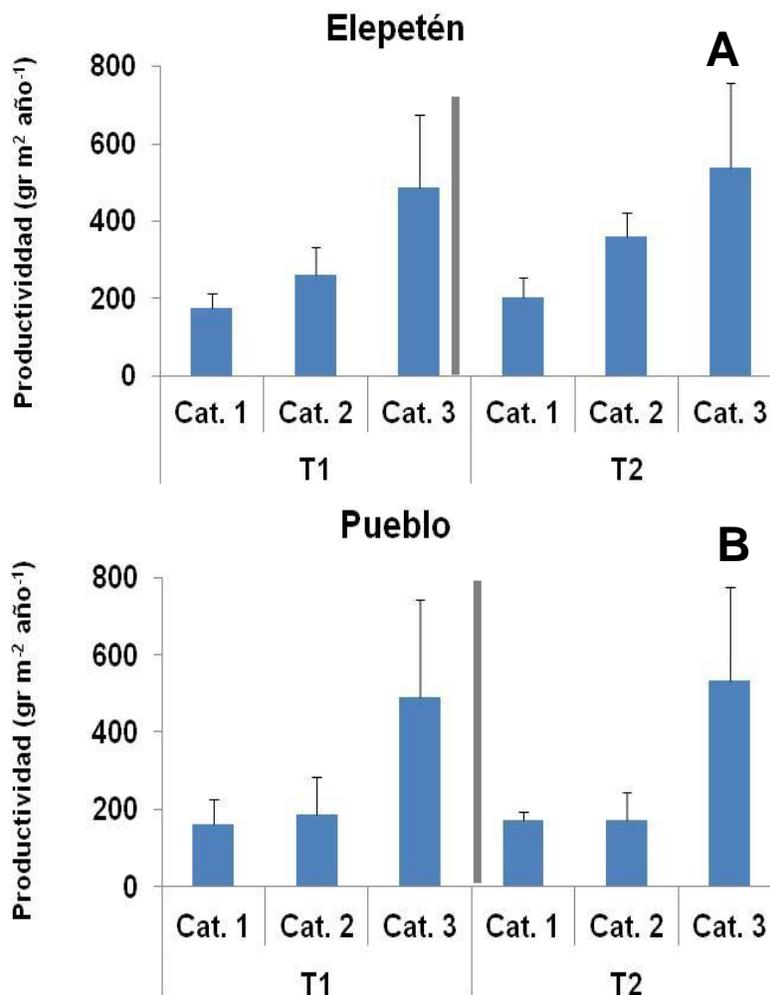


Figura II.8.4. Productividad de raíces de los sitios de la localidad de Dzilam de Bravo donde A) Elepetén, B) Pueblo, T1 (Tiempo 1) y T2 (Tiempo 2). Cat. 1 raíces finas de diámetro de 0 a 0.2 cm; Cat. 2 raíces finas de diámetro 0.21 a 0.5 cm; Cat. 3 raíces finas de diámetro 0.51 a 2.0 cm.

Río Lagartos: En el primer año (Tiempo 1) la mayor productividad se presentó en la localidad de Río Lagartos donde el aporte principal fue de raíces categoría 1 ($369.07 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$), seguido de la categoría 3 ($356.76 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$) (Fig. II.8.5A). El sitio del Cuyo registro la menor productividad siendo las raíces de categoría 1 ($187.2 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$) las de mayor aporte, las raíces de categoría 2 ($50.4 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$) presentaron un menor aporte para esta localidad (Fig. II.8.5B). Para el segundo año el sitio del Cuyo registro la menor productividad donde el mayor aporte de raíces fue de la categoría 3 ($292 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$) seguido de la categoría 2 ($114 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$) (Fig. II.8.5B). En el sitio de Río Lagartos se observó la mayor productividad siendo la categoría 3 de raíces la que aporta más ($451.7 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$), y la categoría 2 es la que aporta menos ($117.56 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$) (Fig. II.8.5A).

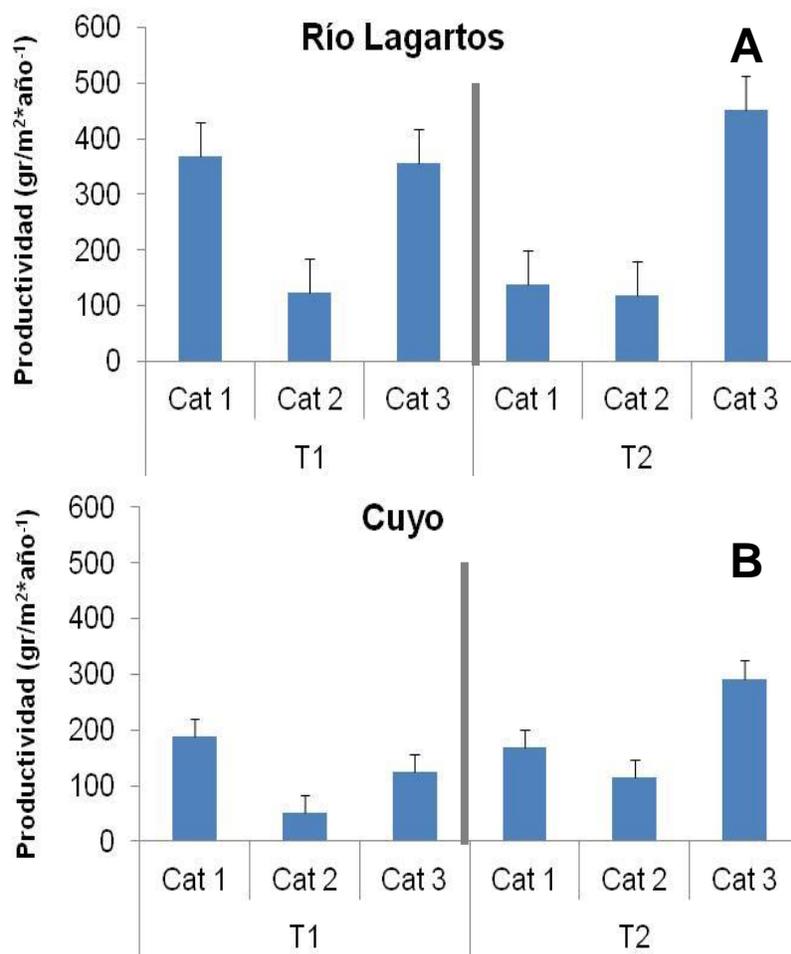


Figura II.8.5. Productividad de raíces de los sitios de la localidad de Río Lagartos donde A) Río Lagartos, B) Cuyo, T1 (Tiempo 1) y T2 (Tiempo 2). Cat. 1 raíces finas de diámetro de 0 a 0.2 cm; Cat. 2 raíces finas de diámetro 0.21 a 0.5 cm; Cat. 3 raíces finas de diámetro 0.51 a 2.0 cm.

Cancún: Para el caso de la localidad de Cancún, en el sitio de Polígono 9 no se colocaron los sacos con “peat moss” debido a que en esta zona el manglar se encontraba degradado y no presenta árboles. Para el Polígono 1 en el primer año (Tiempo 1) se observa mayor productividad en la Categoría 1 ($336.0 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$) seguido de la Categoría 2 ($123.7 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$) presentando menor abundancia en la categoría 2 ($14 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$) (Fig. II.8.6). Para el segundo año el mayor aporte de raíces fue de la categoría 3 ($234.73 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$), seguido de la categoría 2 ($75.3 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$), el menor aporte se presentó en la categoría 1 ($23.25 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$) (Fig. II.8.6).

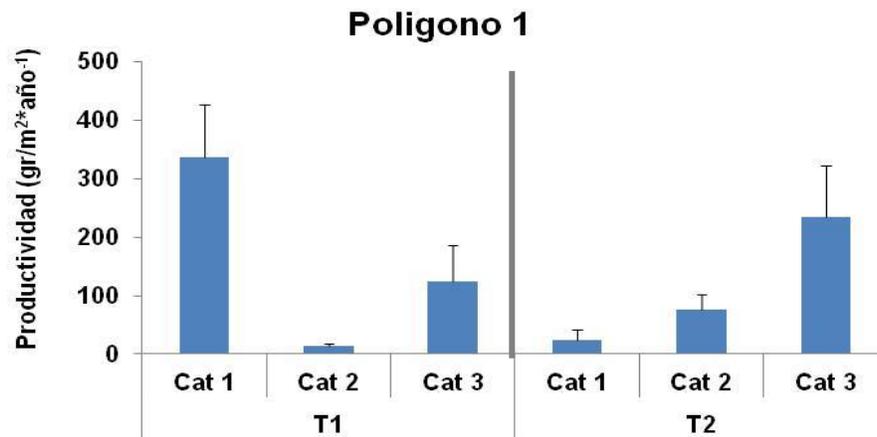


Figura II.8.6. Productividad de raíces de los sitios de la localidad de Cancún donde T1 (Tiempo 1) y T2 Tiempo 2. Cat. 1 raíces finas de diámetro de 0 a 0.2 cm; Cat. 2 raíces finas de diámetro 0.21 a 0.5 cm; Cat. 3 raíces finas de diámetro 0.51 a 2.0 cm.

Puerto Morelos: Para esta localidad en el primer año el sitio la Ceiba presentó la mayor productividad donde el aporte de raíces fue mayor de la categoría 1 ($735.4 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$) seguido de la categoría 3 ($383 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$), la que presentó menor aporte son las de categoría 2 ($315.98 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$) (Fig. II.8.7A). El sitio del Cid registro la menor productividad donde el mayor aporte de raíces son de la categoría 1 ($649.5 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$), y la categoría 3 registró el menor aporte ($25.6 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$) (Fig. II.8.7B). En el segundo año el sitio del Cid registró la menor productividad donde la categoría 2 presentó el mayor aporte ($140.69 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$), el menor se observó en la categoría 3 ($45.81 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$) (Fig. II.8.7B). En el sitio de la Ceiba la productividad de raíces fue mayor siendo la categoría 3 ($266.11 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$) la que más aportó seguido de la categoría 1 ($105.76 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$) (Fig. II.8.7A).

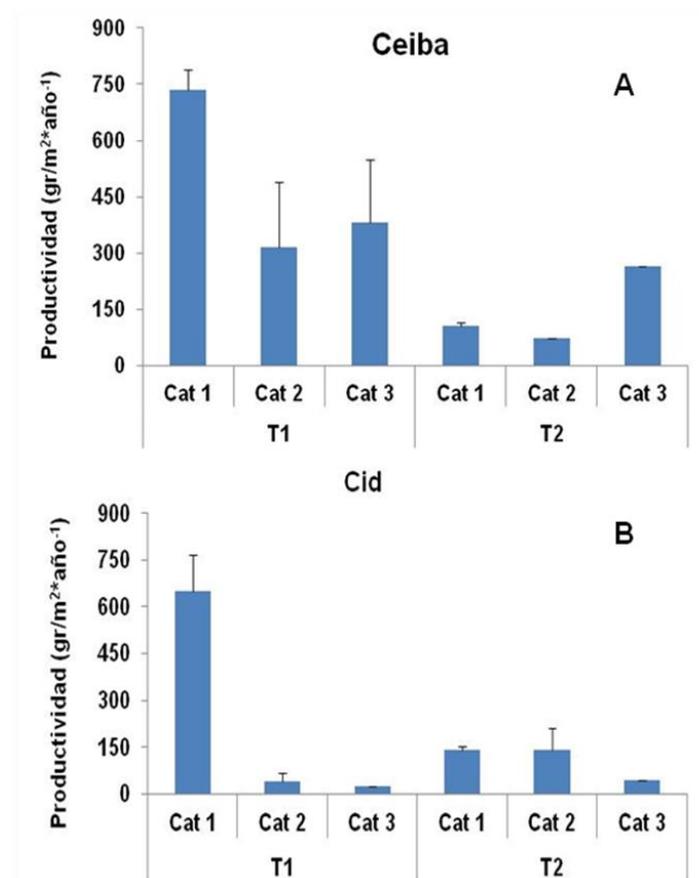


Figura II.8.7. Productividad de raíces de la localidad de Puerto Morelos donde A) Ceiba, B) Cid, T1 (Tiempo 1) y T2 (Tiempo 2). Cat. 1 raíces finas de diámetro de 0 a 0.2 cm; Cat. 2 raíces finas de diámetro 0.21 a 0.5 cm; Cat. 3 raíces finas de diámetro 0.51 a 2.0 cm.

Sian Ka'an: En el primer año la localidad de Cayo Culebras presentó la mayor biomasa de raíces finas, siendo la categoría 1 la que más aporta ($374.01 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$), seguido de la categoría 3 ($324.68 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$) (Fig. II.8.8B). En el sitio del Playón la biomasa de raíces producida por unidad de tiempo fue menor donde la categoría 1 de raíces aportó más ($140.06 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$), mientras que el menor aporte de raíces se registró de la categoría 2 ($72.15 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$) (Fig. II.8.8A). En el año 2010 (Tiempo 2) la menor biomasa de raíces producida se observó en el sitio del Playón donde la categoría 3 de raíces tuvo un mayor aporte ($300.8 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$). El menor aporte se registró en la categoría 2 ($161.54 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$) (Fig.II.8.8A), mientras que la mayor biomasa producida de raíces se observó en el sitio de Cayo Culebras donde la categoría 3 aportó más ($300.8 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$), seguido de la categoría 2 ($178.25 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$) (Fig.II.8.8B).

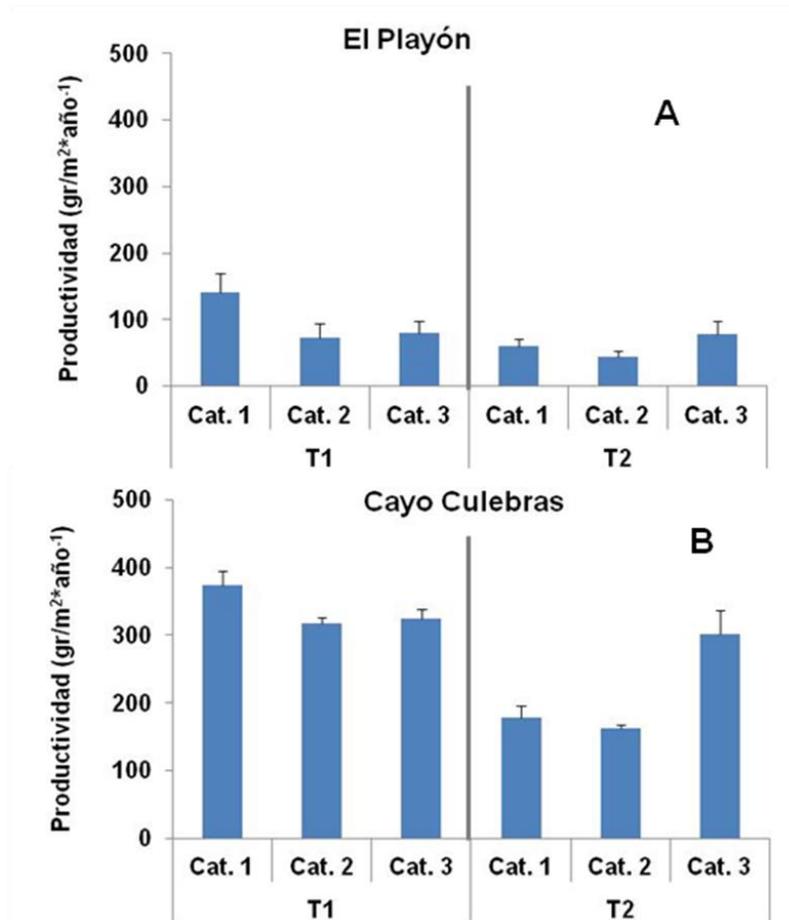


Figura II.8.8. Productividad de raíces de los sitios de la localidad de Sian Ka'an donde A) El Playón, B) Cayo Culebras, T1 (Tiempo 1) y T2 (Tiempo 2). Cat. 1 raíces finas de diámetro de 0 a 0.2 cm; Cat. 2 raíces finas de diámetro 0.21 a 0.5 cm; Cat. 3 raíces finas de diámetro 0.51 a 2.0 cm.

Xcalak: En esta localidad durante el primer año la mayor biomasa se registró en el sitio del Pueblo donde la categoría 3 aportó más ($347.34 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$), seguido de la categoría 1 ($82.29 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$) (Fig.II.8.9A). El sitio de Portilla presentó la menor biomasa siendo la categoría 2 la que aportó menos ($21.84 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$), y la categoría 3 registro más aporte de biomasa ($196.55 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$) para este sitio (Fig.II.8.9B). Para el segundo año en el sitio del Pueblo la producción de raíces fue mayor siendo la categoría 3 la que más aportó ($598.61 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$), la contribución de la categoría 2 ($114.46 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$) fue menor (Fig.II.8.9A). En el sitio de Portilla se observó la mayor producción de raíces donde el aporte de la categoría 3 fue mayor ($182.3 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$) seguido de la categoría 1 ($180.21 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$) (Fig.II.8.9B).

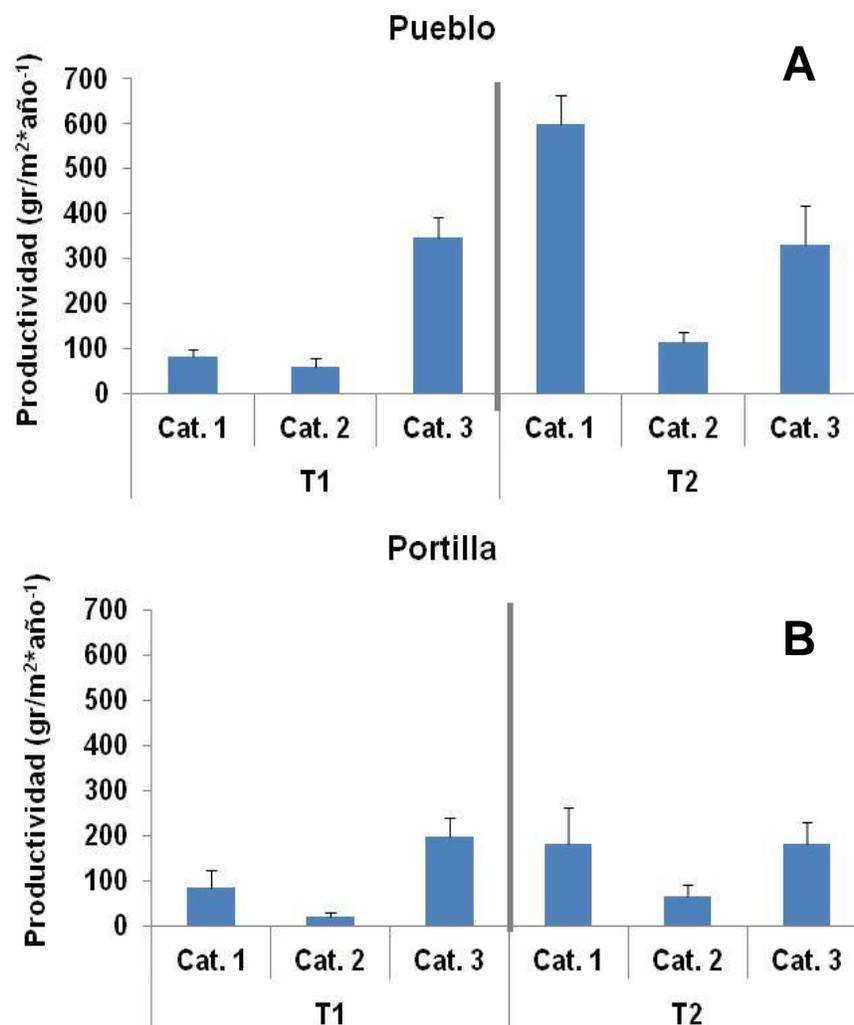


Figura II.8.9. Productividad de raíces de los sitios de la localidad de Xcalak donde A) Pueblo, B) Portilla, T1 (Tiempo 1) y T2 (Tiempo 2). Cat. 1 raíces finas de diámetro de 0 a 0.2 cm; Cat. 2 raíces finas de diámetro 0.21 a 0.5 cm; Cat. 3 raíces finas de diámetro 0.51 a 2.0 cm.

Chetumal: En el primer año en el sitio de Tamalcab se registró la mayor productividad siendo la categoría 3 de raíces la que aportó más ($267.18 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$), mientras que el menor aporte de raíces se observó en la categoría 2 ($72.53 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$) (Fig. II.8.10B). El sitio de Río Hondo presentó la menor productividad para este año siendo la categoría 1 la de mayor aporte ($163.63 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$) seguido de la categoría 3 ($120.46 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$) (Fig. II.8.10A). Para el segundo año en el sitio de Río Hondo la producción de raíces fue menor siendo la categoría 3 la de mayor aporte ($53.08 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$), seguido de la categoría 1 ($27.63 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$), la de menor aporte se observó en la categoría 2 ($4.38 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$) (Fig. II.8.10A). En el sitio de Tamalcab la producción de raíces fue mayor siendo la categoría 2 ($11.93 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$) la de menor aporte, seguido de la categoría 1 ($13.15 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$), mientras que la categoría 3 ($64.78 \text{ gr/m}^2\cdot\text{año}^1$) registró el mayor aporte para este sitio (Fig. II.8.10B).

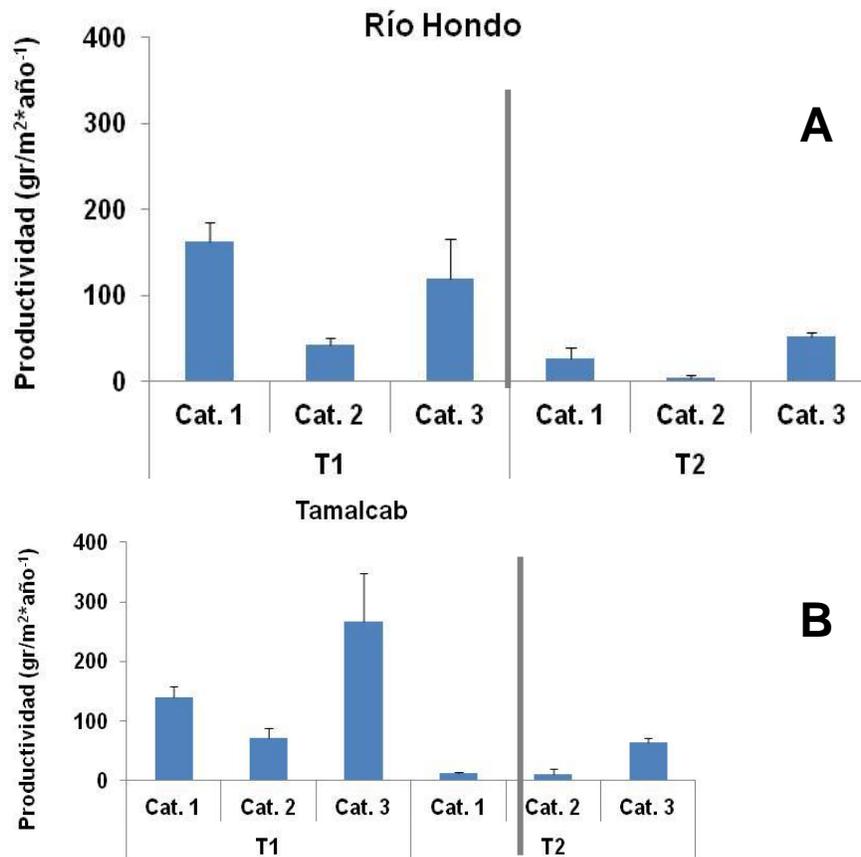


Figura II.8.10. Productividad de raíces de los sitios de la localidad de Chetumal donde A) Río Hondo y B) Tamalcab, T1 (Tiempo1) y T2 (Tiempo 2). Cat. 1 raíces finas de diámetro de 0 a 0.2 cm; Cat. 2 raíces finas de diámetro 0.21 a 0.5 cm; Cat. 3 raíces finas de diámetro 0.51 a 2.0 cm.

II.9.- MICROTOPOGRAFÍA

Es reconocido que en los humedales costeros la distribución espacial de las especies y la salinidad está en función de la microtopografía (Flores-Verdugo *et al.*, 2007). Los patrones a nivel local tales como la microtopografía, hidrología, gradientes de salinidad, nutrientes, potencial Redox, toxinas y el ácido sulfhídrico, controlan en gran medida a la vegetación del manglar. La presencia de una determinada especie de manglar, así como su desaparición o sustitución en una localidad específica, está definida por cambios en centímetros de diferencia topográfica. Esta variable también permite determinar la distribución de los diferentes tipo de manglar, establecer áreas potenciales para su restauración y la ampliación o creación de nuevas áreas para determinado tipo de humedal (Lewis, 1982).

Celestún: Con respecto al sitio de la zona Interna la topografía muestra su máxima elevación (60 cm) a los 50 m del transecto. La topografía presenta una depresión a los 60 metros (20 cm), observándose un bosque de manglar tipo franja dominado por *Rhizophora mangle* (mangle rojo) indicando que la influencia de la marea es constante. Entre los 40 y los 80 metros de distancia se registra una depresión por lo que el periodo de inundación es menor, la especie de manglar dominante es *Laguncularia racemosa* (mangle blanco), conforme se avanza en el transecto se observa una pendiente a los 90 metros con una altura de hasta 20 cm con respecto al nivel de laguna, mostrando una cuenca, e indicando que este sitio permanece inundado la mayor parte del tiempo, lo cual se ve reflejado por la presencia de *Rhizophora mangle*, especie que se caracteriza por tolerar prolongados periodos de inundación (Fig. II.9.1A). En la zona del Puente el sitio más elevado se presenta en la zona de la franja, siendo el inicio del transecto con una altura máxima de 70 cm. Al ubicarse cercano a la laguna la influencia de marea es constante por lo que la especie presente es *Rhizophora mangle*. Posterior se observa una depresión de los 30 m hasta los 50 m de distancia, indicando que esta zona no permanece inundada pese que recibe el constante aportes de agua, la especie dominante es *Laguncularia racemosa*. De los 50 a los 100 m de distancia se observa que la pendiente es en forma de “escalinata” con pequeñas depresiones, las cuales permanecen inundadas y dando como resultado que la distribución del bosque de manglar en esta zona del Puente sea a manera de pequeñas lagunas, siendo *Rhizophora mangle* la especie dominante para este sitio. El tipo de manglar que se presenta a esta distancia es de tipo cuenca por lo que el aporte de agua que recibe es por escorrentía y lluvia (Fig. II.9.1B). El sitio de la Boca presenta las menores elevaciones con respecto a los demás sitios. Al inicio del transecto se observa una elevación del perfil topográfico de 25 cm. El transecto se inició dentro de la zona de manglar debido a que se

presenta en la boca de la laguna, por lo que la influencia del mar es constante. La especie presente al inicio del transecto es *Rhizophora mangle* a los 30 metros de distancia la pendiente empieza a disminuir hasta los 21 cm de altura indicando el cambio de tipo de manglar siendo este el manglar de cuenca, la especie dominante para este sitio es *Avicennia germinans* (mangle negro), los cambios de la topografía de este sitio no son tan pronunciados hasta los 110 metros donde el nivel topográfico incrementa (29 cm) (Fig. II.9.1C).

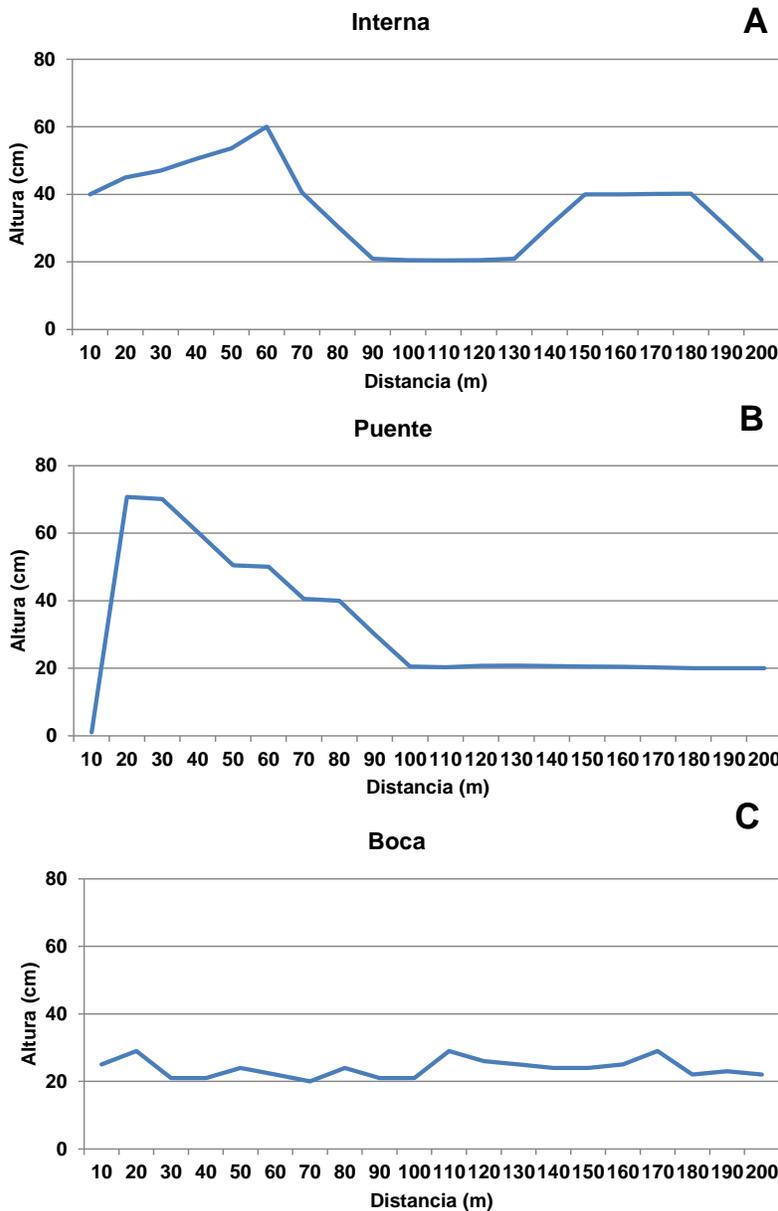


Figura II.9.1. Perfiles topográficos de los sitios de la localidad de Celestún.

Sisal: En el sitio de Pecis-I el transecto se inició dentro de unas piscinas de la camaronera, el nivel de referencia que se tomó para realizar la topografía fue con respecto al nivel del mar para esta localidad. El inicio del transecto muestra una altura de 24 a 26 cm indicando así que la altura del perfil empieza a incrementar a los 70 metros de distancia (36 cm de altura), observándose el inicio de la zona de manglar, por lo que el ancho de la franja del manglar va de los 70 m a los 130 m (36.2 cm a los 30 cm de altura) (Fig. II.9.2A). Las condiciones presentadas en la microtopografía se ven reflejadas en la presencia de las especies de manglar, observándose a los 70 m de distancia la especie *Avicennia germinans* y a los 130 m *Rhizophora mangle*. En el sitio de Pecis-III el transecto se inició en el camino presente para entrar a la zona de manglar. A los 40 metros de distancia se registró un incremento en la pendiente hasta los 53 cm de altura, esto debido a que es un montículo de arena el cual está cubierto por *Batis marítima* y algunas cactáceas, cuando la pendiente empieza a disminuir hasta los 44 cm de altura a los 110 m de distancia se presenta el bosque de manglar. Dada las condiciones del sitio la especie dominante es *Avicennia germinans* (Fig. II.9.2B).

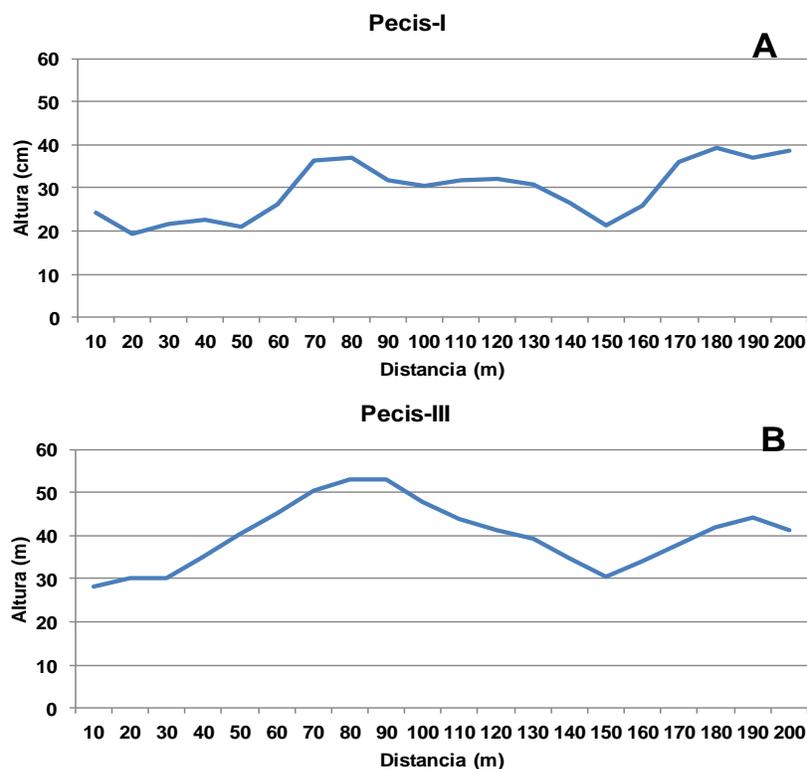


Figura II.9.2. Perfiles topográficos de los sitios de la localidad de Sisal.

Progreso: En el sitio de Contenedores el perfil topográfico se inició de la orilla de la carretera cercana a la localidad hacia la zona de muestreo, por lo que en la figura II.9.3A se observa que el nivel topográfico inicia con una altura de 17.5 cm, la cual empieza a descender hasta 6.35 cm a los 50 m de distancia, lo cual indica que es parte de un canal que se ubica en el sitio. A los 70 metros la pendiente empieza a ascender (15.06 cm) coincidiendo con la presencia del bosque de manglar, la pendiente disminuye a los 100 metros de distancia, y esta aumenta a los 140 m (30 cm de altura), está pendiente que se presenta es un pequeño cuerpo de agua dentro del bosque de manglar (Fig. II.9.3A). Debido a la ubicación del sitio la influencia de marea es continua, por lo que la especie dominante es *Rhizophora mangle*. En el sitio de Chelem I el transecto topográfico se inició dentro de la laguna por lo que la altura inicial en el suelo es de 20 cm (Fig. II.9.3B). A los 40 metros de distancia se registra un descenso de hasta -6.6 cm de altura, y esta empieza a aumentar a los 70 metros de distancia manteniéndose elevado hasta los 90 metros por lo que en partes elevadas es donde se presenta manglar de *Avicennia germinans* como la especie dominante. Posteriormente la pendiente empieza a descender, esto debido a que es parte de la laguna. Para el sitio de Chelem II el transecto se inicia en el borde del manglar observándose una altura inicial de 26.7 cm donde posteriormente descende y esta aumenta nuevamente a los 40 metros de distancia, manteniéndose elevada hasta los 130 m (Fig. II.9.3C), es en esta zona elevada es donde se presenta el bosque de manglar, donde junto a la laguna la especie que domina es *Rhizophora mangle* y en la parte más elevada la especie presente es *Laguncularia racemosa*. A los 140 m de distancia la pendiente empieza a descender siendo esto inicio del cuerpo de agua.

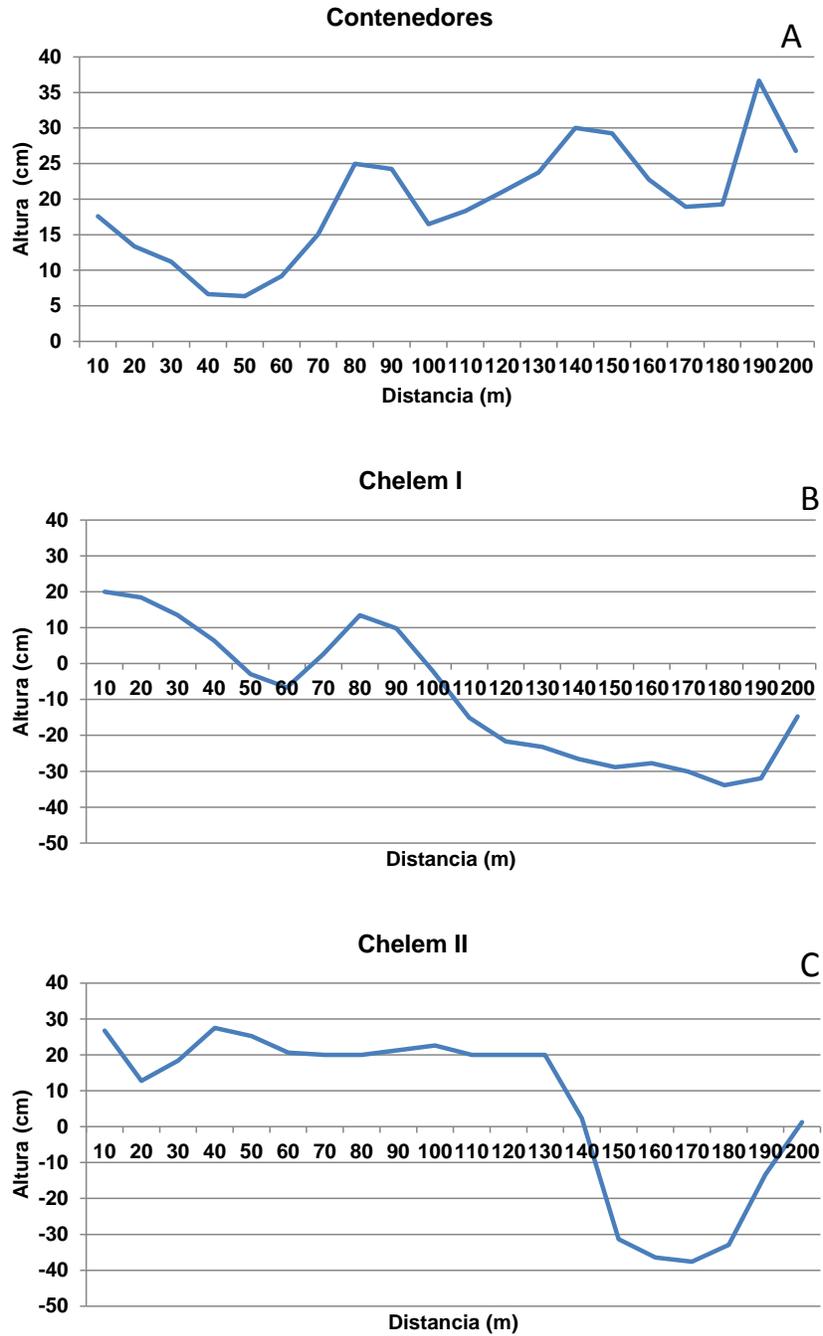


Figura II.9.3. Topografía de los sitios de la localidad de Progreso.

Dzilam: En el sitio del Pueblo el transecto topográfico se inició dentro de la ciénaga tomando como nivel de referencia el nivel medio del mar, por lo que en el inicio del transecto la altura topográfica es de 24 cm. La pendiente empieza a ascender a los 40 m de distancia (32.7 cm) coincidiendo con la mancha de manglar alcanzando una altura máxima de 49.3 cm de altura. En este sitio la distribución del manglar es a manera de islas por lo que la pendiente desciende hasta -12.8 cm (Fig. II.9.4A) siendo parte del cuerpo de agua. En el sitio del Petén el transecto se inició de la orilla de mar hacia el Petén por lo que la altura topográfica inicial es de 55 cm y esta asciende a 99.6 cm, siendo el pico más alto correspondiente a la parte de arena. La pendiente desciende hasta los -16 cm observándose una acumulación de agua, conforme avanza el transecto las alturas topográficas se observaron en un rango de -28 cm (Fig. II.9.4B) a 0 cm, la presencia de especies corresponden a las elevaciones topográficas debido a que en zonas donde se presentaron depresiones se registró *Rhizophora mangle* mientras que en zonas elevadas se observó *Laguncularia racemosa*, en el sitio pegado a la línea de costa se presentó *Avicennia germinans*.

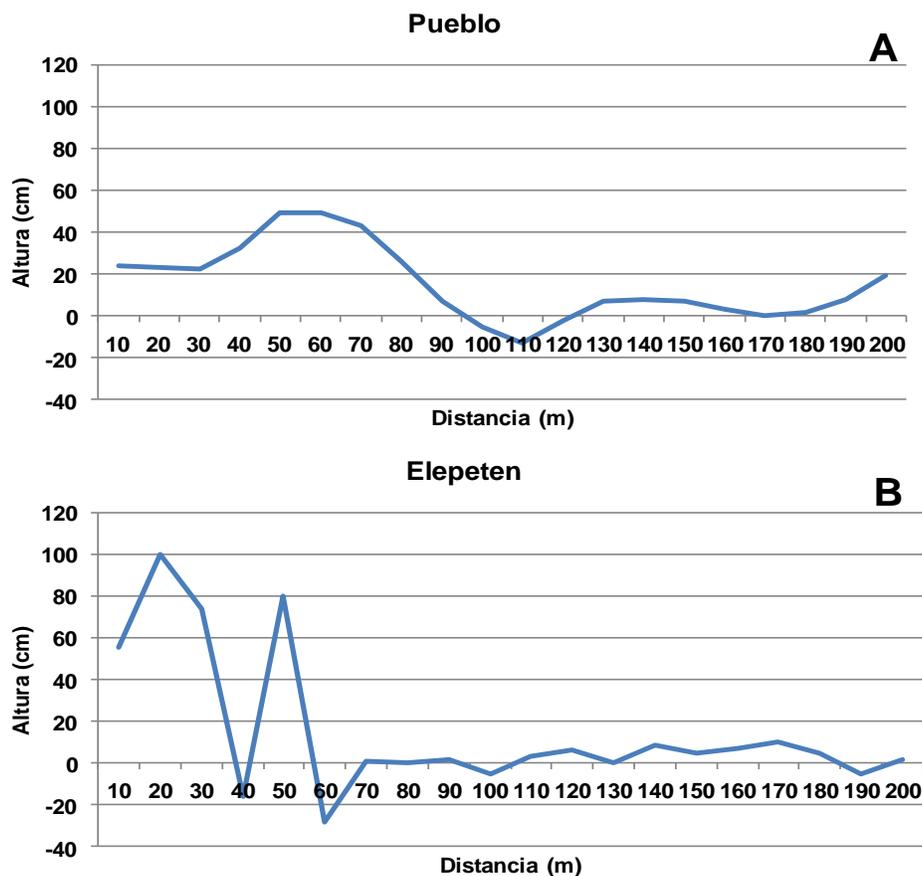


Figura II.9.4. Perfiles topográficos de los sitios de la localidad de Dzilam.

Río Lagartos: Para el sitio de Río Lagartos el perfil topográfico se inició al borde de laguna tomando como referencia el nivel de agua de la misma, se observa una altura de 29.4 cm al inicio del transecto y esta asciende hasta los 45.2 cm, la cual presenta una elevación mayor hasta los 50 m de distancia (45.7 cm), observándose el manglar tipo franja, el cual es dominado por *Rhizophora mangle*. Se presenta una pequeña depresión y la pendiente vuelve ascender nuevamente hasta alcanzar una altura máxima de 98.6 cm (Fig. II.9.5A). En el sitio de Coloradas el transecto topográfico es menor con respecto al sitio de Río Lagartos, el nivel de referencia que se tomó para este sitio es el nivel de la ciénaga cercana al punto de muestreo, por lo que el nivel inicial es 0 cm se nota una pequeña elevación (2 cm) al siguiente punto, a los 50 m de distancia la pendiente empieza a ascender coincidiendo con la presencia del bosque de manglar, registrándose una altura máxima de 11.2 cm (Fig. II.9.5B), la especie dominante para esta localidad es *Avicennia germinans*.

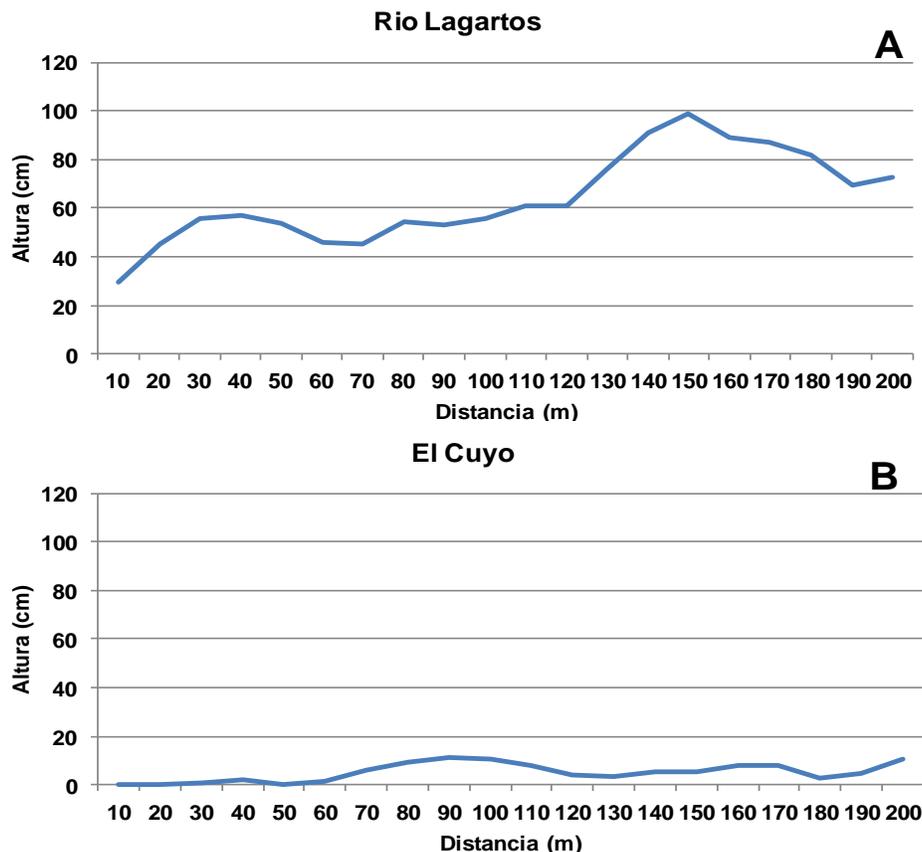


Figura II.9.5. Perfil topográfico se los sitios de la localidad de Río Lagartos.

Cancún: El perfil topográfico del Polígono-9 se inició dentro del bosque de manglar tomando como referencia el nivel de agua de la laguna, por lo que al inicio del transecto se observa una altura de 15 cm (Fig. II.9.6A), la pendiente empieza a ascender a los 50 m de distancia coincidiendo con la presencia de manglar alcanzando una altura máxima de 47.5 cm al final del transecto. La distribución del manglar es amanera de islas debido a la ubicación del sitio que favorece inundación constante, por lo que la especie presente es *Rhizophora mangle*. En el sitio de Polígono-1 el transecto se inició dentro del bosque de manglar observándose una depresión a los 20 m de distancia (Fig. II.9.6B), la pendiente asciende a los 70 m de distancia alcanzando una altura máxima de 47 cm. Debido a que las elevaciones topográficas no son altas con respecto a otras localidades la frecuencia de inundación es constante por lo que la especie dominante es *Rhizophora mangle*.

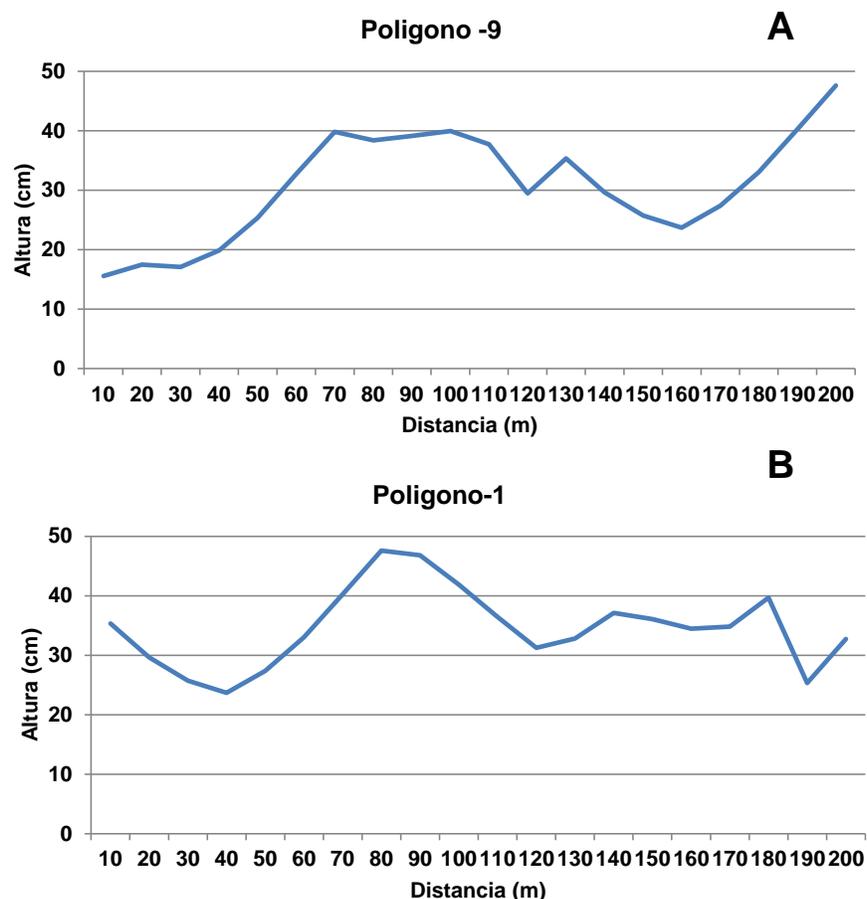


Figura II.9.6. Perfil topográfico de los sitios de la localidad de Cancún.

Puerto Morelos: En el sitio de la Ceiba el transecto topográfico se inició sobre el camino donde se ingresa al sitio, por lo que al inicio del transecto se observa una depresión hasta los 40 m de distancia y la pendiente empieza a descender (45 cm de altura). A los 80 m la pendiente desciende con respecto al punto anterior, pero esta vuelve ascender alcanzando una altura máxima de 69.6 cm (Fig. II.9.7A). La presencia de especies responde a estas diferencias en alturas topográficas ya que en zonas elevadas la presencia que se registró fue de *Conocarpus erectus*, y en zonas donde la pendiente desciende se presentó *Rhizophora mangle*. En el sitio del Cid la altura del transecto topográfico es menor con respecto al sitio de la Ceiba. El transecto se inició dentro del bosque de manglar por lo que se observa una pequeña elevación siendo la mayor altura (35.8 cm), posteriormente la pendiente desciende hasta los 10 cm, y vuelve a ascender a los 110 m (Fig. II.9.7B) de distancia. Para este sitio la especie dominante es *Conocarpus erectus* seguido de *Rhizophora mangle* la cual se presentó en las depresiones topográficas.

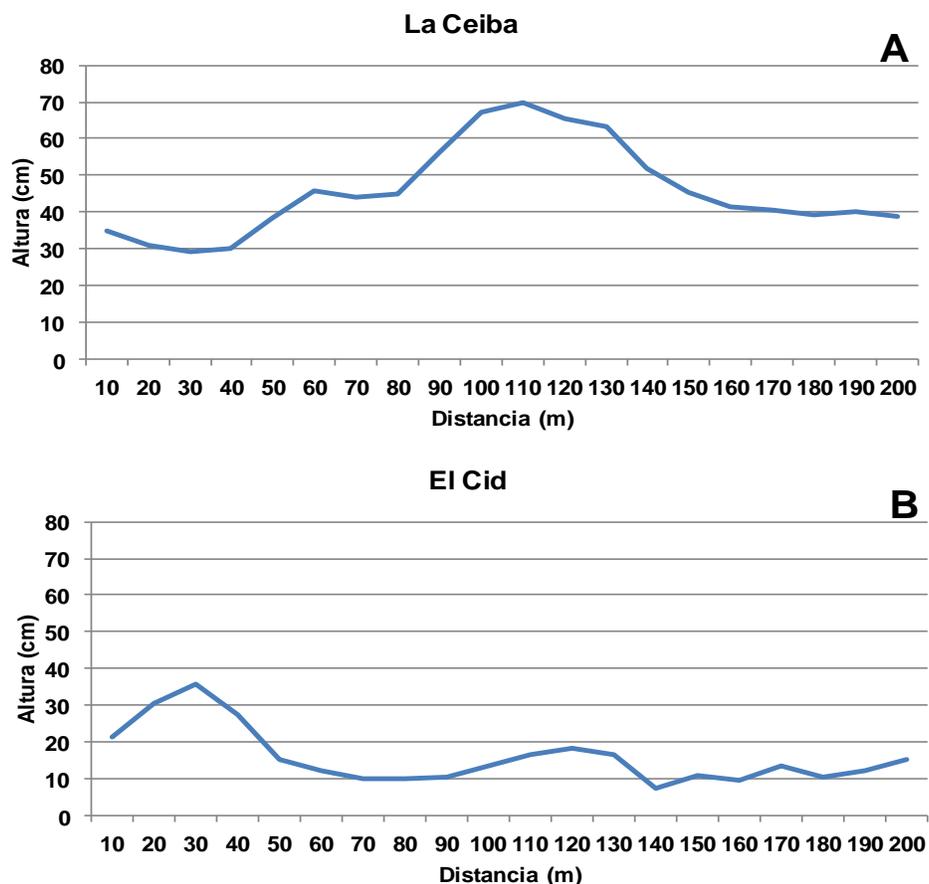


Figura II.9.7. Transecto topográfico de los sitios de la localidad de Puerto Morelos.

Sian Ka'an: En el sitio del Playón el transecto se inició del camino hacia la zona de manglar, por lo que la altura máxima que presenta al inicio es de 85 cm, posteriormente la topografía desciende a los 40 m de distancia (Fig. II.9.8A), y esta vuelve a aumentar a los 70 m a una altura de 66 cm, el periodo de inundación en este sitio es constante pero sus aportes de agua son vía escorrentía, para el sitio de Cayo Culebras el transecto se inició dentro de la cobertura del manglar, donde se observa una depresión a los 50 metros de distancia (20 cm), la altura del perfil vuelve a ascender a los 90 metros para continuar con una tendencia de elevaciones y depresiones hasta el final del mismo (Fig. II.9.8B). Por la ubicación del sitio la frecuencia de inundación es continua por lo que la especie que se presenta es *Rhizophora mangle*.

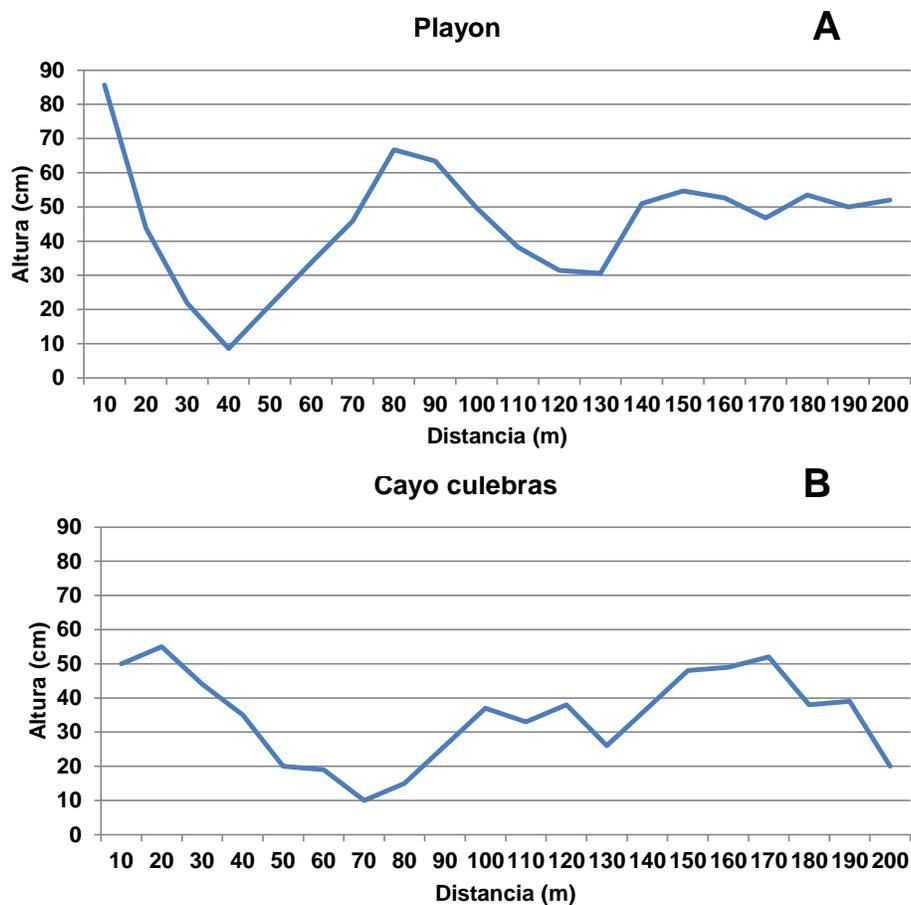


Figura II.9.8. Perfiles topográficos de los sitios de la localidad de Sian Ka'an.

Xcalak: En el sitio del Pueblo el transecto topográfico se inició de la orilla del cuerpo de agua hacia la zona de manglar, por lo que el nivel topográfico inicial se presenta a una altura de 30 cm. La pendiente asciende hasta una altura máxima de 98 cm a los 50 m de distancia (Fig.II.9.9A), en este sitio se registró *Conocarpus erectus*. A los 110 m de distancia la pendiente descende hasta los 63 cm indicando que en esta zona la entrada de agua es más constante lo cual se ve reflejado en la presencia de *Rhizophora mangle* debido a que es la especie dominante. En el sitio de Portilla el transecto se inició de la orilla del cuerpo de agua hacia la zona de manglar tomándose como nivel de referencia el nivel del mar, la altura topográfica de todo el transecto es menor con respecto al sitio del pueblo. Al inicio del transecto se observa una depresión hasta los 70 m de distancia (Fig. II.9.9B), posteriormente la pendiente comienza a ascender hasta alcanzar una altura máxima de 36 cm, este sitio la frecuencia de inundación es constante por lo que la especie dominante es *Rhizophora mangle*.

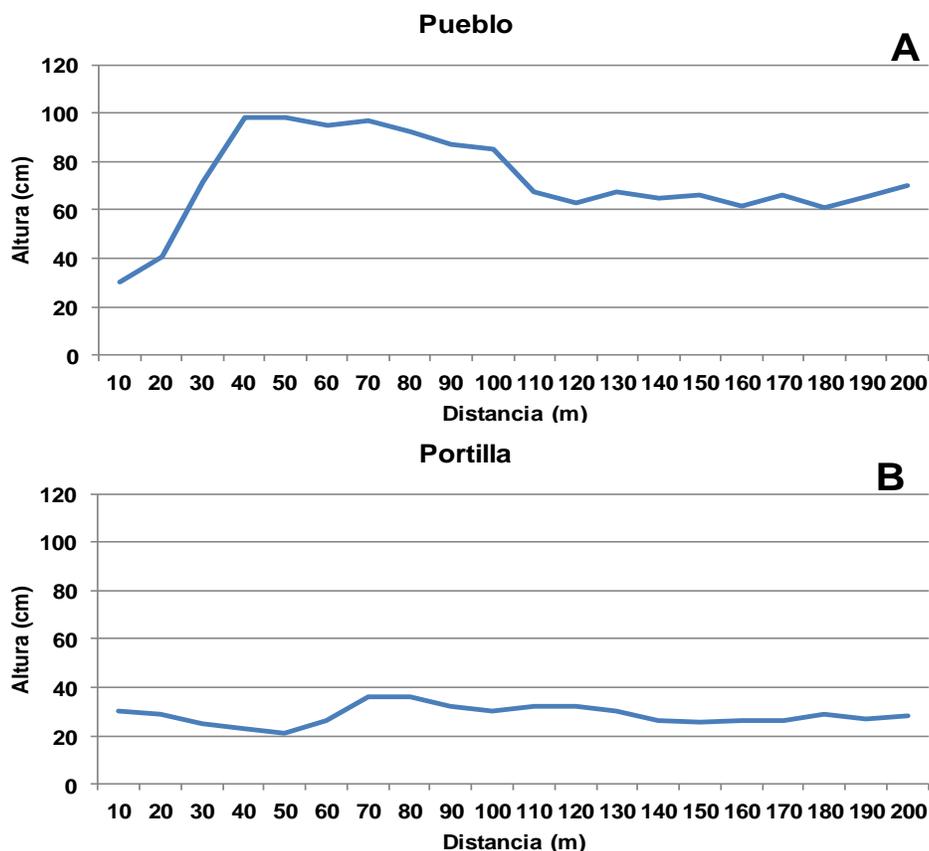


Figura II.9.9. Perfil topográfico de los sitios de la localidad de Xcalak.

Chetumal: Para el sitio de Tamalcab el transecto se inició en el borde de la laguna por lo que la altura inicial del perfil topográfico es de 120 cm y la pendiente empieza a descender hasta los 20 cm de altura a los 90 m del transecto (Fig. II.9.10A). Para este sitio el periodo de inundación no es constante, por lo que la especie dominante es *Laguncularia racemosa*. Para el caso de Río Hondo el transecto se inició a la orilla del manglar observándose una altura de 10 cm, y esta va incrementando a los 50 metros de distancia se observa una altura de 35 cm, conforme avanza el transecto, se observa la altura máxima de 65 cm a los 180 metros de distancia del transecto (Fig. II.9.10B) estos cambios de topografía provocan variabilidad de especies y se observa que es mayor con respecto a otras localidades. Cabe mencionar que al inicio del transecto se observó *Rhizophora mangle* y a los 20 metros de distancia había otras especies características de selva, esto debido al constante aporte de agua dulce provenientes del Río.

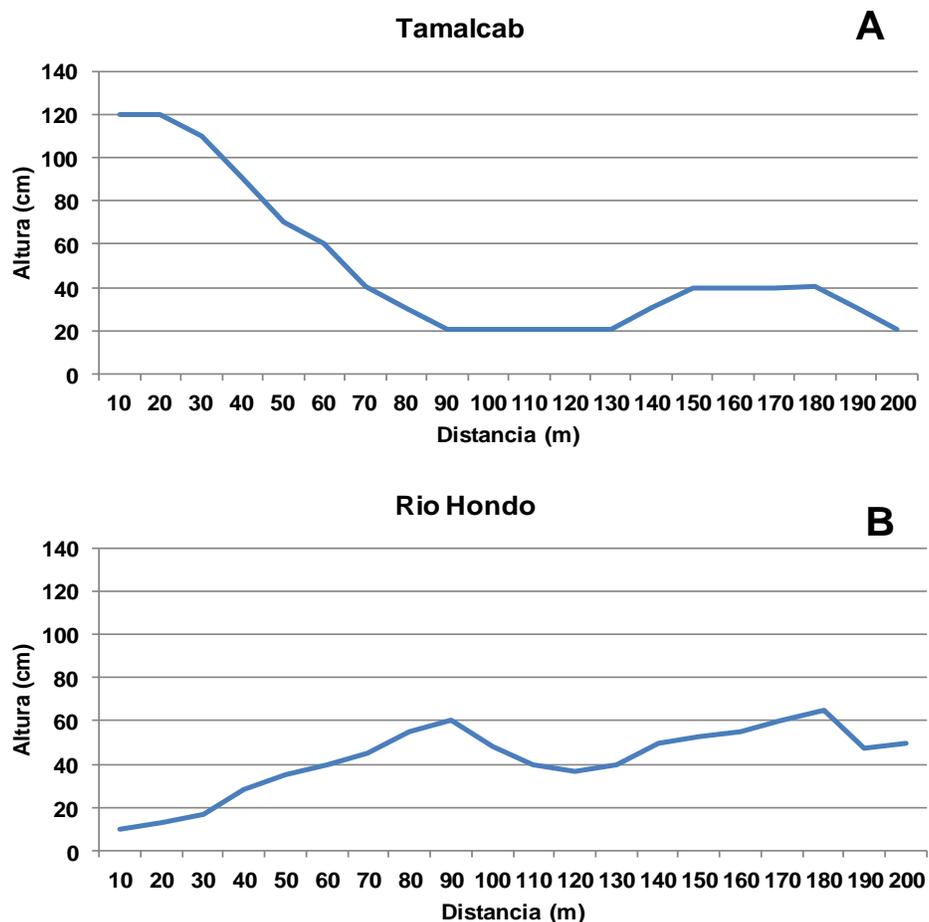


Figura II.9.10. Perfiles topográficos de los sitios de la localidad de Chetumal.

CONCLUSIONES:

En este estudio se establecieron 22 sitios de monitoreo de manglares en 10 localidades de la Península de Yucatán. En el estado de Yucatán están 12 sitios y en el estado de Quintan Roo 10. Las variables que se monitorearon cumplen con los lineamientos de la Red Mexicana de Investigación a Largo Plazo (Red Mex-LTER), y sirvieron para evaluar los cambios estructurales y funcionales de estos ecosistemas de manglar de esta región.

Los manglares de la Península de Yucatán son especialmente heterogéneos debido a la interacción de factores relacionados con el tipo de suelo, la hidrología subterránea y la relación N:P de los sedimentos.

El sitio con árboles más altos (12 m) fue el de la zona Interna de la localidad de Celestún. En este mismo sitio se presentó el mayor valor de área basal ($40.5 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$).

De los sitios analizados el de El Playón en la localidad de Sian Ka'an presentó la mayor densidad de árboles ($14,600 \text{ ind. ha}^{-1}$).

Para los sitios analizados del estado de Yucatán *Laguncularia racemosa* y *Avicennia germinans* fueron las especies con mayor frecuencia de aparición, mientras que en el estado de Quintana Roo *Rhizophora mangle* fue la especie dominante. Sin embargo, los recorridos y las observaciones de campo indican que *R. mangle* podría ser la especie dominante en ambos estados.

Las características ambientales son igualmente variables, habiéndose observado la salinidad en el intervalo 13 a 66 gr/kg, mientras que el pH más bajo registrado fue de 6.5 y el Redox más negativo fue de -400 mV.

La Productividad de hojarasca y raíces fue muy variable entre localidades, y es probable que se relacione con los eventos como los huracanes y con la relación N:P de los sedimentos (Adame *et al.*, 2012).

Para los manglares de la PY las variables clave son el nivel de la inundación, la salinidad intersticial, la relación NT:PT, y el potencial Redox, mientras que de las variables de la vegetación destacan la relación área basal:altura.

De acuerdo a los resultados de la fase de monitoreo el hidroperíodo (con sus tres componentes), la salinidad intersticial, la relación NT:PT de sedimentos, el potencial Redox de sedimentos, los cambios en la relación área basal:altura, los cambios de la especie dominante, los cambios en la densidad total de árboles adultos, la productividad de hojarasca y los cambios en la elevación del terreno, serían las variables que recomendaríamos para un programa de monitoreo de manglares en la PY.

Durante las múltiples visitas al campo para los muestreos de este proyecto se observó que los manglares de la región de la PY están amenazados por cambios de usos del suelo relacionados con la infraestructura turística, la construcción de carreteras que los atraviesan sin respetar el flujo de agua superficial, y los huracanes, con lo cual su conectividad con otros ecosistemas esta impactada.

SUGERENCIAS PARA LA CONTINUIDAD DEL PROGRAMA DE MONITOREO

Dada la variabilidad espacial de los paisajes de manglar en la Península de Yucatán, relacionada ésta con la geomorfología, la hidrología, los impactos y la amenazas, se recomienda que la continuidad del proyecto de monitoreo considere hacer el análisis de caracterización/diagnóstico a través de un mayor número de parcelas pero de menor tamaño. Esta aproximación permitiría capturar la variabilidad observada en campo y representaría de mejor manera lo que hay a escalas espaciales más amplias.

No se omite mencionar que los resultados de un proyecto de esta naturaleza podrían ser útiles a los tomadores de decisión, si se reflejan en mapas de tipo y condición de manglar. Lo cual se podría obtener con un mayor esfuerzo de muestreo espacial aunque las parcelas fuesen de menor de tamaño. El mismo número de parcelas pero de mayor tamaño (20 m x 20 m) posiblemente no capturaría la heterogeneidad observada y los importantes gradientes que se observan en el campo.

Después de conocer las variables que aportan más información de los cambios temporales para incluirlas en el monitoreo, se recomienda que sean estas las que se utilicen para el programa de muestreo de una siguiente fase.

Los datos con que se cuenta actualmente como resultado de este proyecto son muy ricos y requieren de tiempo de análisis más profundo. Entre los resultados que este análisis puede aportar estaría una estrategia de manejo general para cada localidad y con recomendaciones específicas para los sitios en cada una de ellas.

La descripción detallada de cada sitio requiere de un mayor número de puntos de verificación. El grupo de trabajo de este proyecto (FN009) aplicó una estrategia que fue robusta para la elaboración de mapas, que si bien no fueron parte del convenio y de los productos si son un resultado que ofrece buenas perspectivas de implementación.

Además de las publicaciones científicas de cada grupo o en conjunto, se sugiere que se produzca uno o más libros con los resultados de los proyectos que han caracterizado y monitoreado manglares del Golfo de México y del Caribe.

REFERENCIAS:

- Adame, Ma. F., A. Zaldívar-Jiménez, C. Teutli-Hernández., J.P. Caamal S., Ma. T. Andueza, H. López-Adame, R. Cano, H. A. Hernández-Arana, R. Torres-Lara, J. A. Herrera-Silveira. 2012. Drivers of Mangrove Litterfall within a Karstic Region Affected by Frequent Hurricanes. *Biotropica*. 45(2):147-154.
- Agraz-Hernández C.M. 1999. Reforestación experimental de manglares en ecosistemas lagunares estuarinos de la costa noroccidental de México. Tesis de Doctorado, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, 133 pp.
- Agraz-Hernández, C.M., F.J. Flores-Verdugo, y J. Ordoñez-Sulu. 2004. Dasometría de *Rhizophora mangle* y *Avicennia germinans* en un ecosistema de manglar al sureste de la Reserva de la Biosfera "Los petenes", Campeche. Campeche México. Informe técnico del proyecto: "Diagnostico ambiental de un ecosistema de manglar en la reserva de la Biosfera "Los petenes". Campeche, Campeche. Centro de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México. Universidad Autónoma de Campeche.
- Arriaga, L., J.M. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez, L. Gómez y E. Loa (coordinadores). 2002. Regiones Terrestres prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- Batllori, E., J.L. Febles, y J. Díaz. 1999. Landscape change on Yucatan northwest coastal wetlands (1948-1991). *Human Ecology Review*. 6(1): 8-20.
- Bouillon, S., V.A. Borges, E. Castañeda-Moya, K. Diele, T. Dittmar, N.C. Duke, E. Kristensen, S. Lee, C. Marchand, J. Middelburg, V. Rivera-Monroy, T. Smith III, and R. Twilley. 2008. Mangrove production and carbon sinks: A revision of global budget estimates. *Global Biogeochem. Cycles*, 22, GB2013, doi: 10.1029/2007GB003052.
- Boumans, R.M.J. and J.W. Day Jr. 1993. High precision measurements of sediment elevation in shallow coastal areas using a sedimentation erosion table. *Estuaries* 16:375 -380.
- Brady, N.C., 1984. The Nature and Properties of Soils, 9. Macmillan Publishing Co., New York, p. 750.
- Cahoon, D.R. and J.C. Lynch. 2003. Surface Elevation Table. U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Patuxent Wildlife Research Center.
- Cahoon, D.R. and R.E. Turner. 1989. Accretion and canal impacts in a rapidly subsiding wetland II. Feldspar marker horizon techniques. *Estuaries* 12:260-268.
- Castañeda-Moya, E., R.R. Twilley, V.H. Rivera-Monroy, B.D. Marx, C. Coronado-Molina, and M.L.S. Ewe. 2011. Patterns of root dynamics in mangrove forests along environmental gradients in the Florida, Coastal Everglades, USA. For Peer Review. Corresponding author email: ecasta1@tigers.lsu.edu. Department of oceanography and coastal sciences, school of the Coast and Environment, Louisiana State University, Baton Rouge, LA 70803, USA.
- Chen, R. and R.R. Twilley. 1999. Patterns of mangrove forest structure and soil nutrient dynamics along the Shark River estuary, Florida. *Estuaries*. 22(4):955-970.

- CNA. 2002. Determinación de la Disponibilidad de Agua en el Acuífero Península de Yucatán, Estado de Yucatán. Comisión Nacional del Agua. México.
- CNA. 2006. Jefatura de Proyecto de Aguas Superficiales. Subgerencia Regional Técnica. Gerencia Regional Península de Yucatán. Comisión Nacional del Agua. México.
- CONABIO y SEMARNAT. 2009. Cuarto Informe Nacional de México al Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México D.F.
- CONANP, 2000. Programa de manejo Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos.
- CONANP. 2007. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. En: <http://www.conanp.gob.mx/> (consultado en octubre de 2007).
- Day Jr., J. W., W. H. Conner, F. Ley-Lou, R. H. Day, and A. Machado Navarro. 1987. The productivity and composition of mangrove forests, Laguna de Términos, Mexico. *Aquatic Botany*, 27(3):267–284.
- Duch-Gary, J. 1991. La Conformación Territorial del Estado de Yucatán. Universidad Autónoma de Chapingo. México.
- Euan-Avila, J.I. and G.S. Witter 2002. Promoting Integrated Coastal Management in the Yucatan Peninsula, México. *Journal of Policy Studies*, 12:1-16.
- Euan-Avila, J.I., S. Salas, M. A. Cabrera, I. Donde, P. Arceo, J. Fraga, R. Olguín, M. A. Cuevas, J. Morales, A. Góngora, Ma. Á. Liceaga, J. A. Herrera-Silveira, M. A. Zaldívar, H. Hernández, C. Teutli, J. Ramirez, S. Morales, J. Trejo, I. Osorio, M. Aguayo, C. Pino, A. Maldonado, y J. Acosta. 2004. Evaluación de daños en las zonas costeras de la Península de Yucatán por el huracán "Isidoro", desarrollo de propuestas de investigación y mitigación en manejo integrado de recursos costeros. Informe Final CONACYT- Justo Sierra, Ref: 2002H602
- Espejel, I. 1986. Studies on coastal and sand dune vegetation of the Yucatan Peninsula. *Acta Anus. Ups.*, Comprehensive summaries of Uppsala Dissertations from the faculty of Science. 1986. 32 pp. Uppsala ISPN al-554-837-6.
- Flores-Verdugo, F.J., C.M. Agraz-Hernández, y D. Benítez-Pardo. 2007. Ecosistemas acuáticos costeros: importancia, retos y prioridades para su conservación. En: Óscar Sánchez, Mónica Herzig, Eduardo Peters, Roberto Márquez-Huitzil y Luis Zambrano (Eds). *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. Instituto Nacional de Ecología. 297 p.
- Frías-Bobadilla, R. 2006. Monografía histórica, geográfica, marítima y cultural del Puerto de Progreso de Castro, Yucatán. H. Ayuntamiento de Progreso. Factor Imprime. México.
- García, E. y P. Mosiño. 1992. Los climas de México. Instituto de geografía de la UNAM. México, D. F. 27 pp.
- Giraldo, S.B. 2005. Belowground productivity of mangrove forests in southwest Florida. Dissertation. Louisiana State University, Baton Rouge, LA. p.181.

- Hargis, T.G and R.R. Twilley. 1994a. A multi-depth probe for measuring oxidation-reduction (Redox) potential in wetland soils. *J. Sed. Res.* 64:684–685
- Hargis, T.G and R.R. Twilley. 1994b. Improved coring device for measuring soil bulk density in a Louisiana deltaic marsh. *J. Sed. Res.* 64:1–3
- Herrera-Silveira, J.A. 1994. Spatial heterogeneity and seasonal patterns in a tropical coastal lagoon. *J. Coastal Res.* 10: 738-746.
- Herrera-Silveira, J.A. 1998. Productividad Primaria Fitoplanctónica de la Laguna de Celestún, Yucatán CINVESTAV-IPN. Unidad Mérida. Tesis maestría. 126 p.
- Herrera-Silveira, J.A., J. Ramírez, y A. Zaldivar.1998. Overview and Characterization of the Hydrology and Primary Producers Communities of Selected Coastal Lagoons of Yucatan, Mexico. *Aquatic Ecosystem Health & Management.* 1(3-4):353-372.
- Herrera-Silveira, J.A. 2006. Lagunas Costeras de Yucatán (SE, México). *Ecotrópicos.* 19: 94-108.
- Holdridge, L.R., W. C. Grenke, W. H. Hathaway, T. Liang, and J. Tosi. 1971. Forest environments in tropical life zones, a pilot study. Pergamon press. New York.
- Holme, N.A. and A.D. McIntyre, 1984. Methods for the study of Marine Benthos. Blackwell Scientific Publications. London.
- INE. 1993. *Programa de manejo de la Reserva Especial de la Biosfera de Ría Celestún.* SEDESOL, México.
- INE/RDS/PNUD. 2000. Áreas Naturales Protegidas de México 1899-2000 con Decretos Federales. Instituto Nacional de Ecología (INE) de SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE, RECURSOS NATURALES Y PESCA (SEMARNAP), Red para el Desarrollo Sustentable A.C., (RDS), Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). SEMARNAP México, 830 pp.
- INEGI (Instituto nacional de Estadística Geográfica e Informática) 1995. Anuario Estadístico de Yucatán
- INEGI (Instituto nacional de Estadística Geográfica e Informática) 1998. Anuario Estadístico de Yucatán.
- INEGI (Instituto nacional de Estadística Geográfica e Informática) 2000. Censo de Población y vivienda.
- INEGI (Instituto nacional de Estadística Geográfica e Informática). 2002. Archivo histórico de localidades.
- Koch, M. S. and S. C. Snedaker. 1997. Factors influencing *Rhizophora mangle* L. seedling development in Everglades carbonate soils. *Aquatic Botany.* 59: 1-2 87–98.

- Komiyama, A., K. Ogino, S. Aksornkoe, and S. Sabhasri. 1987. Root biomass of a mangrove forest in southern Thailand. 1. Estimation by the trench method and the zonal structure of root biomass. *Journal of Tropical Ecology*. 3:97-108
- Lewis, R.R., 1982. Mangrove forests. In: Lewis, R.R. (Ed.), *Creation and Restoration of Coastal Plant Communities*. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 153 – 172.
- López-Portillo, J. y E. Ezcurra. 2002. Los manglares de México una Revisión. *Madera y Bosques una revisión especial*. 27-51 pp.
- Lovelock, C.E., I.C. Feller, K.L. McKee, B.M.J. Engelbrecht, and M.C. Ball. 2004. The effect of nutrient enrichment on growth, photosynthesis and hydraulic conductance of dwarf mangroves in Panamá. *Functional Ecology*. 18(1):25–33.
- Lugo, A.E. and S.C. Snedaker. 1974. The ecology of mangroves. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 5: 39-64.
- McKee, K.L., I.A. Mendelssohn, and M.D. Materne. 2004. Acute salt marsh dieback in the Mississippi River deltaic plain: a drought-induced phenomenon?. *Global Ecology and Biogeography*. 13: 65–73.
- McKee, K.L., J.E. Rooth, and I.C. Feller. 2007. Mangrove recruitment after forest disturbance is facilitated by herbaceous species common to the Caribbean Region. *Ecological Applications*. 17(6): 1678-1693.
- Mitsch, W.J. and J.G. Gosselink. 2000. *Wetlands*, 3rd Ed. John Wiley & Sons, New York.
- Padilla, C., M.D. Fortes. C.M. Duarte, J. Terrados, and L. Kamp-Nielsen. 2004. Recruitment, mortality and growth of mangrove (*Rhizophora* sp.) seedlings in Ulugan Bay, Palawan, Philippines. *Trees*.18: 589–595
- Parsons, T.R., Y. Maita, and C.M. Lalli. 1984. *A manual of chemical and biological methods for seawater analysis*. Pergamon press, New York.
- Raisz. E., 1964. *Landforms of Mexico*. Cambridge, Mass. U.S. Navy Geographical Branch. Mapa. Escala aproximada: 1:3'000,000.
- Ramírez-García, P., J. López-Blanco, and D. Ocaña. 1998. Mangrove vegetation assessment in the Santiago River Mouth, Mexico, by means of supervised classification using Landsat TM imagery. *Forest Ecology and Management*. 105: 217-229.
- Rico-Gray, V. 1982. Estudios de la vegetación de la zona costera inundable de noreste de Campeche, México: Los petenes. *Biotica*. 7: 171-190.
- Rivera-Monroy, V.H., R. Twilley, E. Medina, E.B. Moser, L. Botero, A.M. Francisco, and E. Bullard. 2004. Spatial variability of soil nutrients in disturbed riverine mangrove forests at different stages of regeneration in the San Juan River Estuary, Venezuela. *Estuaries*. 27:44–57.

- Rodríguez-Zúñiga, M.T. 2002. Manglares del sistema lagunar de Alvarado, Ver. México: Influencia de algunos procesos físicos, biológicos y antropogénicos, en su distribución y estructura. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas (Biología Ambiental) Facultad de Ciencias. Posgrado de Ciencias Biológicas. UNAM. México. D.F.104 p.
- Rosado-May F.J., R. Romero Mayo y A. De Jesús Navarrete (Eds.). 2002. Contribuciones De La Ciencia Al Manejo Costero Integrado De La Bahía De Chetumal Y Su Área De Influencia. Universidad De Quintana Roo, Chetumal, Q. Roo, México, 400 p.
- Ruiz-Luna, A. and C.A. Berlanga-Robles. 1999 Modifications in coverage patterns and land use in the landscape around the Huizache-Caimanero Lagoon System, Sinaloa, Mexico: A multitemporal analysis LANDSAT images. *Estuarine Coastal and Shelf Sciences*. 49: 37-44.
- Ruiz-Rentería, F., B.I. van Tussenbroek y E. Jordán-Dahlgren. 1998. Puerto Morelos, Quintana Roo, México. In: Caribbean Coastal Marine Productivity (Caricomp): Coral reef, seagrass, and mangrove site characteristics. B. Kjerfve (ed.). UNESCO, Paris. 345 p.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa, México, 432 pp.
- Scavia, D., J.C. Field, D.F. Boesch, R.W. Buddemeier, V. Burkett, D.R. Cayan, M. Fogarty, M.A. Harwell, R.W. Howarth, C. Mason, D.J. Reed, T.C. Royer, A.H. Sallenger, and J.G. Titus. 2002. Climate Change Impacts on U.S. Coastal and Marine Ecosystems. *Estuaries*. 25: 149-164.
- Secretaría de Gobernación-Centro Nacional de Prevención de Desastres (SEGOB-CENAPRED; 1988). Atlas Nacional de Riesgos. Dirección General de Protección Civil, México.
- SEDESOL. 2011. Atlas de Peligros de Progreso, 52pp.
- SEMARNAT. 1999. Norma Oficial Mexicana de Emergencia NOM-EM-001-RECNAT-1999. Diario Oficial, lunes 16 de agosto. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.
- SEMARNAT. 2000, Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Ría Celestún, México.
- SEMARNAT. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, 6 de marzo de 2002, pp. 1-80.
- SEMARNAT. 2003. Norma Oficial Mexicana NOM-022-SEMARNAT-2003. Que establece las especificaciones para la preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zonas de manglar. Diario Oficial, 10 de abril de 2003.
- SEMARNAT-Gob. Quintana Roo. 2005. Programa De Ordenamiento Ecológico Local Del Municipio Benito Juárez, Quintana Roo. Comité Técnico Para La Formulación, Expedición Y

Ejecución Del Programa De Ordenamiento Ecológico Territorial Del Municipio Benito Juárez, Quintana Roo. 90 pp.

-SEMARNAT. 2007. DECRETO por el que se adiciona un artículo 60 TER; y se adiciona un segundo párrafo al artículo 99; todos ellos de la Ley General de Vida Silvestre. Diario Oficial de la Federación, 1 Abril de 2007.

-Semeniuk, V. 1994. Predicting the effect of sea-level rise on mangroves in Northwestern Australia. *Journal of Coastal Research*. 10(4):1050–1076.

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

-Smith, T.J. III. 1992. Forest structure. In “Tropical mangrove ecosystems” (A.I. Robertson and D.M. Alongi, Eds), pp.101-136. American Geophysical Union, Washington DC., USA.

-Schmitter-Soto, J., F.A. Comín, E. Escobar-Briones, J.A. Herrera-Silveira, J. Alcocer, E. Suárez-Morales, M. Elías-Gutiérrez, V. Díaz-Arce, L.E. Marín, and B. Steinich. 2002. Hydrogeochemical and biological characteristics of cenotes in the Yucatan Peninsula (SE Mexico). *Hydrobiologia*. 467(1-3):215-228.

-Teutli-Hernández, C. 2003. Estimación del éxito de la restauración hidrológica en zonas de manglar de la parte norte de Yucatán. Tesis de Licenciatura, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.

- TNT MIPS. 2011. MICROIMAGES, Image Classification. Lincoln: MicroImages, 2006. 36p.

-Troccoli, L. 2001. Efecto de los afloramientos de agua dulce en la estructura del fitoplancton: patrones espaciales y temporales Tesis Doctoral, Ciencias Marinas, CINVESTAV-IPN, Unidad Mérida, México.

-Twilley, R.R., A.L. Lugo and C. Patterson-Zucca. 1986. Litter production and turnover in basin mangrove forest 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. 155- 180 p. Springer-Verlag, Berlin.

-Twilley, R.R. 1995. Properties of mangrove ecosystems related to the energy signature of coastal environments. Maximum power (Eds.) University of Colorado press. Boulder. Colorado. C. Hall. 43-62 pp

-Twilley, R.R. 1998. Mangrove wetlands. In: Messina, M.G. and Conner, W.H. Southern Forested Wetlands, Ecology and Management. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida. 445-473 pp.

-Twilley, R.R., R. Chen, and V.H. Rivera-Monroy. 1999. Formulating a succession model of mangrove wetlands in the Caribbean and Gulf of Mexico with emphasis on factors associated with global climate change. *Current Topics in Wetland Biogeochemistry*. 3: 118-141.

- Twilley, R.R., V.H. Rivera-Monroy, and E. Castañeda. 2004. Total Phosphorus Procedure (Dry Digestion) and Ashing Technique (For Soil and Plant Material). LSU Wetland Biogeochemistry Institute.
- Twilley, R.R. and V.H. Rivera-Monroy. 2005. Developing Performance Measures of Mangrove Wetlands Using Simulation Models of Hydrology, Nutrient Biogeochemistry and Community dynamics. *Journal of Coastal Research*. 40: 79-93.
- Vega, C.M., M. Hernández, y G. de la Cruz Agüero. 1997. Los Peces de la Reserva de Celestún. Pronatura y CINVESTAV-Mérida, México, 171 pp.
- Valdes, C., L. Bourillón, M. Cervantes, E. Chavarría, J. Gutiérrez, M. Muñoz, A. Oriza y M. Tordesillas. 1992. Programa Conceptual de Manejo de la Reserva Especial de la Biosfera Ría Lagartos. ITESM-Campus Guaymas. México.
- Woodrofe, C.D. 1992. Mangrove sediments and geomorphology. Pages. 7- 42. In: A.I. Robertson and D.M. Alongi, Eds. Tropical mangrove ecosystems. American Geophysical Union, Washington, D.C.
- Zaldívar-Jiménez, M.A., J.A. Herrera-Silveira, C.M. Coronado, y D. Alonso. 2004. Estructura y productividad de los manglares en la Reserva de la Biósfera Ría Celestún, Yucatán (SE. México). *Maderas y Bosques*. 2:25-35.
- Zaldívar-Jiménez, M.A., J.A. Herrera-Silveira, C. Teutli-Hernández, F.A. Comín, J.L. Andrade, C. Coronado-Molina y R. Pérez-Ceballos. 2010. Conceptual Framework for Mangrove Restoration in the Yucatán Peninsula. *Ecological Restoration*. 28(3): 333-342.
- Zaldívar-Jiménez, M.A., J.A. Herrera-Silveira, R. Pérez-Ceballos, y C. Teutli-Hernández. 2012. Evaluación del uso de los humedales de manglar como biofiltro de efluentes de camaronerías en Yucatán, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 47(3):395-405.