



*Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología*

Universidad Nacional Autónoma de México



PROCESOS DE EROSIÓN Y DEPOSITACIÓN EN EL LITORAL SUR DEL  
GOLFO DE MÉXICO

**T E S I S**

que para obtener el grado académico de

**Doctor en Ciencias del Mar**

(Oceanografía Geológica)

p r e s e n t a

Antonio Zoilo Márquez García.

**Director de Tesis: Dr. Arturo Carranza Edwards.**

**Comité Tutorial**

**Dr. Liberto de Pablo Galán.**

**Dr. Miguel Ángel Alatorre Mendieta.**

**Dra. María Leticia Rosales Hoz.**

**Dr. Mario Arturo Ortiz Pérez.**

**Dr. Gustavo Tolson Jones.**

**Dr. Juan José Kasper Zubillaga**

**México, D. F. 2011**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## Contenido

<b>INDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>3</b>
<b>INDICE DE TABLAS.....</b>	<b>9</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>10</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>12</b>
<b>ÁREA DE ESTUDIO .....</b>	<b>15</b>
<b>ANTECEDENTES .....</b>	<b>18</b>
<b>HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....</b>	<b>22</b>
Hipótesis .....	23
Objetivo General .....	23
Objetivos Específicos .....	23
<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>25</b>
Trabajo de Campo.....	25
Trabajo de Laboratorio .....	27
Trabajo de Gabinete.....	34
<b>CAMBIOS HISTÓRICOS DE LA LINEA DE COSTA.....</b>	<b>36</b>
<b>CAMBIOS MORFOLÓGICOS ESTACIONALES DE LAS PLAYAS .....</b>	<b>47</b>
<b>DISTRIBUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LOS SEDIMENTOS LITORALES .....</b>	<b>118</b>
<b>COMPOSICIÓN Y PROCEDENCIA DE LOS SEDIMENTOS LITORALES.....</b>	<b>147</b>
<b>FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA SEDIMENTACIÓN COSTERA.....</b>	<b>154</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>173</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>177</b>
<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>179</b>
<b>ANEXO .....</b>	<b>182</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del área de estudio.....	15
Figura 2. Localización de los sitios de levantamientos de perfiles de playa y su época estacional inicial de monitoreo .....	24
Figura 3. Subzonas de playa (Modificado de Carranza-Edwards y Caso-Chávez, 1994). .....	25
Figura 4. Triángulo de Nomenclatura de sedimentos de Shepard (1954 b). .....	30
Figura 5. Triángulo de clasificación general de sedimentos marinos según Rothwell, 1989. ....	31
Figura 6. Triángulo de composición de sedimentos modificado de Folk (1974) para la clasificación de arenas. ....	32
Figura 7. Triángulo de clasificación para sedimentos carbonatados con componentes silicoclásticos (Lewis, 1984). ....	33
Figura 8. Evolución histórica de la línea de costa a lo largo de la zona de estudio entre 1974 y 2008. ....	38
Figura 9. Procesos de erosión continua y erosión – acumulación detectada en el litoral de Campeche. Desde 1974 hasta el año 2008. ....	39
Figura 10. Proceso de erosión continua (línea verde para la costa en 1974 y línea roja para la costa en 2008), zona situada al noroeste de la Península de Atasta. ....	40
Figura 11. Proceso de erosión continua (línea verde para la costa de 1974 y línea roja para la costa en 2005) zona situada al noreste de Isla Aguada. ....	41
Figura 12. Erosión de línea de costa entre 1974 y 2008 en el área de la Península de Atasta. .	42
Figura 13. Representación gráfica de la tasa de erosión por sitio. ....	44
Figura 14. Proceso de erosión – depósito. a) En la línea de costa de Playa la Disciplina y b) en Playa Norte. ....	45
Figura 15. Playa formada por sedimentos procedentes del Río San Pedro y San Pablo. ....	47
Figura 16. Diagrama de los perfiles 1, 2 y 3 en la Playa 1 en la desembocadura del Río San Pedro y San Pablo. ....	48
Figura 17. Diagrama de incrementos y decrementos de las secciones transversales de los perfiles 1, 2 y 3. ....	49
Figura 18. Playa de Nitrogenoducto con presencia de lodos en la infraplaya. ....	50
Figura 19. Diagrama de los perfiles 4, 5 y 6 en la playa Nitrogenoducto. ....	51
Figura 20. Diagrama de incrementos y decrementos de las secciones transversales de los perfiles 4, 5 y 6. ....	52
Figura 21. Erosión en la Playa del Centro de Proceso y Transporte de Gas Atasta. ....	53
Figura 22. Diagrama de los perfiles 7, 8 y 9 en la playa del CPTG-Atasta. ....	54
Figura 23. Diagrama de incrementos y decrementos de las secciones transversales de los perfiles 7, 8 y 9. ....	55



Figura 24. Playa La Disciplina formada por fragmentos de moluscos con el mar afectando áreas de manglar. ....	56
Figura 25. Diagrama de los perfiles 10, 11 y 12 en playa La Disciplina. ....	57
Figura 26. Diagrama de incrementos y decrementos de las secciones transversales de los perfiles 10, 11 y 12. ....	58
Figura 27. Playa El Faro de pendiente suave formada de arena detrítica y conchas. ....	59
Figura 28. Diagrama del perfil 13 en playa El Faro. ....	60
Figura 29. Diagrama de incrementos y decrementos de la sección transversal del perfil 13. ....	60
Figura 30. Barco encallado en la playa El Zacatal formando un tómbolo de arena por la sombra energética que produce en el oleaje. ....	61
Figura 31. Almacenamiento de material para ....	61
Figura 32. Diagrama de los perfiles 14, 15 y 16 en playa Zacatal. ....	62
Figura 33. Diagrama de incrementos y decrementos de la sección transversal de los perfiles 14, 15 y 16. ....	63
Figura 34. Formación de canal por efecto de mareas en Playa Norte. ....	64
Figura 35. Diagrama de los perfiles 17, 18 y 19, en Playa Norte. ....	65
Figura 36. Diagrama de incrementos y decrementos de las secciones transversales de los perfiles 17,18 y 19. ....	66
Figura 37. Playa Km. 9. Carretera Isla del Carmen a Champotón con acumulación de sedimentos. ....	67
Figura 38. Diagrama del perfil 20, playa Km 9 carretera Isla del Carmen a Champotón. ....	68
Figura 39. Diagrama de incrementos y decrementos de la sección transversal del perfil 20. ....	68
Figura 40. Escalones formados por la erosión observada en Club de Playa. ....	69
Figura 41. Diagrama de desniveles de los perfiles 21, 22 y 23, en la Club de playa. ....	70
Figura 42. Diagrama de los perfiles agregados en enero y junio del 2007. ....	71
Figura 43. Diagrama de incrementos y decrementos de las secciones transversales de los perfiles 21,22 y 23. ....	71
Figura 44. Playa Bahamita con presencia de barreras de palos para protección con procesos de acumulación y erosión. ....	72
Figura 45. Diagrama del perfil 24, en la Playa Bahamita. ....	73
Figura 46 Diagrama de incrementos y decrementos de la sección transversal del perfil 20. ....	73
Figura 47. Playa CASES con escalones de erosión de cerca de 2 m de altura. ....	74
Figura 48. Diagrama de los perfiles 25, 26 y 27 de la playa de CASES. ....	75
Figura 49. Diagrama de incrementos y decrementos de las secciones transversales de los perfiles 25,26 y 27. ....	76

Figura 50. Playa del Km 28 de Cd. del Carmen-Champotón, calcárea con rocas en la infraplaya y vegetación en la supraplaya. ....	77
Figura 51. Diagrama del perfil 28, playa del Km 28 carretera Isla del Carmen-Champotón. ....	78
Figura 52. Diagrama de incremento y decremento de la sección transversal del perfil 28. ....	78
Figura 53. Playa San Nicolasito con barrera de palos y arena calcárea. ....	79
Figura 54. Diagrama del perfil 29 en la playa San Nicolasito. ....	80
Figura 55. Diagrama de incremento y decremento de la sección transversal del perfil 29. ....	80
Figura 56. Playa Punta Real con presencia de roca de playa en la zona de infraplaya. ....	81
Figura 57. Diagrama de los perfiles 30, 31 y 32 de la playa Punta Real. ....	82
Figura 58. Diagrama de incrementos y decrementos de las secciones transversales de los perfiles 30,31y 32. ....	83
Figura 59. Playa Isla Aguada una de las más extensas y de origen calcáreo. ....	84
Figura 60. Diagrama del perfil 33, playa Isla Aguada. ....	85
Figura 61. Diagrama de incremento y decremento de la sección transversal del perfil 33. ....	85
Figura 62. Playa en el Km. 54, carretera Cd. del Carmen-Champotón. ....	86
Figura 63. Diagrama del perfil 34, playa Km 54 carretera Cd. del Carmen a Champotón. ....	87
Figura 64. Diagrama de incremento o decremento de la sección transversal del perfil 34. ....	87
Figura 65. Playa Sabancuy en una etapa erosiva en nortes 2006. ....	88
Figura 66. Diagrama del perfil 35, Playa Sabancuy. ....	89
Figura 67. Diagrama de incremento y decremento de la sección transversal del perfil 35. ....	89
Figura 68. Playa Chenkan frente al campamento tortuguero. ....	90
Figura 69. Diagrama de desnivel del perfil 36, playa Chenkan. ....	91
Figura 70. Diagrama de incremento y decremento de la sección transversal del perfil 36. ....	91
Figura 71. Playa El Hueso compuesta de material calcáreo. ....	92
Figura 72. Diagrama de desnivel el perfil 37, playa El Hueso. ....	93
Figura 73. Diagrama de incremento y decremento de la sección transversal del perfil 37. ....	93
Figura 74. Playa Km. 134, carretera Cd. del Carmen-Champotón con presencia de roca de playa en la zona de infraplaya. ....	94
Figura 75. Diagrama del perfil 38, playa Km 134 carretera Cd. del Carmen-Champotón. ....	95
Figura 76. Diagrama de incremento o decremento de la sección transversal del perfil 38. ....	95
Figura 77. Playa Champotón angosta con espigones y roca de playa. ....	96
Figura 78. Diagrama de los perfiles 39, 40 y 41, playa Champotón. ....	97
Figura 79. Diagrama de incrementos y decrementos de las secciones transversales de los perfiles 39, 40 y 41. ....	98
Figura 80. Playa Punta la Disciplina con destrucción de manglar por erosión. ....	99

Figura 81. Diagrama del perfil 42, Playa Punta La Disciplina .....	100
Figura 82 Diagrama de incrementos y decrementos de la sección transversal del perfil 42. Nota.- Las playas 23 a 27 se adicionaron para su medición a partir del periodo de estiaje 2006. Ya que en el trabajo de campo se identificaron como posibles sitios críticos por erosión. ....	100
Figura 83. Playa CONANP 1 con escarpe de erosión. ....	101
Figura 84. Diagrama del perfil 43; playa CONANP 1. ....	102
Figura 85. Diagrama de incremento y decremento de la sección transversal del perfil 43. ....	102
Figura 86. Escape de erosión presente en la playa CONANP 2. ....	103
Figura 87. Diagrama de los perfiles 44, 45 y 46, playa CONANP 2. ....	104
Figura 88. Diagrama de incrementos y decrementos de las secciones transversales de los perfiles 44,45 y 46. ....	105
Figura 89. Diagrama de ubicación de los perfiles y bosquejo de la línea de costa para los muestreos de estiaje 2006 a nortes 2007 donde se observa un avance de la línea de costa hacia el continente de casi 40 m en 8 meses. ....	105
Figura 90. Playa CONANP 3 con fuertes escarpes de erosión en sedimentos calcáreos. ....	106
Figura 91. Diagrama de los perfiles 47, 48 y 49, playa CONANP 3. ....	107
Figura 92. Diagrama de incrementos y decrementos de las secciones transversales de los perfiles 47,48 y 49. ....	108
Figura 93. Playa CONANP 4 con erosión en la zona de mesoplaya. ....	109
Figura 94. Diagrama del perfil 50, playa CONANP 4. ....	110
Figura 95. Playa CAPA en la Boca de Sabancuy .....	110
Figura 96. Diagrama de los perfiles 51, 52 y 53, playa CAPA. ....	111
Figura 97. Diagrama de variación volumétrica (m <sup>3</sup> ) de los perfiles de playa. ....	112
Figura 98. Sedimentos biogénicos en Playa Disciplina. ....	114
Figura 99. Tómbola formada en Playa El Zacatal .....	114
Figura 100. Efectos de la erosión en Club de Playa .....	115
Figura 101. Playa CASES, perfil Oeste con pérdida de material y perfil Este con ganancia de material por la presencia de roca de playa en su zona infralitoral. ....	115
Figura 102. Playa Bahamita con aporte de material de construcción y protección de barrera de palos de madera. ....	116
Figura 103. Protección de playas con cerco de palos localizados en algunos sitios en la parte Oeste de la Isla del Carmen. ....	116
Figura 104. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral de San Pedro y San Pablo. ....	118
Figura 105. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral de Nitrogenoducto. ...	119

Figura 106. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral de CTPG-Atasta. ....	120
Figura 107. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral de la Playa Disciplina. .....	121
Figura 108. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral El Faro. ....	122
Figura 109. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral del Zacatal. ....	123
Figura 110. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral de Playa Norte. ....	124
Figura 111. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral del Km 9. ....	125
Figura 112. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral del Club de Playa. ....	126
Figura 113. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral de Bahamita. ....	127
Figura 114. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral de CASES. ....	128
Figura 115. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral del Km 28. ....	129
Figura 116. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral de San Nicolasito. ....	130
Figura 117. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral de Puerto Real. ....	131
Figura 118. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral de Isla Aguada. ....	132
Figura 119. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral del Km 54. ....	133
Figura 120. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral de Sabancuy. ....	134
Figura 121. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral de Chenkan. ....	135
Figura 122. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral El Hueso. ....	136
Figura 123. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral de Km 134. ....	137
Figura 124. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral de Champotón. ....	138
Figura 125. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral de Punta Disciplina. ...	139
Figura 126. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral de CONANP-1. ....	140
Figura 127. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral de CONANP-2. ....	141
Figura 128. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral CONANP-3. ....	142
Figura 129. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral CONANP-4. ....	143
Figura 130. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral de CAPA. ....	144
Figura 131. Tamaño gráfico promedio de los sedimentos de la subzona infraplaya. ....	145
Figura 132. Tamaño gráfico promedio de la subzona de mesoplaya. ....	146
Figura 133. Tamaño gráfico promedio de la subzona de supraplaya. ....	146
Figura 134. a) Biocalcarenitas en la Playa Disciplina, b) Biocalcarenitas arenosas en la playa de Isla Aguada y c) Feldsarenitas en la Playa Nitrogenoducto. ....	147
Figura 135. Composición de los sedimentos de la zona de infraplaya. ....	148
Figura 136. Composición de los sedimentos de la zona de mesoplaya. ....	148
Figura 137. Composición de los sedimentos de la zona de supraplaya. ....	149
Figura 138. Procedencia de los sedimentos de la zona litoral (verde -sedimentos biogénicos,	

café-sedimentos terrígenos, ocre-sedimentos de transición (Modificado de UAEM-PEMEX, 2008).....	152
Figura 139. Composición litológica de la zona litoral del área de estudio. ....	155
Figura 140 .Delta del Río Grijalva-Usumacinta y delta del río San Pedro y San Pablo .....	156
Figura 141. Salida de sedimentos terrígenos en Boca del Carmen y entrada de sedimentos por la Boca de Puerto Real.....	156
Figura 142. Patrón de circulación dominante en el área de estudio.....	157
Figura 143. Escarpe de tormenta en Club de Playa (izquierda) y CASES (derecha) posterior al paso de un Norte.....	159
Figura 144. Oleaje generado por el Norte del 4 de noviembre del 2007, en CPTG-Atasta, que erosionó cerca de 15 m en unas cuantas horas del litoral (Foto tomado por el Biól. Luis Alberto Pérez Basurto, PEMEX).....	160
Figura 145. Avance de la línea de costa por una transgresión marina en la Isla del Carmen, Camp. ....	162
Figura 146. Posible falla con subsidencia en la Punta Brigitte Bardot en la Isla del Carmen. Camp. ....	163
Figura 147. Avance de la línea de costa de 1984 a 1990 en la Península de Atasta. ....	164
Figura 148. Pérdida de manglar en la Península de Atasta por erosión costera. ....	165
Figura 149. Material arenoso en agosto 2005 en.....	166
Figura 150. Erosión de la zona litoral, en febrero 2006, en Atasta.....	166
Figura 151. Presencia de obras de protección y crecimiento de la zona urbana que modifican la playa. ....	168
Figura 152. Localización de las principales obras civiles en el litoral del Municipio del Carmen (Modificado de UAEM-PEMEX, 2008).....	169
Figura 153. Club de Playa 2006 y 2007.....	170
Figura 154. Escolleras en Boca de Sabancuy. ....	170
Figura 155. En la imagen a) se observa el desplazamiento de la carretera y en la b) la cercanía entre la costa y la carretera. ....	171
Figura 156. Espigones localizados en la zona litoral. ....	171
Figura 157. Espigones presentes en la zona litoral del Municipio del Carmen en el km 45 de la carretera Cd. del Carmen-Champotón.....	172
Figura 158. Erosión de carretera en Boca Sabancuy. ....	172

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Localización de los sitios de playa y perfiles de playa.....	26
Tabla 2. Límites de parámetros granulométricos (Modificado de Folk, 1974). .....	29
Tabla 3. Descripción de la información recopilada para el análisis histórico. ....	34
Tabla 4. Tasa de erosión por sitio a lo largo de la costa de Campeche. ....	43

## RESUMEN

Esta tesis es parte del Proyecto titulado “*Estudio de la dinámica costera del litoral norte del municipio del Carmen, Campeche*”, realizado por la Universidad Autónoma del Estado de Morelos y la Región Marina Noreste de PEMEX Exploración y Producción dentro del período comprendido entre agosto de 2005 y julio de 2008, con apoyo de la Academia Nacional de Investigación y Desarrollo, A.C. Con el fin de conocer la dinámica costera, cuantificar los procesos de erosión-depósito y los factores más significativos que intervienen en estos procesos se realizó un monitoreo de la zona litoral donde se levantaron 53 perfiles topográficos en 27 localidades de playa distribuidos a lo largo de la zona litoral durante las épocas de estiaje, lluvias y nortes en dos ciclos anuales y se muestrearon sedimentos de las zonas de infraplaya, mesoplaya y supraplaya. Además, se llevó a cabo el análisis de la evolución de la línea de costa por medio de imágenes satelitales (1974-2008) e identificación de factores antropogénicos y naturales. Los resultados obtenidos indican un proceso erosivo regional en la zona litoral investigada, arrojando para los últimos 34 años tasas de erosión que fluctúan desde 14.3 m/año para la zona del Centro de proceso y Transporte de Gas de Atasta (CPTG-ATASTA) hasta valores mínimos de 0.2 m/año en Isla Aguada. Durante este mismo periodo se cuantificaron desplazamientos negativos de la línea de costa con valores críticos de 487 m en CPTG-ATASTA, de 216.8 m en Punta Disciplina, de 211.2 m en Sabancuy y el valor menor de 5.7 m en Isla Aguada. El fenómeno de erosión es continuo al menos para las tres últimas décadas con eventos extremos que ocurren principalmente en la época de nortes. De acuerdo con las mediciones topográficas de campo realizadas durante tres años, se pudieron verificar los sitios críticos con mayor tasa de erosión. Por ejemplo, en CPTG-ATASTA se registraron 4.2 m de pérdida de litoral en un lapso de tres años (2005-2008). Otro evento relevante se ubica en el sitio CONANP-2 en donde se registraron 40 m de pérdida de litoral en solo un año. En la zona litoral hay dos tipos de sedimentos: 1) terrígenos, en los que dominan arenas finas aportadas por el Río San Pedro y San Pablo, la Boca del Carmen y por la erosión de la Península de Atasta y 2) biogénicos, por arenas gruesas compuestas de restos calcáreos de organismos erosionados de la zona litoral calcárea desde Isla del Carmen hasta Champotón y el aporte marino de biogénicos hacia la playa.

Se identificó y cuantificó un proceso de transgresión marina en el litoral de Campeche causado por la interrupción del transporte litoral de sedimentos por obras civiles como espigones y escolleras, la disminución en el aporte de materiales arenosos por partes de los ríos y bocas lagunares, las diferencias en los sustratos rocosos y pantanosos de la zona litoral y el

incremento en la intensidad y frecuencia de huracanes y nortes, junto con el aumento del nivel del mar causados por el cambio climático global son algunos de los factores que más intervienen en la dinámica litoral que repercute en el desarrollo urbano, turístico, vías de comunicación, eléctricas y pérdida de sistemas ecológicos como los manglares y playas de anidación de tortugas.

Palabras Clave: erosión, playas, depósito, golfo de México, Campeche, dinámica costera,



## INTRODUCCIÓN

El litoral es una de las franjas más dinámicas de la zona costera, cuya morfología cambia en respuesta a la fuerza de los procesos marinos y continentales causando cambios en la morfología de las playas, en los tamaños de partículas y en la composición de los sedimentos que las constituyen (Montaño *et al.*, 1988). Muchos factores intervienen en el proceso dinámico de ella, como son los factores geológicos, físicos, biológicos, químicos y antropogénicos, los cuales son responsables de los cambios que sufre ésta zona.

Los cambios morfológicos a lo largo de los litorales se pueden apreciar por la acumulación de arenas formando playas extensas de pendientes suaves acompañadas de dunas, tómbolos, lengüetas, barreras, o bien, por procesos de erosión de las arenas, exponiendo sustratos rocosos, formando cavernas, farallones, puntas y playas angostas de pendientes fuertes la mayoría de las veces, con materiales gruesos de arena y gravas.

Krumbein y Sloss (1963) mencionan que los procesos costeros que afectan al litoral ocurren en escalas de tiempo que varían desde instantes (horas) hasta intervalos geológicos (miles o más años). La comprensión de estos procesos requiere del estudio de la dinámica que domina y controla la zona litoral y es necesario considerar todas las escalas y distinguir la combinación de los factores más relevantes que se presentan.

Los procesos que gobiernan la dinámica litoral, tales como la variación del aporte de sedimentos y los cambios de energía causados por el oleaje y corrientes causan diferencias en el ancho, pendiente y forma de las playas, los cuales varían durante las diferentes épocas del año, siendo las épocas de lluvias y de *nortes* donde los cambios son más intensos, debido a la frecuencia e intensidad de los oleajes. El papel de la actividad antropogénica también ha contribuido a modificar la zona litoral, desde el momento que se construyen hoteles, casas, restaurantes, *etc.* en su parte expuesta (supraplaya), hasta la construcción de muelles, espigones, escolleras, rompeolas en la porción sumergida (infraplaya) alterando el transporte litoral y la morfología de la playa.

La dinámica que caracteriza a los espacios costeros como medios de transición, encuentra quizás, su máxima expresión en las playas. Este ambiente que se ubica entre la zona continental y el medio marino, modifica su morfología constantemente dependiendo de las condiciones hidrodinámicas y de energía que les afectan (Suárez, 1991). Estas modificaciones se pueden plasmar en una veloz modificación de la línea de costa, con cambios en dimensiones

del orden de las centenas a miles de metros, en periodos de tiempo relativamente cortos de tan solo algunas decenas de años.

Existen diferentes factores, tanto naturales (huracanes, tipo de sustrato, corriente litoral, oleaje, presencia de vegetación, variaciones del nivel del mar, entre otros.) como antropogénicos (diques, espigones, escolleras, etc.) cuya presencia, frecuencia e intensidad dan como resultado cambios de la línea de costa, como por ejemplo:

- Los factores geológicos son los que controlan la geomorfología, litología y disponibilidad de sedimentos en la zona litoral. Las zonas litorales de fácil erosión se presentan cuando los sedimentos tienen poca cohesión; mientras que las playas tienen una mayor resistencia a la erosión cuando exhiben sustratos rocosos o materiales muy cohesivos (U.S. Army Corps of Engineers, 2002).

- Dentro de los factores físicos que afectan la zona costera se incluyen aquellos que se relacionan con la energía que causa erosión, transporte y depósito de sedimentos por oleaje, mareas y corrientes.

- Tormentas tropicales y Huracanes causan severos problemas de erosión en la zona costera y en sus playas al producir cambios en el nivel del mar, fuertes vientos y altas precipitaciones que mueven grandes cantidades de sedimentos.

- Los *nortes* también producen fuerte erosión de la zona litoral, ya que las tormentas generadas por frentes fríos en altas latitudes llegan hasta medianas latitudes produciendo fuerte vientos y elevación del nivel del mar, inclusive más altos que los ocasionados por tormentas tropicales.

- Las áreas costeras presentan una intensa actividad biológica, la presencia de arrecifes de coral y manglares formando franjas a lo largo de la línea de costa ayudan a proteger a la zona litoral principalmente de las tormentas tropicales o de los *nortes*, su desaparición produce una rápida erosión de las playas.

- Los cambios del nivel del mar, repentinos formados por vulcanismo o actividad sísmica formadora de *tsunamis*, de período corto o estacional como son los producidos por las mareas astronómicas, movimientos de corrientes oceánicas, descargas fluviales y variaciones regionales atmosféricas, y cambios a largo plazo causados por cambios glacioeustáticos, tectónicos y climatológicos, actualmente son una de las causas principales en el cambio de la línea de costa.

- Un factor también importante es el aporte de sedimentos en la zona litoral, son las corrientes fluviales, las cuales transportan enormes cantidades de arena y lodo directamente al océano. El suministro de material que llega a la playa desde el continente depende la naturaleza hidrográfica: el tamaño de la cuenca, su elevación, los tipos de rocas, la densidad de la vegetación y el clima son importante factores que determinan la cantidad de sedimentos a la zona litoral. La disminución del aporte de los sedimentos fluviales hacia la zona litoral provoca generalmente una erosión de las playas. Esto genera erosión de deltas, cordones litorales, cuñas salinas en los acuíferos costeros y modificación de las bocas fluviales.

- En diversas partes del mundo el hombre ha modificado la línea de costa, directamente por construcción de obras o dragado, o indirectamente, como resultado de los cambios ambientales que han generado cambios en el aporte de sedimentos a las playas. Las actividades antropogénicas en la parte continental, aún realizadas a cientos de kilómetros de la costa, pueden afectar a la misma. Así sucede con la construcción de presas en los ríos que reducen considerablemente el aporte de sedimentos a la costa ocasionando la reducción de las playas y su erosión (Schwartz, 1982), caso contrario la deforestación y las actividades agrícolas producen erosión de la parte continental y son transportados grande volúmenes de sedimentos a la costa.

La construcción de estructuras como malecones, muelles, escolleras, rompeolas y espigones son quizás las obras más críticas hechas por el hombre que inducen la erosión costera. Las estructuras paralelas a la costa como los rompeolas tratan de prevenir la erosión a lo largo de acantilados o de playas con pendientes fuertes. Sin embargo, las olas y mareas generan problemas de erosión en sus extremos. Estructuras perpendiculares como los espigones, interrumpen el transporte litoral provocando erosión en los sitios donde ya no llegan los sedimentos.

Muchos otros factores juegan un papel muy importante en la modelación de la línea de costa que se deben de considerar a nivel local ya que modifican los procesos de erosión-depósito y que deben de ser incluidos en los estudios de la erosión costera (Davis y Hayes, 1984).

## ÁREA DE ESTUDIO

El trabajo se realizó en la costa del Municipio del Carmen, Estado de Campeche, concretamente en la zona comprendida entre la desembocadura del Río San Pedro y San Pablo y la desembocadura del Río Champotón, la cual comprende un aproximado de 290 kilómetros de longitud (Figura 1).

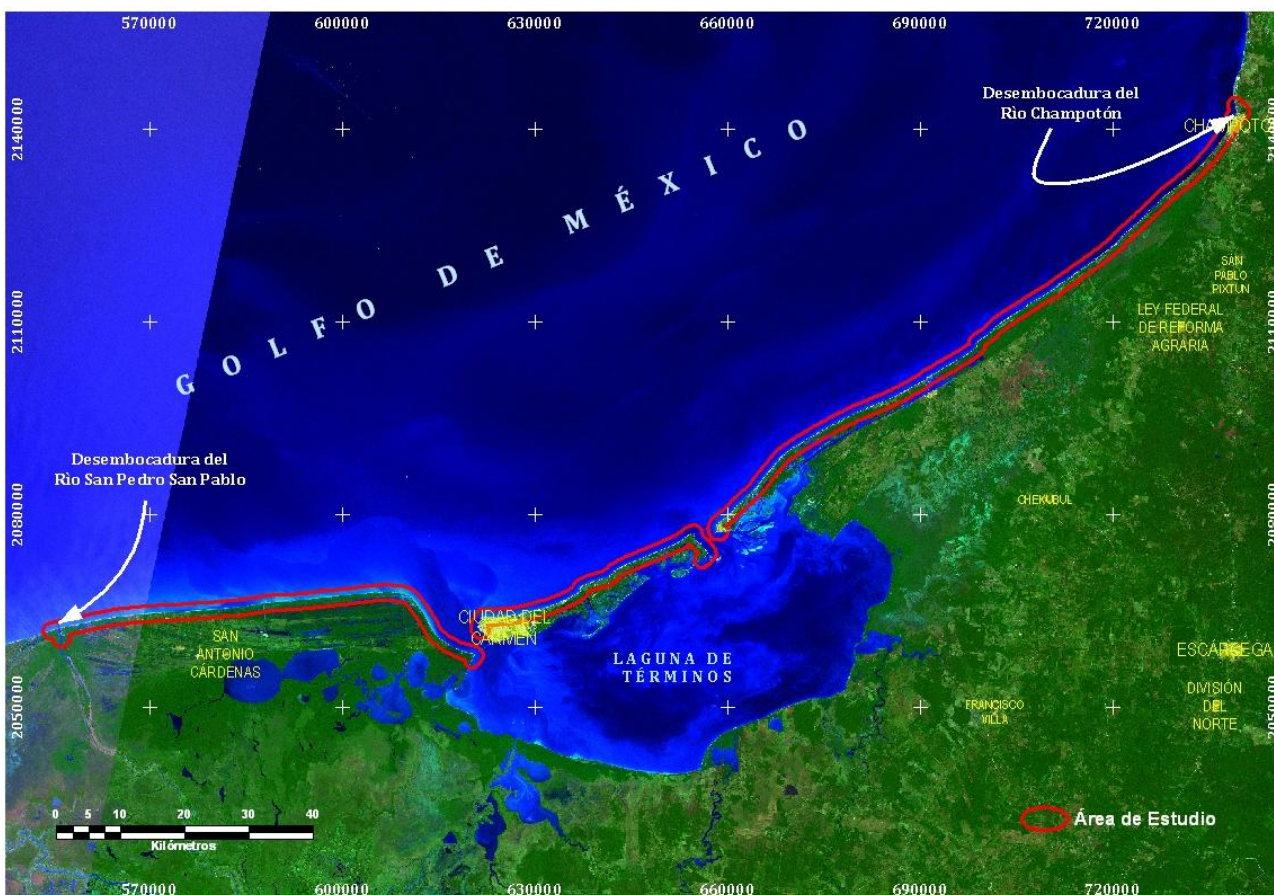


Figura 1. Localización del área de estudio

### Aspectos Regionales

La costa de Tabasco y parte oeste de Campeche son de naturaleza sedimentaria, formadas por amplias llanuras aluviales debidas a la actividad de los ríos que drenan la vertiente del Golfo y han sido conformadas por procesos marinos y glacio eustáticos. De acuerdo con el criterio tectónico y morfológico sugerido por Inman y Nordstrom (1971), puede ser considerada como de mares marginales. Esta zona tiene 1700 km de longitud y está incluida en la Planicie Costera

del Sureste propuesta por Tamayo (1970). Fisiográficamente comprende la zona pantanosa de Tabasco (Álvarez, 1961) y ha recibido gran aporte de sedimentos terrígenos acumulados desde el Terciario en los sistemas deltáicos de los ríos Grijalva y Usumacinta y San Pedro-San Pablo principalmente. Carranza-Edwards *et al.* (1976) clasifican esta región como parte de la Unidad Morfotectónica III, representa una costa de mares marginales y es una costa primaria con depositación subaérea de complejos deltáicos. La llanura costera es amplia y de pendiente moderada con lomeríos de bajo relieve laborados en sedimentos del Mioceno (Perrilliat-Montoya, 1960).

Estos sedimentos terrígenos son principalmente derivados de los sistemas fluviales que drenan la vertiente del Golfo de México donde afloran rocas ígneas del Cenozoico Superior, sedimentarias del Mesozoico y Cenozoico y metamórficas del Paleozoico. En los estados de Tabasco y Campeche el complejo deltaíco Grijalva-Mezcalapa-Usumacinta aporta en promedio una descarga de 87 millones de metros cúbicos al año (Tamayo 1970), volumen que transita por los humedales y aguas costeras aportando sedimentos terrígenos de granulometría variada procedentes de la llanura costera, constituida por depósitos de aluvión, médanos y terrazas marinas del Cenozoico y de la zona montañosa.

Estos terrígenos se depositan normalmente como limos principalmente sobre la Plataforma Continental y la parte superior del Talud en los estados de Tabasco y Campeche comprendiendo la mayor parte de la Bahía de Campeche, aunque también en el escarpe de Campeche donde, además de los limos se tiene un alto contenido de arenas constituidas generalmente por testas de foraminíferos de tamaño de arenas (Bouma, 1971).

Hacia el Este de la Punta Zacatal la costa es de carácter secundario, asociada con procesos marinos de depósito y construcción orgánica; la cantidad de carbonato de calcio se incrementa apreciablemente (Ayala-Castañares, 1963) permitiendo delimitar en esta área al extremo occidental de la Península de Yucatán. En general, la costa se considera de origen biogénico ya que desde el Terciario se han depositado sedimentos orgánicos calcáreos que presentan diversas características sedimentológicas. Presentan un alto contenido de materiales carbonatados principalmente testas de foraminíferos, fragmentos de conchas y clastos de calizas y arrecifes coralinos, formando así la plataforma de Yucatán y Campeche, que se conoce como banco de Campeche.

El porcentaje de carbonatos en los sedimentos oscila, en términos generales, entre 30 y 100% para los materiales carbonatados del Banco de Campeche y de 0 a 20% en los sedimentos terrígenos de la Bahía de Campeche. La cantidad de carbonatos está condicionada a la

presencia de conchas o fragmentos de arrecife que constituyen una fracción importante de los sedimentos.

Las variaciones sedimentológicas que se presentan en los fondos marinos principalmente se da por cambios energéticos en las corrientes marinas, por oleaje, así como, por la variación propia de los aportes de sedimentos fluviales y por la productividad biogénica presente; sin embargo, estos factores son a su vez modificados por los cambios climáticos durante el transcurso del año.

En el golfo de México, las variaciones climáticas son extremas, sobre todo en la época de huracanes y nortes que además de afectar las condiciones oceanográficas, también producen cambios en las condiciones hidrológicas de los sistemas fluviales de la vertiente del golfo de México.



## ANTECEDENTES

En el golfo de México, existen numerosas investigaciones científicas sobre las características oceanográficas biológicas, químicas, físicas y geológicas, sin embargo, en este caso solo se describen estudios de los últimos 40 años con los aspectos más sobresalientes de la zona de estudio desde el punto de vista sedimentológico, correspondiente a la plataforma y talud continental en el oeste, este y sur del Golfo de México.

Bouma en 1971 reporta dos tipos de sedimentos presentes en la zona marina y cercana al litoral, sedimentos carbonatos distribuidos en la superficie de la plataforma de Yucatán y parte de Campeche y sedimentos terrígenos en la plataforma continental de Tabasco y parte de Campeche es terrígena. En la región, frente a la laguna de Términos se presenta el área de transición sedimentológica entre las provincias terrígena (al occidente) y carbonatada (al oriente) del Golfo de México.

Campos Castán (1981a) y Campos Castán (1981b) reporta los resultados sedimentológicos de 68 muestras recolectadas en la Plataforma Continental de Campeche para la misma época en dos años subsecuentes. De los resultados aquí mencionados se destaca la información textural para cada una de las estaciones de muestreo y la regionalización de dos ambientes sedimentarios bien definidos y caracterizados, a saber: terrígeno y carbonatado.

Lecuanda y Ramos-López (1985) Reportan la distribución de sedimentos de la plataforma continental en el Sur del Golfo de México como resultado de haber practicado un análisis de componentes principales a 61 muestras de sedimentos. En el trabajo se distinguen siete grupos o tipos básicos de sedimentos para esta zona del Golfo de México. Los Tipos básicos de sedimentos son: 1) limos arenosos terrígenos, 2) arenas limosas terrígenas, 3) arenas gruesas terrígenas, 4) lodos, 5) limos carbonatados, 6) arenas limosas carbonatadas y 7) arenas carbonatadas. De igual forma se hace resaltar la presencia de arenas gruesas relictas de tipo terrígenos que representan sedimentos relictos que determinan una zona de erosión o de no-depósito.

Monreal- Gómez *et al.* (1992) reportan la influencia del sistema Grijalva Usumacinta como un sistema aportador de un diferencial de salinidad con una dirección predominante noreste. Se compara la influencia de los sistemas fluviales Coatzacoalcos y Papaloapan los cuales son de considerable menor influencia. Se reporta también que no obstante el muestreo fue realizado en la época de sequía los sistemas Grijalva Usumacinta y los Ríos San Pedro y San Pablo presentan una importante aportación al Golfo de México constituyendo con esto una corriente de densidad

que encuentra en el norte un frente estacionario ya reportado con anterioridad por Monreal *et al* (1992).

Carranza-Edwards *et al.* (1993) estudian y reportan los sedimentos suspendidos en la porción sureste del Golfo de México. En el trabajo se distinguen claramente las provincias carbonatada, terrígena y de transición; así como la concentración más importante de sedimentos suspendidos en las proximidades de la desembocadura del Sistema Grijalva Usumacinta. Se reporta que la concentración de sedimentos suspendidos es igual para época de secas que para época de nortes. Se hace referencia a la importancia de la corriente de Yucatán como importante promotor del sistema de corrientes en el área y se denota la presencia de un giro ciclónico en las vecindades del sistema Grijalva-Usumacinta producido por la interacción de dos masas de agua de diferentes características en donde se ubicó el mínimo de sedimentos suspendidos.

Rosales-Hoz *et al.* (1999) reportan la concentración de algunos metales traza contenidos en las aguas de la plataforma continental del sureste del golfo de México. En este trabajo se evaluó la influencia de los Ríos Grijalva Usumacinta encontrando que la dirección de los sedimentos aportados por los ríos para esta época del año es predominantemente es hacia el norte.

De igual forma Carranza-Edwards *et al.* (1996) estudian la concentración de carbonato de calcio en 274 playas mexicanas y regionalizan las costas mexicanas en función de esta concentración encontrando que la concentración de carbonato de calcio se relaciona a las zonas de baja energía, clima seco y al bajo transporte fluvial. También Carranza-Edwards *et al.* (1996) distinguen cuatro regiones para el golfo de México, mismas que son conducentes a las anteriormente señaladas y mencionan una importante concentración de carbonatos en los sedimentos de playa de las regiones uno y dos disminuyendo considerablemente en la región tres y convirtiéndose en 100% en la región cuatro, esta dos últimas reencuentran en el área de estudio.

López García (1998) reporta los resultados practicados a los datos de 116 muestras de sedimentos de la plataforma continental de la Bahía de Campeche y zona occidental del Golfo de México. El análisis aquí practicado versó sobre algunas técnicas matemáticas y estadísticas para entender mejor las poblaciones y subpoblaciones que componen a una muestra sedimentológica. Se hace inferencia por medio de esta técnica a los diferentes procesos físicos a los que han estado sujetos los sedimentos en cada muestra dando luz a las diferentes combinaciones del tamaño de sedimentos muchas veces asumidas y enmascaradas por análisis de tendencia central estadística.



Rosales-Hoz *et al.* (1999) describen los sedimentos encontrados en la plataforma continental de la porción suroccidental de la Bahía de Campeche y su relación con las descargas del Sistema Grijalva Usumacinta, Se reportan sedimentos de tipo lodo-arenoso en las proximidades del sistema Grijalva Usumacinta y para las vecindades con el talud continental. De igual forma se reportan los sedimentos arenosos carbonatados para la plataforma continental de Campeche y Yucatán en los cuales se hace ver la influencia de la provincia carbonatada tanto en el tamaño como en la composición de los mismos. En el trabajo antes mencionado se diferencian los aportes fluviales y fluvio-lagunares con base en la proporción de  $\text{SiO}_2$  y  $\text{AlO}_3$  encontrados en las aguas de esta zona del golfo de México.

Aguayo Camargo *et al.* (2001) realizan campañas oceanográficas en la porción suroccidental del Golfo de México, correspondiente a la Bahía de Campeche, colectando sedimentos de diferentes tamaños en la Zona del Suroccidental del golfo de México, encontrando arenas relictas recolectadas en el antiguo cauce del Río González, en la porción subacuática de la llanura deltáica, frente a las lagunas litorales El Carmen, Pajonal, la Machona y Tupilco en el estado de Tabasco, donde constituyen mezclas sedimentarias semi-homogéneas. Además, describen la información sedimentológica de 26 muestras litorales recolectadas en la Zona Suroccidente del Golfo de México, entre la desembocadura del Río Tonalá y la Laguna de Celestum en los Estados de Tabasco y Campeche respectivamente. En el trabajo se menciona un rango de diámetro promedio de los sedimentos de  $0.10 \phi$  (arenas de grano grueso) a  $2.93 \phi$  (limos de grano fino).

Cabrera-Ramírez y Carranza-Edwards (2002) describen los ambientes sedimentarios de las playas mexicanas en función de los yacimientos minerales de placer encontrados en las arenas.

Aguirre-Gómez (2002) reporta resultados de estudios realizados en el sur del golfo de México referentes a concentraciones de productividad primaria y sedimentos suspendidos en aguas costeras de plataforma y talud continental. De los resultados más importantes en el estudio se destaca la influencia de la topografía en la producción primaria del Golfo de México la cual se encuentra asociada en algunas estaciones con los valores de producción primaria. También se distinguen como más importantes zonas de concentración de este parámetro la descargada los ríos en los cuales también es notable la concentración de sedimentos suspendidos siempre asociada a los valores de este parámetro.

Por otro lado a raíz de los cambios evidentes por erosión presentes en algunos sitios de la zona litoral de Campeche y Tabasco a finales de los años 80's y a eventos meteorológicos extremos

como son los huracanes en los años 90's, cuando se empiezan a realizar estudios de la dinámica costera, evaluando las causas y las tasas de la erosión.

Algunos resultados de estas investigaciones han demostrado, que los huracanes son responsables de los cambios geomorfológicos a lo largo de la línea de costa del el sureste del golfo de México (Ortiz-Pérez, 1992), donde patrones de acumulación y erosión alteran a lo largo de cientos de kilómetros a las costas de Tabasco y Campeche formando transgresiones marinas que han sido localizadas en las últimas décadas (Ortiz-Pérez, 1992).

Recientemente se ha observado que las modificaciones globales de las condiciones naturales pueden generar cambios severos en los diferentes tipos de ecosistemas (PEP-UNAM, 2003). Estas variaciones en el régimen hidrológico y en el clima han causado una transgresión marina; sin embargo, en la parte marina cercana a la costa no se ha evaluado el efecto causado por estos procesos.

La zona litoral del Golfo de México en su parte Sur ha sido estudiada por varios autores desde diferentes puntos de vista y en diversas épocas, ejemplo: a) la sedimentología de las playas de Campeche (Carranza-Edwards, 2001), b) el retroceso de la línea de costa en el Río San Pedro y San Pablo (Ortiz-Pérez, 1992) los cambios morfológicos de la línea de costa por efectos del Huracán Roxana (Palacio-Prieto y Ortiz-Pérez, 2002).

Recientemente, Carranza-Edwards (2009) hace un análisis de las causas y consecuencias de la erosión de playa, donde se tiene que la suma de los factores naturales y antropogénicos desde el calentamiento global hasta las actividades relacionadas con el desarrollo industrial son causantes de la erosión de playa con consecuencias que van desde pérdidas humanas hasta impactos económicos, sociales y políticos.

## HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Dentro del marco teórico conceptual se espera generar un aporte original sobre las relaciones que existen entre los procesos de erosión y los de depósito, así como la distribución sedimentológica dentro de una franja litoral de gran importancia para el golfo de México. Para ello se considera la integración de una metodología particular que incluye dos escalas espacio-temporales, una de carácter regional de largo plazo y la otra de tipo local de corto plazo en la cual se incluyen muestreos estacionales.

En particular se trata de buscar respuestas a las siguientes preguntas para el área de estudio:

¿Se han producido cambios históricos en la posición que ocupa la franja litoral?

¿Es posible observar variaciones climáticas en la morfología litoral?

¿Se presentan cambios en el espacio y en el tiempo en la granulometría de los sedimentos litorales?

¿La composición de los sedimentos litorales depende de la procedencia de fuentes terrígenas o carbonatadas?

¿En los cambios litorales influyen más los procesos naturales o los procesos antrópicos?

Si bien la percepción de que han ocurrido cambios topográficos importantes en el litoral de Campeche es un hecho, su cuantificación se ha iniciado recientemente. Aunque en trabajos anteriores se expresan algunas estimaciones de procesos de erosión y acreción en playas de Campeche, con el presente estudio se pretende cuantificar la magnitud de los cambios en la morfología costera que conjunta los resultados de análisis satelitales, levantamientos topográficos y sedimentológicos que permitan conocer mejor los procesos que actúan en la playa, identificando áreas vulnerables a la erosión, además de contar con una información que permite generar acciones en favor a la protección de obras costeras y para la propia conservación del litoral.

Este estudio se enfoca en el análisis de la dinámica de la zona litoral del estado de Campeche desde el Río San Pedro y San Pablo hasta el Río Champotón, efectuados durante el período comprendido desde lluvias del 2005 hasta lluvias del año 2007, incluyendo períodos de lluvias, nortes y estiaje de los años 2006 y 2007, con el fin de conocer la tendencia de la línea de costa por efectos globales como el del cambio climático y la consecuente elevación del nivel del mar, hasta los efectos locales como son la interrupción del transporte litoral, cambios en los aportes

de los sedimentos fluviales y lagunares que producen fenómenos de erosión-depósito de la zona litoral.

La pertinencia del estudio se acrecentó con la intensificación inusual de fenómenos hidrometeorológicos como las tormentas tropicales y la formación de huracanes en el Caribe y en el Golfo de México, que inciden en la zona del litoral de Campeche. Es pertinente mencionar que solo en el año 2005 se presentaron tres huracanes consecutivos en el lapso de dos meses: Katrina (magnitud 5), Stan (magnitud 2) y Wilma (magnitud 4) que causaron fuertes cambios en la morfología y en la sedimentología de las playas de las zonas que impactaron.

Por lo anterior, este trabajo contribuye en la evaluación regional de la vulnerabilidad actual y futura de la zona costera mexicana en un área considerada como crítica ante el incremento del nivel del mar debido al cambio climático y fenómenos hidrometeorológicos extremos.

### **Hipótesis**

Los procesos de erosión-deposito presentes en la zona litoral son producidos por diversos factores naturales y antropogénicos: huracanes y nortes, retención de sedimentos en la parte continental por la presencia de lagunas costeras o construcción de presas en los ríos, interrupción del transporte de sedimentos litorales por la construcción de obra civiles en la zona litoral, así como también los efectos del cambio global climático.

### **Objetivo General**

El objetivo general de esta tesis es conocer las características morfológicas y sedimentológicas de la zona litoral del Sureste del golfo de México, para evaluar los procesos de erosión y depósito presentes en la zona litoral, las causas que los producen y generar la información necesaria que permita proponer medidas de mitigación y/o conservación de la zona litoral.

### **Objetivos Específicos**

Se consideran los siguientes objetivos específicos:

- 1) Realizar un análisis histórico de la línea de costa para determinar tasas de erosión y sitios críticos de erosión-acreción.
- 2) Identificar las variaciones morfológicas de la zona litoral en la época de lluvias, estiaje y nortes para determinar las variaciones temporales significativas.
- 3) Analizar la distribución espacio-temporal de los sedimentos litorales durante las épocas de lluvias, estiaje y nortes para definir la época de mayor dinámica costera.

- 4) Investigar la composición y las fuentes de procedencia de los sedimentos litorales con el fin de determinar la importancia de los sedimentos terrígenos y calcáreos. Como fuente generadora de sedimentos hacia la zona litoral.
- 5) Analizar los principales factores que influyen en la sedimentación costera para determinar y conocer el impacto de los factores antropogénicos.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

El estudio de la dinámica costera requiere de una metodología compuesta y compleja de investigación que comprende el muestreo y análisis de los factores que influyen en la dinámica costera en un período de tiempo que permita identificar las variaciones costeras que generalmente dependen de las condiciones meteorológicas.

La presente investigación comprende técnicas geodésicas, topográficas, cartográficas, sedimentológicas, de análisis meteorológico y de clima marítimo que junto con los sistemas de información geográfica conduce al conocimiento de la dinámica costera que ha suscitado cambios en la línea de costa y sedimentología en el transcurso tiempo.

### **Trabajo de Campo**

Las actividades de campo consistieron en un monitoreo estacional para las épocas de lluvias, nortes y estiaje desde lluvias del año 2005 hasta estiaje del año 2007, abarcando seis períodos estacionales que han permitido tener un conocimiento único sobre la dinámica costera del área de estudio al integrar los resultados de ciclos anuales.

### **Levantamiento de perfiles de playa**

Para llevar a cabo el análisis morfológico de la zona litoral se realizó un levantamiento topográfico de 53 perfiles de playa en 27 sitios, en seis épocas estacionales (Figura 2).

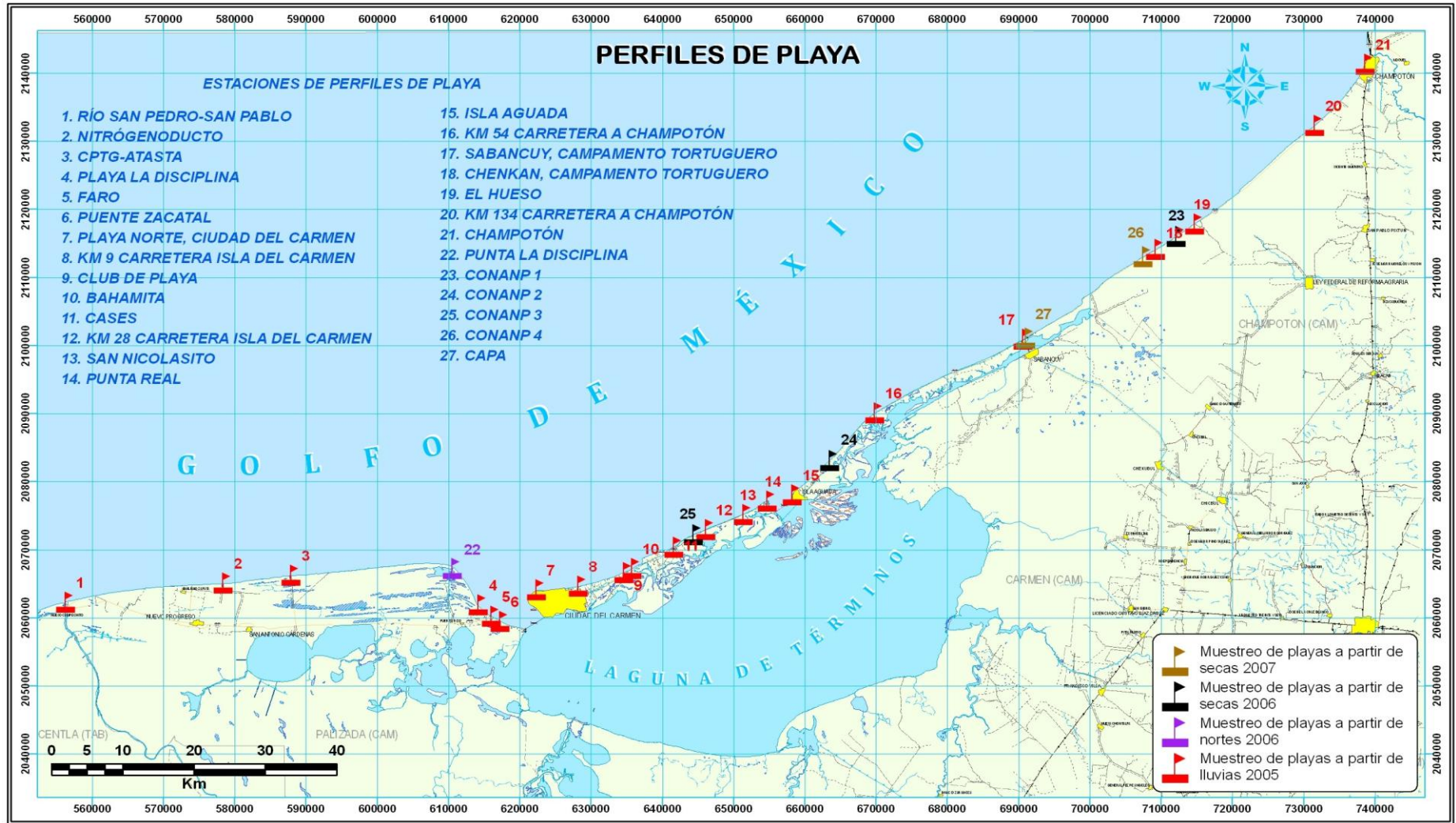


Figura 2. Localización de los sitios de levantamientos de perfiles de playa y su época estacional inicial de monitoreo



Los perfiles de playa abarcaron las subzonas de la zona litoral denominadas: infraplaya, mesoplaya y supraplaya para cada perfil (Figura 3). Definiendo las subzonas como:

- a) Supraplaya (Sp).- Zona superior de la playa hacia el continente delimitado por vegetación, dunas o construcciones.
- b) Mesoplaya (Mp).- Zona de la playa comprendida entre el máximo avance y máximo retroceso del oleaje.
- c) Infraplaya (Ip).- Zona de la playa sumergida en la cual el oleaje “siente” fondo y el material no consolidado entra en movimiento.

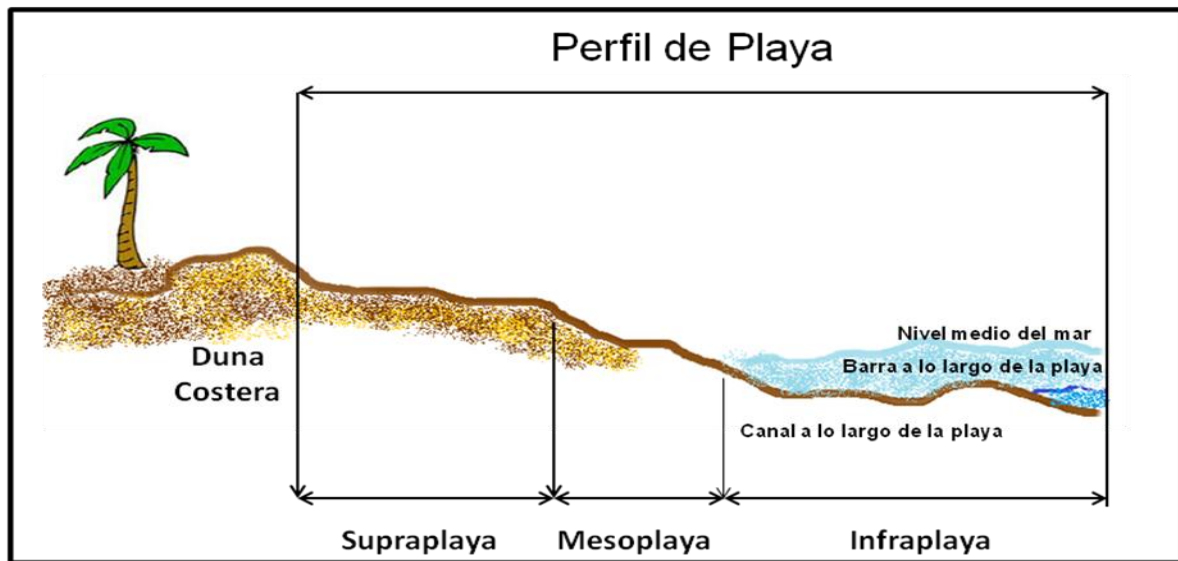


Figura 3. Subzonas de playa (Modificado de Carranza-Edwards y Caso-Chávez, 1994).

De los resultados de la evolución histórica e identificación en campo de sitios críticos principalmente por erosión se llevó a cabo la ubicación geográfica de los sitios de playa. Se trazaron perfiles normales a la línea de costa. En lluvias de 2005 se inició con 21 sitios de playa y 41 perfiles terminando con 27 sitios de playa y 53 perfiles de playa para estiaje de 2007. Este incremento de sitios y perfiles se realizó al identificarse sitios más críticos durante el desarrollo del proyecto.

Los perfiles se ubicaron a partir de Bancos de Nivel (BN) establecidos en campo, los cuales se georreferenciaron con coordenadas UTM (WGS84), por medio del Sistema Global de Posicionamiento (SGP), (Global Position System; GPS, por su nombre y siglas en inglés) (Tabla 1). Para cuestiones prácticas de cálculo de diferencia de alturas entre los puntos del perfil y los BN, se estableció en ellos una altura base de 0 metros. Los puntos a lo largo de los perfiles fueron



obtenidos por medio de una nivelación diferencial, consistente en determinar una línea horizontal a partir de la cual se obtienen las alturas de los puntos intermedios y se calculan los desniveles con respecto al BN (Wolf *et al.*, 1997), en sitios considerados críticos se hicieron tres perfiles de muestreo con una separación aproximada de 250 m entre cada perfil, aunque en algunos sitios fue menor por la accesibilidad y en los sitios restantes solo se realizó un perfil topográfico. Este trabajo se realizó utilizando una estación total topográfica Nikon y un SPG geodésico Promark 2.

Tabla 1. Localización de los sitios de playa y perfiles de playa.

Sitio	Playa	E-UTM	N-UTM	Perfiles
Desembocadura del Río San Pedro-San Pablo	1	556301	2062290	1, 2 y 3
Nitrogenoducto	2	578393	2065086	4,5 y 6
Ducto CPTG-Atasta	3	587926	2066203	7, 8 y 9
Playa la Disciplina	4	614216	2061863	10, 11 y 12
Faro	5	616038	2060180	13
Puente Zacatal	6	617278	2059415	14, 15 y 16
Playa Norte, Ciudad del Carmen	7	622333	2064119	17, 18 y 19
km 9 carretera Isla del Carmen	8	628245	2064600	20
Club de playa	9	634620	2066616	21, 22 y 23
Bahamita	10	635771	2067218	24
CASES	11	641611	2070361	25 26 y 27
Km 28 carretera Isla del Carmen	12	646138	2072950	28
San Nicolasito	13	651362	2075182	29
Punta Real	14	654752	2077110	30, 31 y 32
Isla Aguada	15	658247	2078066	33
Km 54 carretera a Champotón	16	669858	2090057	34

Sabancuy, campamento tortuguero	17	690641	2100884	35
Chenkan, campamento tortuguero	18	709241	2114091	36
El hueso	19	714678	2117857	37
Km 134 Carretera a Champotón	20	731569	2132327	38
Champotón	21	738614	2141325	39, 40 y 41
Punta la Disciplina	22	610543	2067224	42
CONANP 1	23	712104	2116029	43
CONANP 2	24	663521	2083077	44, 45 y 46
CONANP 3	25	610543	2067224	47, 48 y 49
CONANP 4	26	707474	2112988	50
CAPA	27	690541	2100784	51, 52 y 53

### **Muestreo de sedimentos de la zona litoral**

Asociado con los perfiles de playa en los 27 sitios de playa, se colectó sedimento de las subzonas de infraplaya, mesoplaya y supraplaya de la zona litoral. Al inicio del monitoreo en lluvias del 2005 se colectó en 21 sitios de playa. Para la época de estiaje del 2007 se colectaron sedimentos en 27 sitios de playa en un total de 55 perfiles, estimando un total de 680 muestras para las seis épocas muestreadas desde lluvias 2005 a estiaje del 2007. El aumento de localidades se debió a la identificación de sitios de erosión reconocidos en campo.

### **Trabajo de Laboratorio**

El trabajo de laboratorio consistió en el análisis granulométrico y de composición de los sedimentos colectados.

### **Análisis granulométrico**

El análisis de tamaños o textura de sedimentos se realizó de acuerdo con la escala de tamaños de Wentworth (1922), utilizando los criterios propuestos por Folk (1974), Carver (1971) y Mac Manus (1988).

#### *Sedimentos arenosos*

El análisis granulométrico se realizó por el método de tamizado a cada  $\frac{1}{4}$  de phi para los sedimentos arenosos y se calcularon los parámetros granulométricos tamaño gráfico promedio, desviación estándar gráfica inclusiva, grado de asimetría gráfica inclusiva y curtosis. Se graficaron e interpretaron los resultados utilizando los límites de los parámetros estadísticos, y se determinó la nomenclatura de los sedimentos de acuerdo con Folk (1974) (Tabla 2).

Tabla 2. Límites de parámetros granulométricos (Modificado de Folk, 1974).

<p><b>TAMAÑO GRÁFICO PROMEDIO</b></p> $Mz = (\rho_{16} + \rho_{50} + \rho_{84})/3$	<p>Arena muy gruesa: -1 a 0 phi (2 a 1 mm)                      Arena gruesa: 0 a 1 phi (1 a 0.5 mm)                      Arena media: 1 a 2 phi (0.5 a 0.25 mm)                      Arena fina: 2 a 3 phi (0.25 a 0.125 mm)                      Arena muy fina: 3 a 4 phi (0.125 a 0.0625 mm)                      Limo muy grueso: 4 a 5 phi                      Limo grueso: 5 a 6 phi                      Limo medio: 6 a 7 phi                      Limo fino: 7 a 8 phi                      Arcilla: &gt; 8 phi</p>
<p><b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR GRÁFICA INCLUSIVA</b></p> $\sigma_1 = \frac{\rho_{84} - \rho_{16}}{4} + \frac{\rho_{95} - \rho_5}{6.6}$	<p>Muy bien clasificado: menor de 0.35 phi                      Bien clasificado: 0.35 a 0.50 phi                      Moderadamente bien clasificado: 0.50 a 0.71 phi                      Moderadamente clasificado: 0.71 a 1.00 phi                      Mal clasificado: 1.00 a 2.00 phi                      Muy mal clasificado: 2.00 a 4.00 phi                      Extremadamente mal clasificado: mayor de 4.00 phi</p>
<p><b>GRADO DE ASIMETRÍA GRÁFICA INCLUSIVA</b></p> $SKi = \frac{\rho_{16} + \rho_{84} - 2\rho_{50}}{2(\rho_{84} - \rho_{16})} + \frac{\rho_5 + \rho_{95} - 2\rho_{50}}{2(\rho_{95} - \rho_5)}$	<p>Muy asimétrico hacia finos: SKi(+1.00 a +0.30)                      Asimétrico hacia finos: SKi(+0.30 a +0.10)                      Simétrico: SKi(+0.10 a -0.10)                      Asimétrico hacia gruesos: SKi(-0.10 a -0.30)                      Muy asimétrico hacia gruesos: SKi(-0.30 a -1.00)</p>
<p><b>CURTOSIS</b></p> $Kg = \frac{\rho_{95} - \rho_5}{2.44(\rho_{75} - \rho_{25})}$	<p>Muy platicúrtico: Kg menor de 0.67                      Platicúrtico: Kg(0.67 a 0.90)                      Mesocúrtico: Kg(0.90 a 1.11)                      Leptocúrtico: Kg(1.11 a 1.50)                      Muy leptocúrtico: Kg(1.50 a 3.00)                      Extremadamente leptocúrtico: Kg mayor de 3.00</p>

*Sedimentos lodosos*

El análisis granulométrico de los sedimentos lodosos se llevó a cabo el método de pipeteo a cada phi, según Folk (1974), Carver (1971) y McManus (1988).

Se calcularon los porcentajes de arena, limo y arcilla, para la determinación de la nomenclatura de los sedimentos de acuerdo con el triángulo de Shepard (1954) (Figura 4), y se determinaron los porcentajes del limo grueso, limo medio, limo fino y limo muy fino.

Las muestras con presencia de arena y lodo se analizaron para determinar el porcentaje de arena y lodo por tamizado en húmedo (Carver, 1971 y McManus, 1988) y de acuerdo con el triángulo de Shepard (1954), las muestras con un porcentaje mayor que 75% de arena se consideraron arenosas y fueron tamizadas, aquellas con un menor porcentaje fueron analizadas por el método de pipeteo.

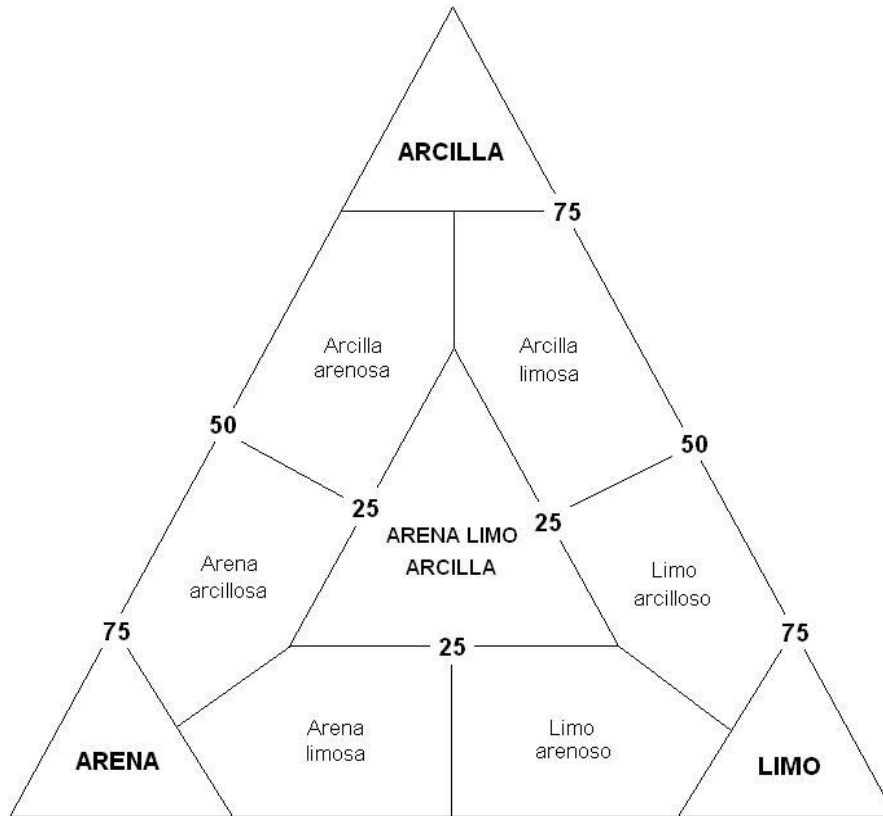


Figura 4. Triángulo de Nomenclatura de sedimentos de Shepard (1954 b).

**Composición mineral de los sedimentos**

El análisis mineralógico de los sedimentos se realizó por el método de “frotis” (Rothwell, 1989) con microscopio estereoscópico para la fracción arenosa y con microscopio petrográfico para la fracción lodosa, a partir de las propiedades físicas y ópticas de los minerales. El porcentaje de los minerales se hizo de acuerdo con la Carta de Comparación de Porcentaje para estimar Proporciones de Componentes Sedimentarios (Rothwell, 1989).

Los sedimentos fueron clasificados en calcáreos o terrígenos (Figura 5) de acuerdo con triángulo de clasificación de sedimentos marinos propuesto por el Deep Sea Drilling Project (DSDP)/ Ocean Drilling Program Scientist (Rothwell, 1989).

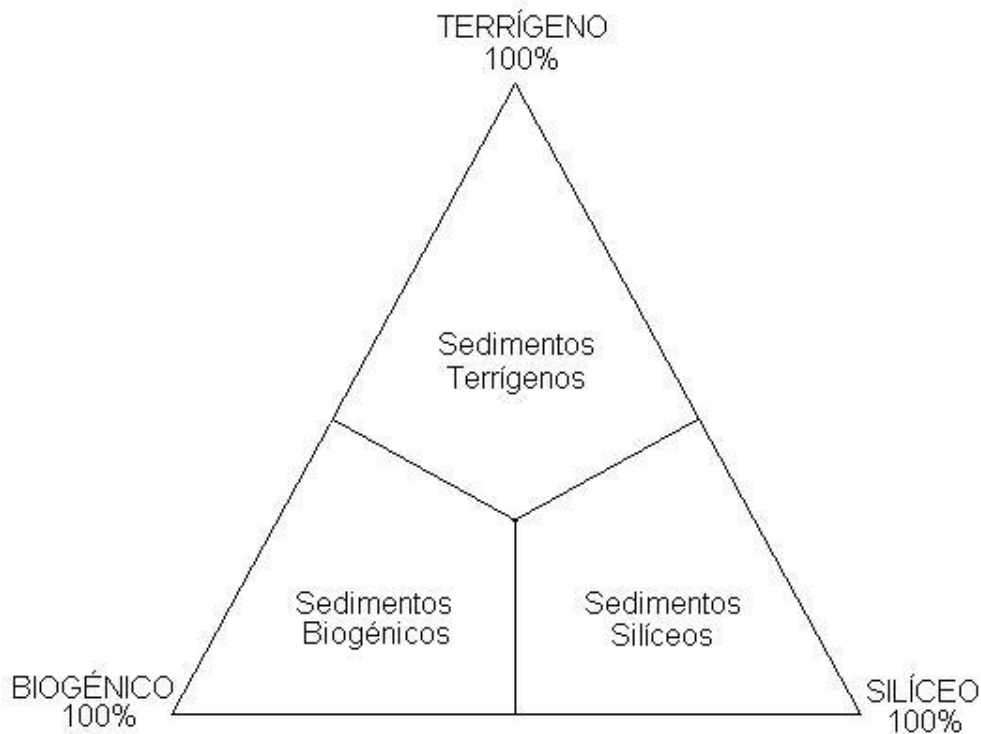


Figura 5. Triángulo de clasificación general de sedimentos marinos según Rothwell, 1989.

En los sedimentos arenosos terrígenos se determinó el contenido de sedimentos terrígenos (cuarzo, feldespatos, fragmentos de roca y minerales oscuros), sedimentos biogénicos (restos de organismos calcáreos y silicios) y minerales autígenicos (óxidos principalmente). Para la nomenclatura de los sedimentos terrígenos se utilizó el triángulo de Folk (1974) (Figura 6).

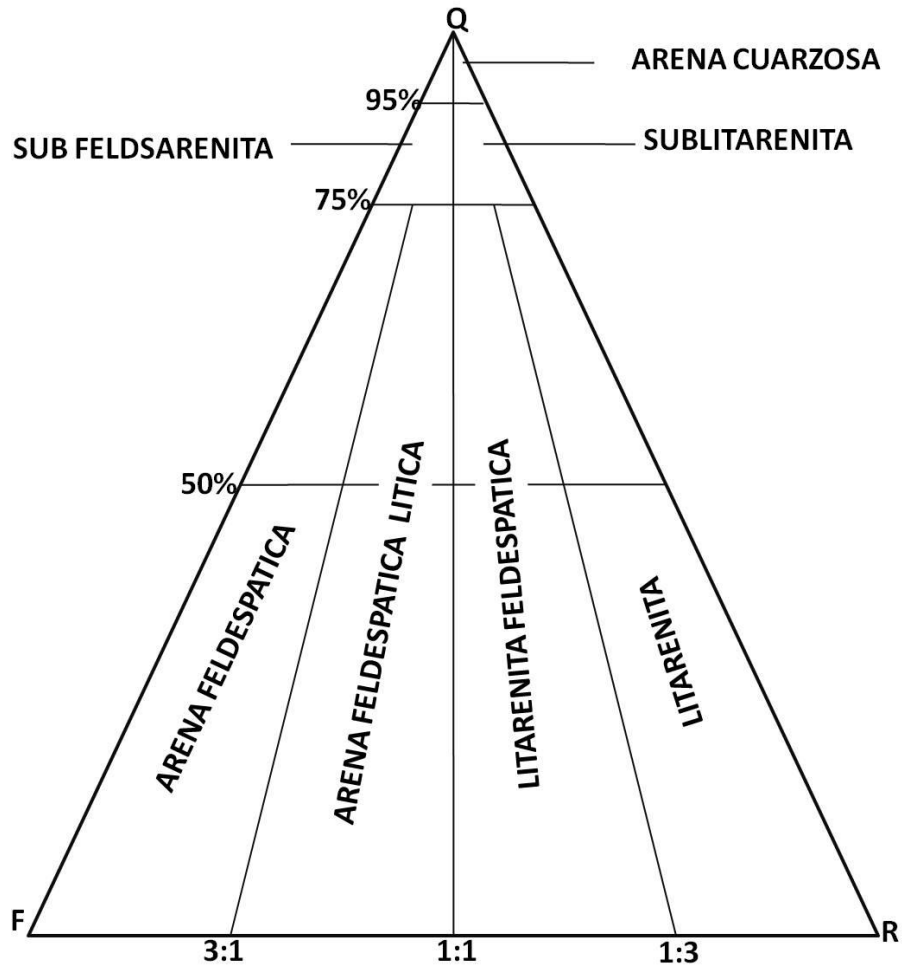


Figura 6. Triángulo de composición de sedimentos modificado de Folk (1974) para la clasificación de arenas.

En los sedimentos arenosos calcáreos se identificaron los materiales biogénicos y se usó el triángulo de Lewis (1984), donde los porcentajes de clastos biogénicos, siliciclastos y micrita (lodo calcáreo) sirven para definir una nomenclatura de los sedimentos calcáreos (Figura 7).

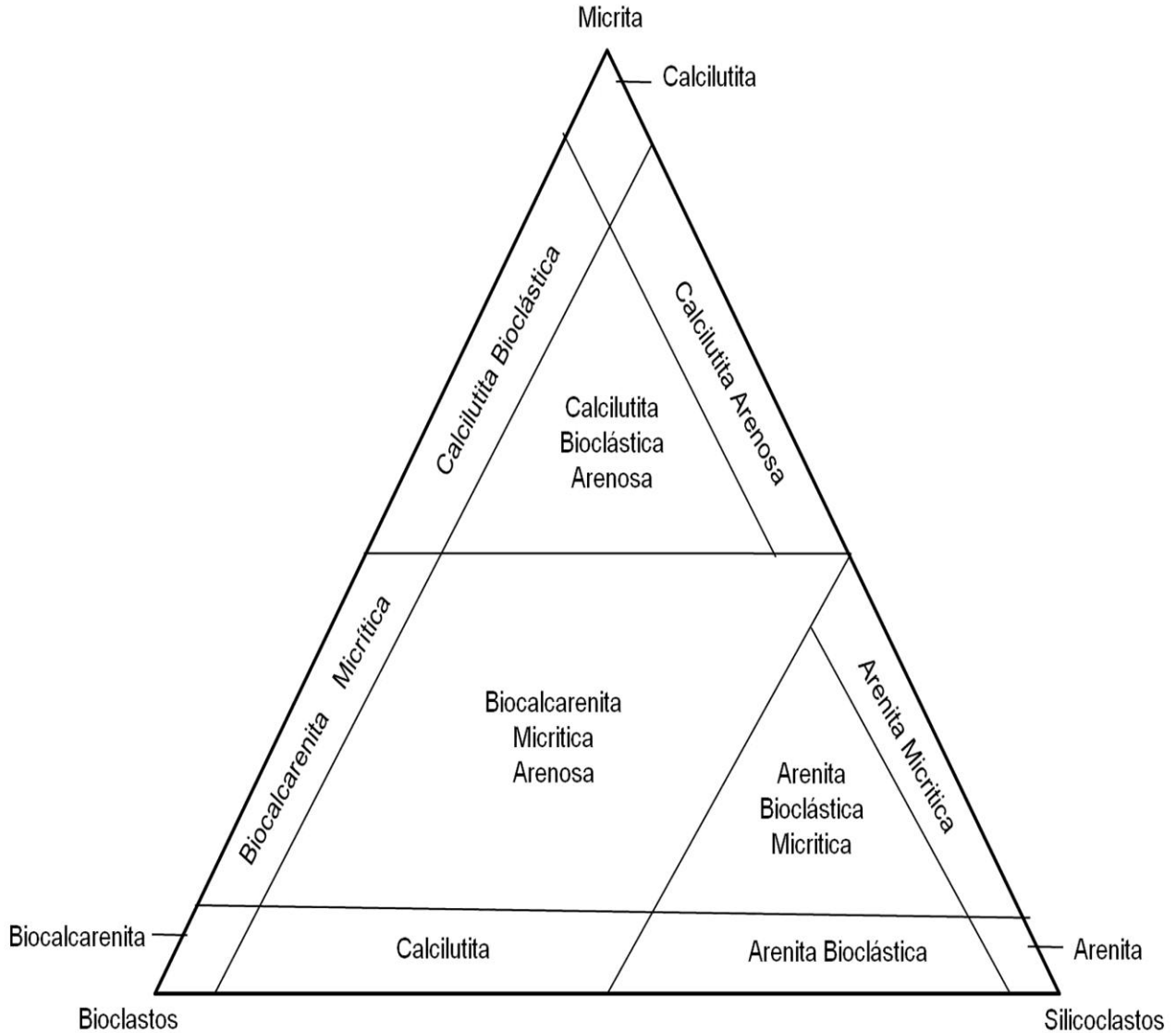


Figura 7. Triángulo de clasificación para sedimentos carbonatados con componentes silicoclásticos (Lewis, 1984).



## Trabajo de Gabinete

### Análisis histórico de la línea de costa

La reconstrucción histórica de la línea de costa se realizó a partir de diversos documentos cartográficos a escala regional (1:50 000). El período de observación fue de 1974 a 2008. Se utilizaron fotografías aéreas, mapas topográficos de INEGI en formato vectorial, ortofotografías del INEGI en formato raster e imágenes de los satélites Landsat 3, Landsat 5, Landsat 7 e Ikonos, todas ellas en formato raster. En la Tabla 3 se presenta la lista de documentos cartográficos e imágenes utilizadas.

Tabla 3. Descripción de la información recopilada para el análisis histórico.

<b>Material</b>	<b>Formato</b>	<b>Año</b>	<b>Fuente</b>	<b>Tipo de datos</b>
Cartografía del área	Digital	1995 y 2001	INEGI	Vectorial
Imágenes de Satélite Landsat TM y MSS; Ikonos	Digital	1974, 1986, 1996, 2008	Diversas	Imagen Raster
Ortofotografías	Digital	1994, 1995 y 2001	INEGI	Imagen Raster

La tarea principal de esta fase del proyecto fue construir un marco de referencia geográfico común para la información recopilada. Para ello se emplearon un software Arc Gis (9.2) para un sistema de información geográfica comercial (SIG) y un software Ermapper (7.1). Para procesamiento digital de imágenes (PDI).

En el presente caso el SIG se empleó para integrar información digital (raster y vectorial) y convertir formatos de proyecciones en uno común WGS84 (Sistema Geodésico Mundial), mientras que el PDI (Proceso Digital de Imágenes) se empleó para georreferenciar imágenes a partir de puntos conocidos para control de campo, así como para realizar mejoramientos digitales para establecer la interfase agua continente y visualización de la vegetación, parámetros ambos muy útiles para configurar la línea de costa. El material cartográfico y digital utilizado se convirtió a la proyección Universal Transversa de Mercator para la Zona 15 sobre un esferoide definido por WGS84 (World Geodetic System of 1984) (Sistema Geodésico Mundial de 1984).

Se ubicaron con precisión los puntos de control en la línea de costa, que finalmente condujeron a la conformación de las diferentes configuraciones que ha tenido la línea de costa en diferentes

épocas. Para ello, se emplearon varias metodologías de apoyo y validación: a) levantamientos topográficos de puntos específicos mediante estación total y sistemas SPG, b) georreferenciación de imágenes satelitales de variada resolución espacial y c) detección de la interfase costera mediante el procesado digital de imágenes satelitales.

El aspecto más importante de esta etapa del proyecto es definir un marco geográfico de referencia común, a partir del cual se podrán relacionar principalmente datos topográficos en diversas temporadas. Se usaron herramientas informáticas como los sistemas de información geográfica (SIG) y de procesamiento digital de imágenes (PDI). Estas imágenes facilitan el tratamiento informático de documentos en diversos formatos; raster, vectorial y bases de datos con facilidades para homogenizar fundamentalmente los sistemas de proyección cartográfica.

### **Análisis morfológico de la zona litoral**

A partir de los datos obtenidos de los perfiles, se construyeron gráficas de desniveles para determinar la evolución de los perfiles, así mismo, se calculó el área bajo la curva (configuración del perfil) hasta el límite del nivel medio del mar. El área bajo la curva sirve para obtener los cambios temporales de la playa y los gráficos de desniveles para observar el cambio espacial de las mismas.

Se consideran las playas en proceso de erosión como aquellas que sufren cambios en su amplitud, incremento de pendiente y disminución del área bajo la curva; en el gráfico de desniveles la línea de los primeros levantamientos se localizan por encima del último levantamiento y se contrastan diversas configuraciones: escalones o áreas convexas en la línea del perfil.

Las playas en proceso de acreción o acumulación, se consideran aquellas en las que se observan cambios en los desniveles entre períodos y la línea del perfil del último levantamiento está sobre la del levantamiento anterior, además de tener igual o mayor longitud y una pendiente menor y el valor de las áreas aumentan. En contraste, las playas estables conservan valores similares de pendiente, forma, longitud y área de playa.

Finalmente, los resultados obtenidos fueron analizados e interpretados con el fin de reconocer los procesos de erosión y sedimentación, así como sus causas y sus efectos.

## **CAMBIOS HISTÓRICOS DE LA LINEA DE COSTA**

Se presentan los resultados del análisis de la zona litoral por imágenes de satélite, de los seis monitoreos de los perfiles de playa en la zona litoral y de los análisis sedimentológicos realizados en el período comprendido entre lluvias de 2005 y estiaje del 2007.

Una vez introducidas en el SIG las diferentes líneas de costa digitalizadas de las imágenes satelitales de los años 1974, 1986, 1996, 2005 y 2008 se pudieron calcular algunos gradientes de erosión que se presentan a lo largo de ésta y en la que se observan zonas con grados de erosión muy marcados y en algunas otras, procesos de acumulación-erosión en la línea de costa. En la figura 8 se muestran de manera general los procesos presentes en la línea de costa de 1974 a 2008 en el área de estudio, así como de 11 sitios de análisis de la línea de costa con menos deformación que permitieron un análisis detallado de la evolución de la costa.

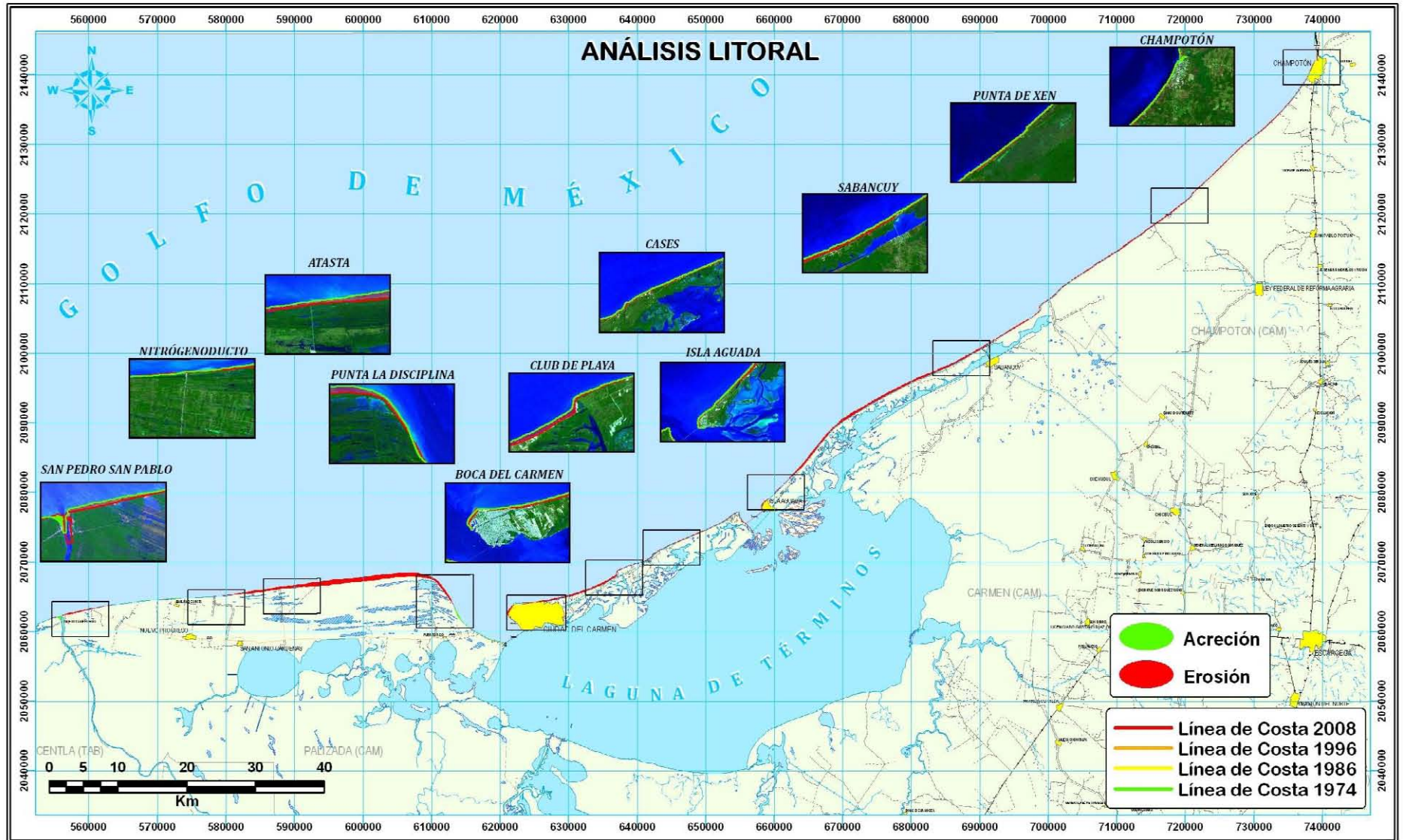


Figura 8. Evolución histórica de la línea de costa a lo largo de la zona de estudio entre 1974 y 2008.



Para cuantificar la regresión y la acumulación en los litorales, se procedió a ubicar la línea de costa desde 1974 hasta 2008. A lo largo de esta etapa de evaluación y análisis histórico de la línea de costa a nivel local, se identificaron principalmente dos fenómenos: 1) erosión continua y 2) fluctuación de erosión-depósito, los cuales se detallan en la figura 9.

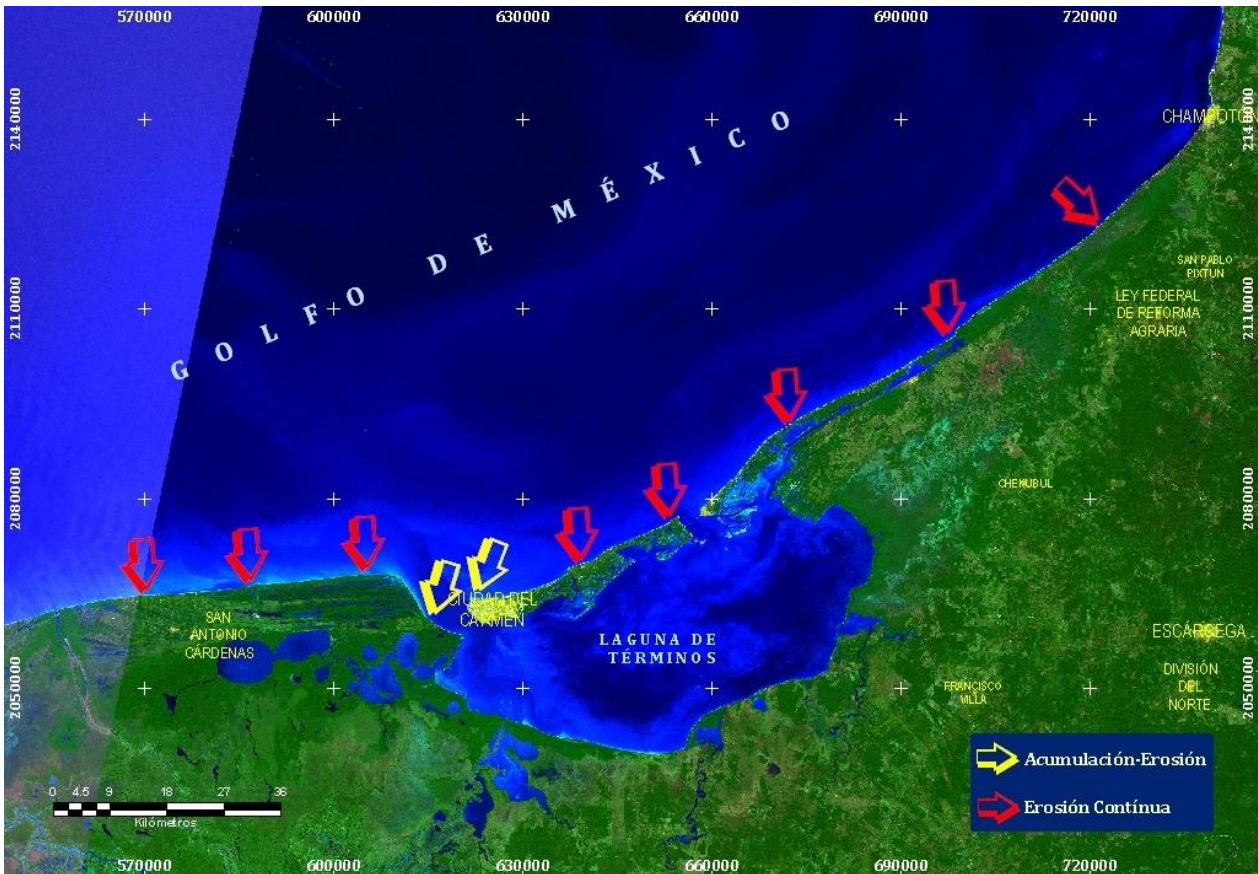


Figura 9. Procesos de erosión continua y erosión – acumulación detectada en el litoral de Campeche. Desde 1974 hasta el año 2008.

### Erosión continua (Transgresión)

El proceso geológico más importante detectado en la zona de estudio es la erosión continua a lo largo de la costa (Figs. 10 y 11). En términos oceanográficos este proceso está asociado con el fenómeno de “transgresión” caracterizado por el retroceso de la línea de costa hacia el continente generalmente ligado con la elevación del nivel del mar y/o la subsidencia del terreno. El valor calculado de la transgresión se obtuvo a través de la medición de la línea de costa más antigua (1974) hasta la línea de costa más reciente (2002-08) y se comprobó que la erosión continua de las playas, se extiende a lo largo del área de estudio y en algunos casos muy drásticos, como en la

Península de Atasta, donde la pérdida de material de playa sobrepasa los 700 metros (20 m/año), perdiéndose la playa completamente.

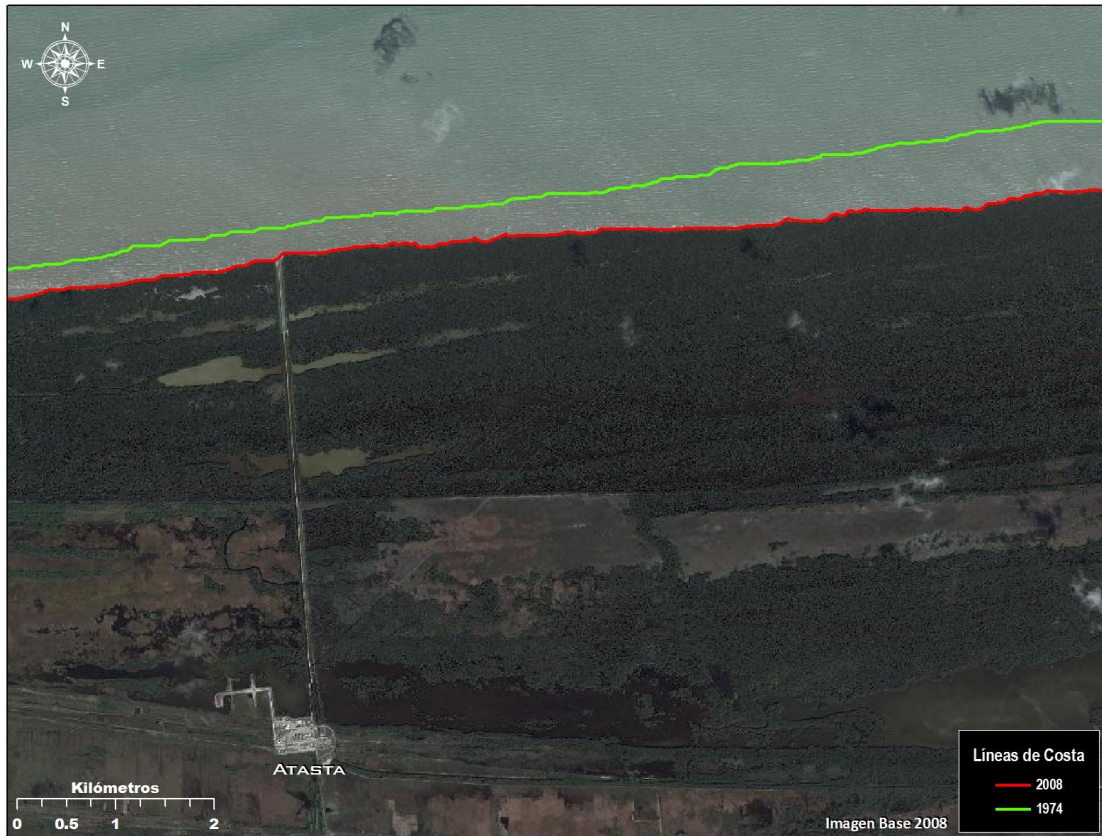


Figura 10. Proceso de erosión continua (línea verde para la costa en 1974 y línea roja para la costa en 2008), zona situada al noroeste de la Península de Atasta.





Figura 11. Proceso de erosión continua (línea verde para la costa de 1974 y (línea roja para la costa en 2005) zona situada al noreste de Isla Aguada.

Este fenómeno tan drástico se extiende por unos 33 kilómetros sobre la Península de Atasta (Figura 12) en donde los factores principales son el oleaje y las corrientes litorales que se presentan localmente en esta área. Así mismo la alta tasa de erosión puede considerarse como un efecto combinado de factores regionales y globales así como por “nortes” que producen elevaciones en el nivel medio del mar, oleaje fuerte y corrientes. Los eventos hidrometeorológicos extremos como los huracanes, así como, las características litológicas que facilitan la erosión de la costa al estar compuesta de arenas de los antiguos cordones litorales del Río San Pedro y San Pablo y suelos pantanosos limo arcillosos presentes en la zona litoral.

Por otro lado, la baja tasa de erosión presente en Isla del Carmen hacia Champotón estimada en menos de 6 m/ año, tiene que ver principalmente con la presencia de un litoral rocoso y la presencia de sedimentos calcáreos que disminuyen el proceso erosivo.

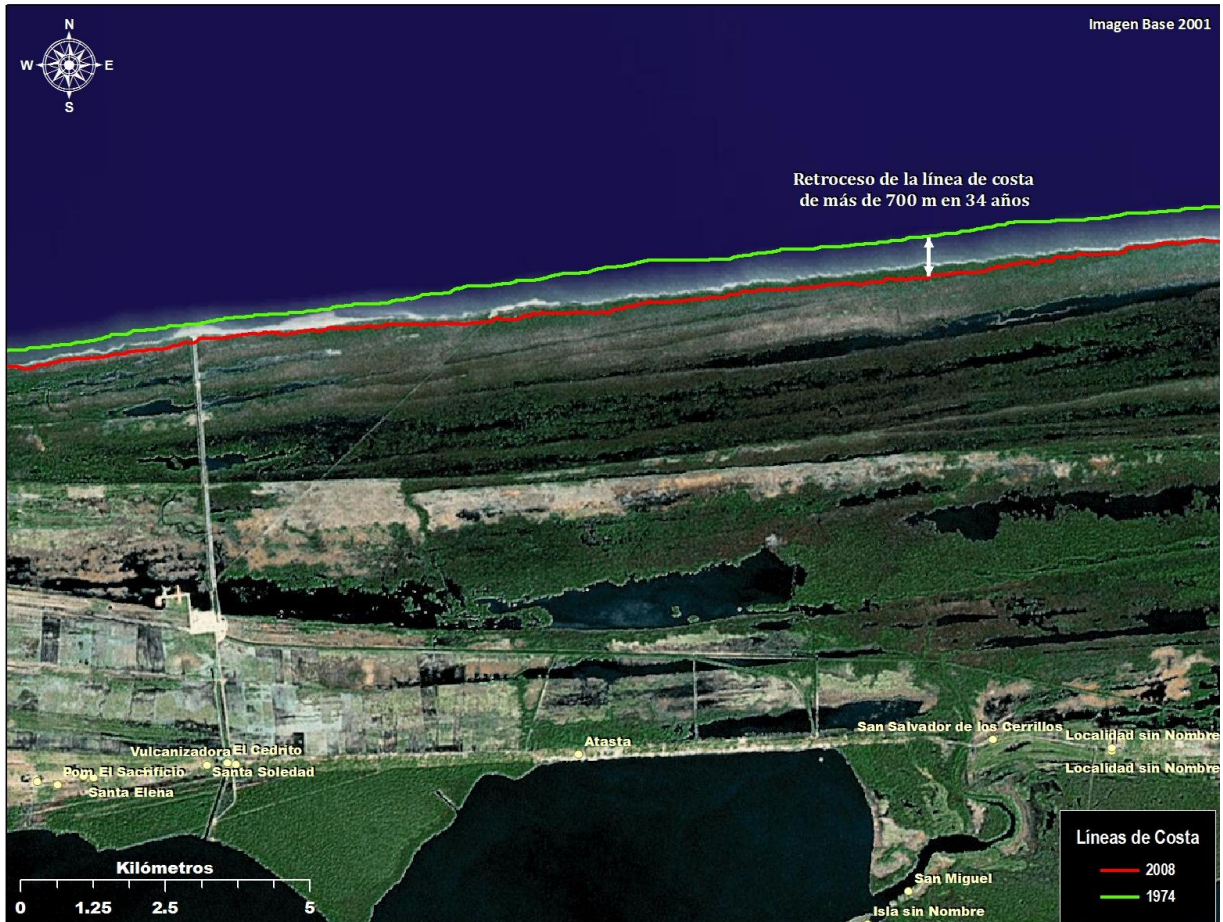


Figura 12. Erosión de línea de costa entre 1974 y 2008 en el área de la Península de Atasta.

La transgresión detectada en la costa campechana en el periodo comprendido entre el año 1974 y el año 2008 se demuestra por los cálculos realizados a nivel local, que hay pérdidas de playa desde aproximadamente -0.2 m/año para el caso de Isla Aguada, hasta 14.3 m/año para la zona más afectada correspondiente a la península de Atasta como se muestra en el tabla 4 y la figura 13.



Tabla 4. Tasa de erosión por sitio a lo largo de la costa de Campeche.

<b>No.</b>	<b>Sitio</b>	<b>Periodo</b>	<b>Intervalo (años)</b>	<b>Desplazamiento Total (m)</b>	<b>Desplazamiento Anual (m)</b>
1	San Pedro San Pablo	1974-2006	32	-154.8	-4.8
2	Nitrogenoducto	1974-2004	30	-21.2	-0.7
3	Atasta	1974-2008	34	-487.7	-14.3
4	Punta La Disciplina	1974-2005	31	-216.8	-7
5	Playa Norte	1974-2005	31	-8.1	-0.3
6	Club de Playa	1974-2007	33	-171	-5.2
7	CASES	1974-2007	33	-117.7	-3.6
8	Isla Aguada	1974-2005	31	-5.7	-0.2
9	Sabancuy	1974-2005	31	-211.2	-6.8
10	Punta de Xen	1974-2002	28	-124.6	-4.4
11	Champotón	1974-2006	32	-77.2	-2.4

Nota. Para ubicar el sitio ver figura 8

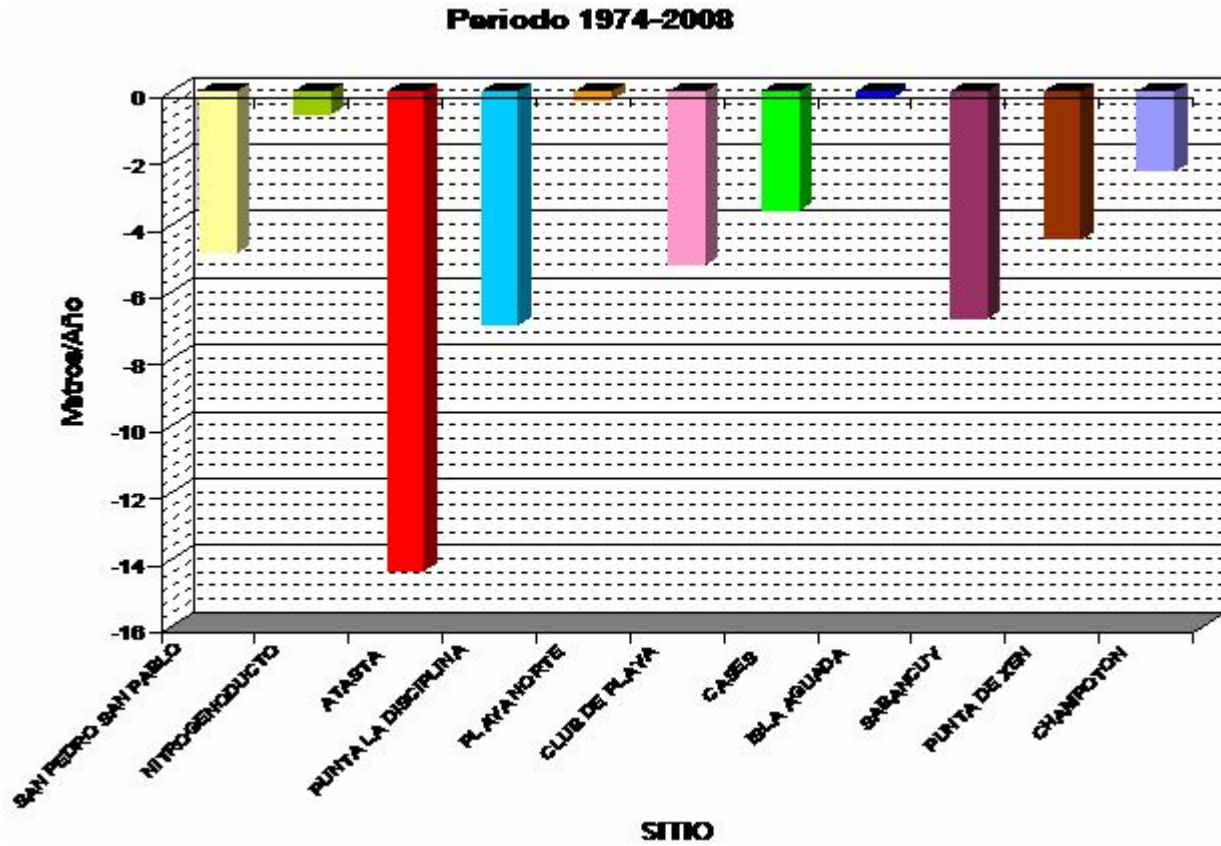


Figura 13. Representación gráfica de la tasa de erosión por sitio.

### Fluctuación Erosión - Depósito

El segundo proceso identificado en el área de estudio, es el de la fluctuación entre la erosión y el depósito. Este es un proceso particular a lo largo de la última década, en el que se comprueba que la línea de costa sufre una constante erosión y recuperación a través de depósito de sedimentos (Figs. 14a y 14b).

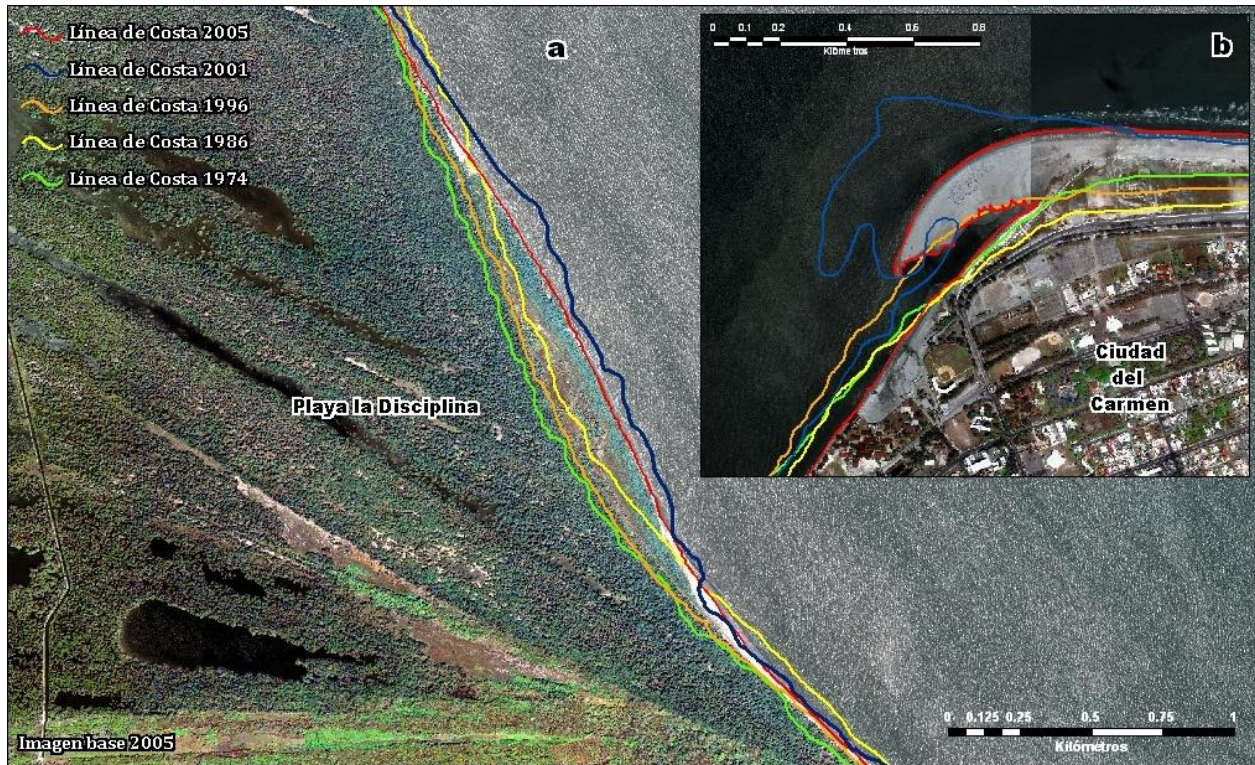


Figura 14. Proceso de erosión – depósito. a) En la línea de costa de Playa la Disciplina y b) en Playa Norte.

En el sitio denominado Playa Disciplina en la rivera Oeste de Boca del Carmen presenta fluctuaciones de la línea de costa con el siguiente comportamiento: de los años 1970s a los 1980s el proceso de acumulación se hace presente con aproximadamente 100 metros, mientras que entre los 1980s y 1990s hubo pérdida de material de aproximadamente 60 metros. Entre 1996 y el 2001, el proceso de acumulación se presenta una vez más en la línea de costa, siendo de hasta 240 metros aproximadamente y finalmente entre el año 2001 y el 2005 existe erosión con pérdida de material de más o menos unos 100 m (F14 a). Otro caso de fluctuación erosión-depósito es el que se presenta en Playa Norte; de los años 70s a los 80s, existe una erosión de aproximadamente 50 m. De los años 80s a los 90s existe acumulación de 130 m. De los años 90s al 2001 se presenta una acumulación de material muy evidente (360 m aproximadamente) y finalmente del año 2001 al 2005 se presenta nuevamente el proceso de erosión con 240 m de retroceso. Es importante aclarar que del año 2001 al 2005, la lengüeta de sedimentos presente en Playa Norte está en proceso de erosión, como se observa en la figura 14b. El mismo proceso de erosión en la última década presente en Playa Norte se puede observar en Playa la Disciplina. con los resultados anteriormente descritos se denota definitivamente un predominio de procesos erosivos. Es de notarse que las variaciones de erosión – depósito se debe a la acumulación de

arenas depositadas en Playa Norte que el transporte litoral acarrea a lo largo de la Isla e inclusive estos sedimentos atraviesan la boca del Carmen y se depositan en Playa Disciplina, esto se corrobora por la presencia en esta última playa de residuos sólidos procedentes de Cd. Del Carmen. La disminución de esta acumulación y el incremento del oleaje o corrientes, inclusive la extracción de arena por dragado en Playa Norte son causantes de la erosión en estos sitios.



## CAMBIOS MORFOLÓGICOS ESTACIONALES DE LAS PLAYAS

A continuación se describen los procesos de erosión-depósito presentes en las diferentes playas monitoreadas a partir de las características morfológicas de sus perfiles para las diferentes épocas de lluvias (agosto-octubre), nortes (enero-febrero) y estiaje (mayo-junio) realizados durante los años 2005, 2006 y 2007 considerando su forma, amplitud (distancia perpendicular a la línea de costa, desde la infraplaya hasta la supraplaya), su desnivel y se elaboró un diagrama de incrementos y decrementos del área de las secciones de los perfiles de playa que permite estimar la variación de las áreas de material en movimiento dentro de cada perfil.

### Playa 1. Desembocadura del Río San Pedro – San Pablo: perfiles 1, 2 y 3 (Figura 15)



Figura 15. Playa formada por sedimentos procedentes del Río San Pedro y San Pablo.

Por lo observado en las gráficas, se puede decir que en esta playa, el perfil 1 localizado en la desembocadura del Río San Pedro-San Pablo en su margen Este no tiene una respuesta clara de acumulación o de erosión ni tampoco que responda a un ciclo estacional. Esto se debe principalmente a que este perfil está afectado por el aporte de sedimentos fluviales. Los perfiles 2 y 3 al Este del primer perfil y con una separación de 250 m aproximadamente entre ellos, en los muestreos 2005 y 2006 presentan un evidente proceso de acreción, pero en el último muestreo,

(junio del año 2007) se presenta una disminución de la playa lo que hace suponer que responde a los efectos del norte de febrero del 2007, que inundó la ciudad de Villahermosa y erosionó la costa con fuertes oleajes y sobreelevación por el norte, quedando registros de este efecto en la época de estiaje de ese año. (Figura 16), sin embargo la tendencia de esta playa es acumulativa como se ve en el diagrama de áreas (Figura 17) por el aporte de sedimentos del río San Pedro y San Pablo.

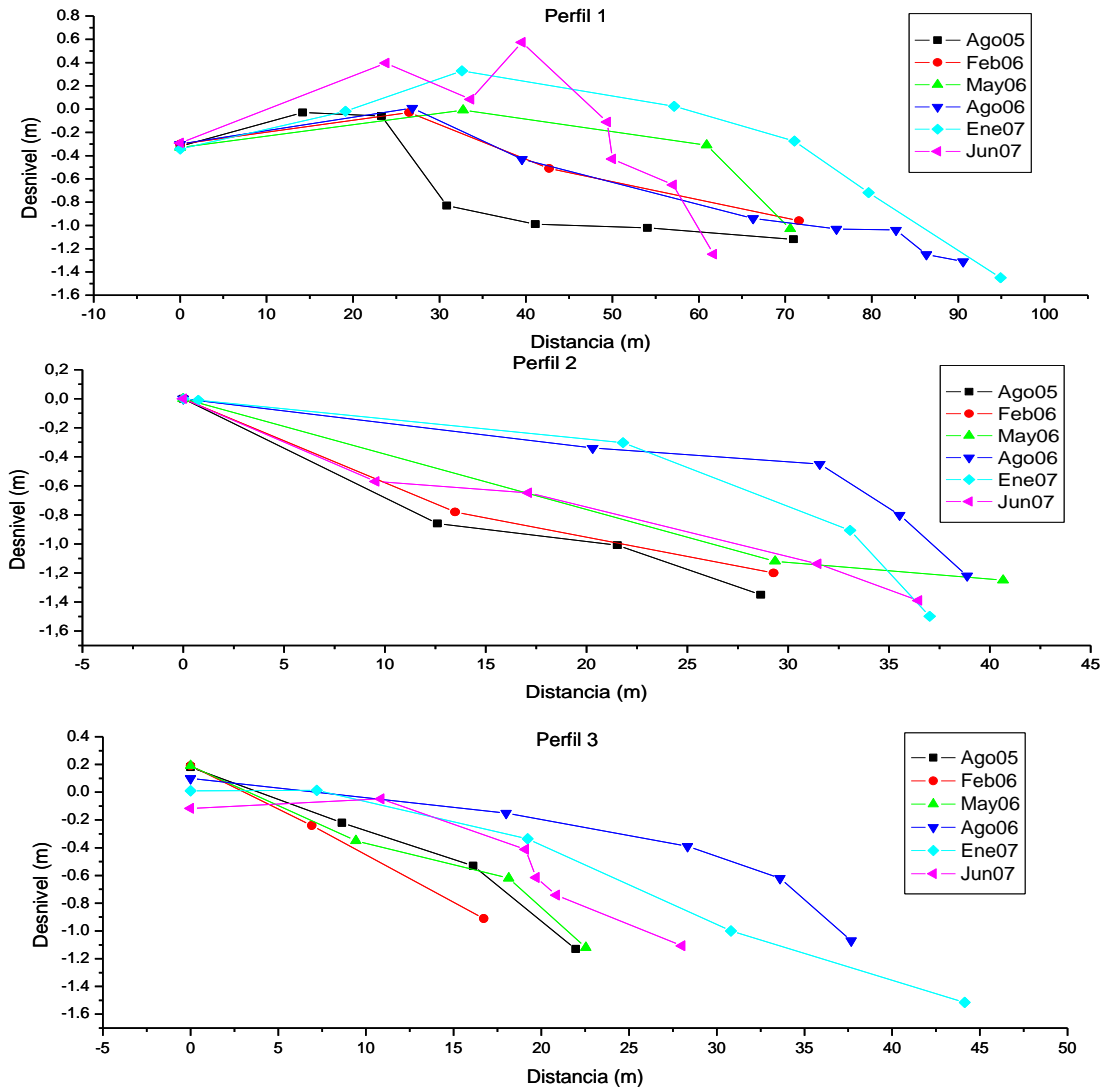


Figura 16. Diagrama de los perfiles 1, 2 y 3 en la Playa 1 en la desembocadura del Río San Pedro y San Pablo.

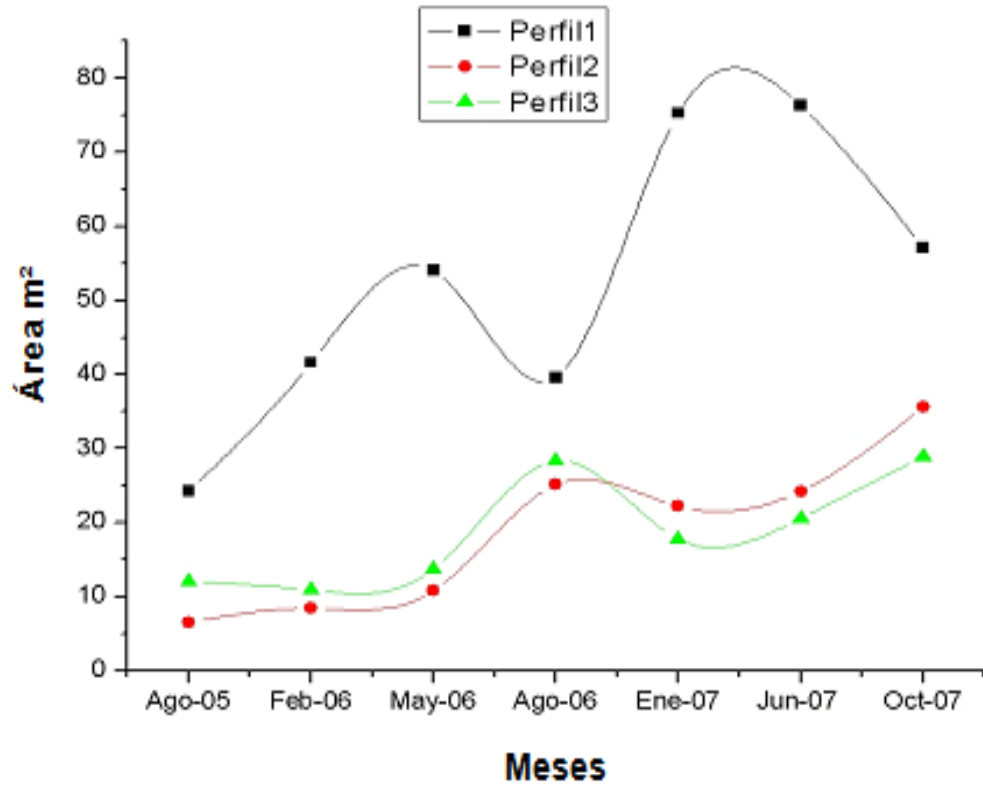


Figura 17. Diagrama de incrementos y decrementos de las secciones transversales de los perfiles 1, 2 y 3.

Playa 2. Nitrogenoducto: perfiles 4, 5 y 6 (Figura18)



Figura 18. Playa de Nitrogenoducto con presencia de lodos en la infraplaya.

Los perfiles de esta playa con una separación de 250 m conservan en general su morfología en todos los levantamientos y en los tres perfiles (Figura19), presenta una amplitud de playa de 30 metros y una pendiente de 3.5% en promedio, con su mayor amplitud entre 35 y 50 m resultado de una acumulación de sedimentos en nortes del 2007. Por sus características morfológicas de pendiente y desniveles de estos perfiles, esta playa se considera como estable y responde claramente con un ciclo estacional como lo muestra la gráfica de acumulación de material donde se observa que tiene sus máximos en estiaje y sus mínimos en lluvias por un transporte mar-tierra (Figura 20), además del aporte de sedimentos que el transporte litoral aporta desde la península de Atasta aunque aparentemente este aporte es mínimo ya que en la zona de infraplaya se observa sedimentos lodosos de los suelos pantanosos presentes en la zona litoral.



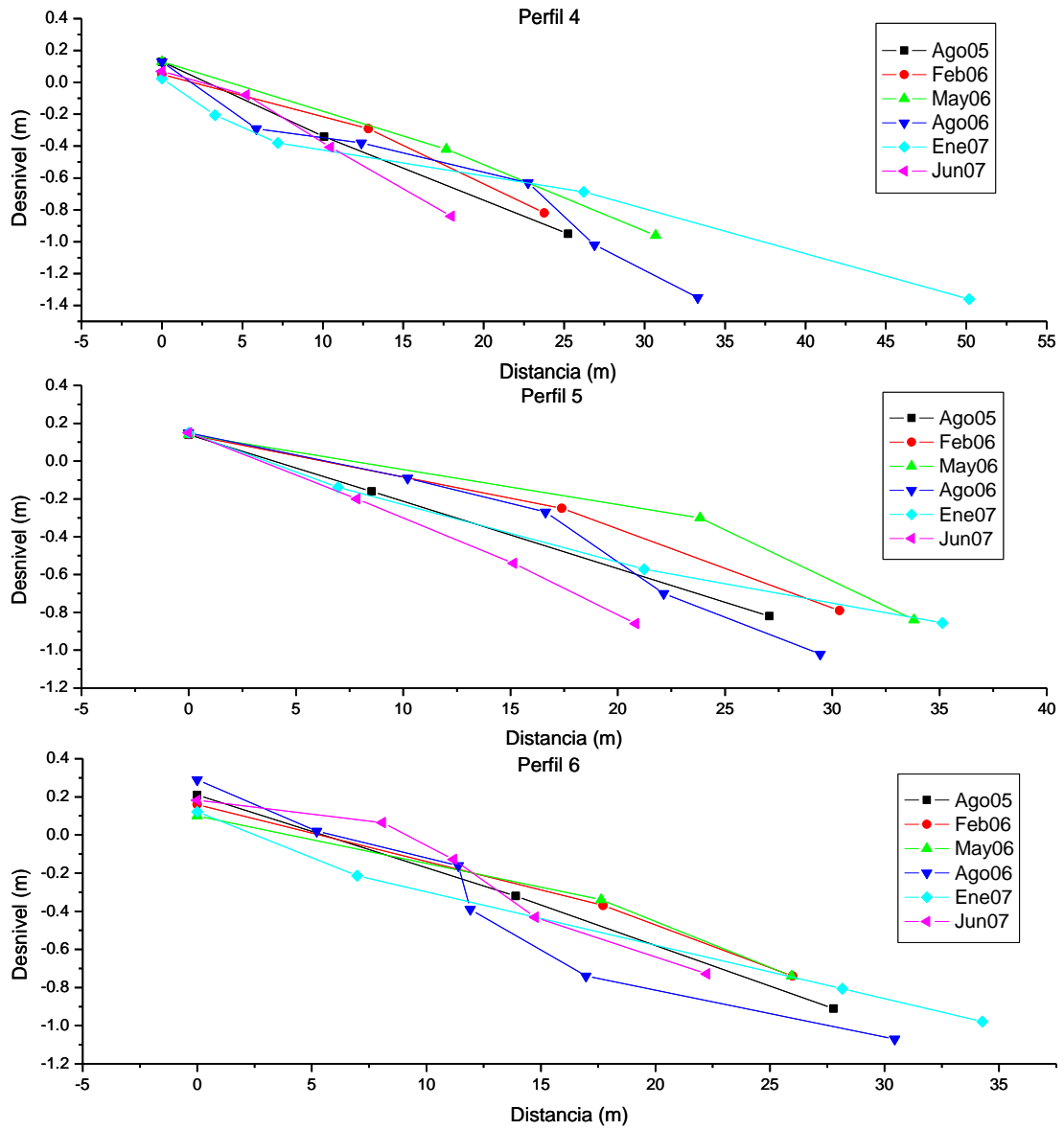


Figura 19. Diagrama de los perfiles 4, 5 y 6 en la playa Nitrogenoducto.

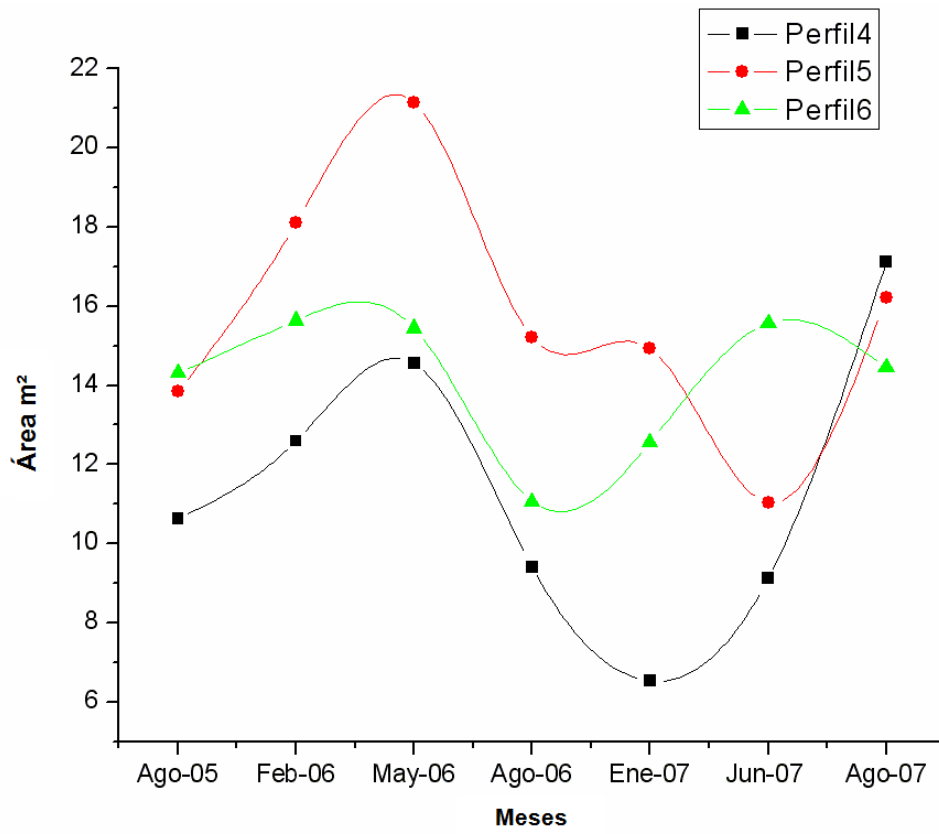


Figura 20. Diagrama de incrementos y decrementos de las secciones transversales de los perfiles 4, 5 y 6.

Playa 3. Centro de Proceso y Transporte de Gas (CPTG) Ducto en Atasta: perfiles 7, 8 y 9 (Figura 21)



Figura 21. Erosión en la Playa del Centro de Proceso y Transporte de Gas Atasta.

Esta playa es estrecha longitudinalmente por lo que se realizaron tres perfiles separados cada 50 m, esta playa se encuentra en un proceso de erosión y sufre cambios en su morfología, lo que obligó a cambiar la posición del BN en el segundo muestreo ya que la fuerza de las olas fracturó y movió el rompeolas donde se había ubicado el BN anterior. También los perfiles 8 y 9 se reubicaron unos 10 m al Este de su posición inicial, lo que no permitió una comparación con el primer muestreo. Los gráficos indican que los perfiles 7 y 9, al Oeste y al Este de la playa, a partir del muestreo de nortes 2007 a estiaje 2007 se encuentran estables; sin embargo, en el perfil 8 hay un proceso constante de erosión con una playa de 35 m de amplitud pero con un escalón de 1 m de altura (Figura 22). De acuerdo con el diagrama de incrementos y decrementos es muy notorio la pérdida de material sedimentario en el perfil 8 en nortes del 2007 causado por los nortes extremos que se dieron en esa temporada elevando el nivel del mar hasta 12 pies según datos proporcionados por Capitanía de Puerto de la Secretaría de Marina en Cd. del Carmen. Se produjo un fuerte oleaje en esta playa, erosionando sobre todo al centro de la playa donde el manglar fue deforestado por la construcción del gasoducto que se encuentra en este sitio (Figura 23).

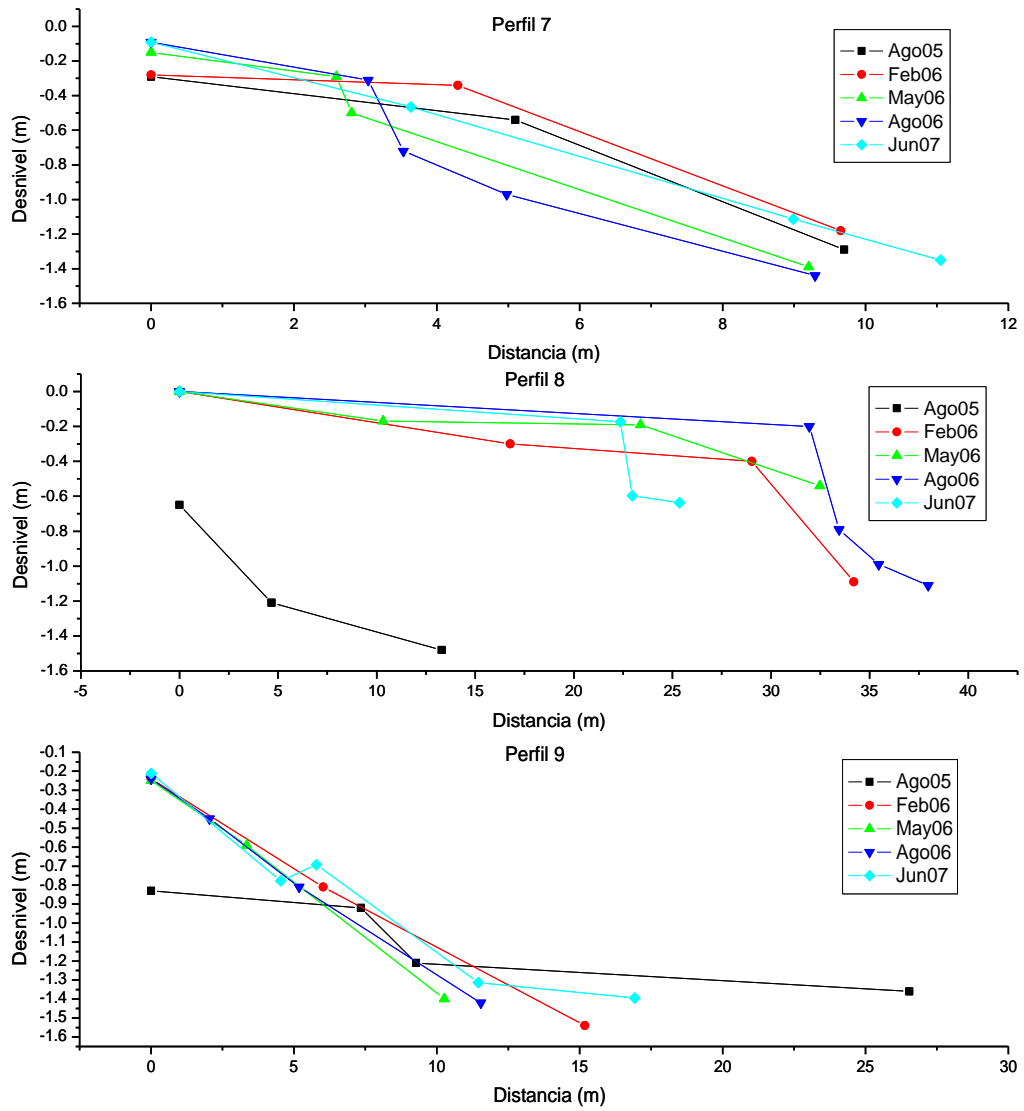


Figura 22. Diagrama de los perfiles 7, 8 y 9 en la playa del CPTG-Atasta.

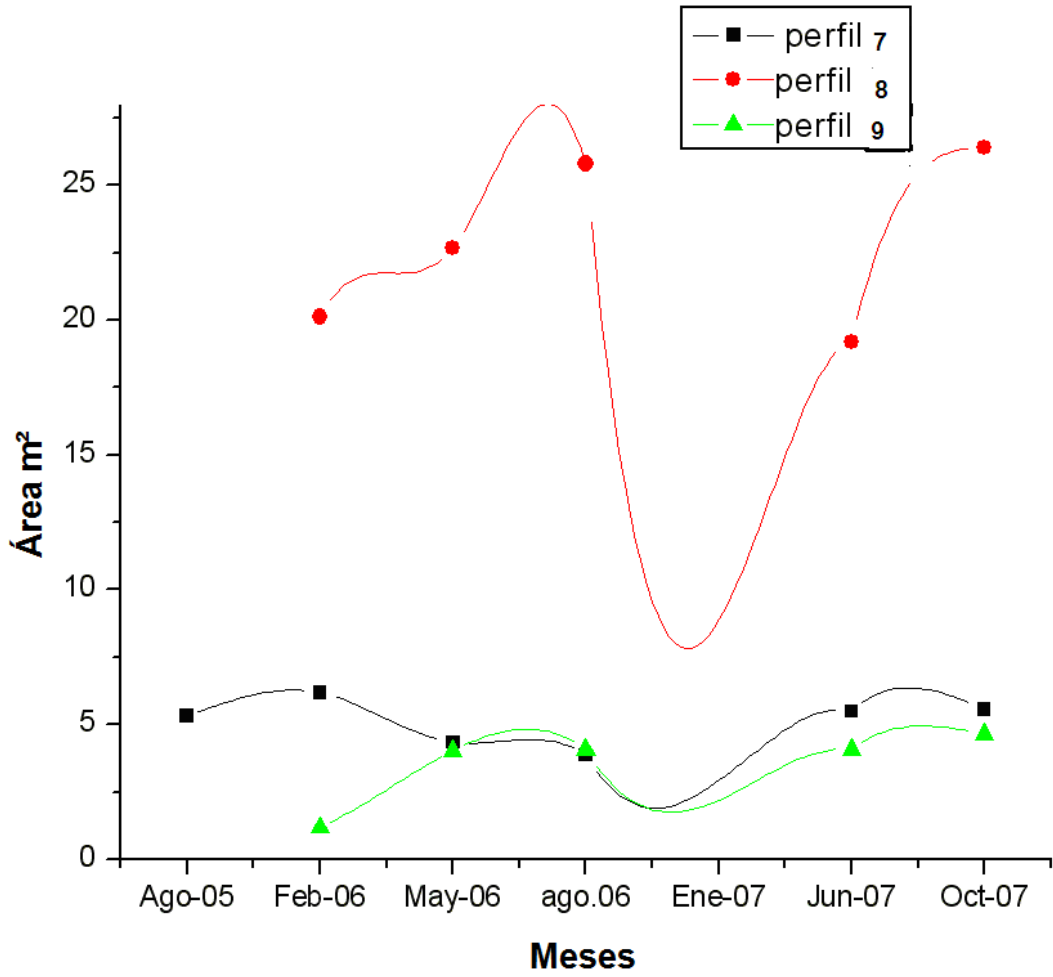


Figura 23. Diagrama de incrementos y decrementos de las secciones transversales de los perfiles 7, 8 y 9.

Playa 4. Playa La Disciplina: perfiles 10, 11 y 12 (Figura 24)



Figura 24. Playa La Disciplina formada por fragmentos de moluscos con el mar afectando áreas de manglar.

Durante el monitoreo de estiaje 2007, se observó un incremento en los perfiles de esta playa, siendo más notorio en el perfil 10 (al Norte de la playa), en el que se puede observar que en los meses de lluvias del 2005, 2006 y 2007 existe una pérdida de material, recuperándose en nortes y en estiaje de 2007 con un incremento en el área de perfiles (Figs. 25 y 26), esta playa se localiza en la rivera Oeste de Boca del Carmen donde las corrientes marinas inciden directamente aportando sedimentos arenosos de Playa Norte en Ciudad del Carmen y en la Isla del Carmen como lo comprueba la cantidad de residuos sólidos presentes en esta playa procedentes de la zona urbana.

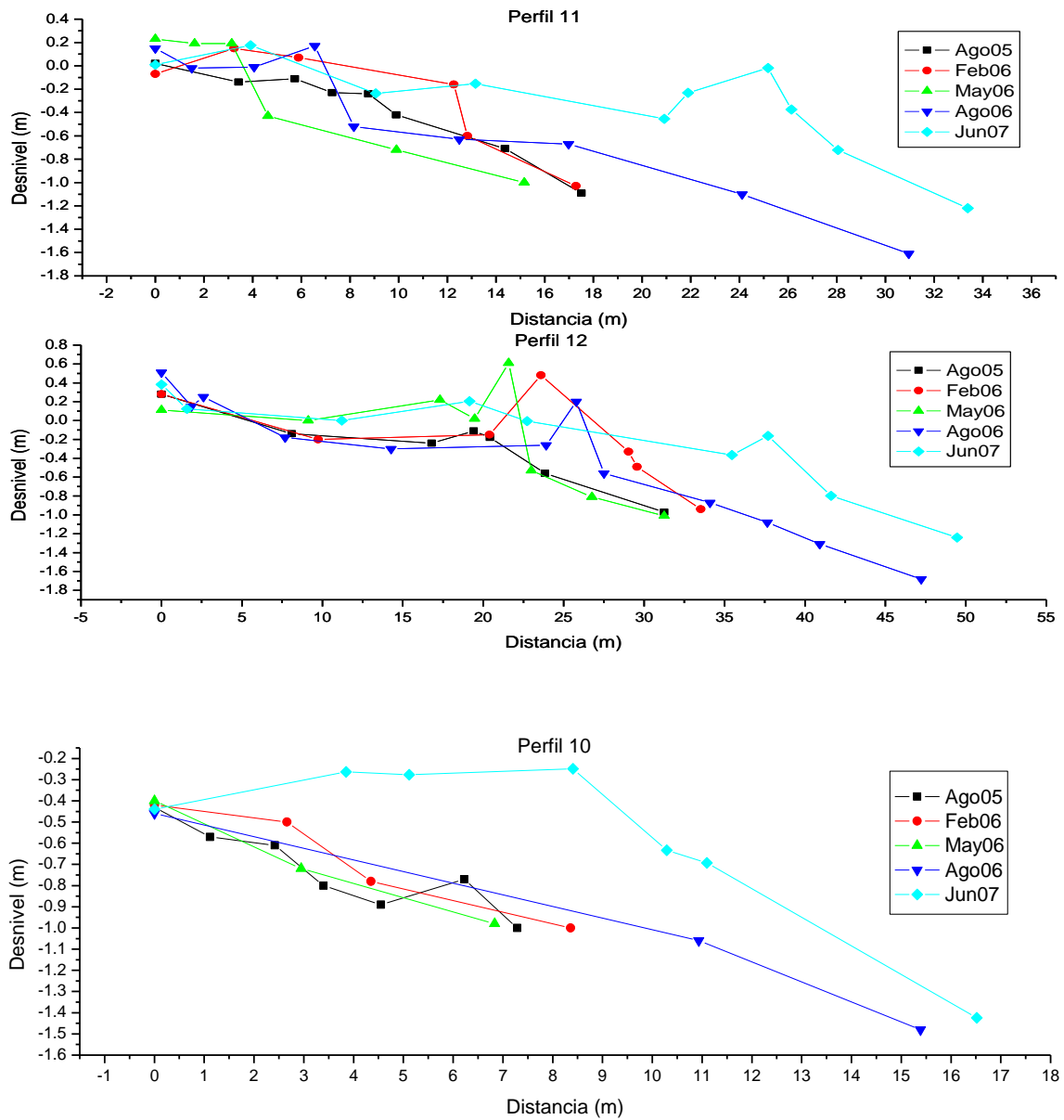


Figura 25. Diagrama de los perfiles 10, 11 y 12 en playa La Disciplina.

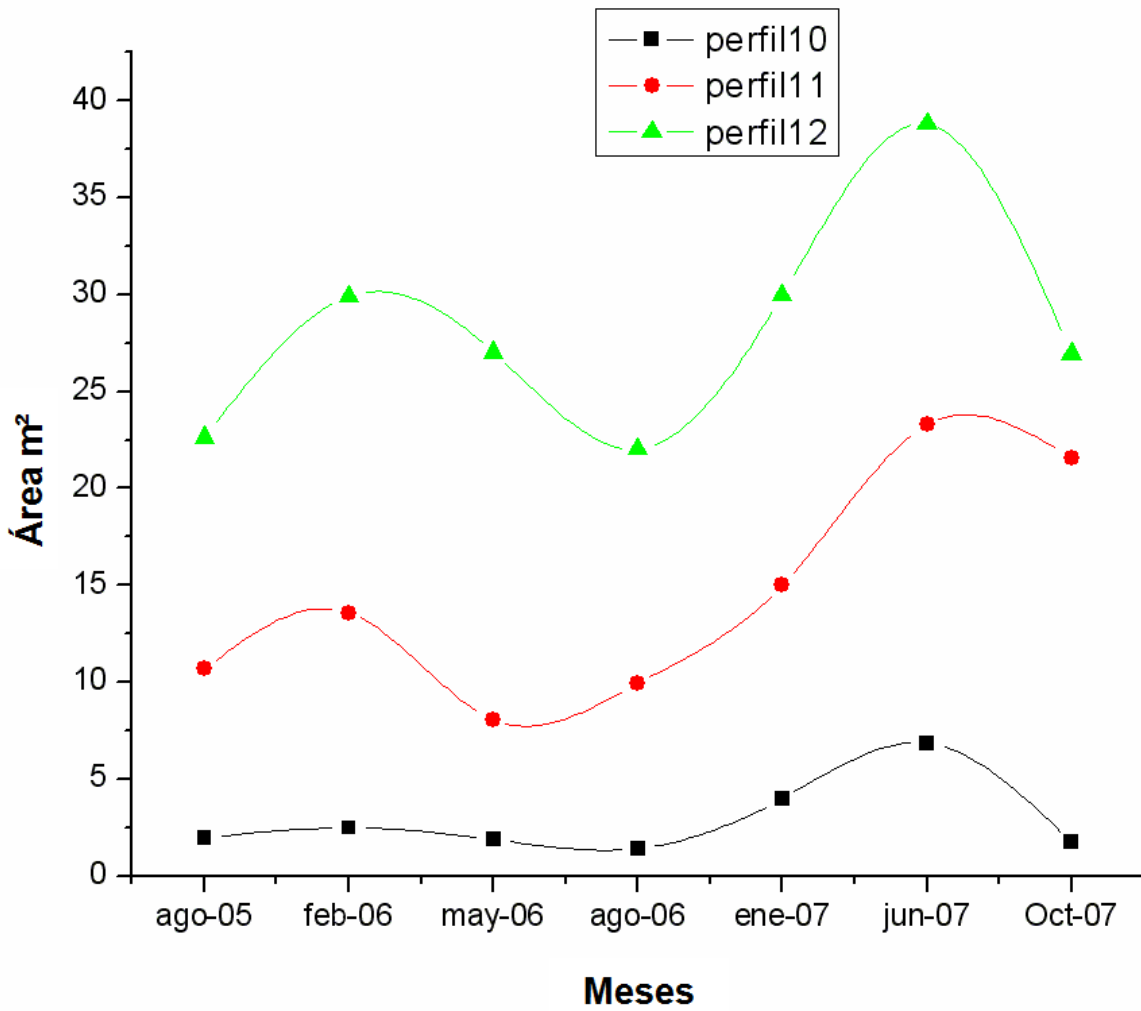


Figura 26. Diagrama de incrementos y decrementos de las secciones transversales de los perfiles 10, 11 y 12.



Playa 5. El Faro: perfil 13 (Figura 27)



Figura 27. Playa El Faro de pendiente suave formada de arena detrítica y conchas.

Debido a la morfología homogénea de esta playa, solo se realizó a cabo un perfil topográfico para los diferentes periodos (Figura 28), estos perfiles indican que la playa ubicada en el Faro tiene características de erosión, excepto en el estiaje de 2007, donde se observa acumulación de material; sin embargo, conserva la misma configuración aunque con una mayor pendiente (figura 29). El proceso erosivo neto está indicando una pérdida en el aporte de sedimentos a la playa probablemente por una interrupción del transporte litoral hacia el sur en el Zacatal (ver Playa Zacatal) o bien por el incremento de la energía en la Boca del Carmen o ambas cosas.

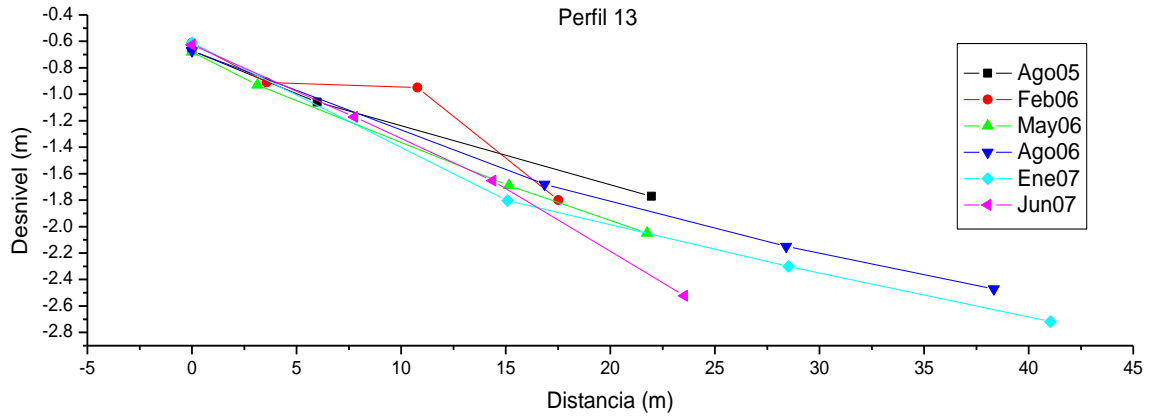


Figura 28. Diagrama del perfil 13 en playa El Faro.

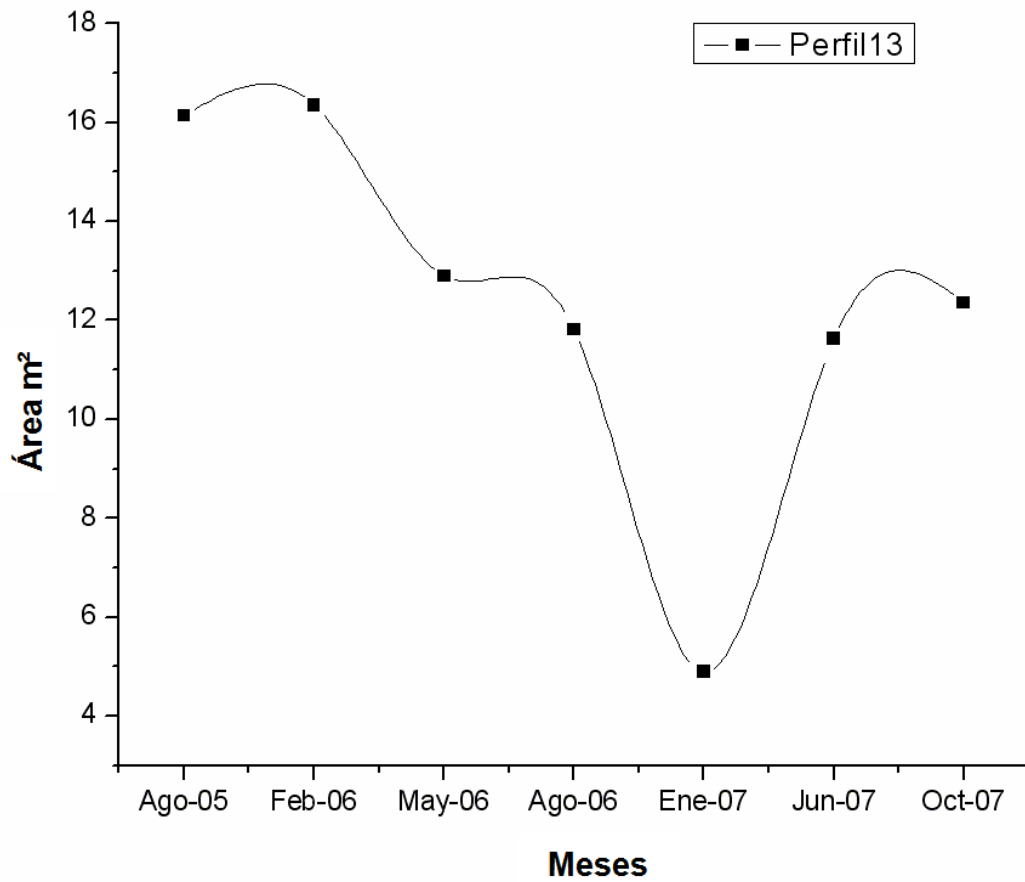


Figura 29. Diagrama de incrementos y decrementos de la sección transversal del perfil 13.

Playa 6. Puente El Zacatal: perfiles 14, 15 y 16 (Figs. 30 y 31)



Figura 30. Barco encallado en la playa El Zacatal formando un tómbolo de arena por la sombra energética que produce en el oleaje.



Figura 31. Almacenamiento de material para construcción de la Carretera Atasta-Cd.del Carmen.

Los perfiles 14 y 15, al Norte y centro de esta playa, presentan acreción a partir de lluvias 2005 a estiaje 2007, el perfil 16 al Sur de la playa, presenta erosión desde lluvias de 2005 hasta el estiaje de 2006 y acreción desde lluvias de 2006 hasta nortes de 2007, volviendo a perder material en el estiaje de 2007. Esta variación entre los perfiles se debe al barco encallado en la playa, que influye en el sitio como rompeolas y forma un tómbolo. El perfil 16 se ve afectado por actividad antropogénica, debido al desmantelamiento del buque y a la construcción de la Carretera que

utiliza esta playa como patio de almacenamiento. Por lo que no se puede afirmar con seguridad que los cambios sean debido a procesos naturales (Figs. 32 y 33).

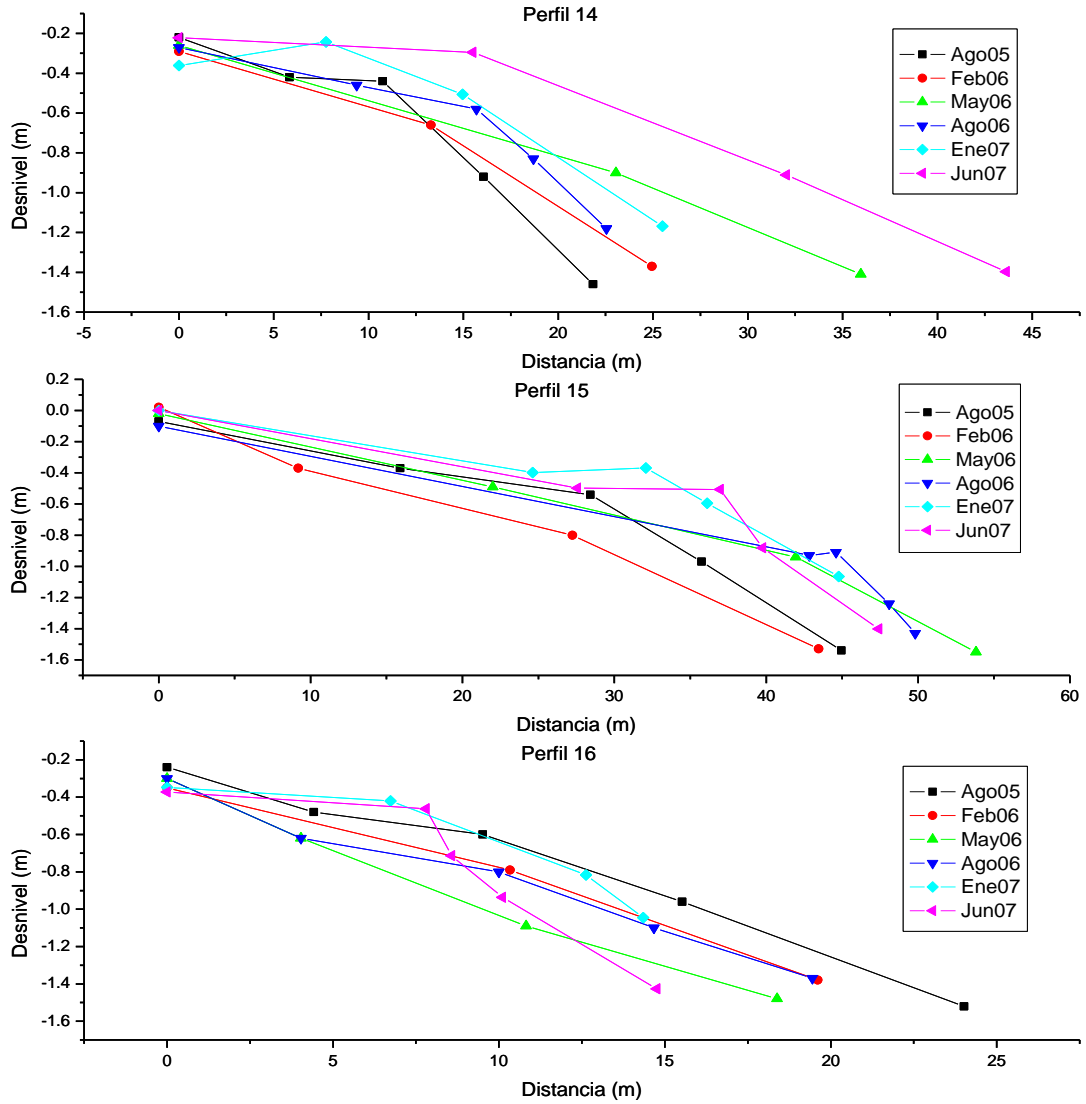


Figura 32. Diagrama de los perfiles 14, 15 y 16 en playa Zacatal.

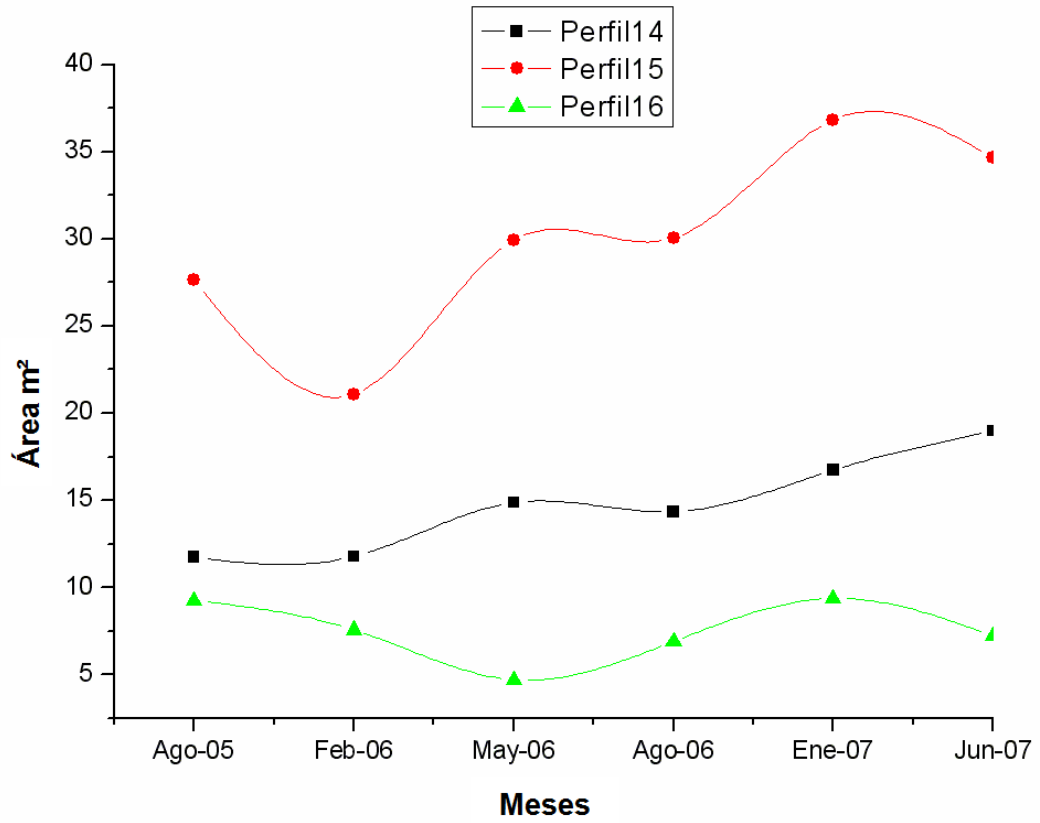


Figura 33. Diagrama de incrementos y decrementos de la sección transversal de los perfiles 14, 15 y 16.

Playa 7. Playa Norte: perfiles 17, 18 y 19 (Figura 34).



Figura 34. Formación de canal por efecto de mareas en Playa Norte.

Localizada en la parte Oeste de la Isla del Carmen, los perfiles realizados muestran una playa estable con una pendiente promedio de 2% y una longitud de playa de más de 50 metros. En el perfil 17 al Oeste de la playa en la parte de mesoplaya se observa un canal formado por los efectos de mareas. En el gráfico de áreas, se hace notorio en los perfiles 17 y 18 un proceso de erosión en la época de nortes del 2006 y 2007, mientras que en agosto del 2006 los perfiles 17 y 19 no presentan incrementos en tanto que el perfil 18 sí presenta incrementos para la misma fecha (Figs. 35 y 36). Cabe recalcar que la estabilidad de esta playa se debe en parte a que recibe sedimentos arenosos del transporte litoral que a lo largo de la Isla en dirección Este-Oeste.

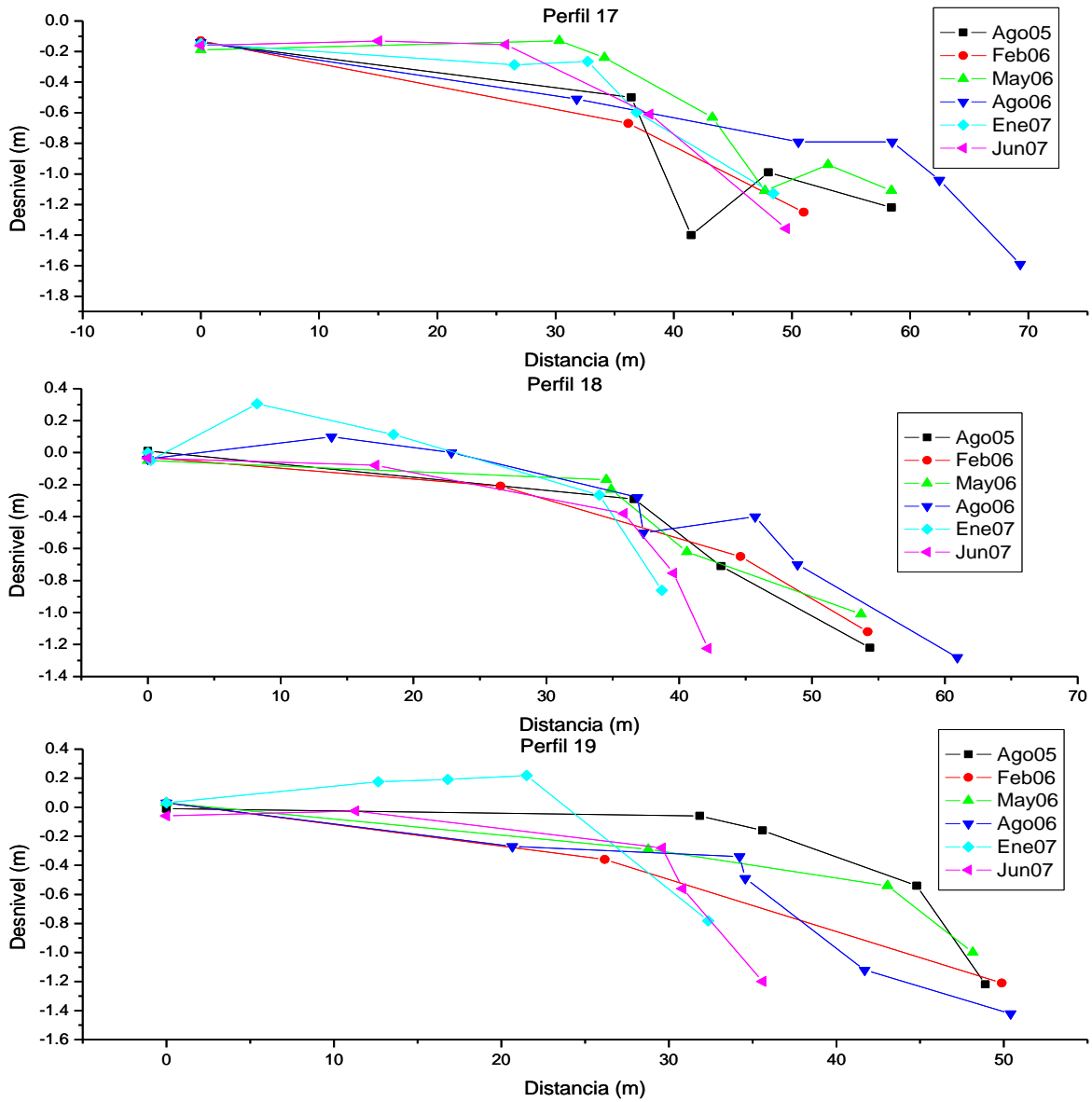


Figura 35. Diagrama de los perfiles 17, 18 y 19, en Playa Norte.

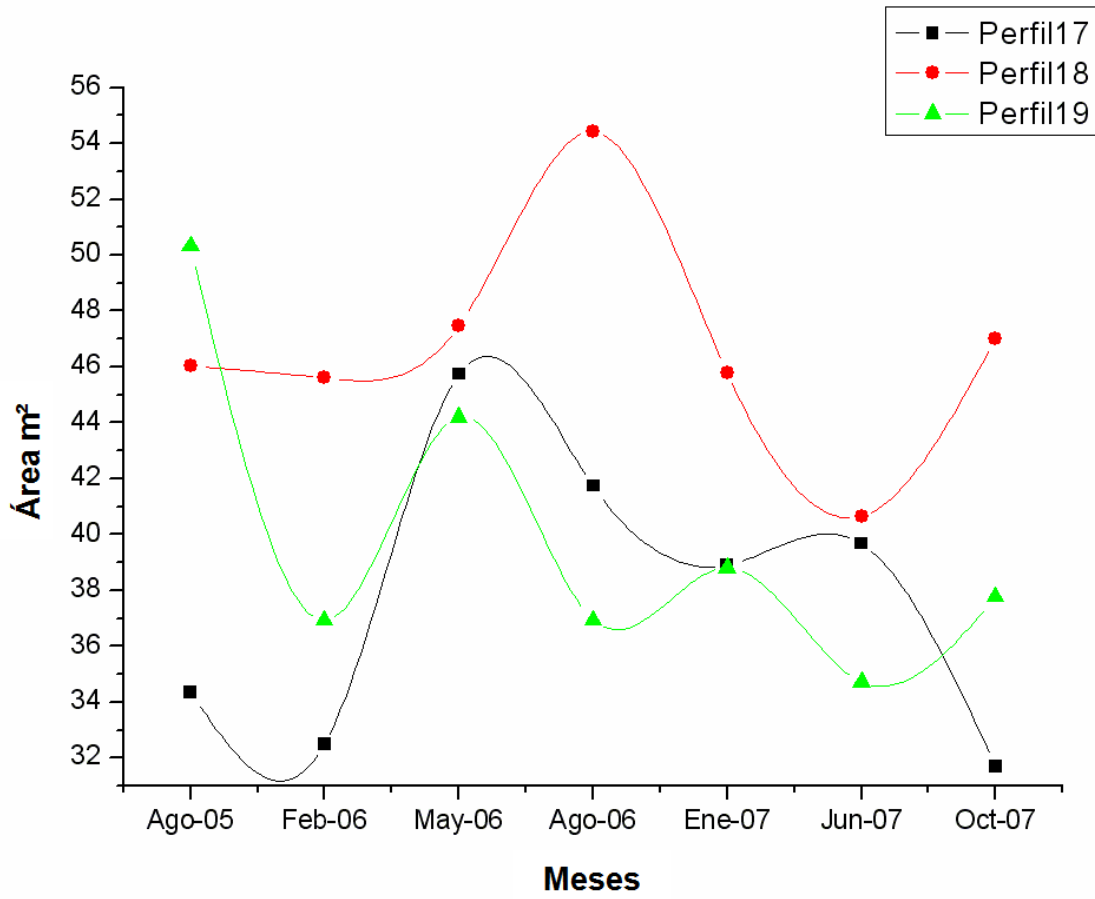


Figura 36. Diagrama de incrementos y decrementos de las secciones transversales de los perfiles 17,18 y 19.



Playa 8. Km 9 Carretera Isla del Carmen- Champotón: perfil 20 (Figura 37)



Figura 37. Playa Km. 9. Carretera Isla del Carmen a Champotón con acumulación de sedimentos.

En general, esta playa conserva su misma longitud y su pendiente se hace mas suave, por lo que se considera como estable-acumulativa y que responde claramente a un ciclo estacional, como se observa en el gráfico de áreas, donde hay mínimos en el periodo de estiaje y máximos en nortes (Figs. 38 y 39), esta playa también recibe material sedimentario del transporte litoral hacia el Oeste presente a lo largo de la Isla del Carmen.

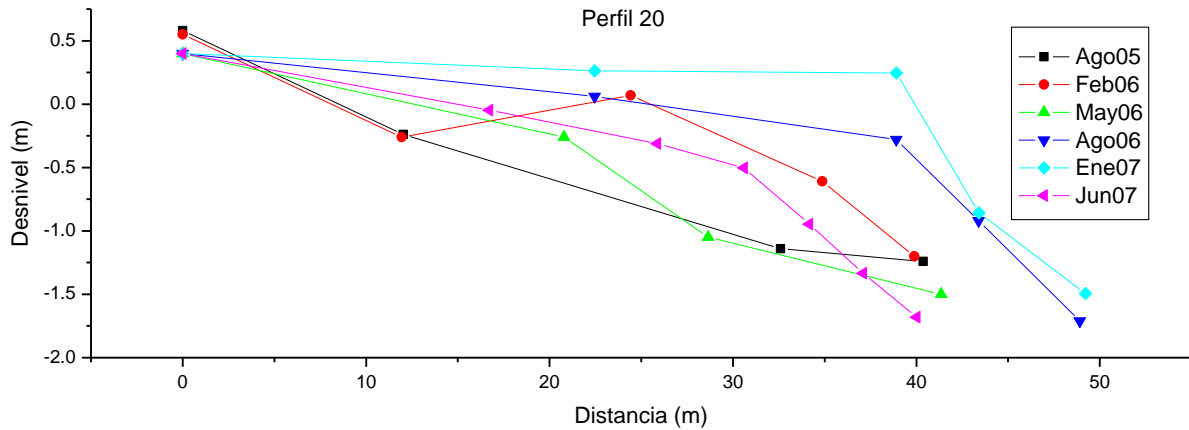


Figura 38. Diagrama del perfil 20, playa Km 9 carretera Isla del Carmen a Champotón.

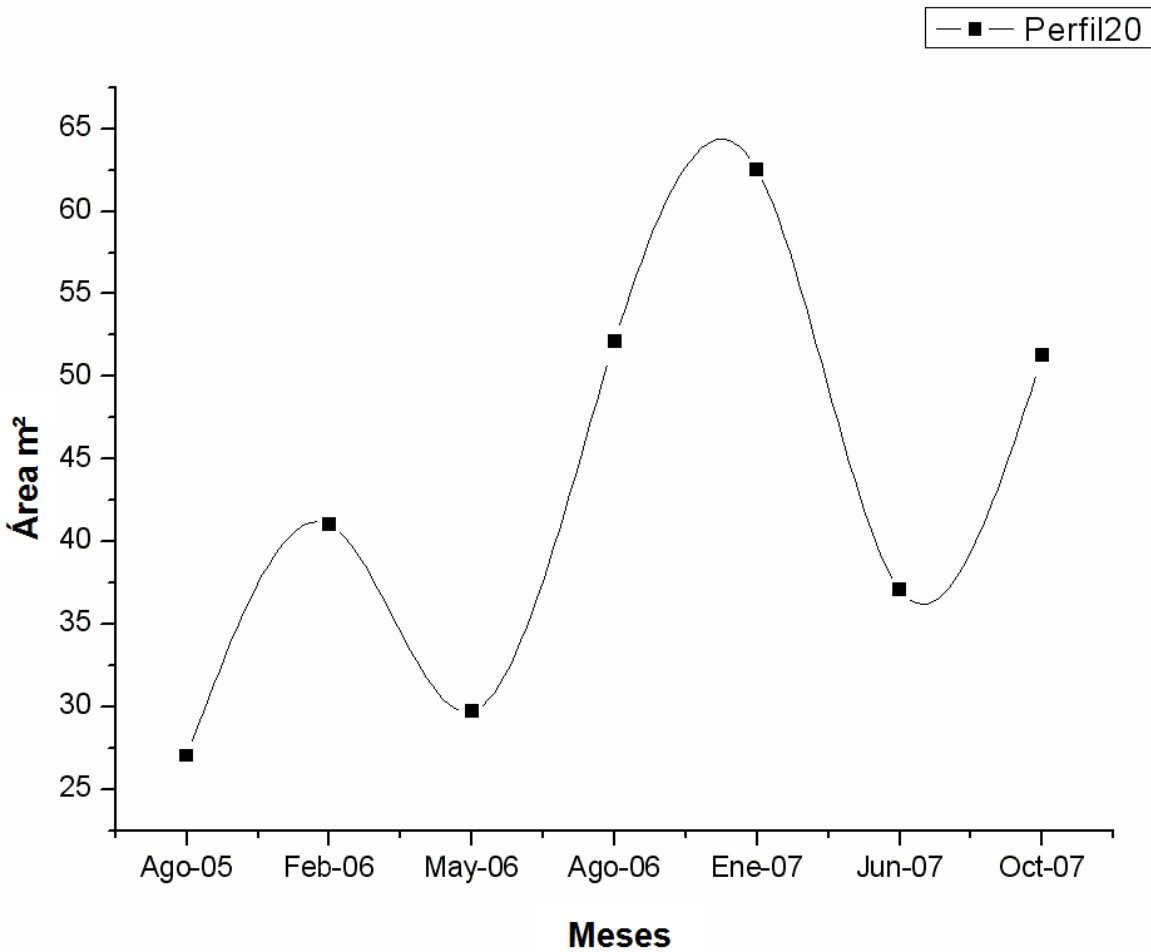


Figura 39. Diagrama de incrementos y decrementos de la sección transversal del perfil 20.

Playa 9. Club de playa: perfiles 21, 22 y 23 (Figura 40)



Figura 40. Escalones formados por la erosión observada en Club de Playa.

En esta playa se observó una fuerte erosión desde lluvias de 2005 hasta nortes de 2006, como se observa en el perfil 23, al Este de la playa, donde la pendiente pasa de 8% a 18%. Para los periodos posteriores hubo un aumento en la amplitud y volumen de playa, pero este no fue de forma natural sino inducida, ya que se realizaron rellenos para su protección. En el último levantamiento en estiaje de 2007, se observó una fuerte erosión en los perfiles 22 y 23, esta erosión se venía presentando desde el muestreo de nortes 2007, por lo que se agregaron 2 perfiles más en este sitio para tener un mejor muestreo y cuyos resultados muestran que existe un proceso de erosión en el extremo Este del predio de Club de playa y en el predio aledaño al mismo (Figs. 41, 42 y 43). El problema de erosión de esta playa en particular, fue la existencia de una protección de piedra en su lado Este, que hacía las funciones de un espigón produciendo una interrupción del transporte litoral de sedimentos y por lo mismo genera erosión de esta playa.

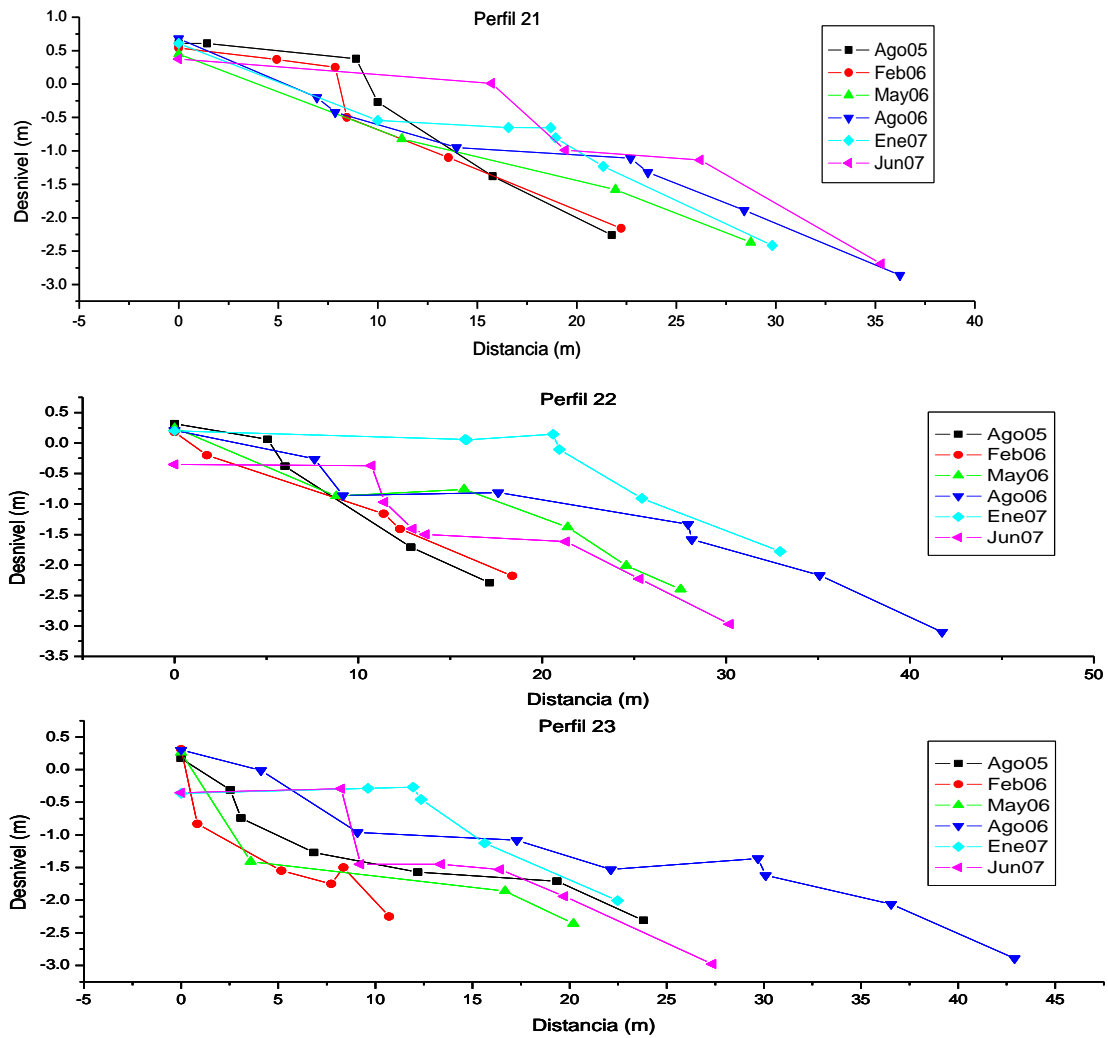


Figura 41. Diagrama de desniveles de los perfiles 21, 22 y 23, en la Club de playa.

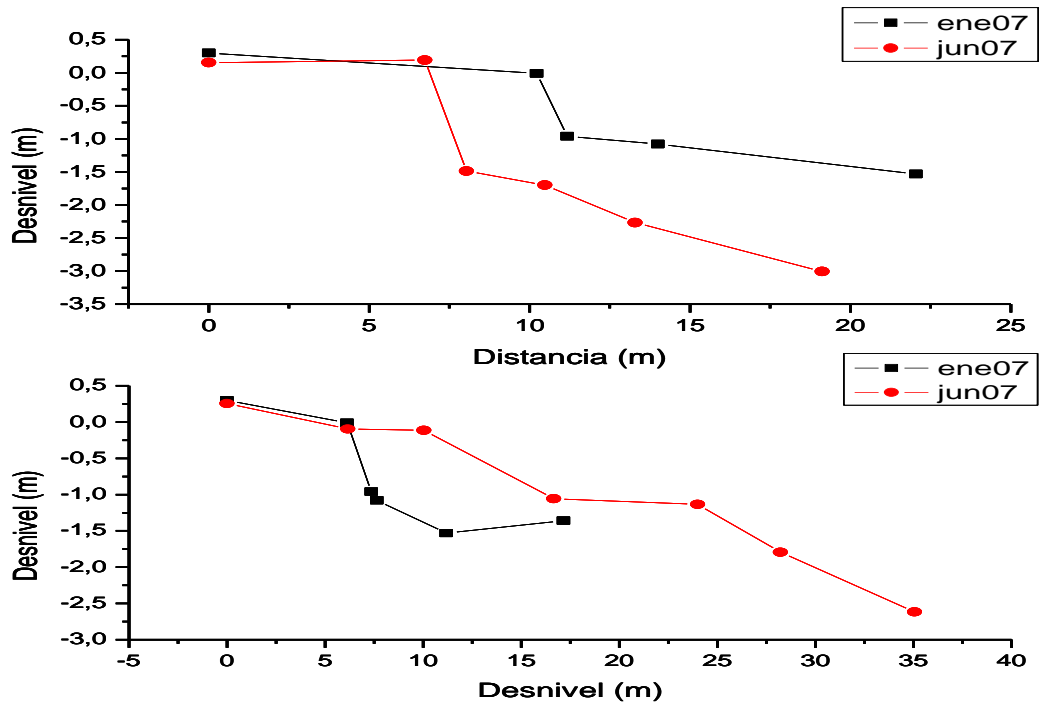


Figura 42. Diagrama de los perfiles agregados en enero y junio del 2007.

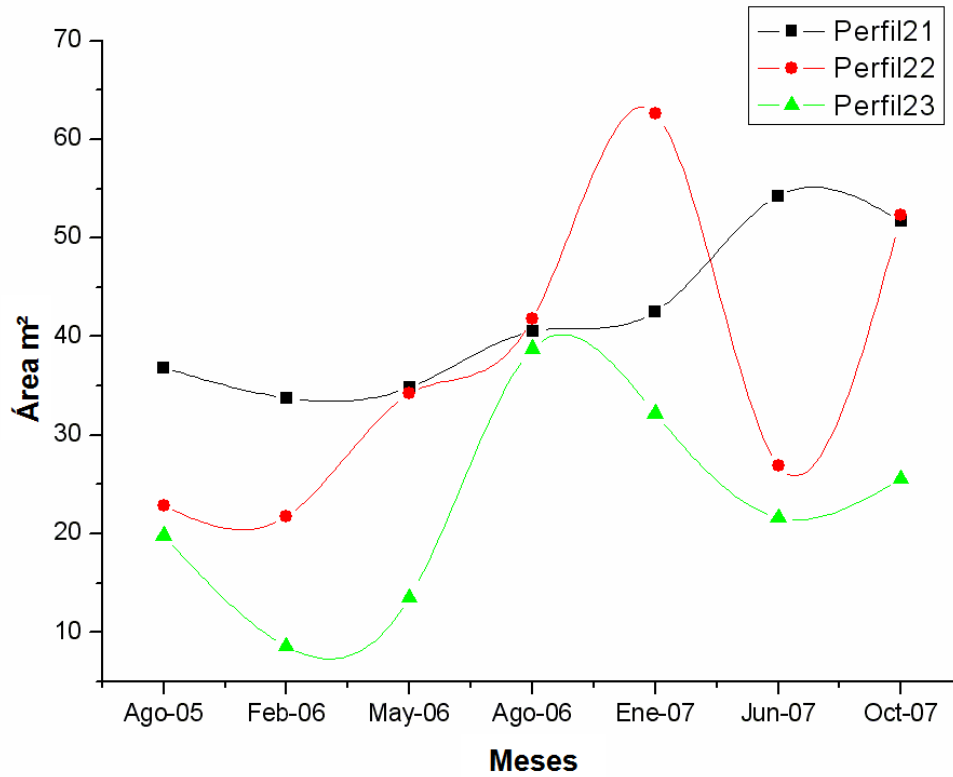


Figura 43. Diagrama de incrementos y decrementos de las secciones transversales de los perfiles 21,22 y 23.

Playa 10. Playa Bahamita: perfil 24 (Figura 44)



Figura 44. Playa Bahamita con presencia de barreras de palos para protección con procesos de acumulación y erosión.

En este perfil se observó una pérdida de material entre la zona de infraplaya y mesoplaya. En el gráfico de áreas se nota hasta el momento, que este perfil tiene un proceso estacional: erosión en nortes y acumulación o estabilidad en lluvias y estiaje (Figs. 45 y 46). Esta playa presenta una protección de tetrápodos como rompeolas que crea una zona de baja energía que ayuda a retener sedimentos en estiaje y lluvias pero aparentemente las olas generadas en nortes sobrepasan los tetrápodos provocando erosión de esta playa.

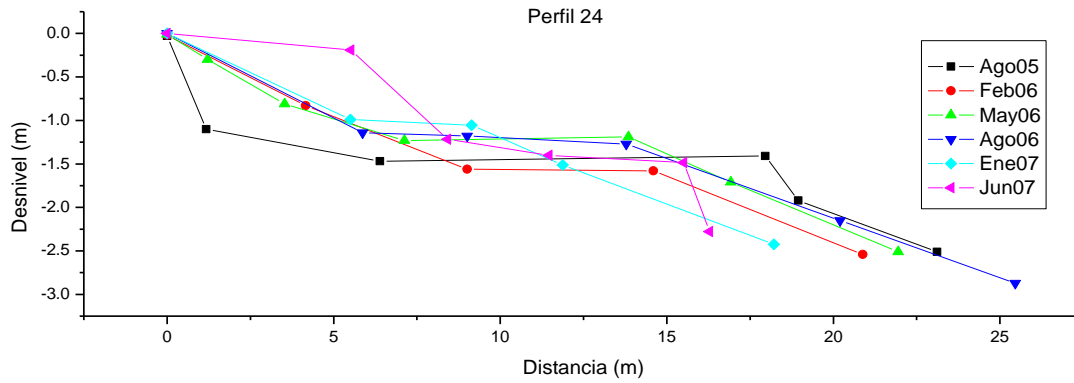


Figura 45. Diagrama del perfil 24, en la Playa Bahamita.

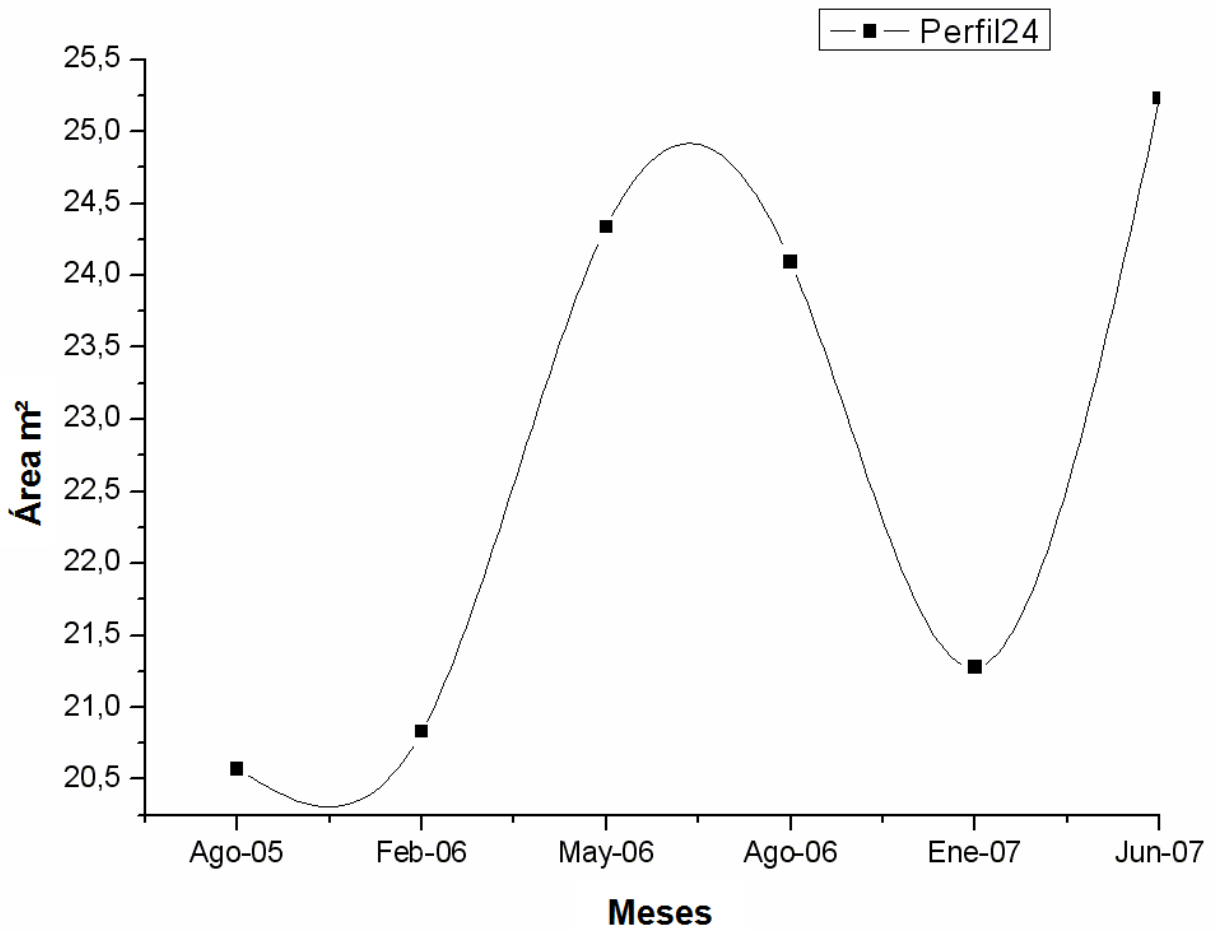


Figura 46 Diagrama de incrementos y decrementos de la sección transversal del perfil 20.



Playa 11. Playa en el Centro de Adiestramiento en Seguridad, Ecología y Supervivencia (CASES):  
perfiles 25, 26 y 27 (Figura 47)



Figura 47. Playa CASES con escalones de erosión de cerca de 2 m de altura.

Los perfiles muestran una amplitud promedio de playa de 14 metros en el lado Oeste de la playa (perfil 25), en la parte central y lado Este (perfiles 26 y 27), la amplitud promedio de playa es de 30m. En el gráfico de acumulación de material los perfiles 26 y 27 se comportan muy similares, con acumulación en lluvias y erosión en nortes y estiaje, pero no así el perfil 25 que se comporta a la inversa: erosión en lluvias y acumulación en nortes y estiaje, siendo la parte Este de la playa la más afectada por problemas de erosión (figuras 48 y 49). Esta diferencia en la erosión se debe a que principalmente en su lado Este afloran materiales rocosos en la zona de infraplaya que protegen a esta parte de la playa, aunque la presencia de la roca muestra que hay un déficit de arena en esta playa.



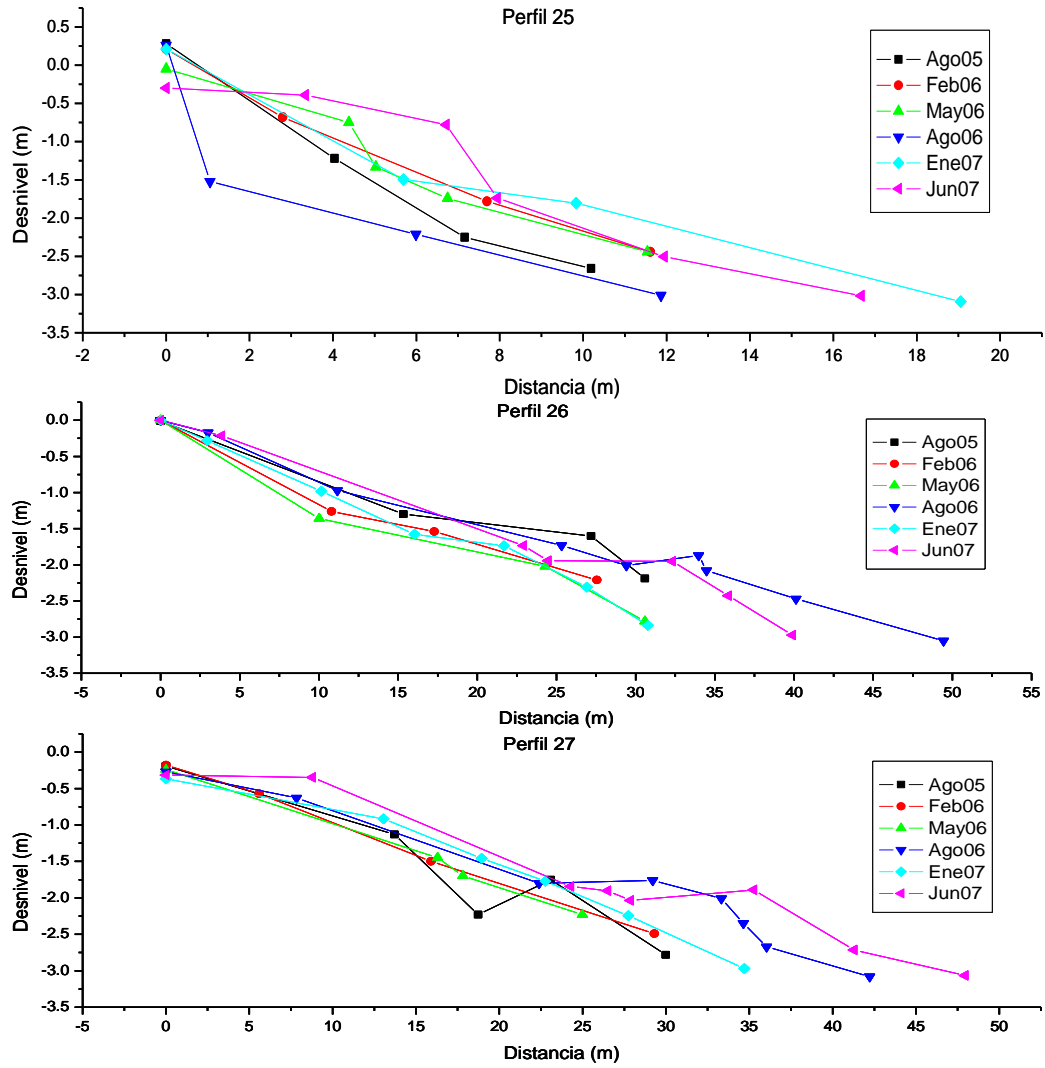


Figura 48. Diagrama de los perfiles 25, 26 y 27 de la playa de CASES.

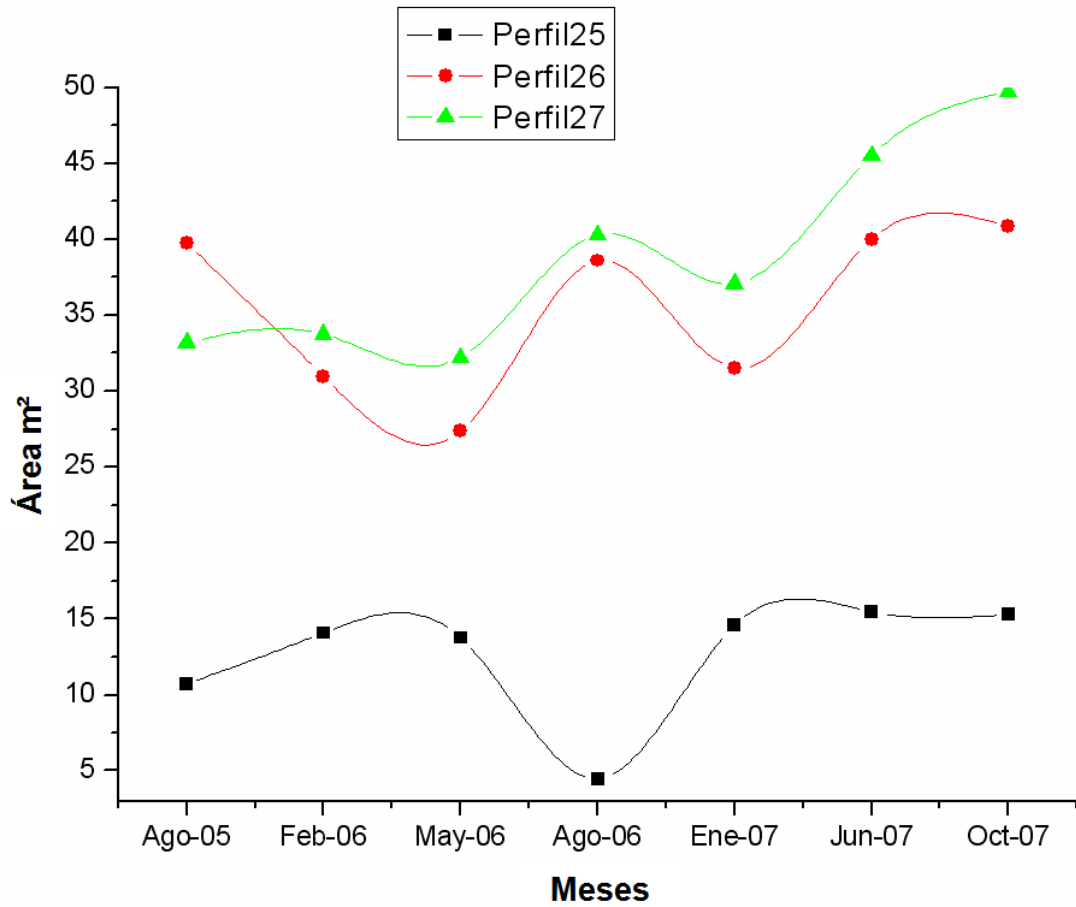


Figura 49. Diagrama de incrementos y decrementos de las secciones transversales de los perfiles 25,26 y 27.

Playa 12. Km. 28 Carretera Isla del Carmen-Champotón: perfil 28 (Figura 50).



Figura 50. Playa del Km 28 de Cd. del Carmen-Champotón, calcárea con rocas en la infraplaya y vegetación en la supraplaya.

Esta playa conservó perfiles similares, no se observan cambios en los años 2005 y 2006 por lo que se le considera estable. El perfil muestra una amplitud de playa de 28 m en promedio y una pendiente de 11%. El gráfico de acumulación de material muestra una variación en el año 2007 donde se observa una pérdida de material en estiaje y lluvias de ese año (Figs. 51 y 52), lo que puede ser que esté empezando a variar de estable a ser una playa erosiva.

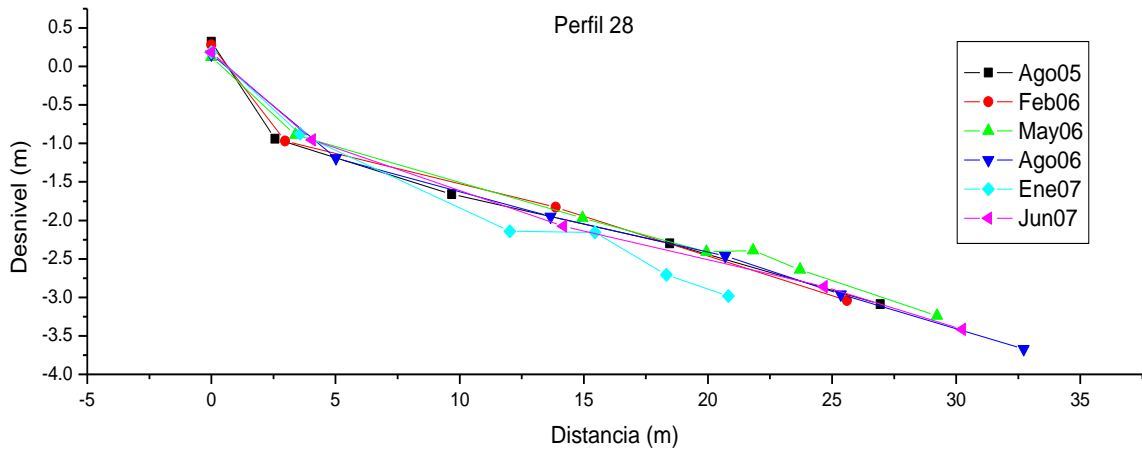


Figura 51. Diagrama del perfil 28, playa del Km 28 carretera Isla del Carmen-Champotón.

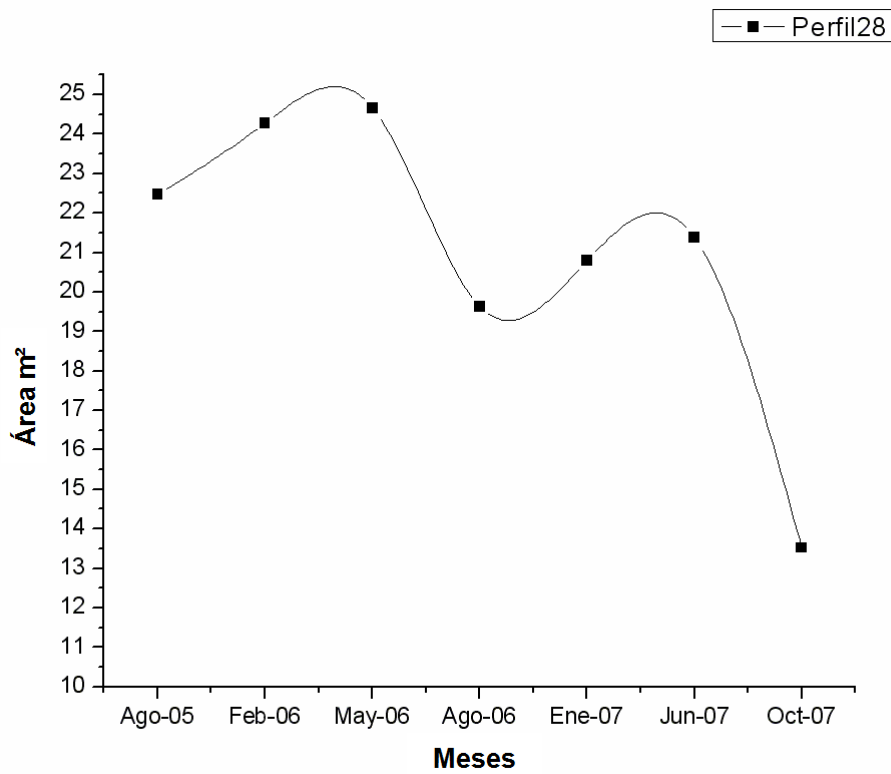


Figura 52. Diagrama de incremento y decremento de la sección transversal del perfil 28.

Playa 13. San Nicolasito: perfil 29 (Figura 53)



Figura 53. Playa San Nicolasito con barrera de palos y arena calcárea.

En los perfiles medidos desde lluvias 2005 hasta lluvias 2007 muestran una paulatina pérdida de playa. Morfológicamente esta playa presenta cambios considerables por lo que se le considera en erosión, como se observa en la gráfica de acumulación de materiales donde se nota pérdida de material entre 2005 y 2007 tal como sucede con la playa 12 del Km 28 de Cd. del Carmen-Champotón (Figs. 54 y 55). A pesar de presentar una barrera de palos para disminuir la energía del oleaje para favorecer el depósito de sedimentos es evidente la falta de los mismos.

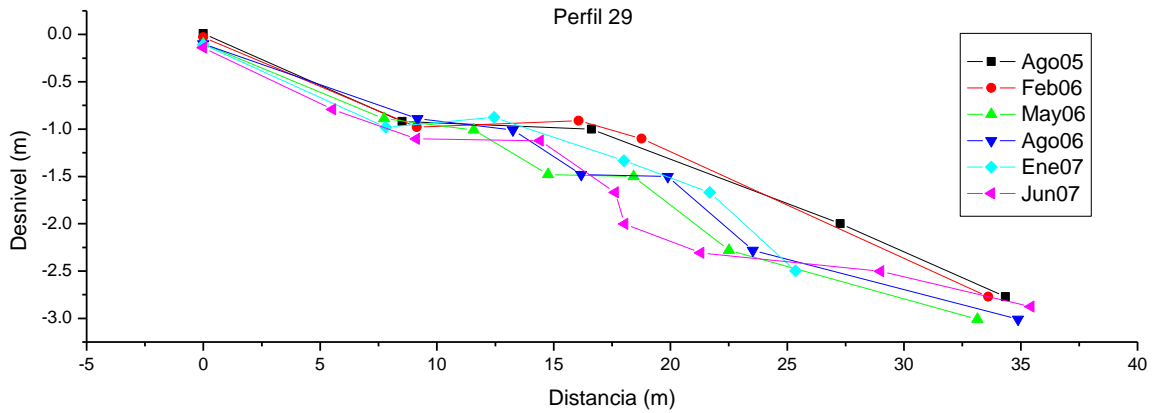


Figura 54. Diagrama del perfil 29 en la playa San Nicolasito.

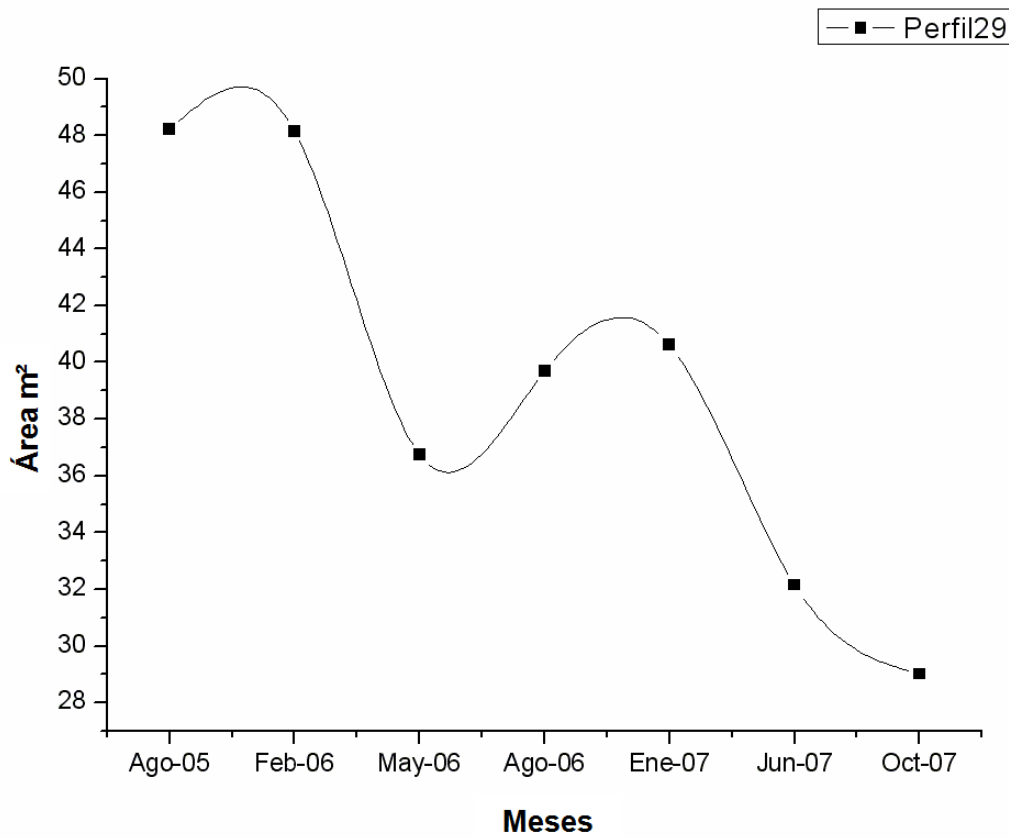


Figura 55. Diagrama de incremento y decremento de la sección transversal del perfil 29.

Playa 14. Punta Real: perfiles 30, 31 y 32 (Figura 56).



Figura 56. Playa Punta Real con presencia de roca de playa en la zona de infraplaya.

En esta localidad se conservó la misma morfología en los dos ciclos de muestreo debido principalmente a que se encuentra sobre una plataforma rocosa en la zona de infraplaya, lo que protege su porción arenosa. La amplitud promedio de la playa, incluida la parte rocosa, es de 50m. Las pendientes obtenidas en los diferentes muestreos son similares en cada perfil, por lo que se le considera estable, aunque el comportamiento temporal de sus perfiles no siga un patrón determinado, como se observa en el gráfico de áreas (Figs. 57 y 58), donde los perfiles 30 y 32 se comporta muy similares con excepción de nortes de 2006 y el perfil 31 se comporta inversamente, es decir, cuando este perfil acumula los otros erosionan lo que indica una gran variabilidad del movimiento de transporte de sedimentos por cambios en el oleaje al localizarse esta playa en una punta.

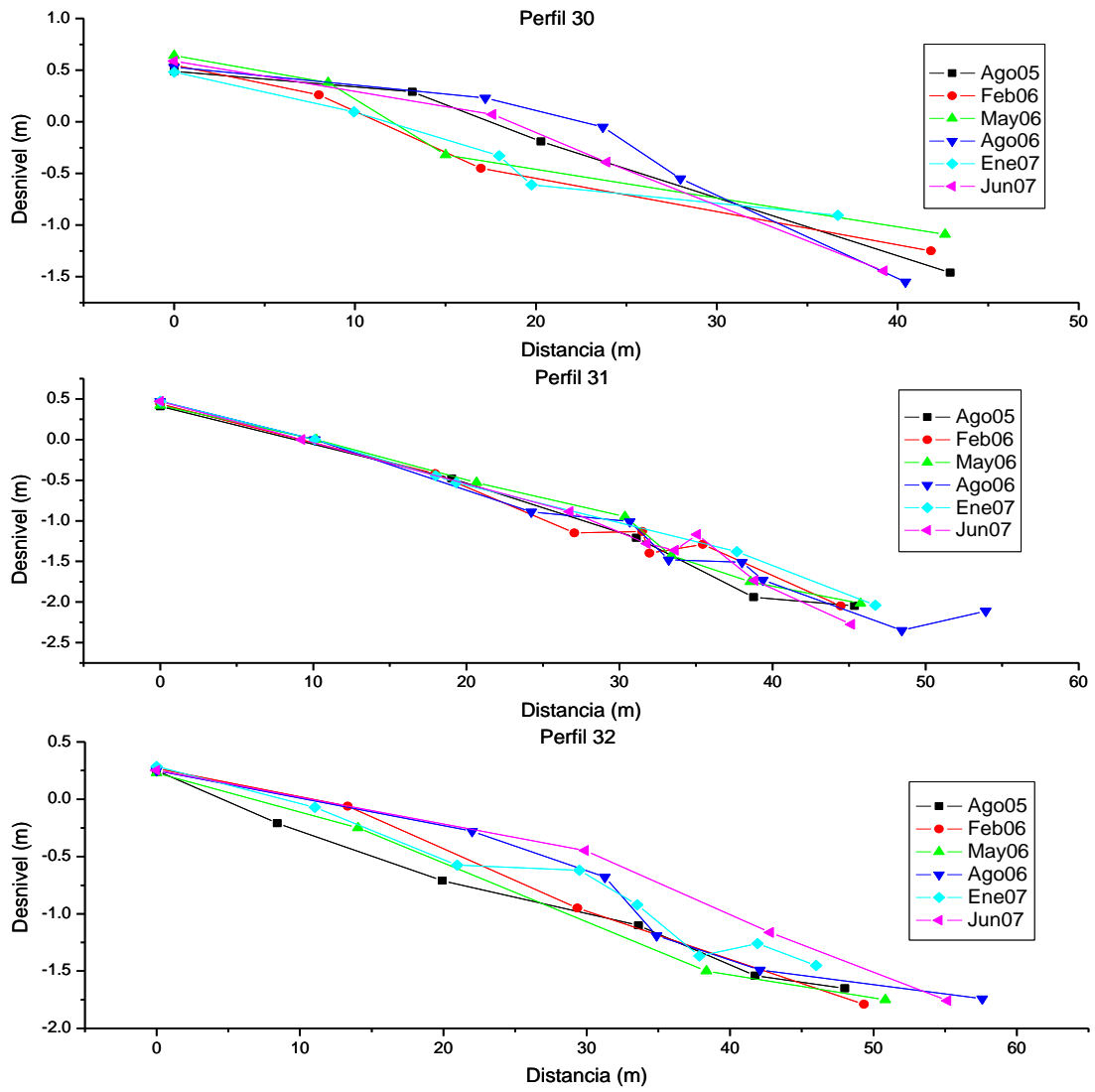


Figura 57. Diagrama de los perfiles 30, 31 y 32 de la playa Punta Real.



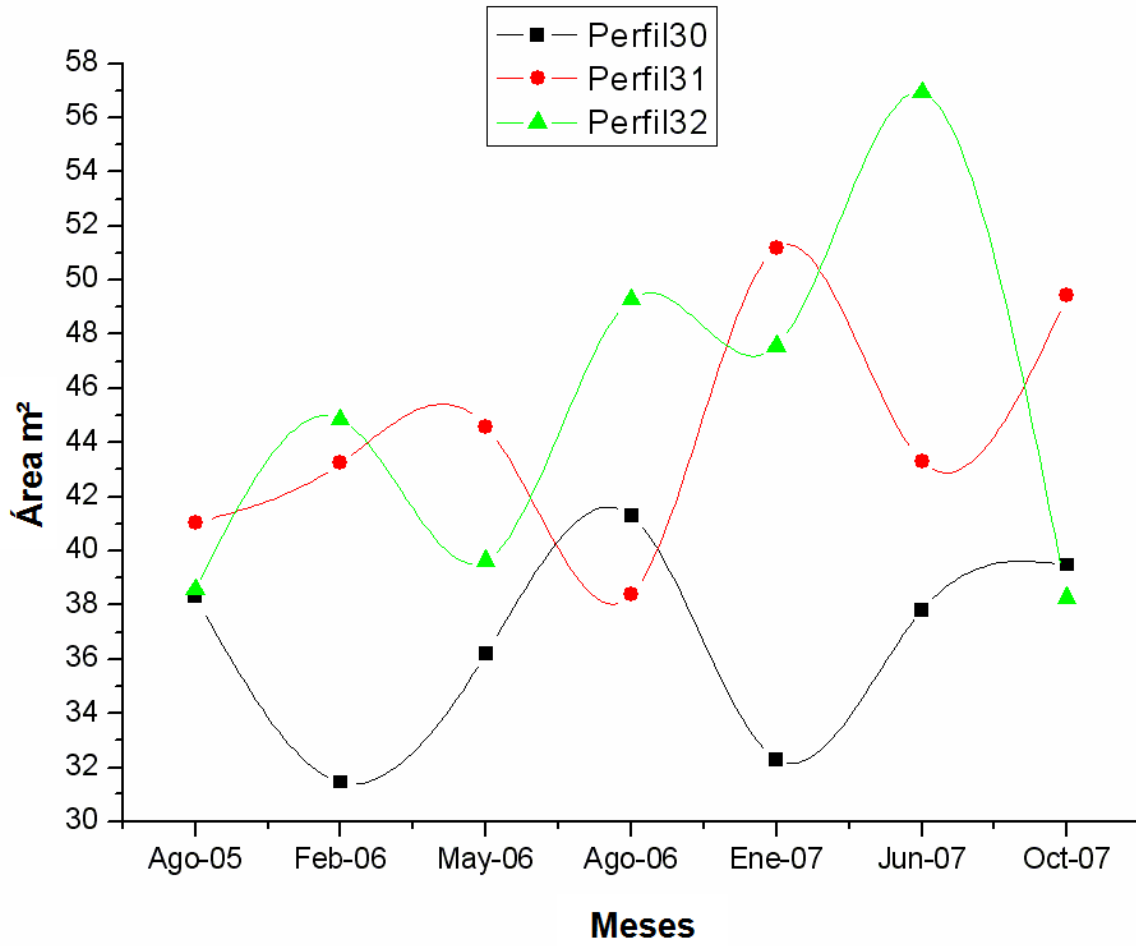


Figura 58. Diagrama de incrementos y decrementos de las secciones transversales de los perfiles 30,31y 32.

Playa 15. Isla Aguada: perfil 33 (Figura 59)



Figura 59. Playa Isla Aguada una de las más extensas y de origen calcáreo.

Esta playa con amplitud promedio de 85 m, tiene una pendiente promedio de 2.5%. En el último muestreo se observó una disminución de material en la zona de infraplaya, pero en general se le puede considerar como estable (Figs. 60 y 61). La relativa estabilidad de esta playa se debe a un gran aporte de sedimentos que hubo durante lluvias del año 2006, ya que el proceso de erosión fue constante para el año del 2007, sin embargo, esta playa al recibir arena por transporte litoral desde Sabancuy hace que sea una de las playas más extensas del área de estudio.

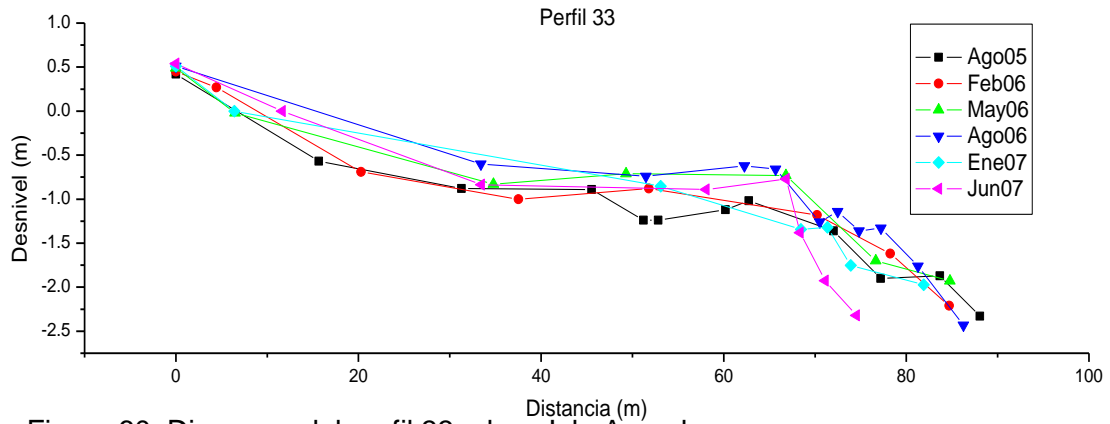


Figura 60. Diagrama del perfil 33, playa Isla Aguada.

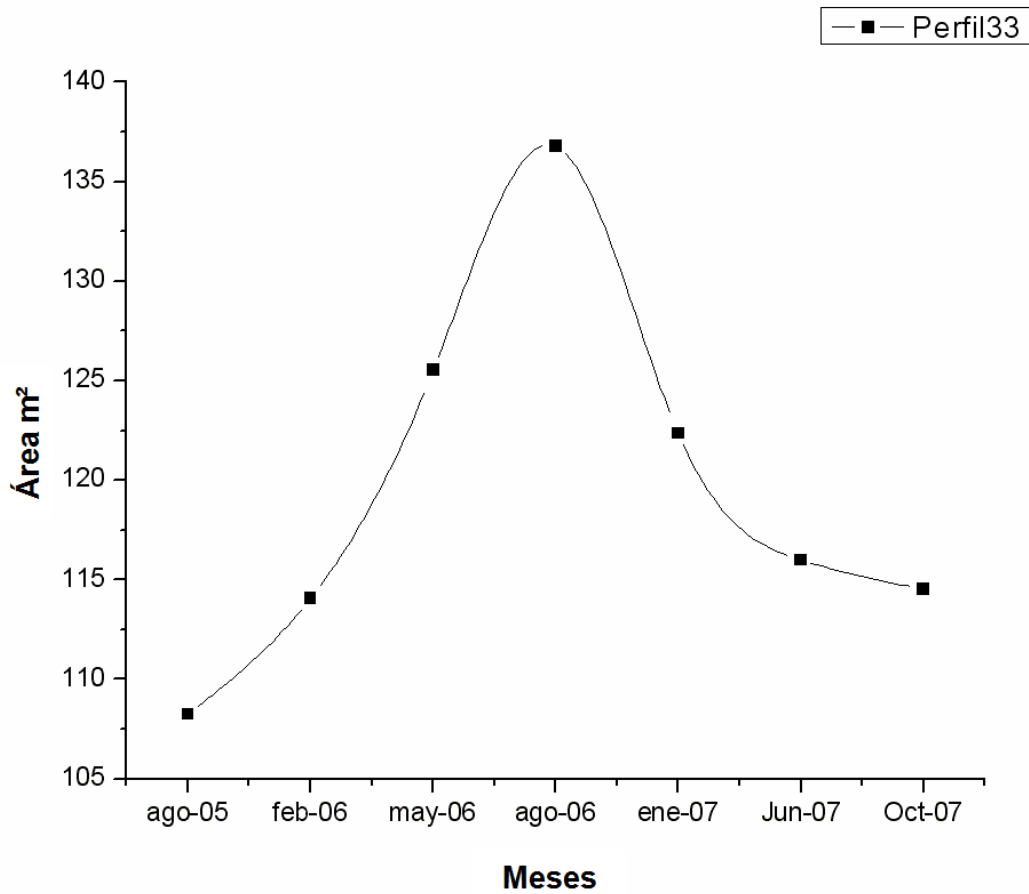


Figura 61. Diagrama de incremento y decremento de la sección transversal del perfil 33.

Playa 16. Km. 54 Carretera Cd. del Carmen a Champotón: perfil 34 (Figura 62)



Figura 62. Playa en el Km. 54, carretera Cd. del Carmen-Champotón.

La morfología de esta playa no presenta cambios significativos, pero si un comportamiento cíclico, con una acumulación considerable en nortes en 2007, aunque en estiaje y en lluvias de 2007 vuelve a perder material en un transporte mar-tierra, por lo que se le considera estable. (Figs. 63 y 64). Esta playa presenta una berma de tormenta estabilizada con vegetación rastrera, donde además no se observa ningún obstáculo en el transporte litoral. Su estabilidad depende de las variaciones energéticas y del aprovisionamiento de arena a esta playa ya sea vía transporte litoral desde Sabancuy y del transporte mar-tierra.

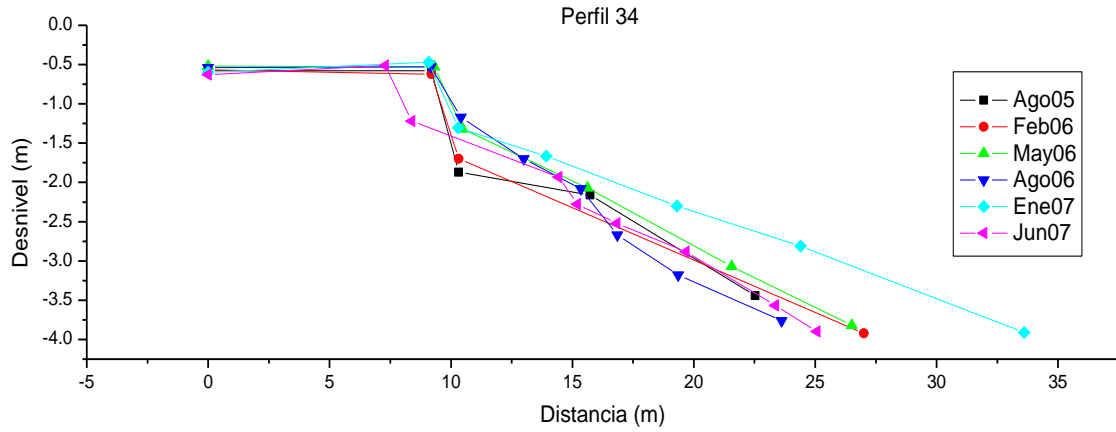


Figura 63. Diagrama del perfil 34, playa Km 54 carretera Cd. del Carmen a Champotón.

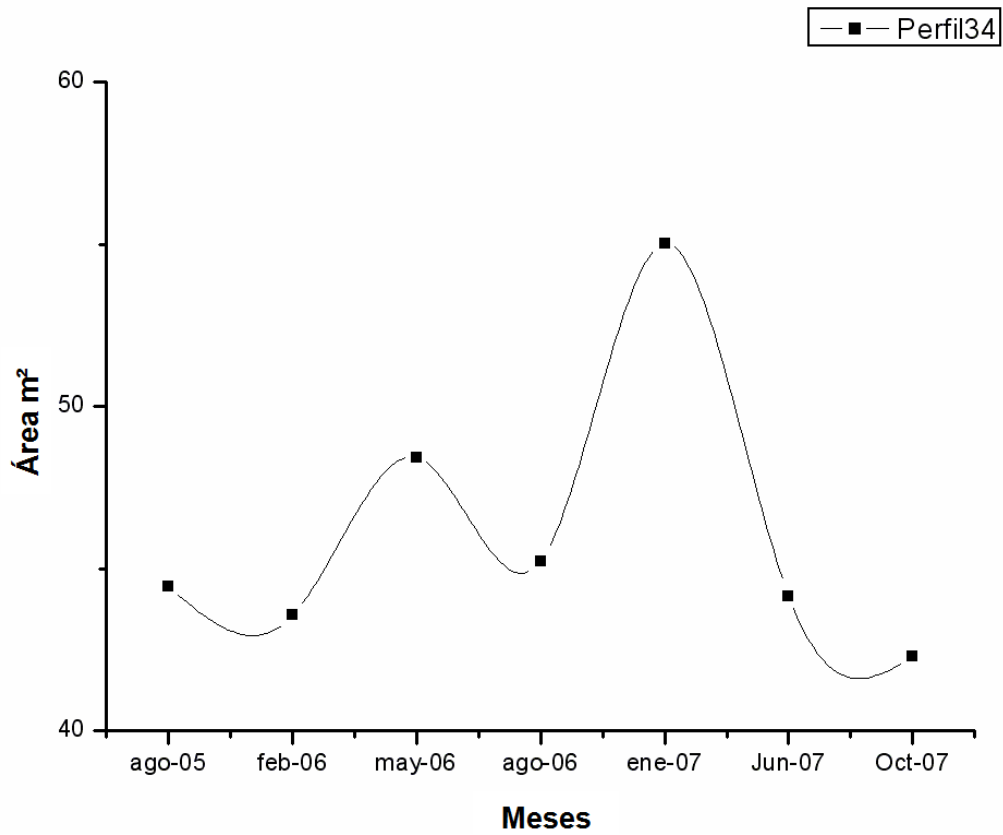


Figura 64. Diagrama de incremento o decremento de la sección transversal del perfil 34.

Playa 17. Sabancuy, en Campamento tortuguero: perfil 35 (Figura 65)



Figura 65. Playa Sabancuy en una etapa erosiva en nortes 2006.

Este perfil tiene en promedio una pendiente de 10% y una amplitud promedio de 31 metros; no se observan variaciones morfológicas para ningún periodo de muestreo, por lo que esta playa se puede considerar estable, con comportamiento cíclico, con acumulación de material arenoso en nortes y disminución en estiaje (Figs. 66 y 67).

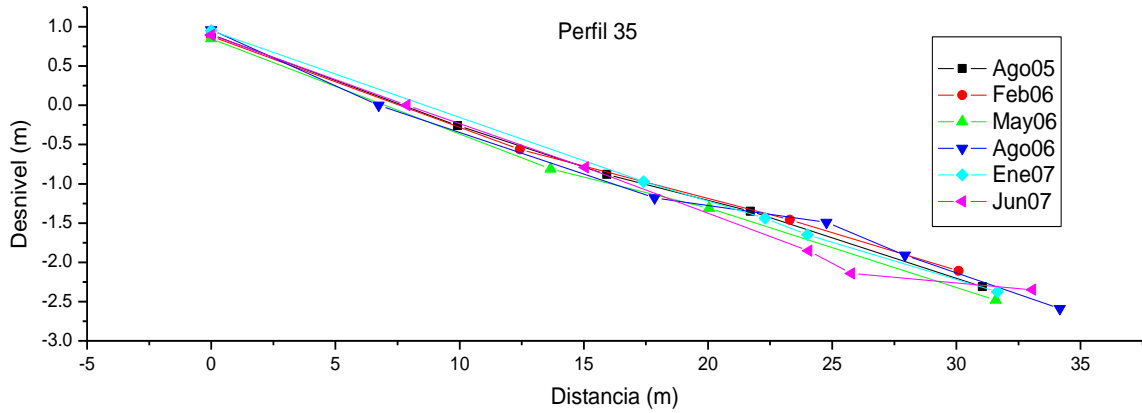


Figura 66. Diagrama del perfil 35, Playa Sabancuy.

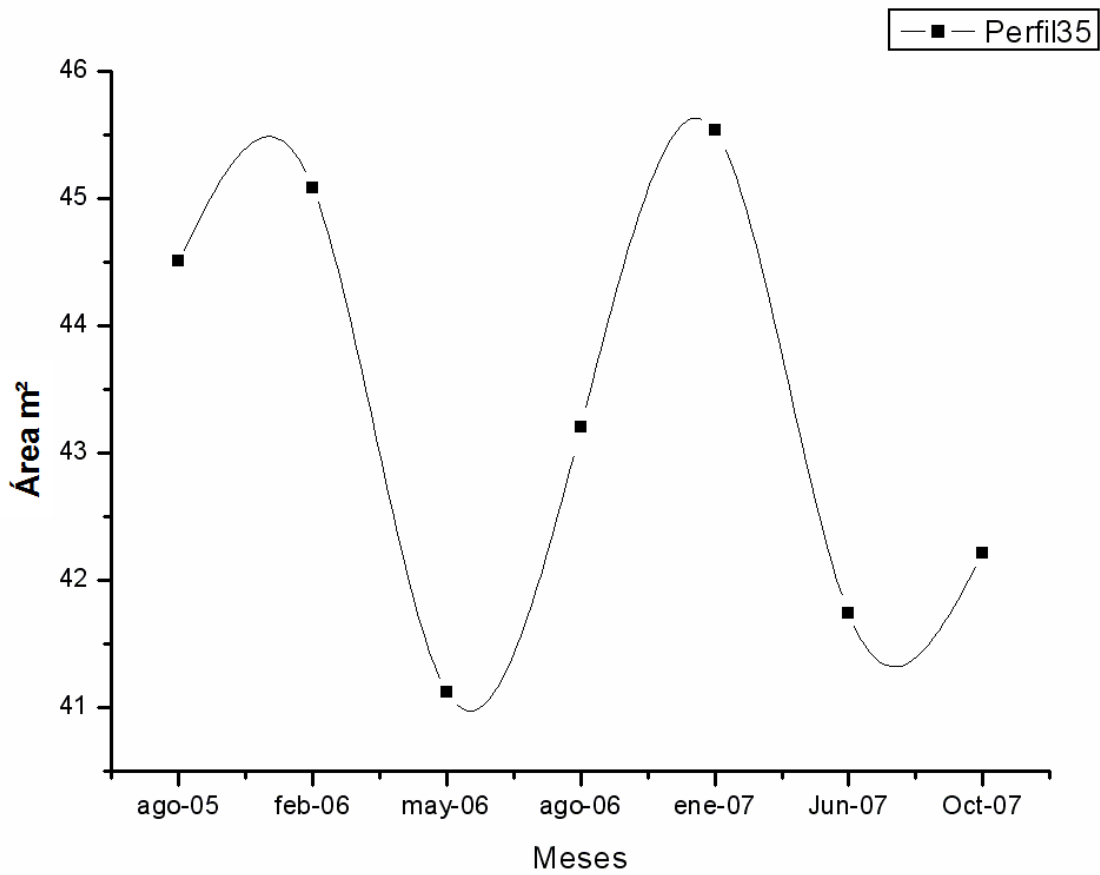


Figura 67. Diagrama de incremento y decremento de la sección transversal del perfil 35.



Playa 18. Chenkán en el campamento tortuguero: perfil 36 (Figura 68)



Figura 68. Playa Chenkán frente al campamento tortuguero.

En esta playa se observa una pérdida de material en la zona entre mesoplaya e infraplaya en todos los muestreos, por lo que se considera que es una playa en proceso continuo de erosión, como lo demuestra también el diagrama de incremento y decremento de su sección transversal (Figs. 69 y 70). Independientemente de los cambios energéticos por cuestiones meteorológicas, aparentemente la pérdida de arena por el transporte litoral sea la causa principal de erosión en esta playa lo cual puede ser por la interrupción del transporte litoral por la presencia de tetrápodos localizados a 10 Km al noreste de esta playa.



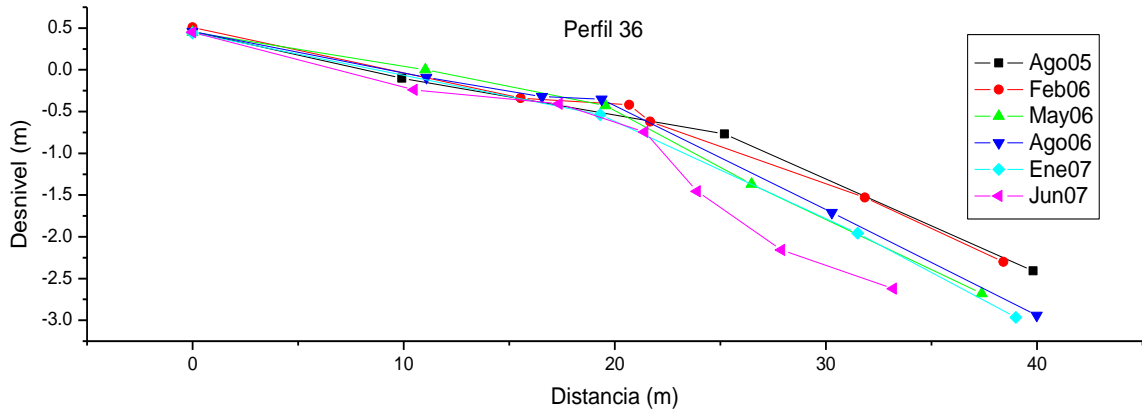


Figura 69. Diagrama de desnivel del perfil 36, playa Chenkan.

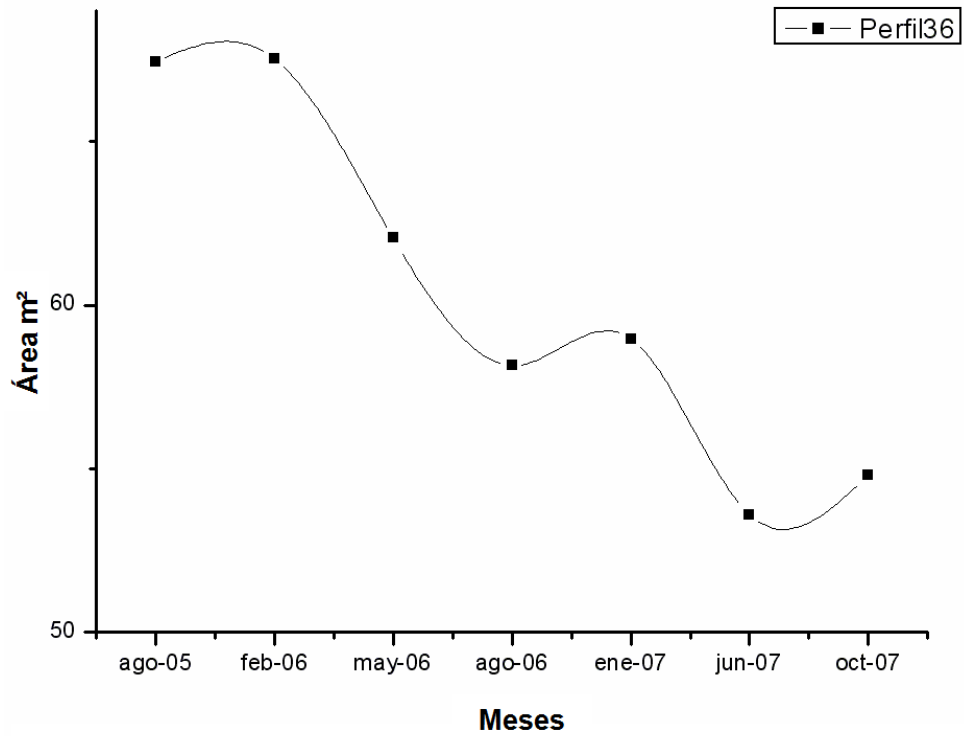


Figura 70. Diagrama de incremento y decremento de la sección transversal del perfil 36.

Playa 19. El Hueso, perfil 37 (Figura 71).



Figura 71. Playa El Hueso compuesta de material calcáreo.

Este perfil tiene una respuesta cíclica. Se observa una pérdida de material en el periodo de nortes y acumulación en lluvias, esta playa tiene y conserva su misma morfología, con una amplitud promedio de 37 m y una pendiente promedio de 5 %, por lo que se considera como estable (Figs. 72 y 73). Esto se debe principalmente el aporte de sedimentos en época de lluvias de un canal de desagüe de la zona de manglar presente a unos metros al norte de esta playa junto con el transporte litoral procedente del Noreste.

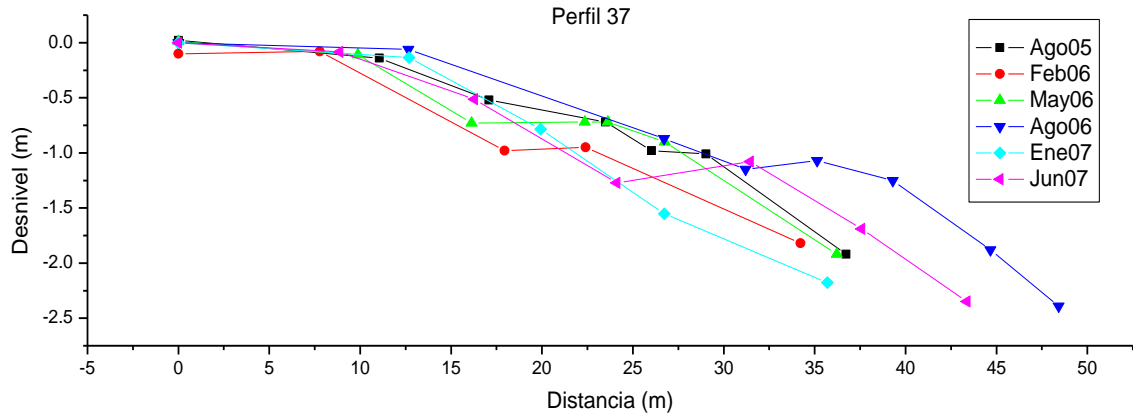


Figura 72. Diagrama de desnivel el perfil 37, playa El Hueso.

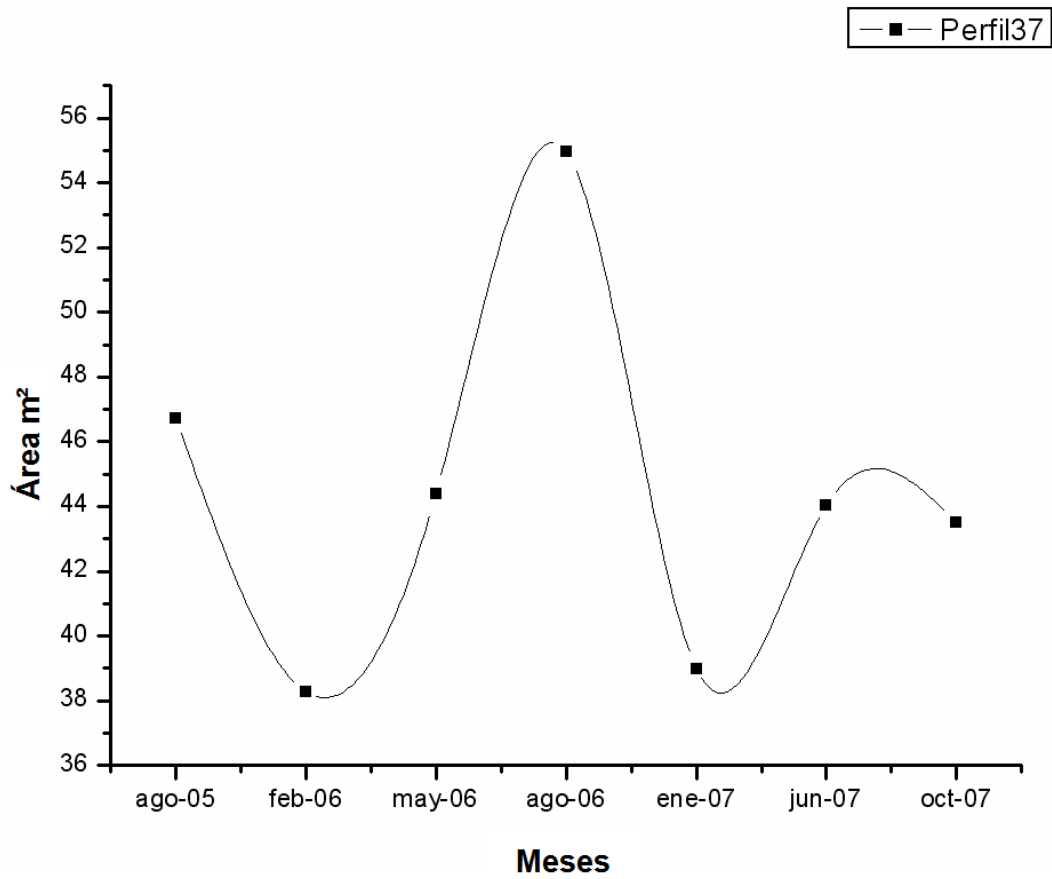


Figura 73. Diagrama de incremento y decremento de la sección transversal del perfil 37.

Playa 20. Km. 134 Carretera Cd. del Carmen-Champotón: perfil 38 (Figura 74).



Figura 74. Playa Km. 134, carretera Cd. del Carmen-Champotón con presencia de roca de playa en la zona de infraplaya.

Este perfil conserva sus mismas características durante todos los muestreos, una amplitud de playa de 25 metros y una pendiente homogénea 9.8%. No se observa pérdida de material ni cambios significativos en las pendientes, por lo que esta playa se considera como estable. En el gráfico de áreas se puede observar que esta playa tiene una respuesta cíclica, disminución de material en nortes y acumulación en lluvias (Figs. 75 y 76). En la mesoplaya aflora un sustrato rocoso a lo largo del litoral, y en su supraplaya se tiene una estabilidad por la vegetación rastrera, por lo que las variaciones de esta playa se presentan en la zona de infraplaya con movimiento de material en pequeñas cantidades. Aparentemente esta playa es la fuente de sedimentos que se transportan hacia el suroeste por la corriente litoral.

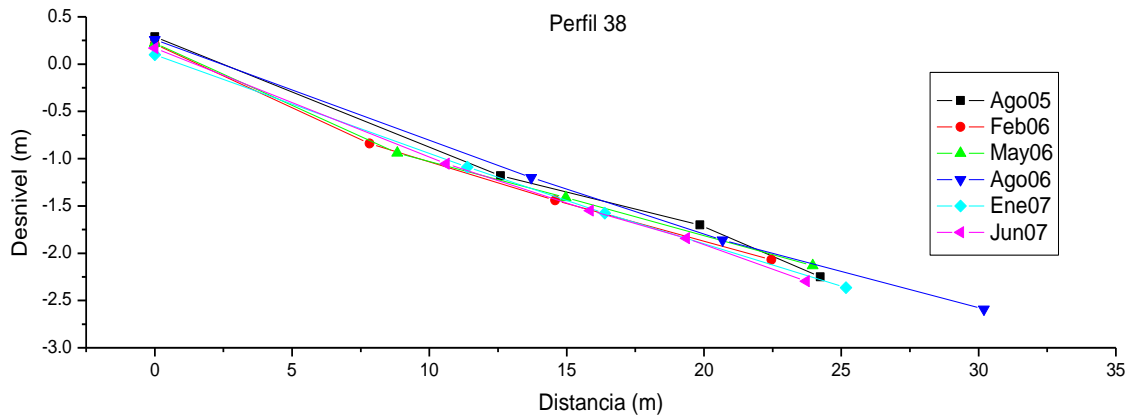


Figura 75. Diagrama del perfil 38, playa Km 134 carretera Cd. del Carmen-Champotón.

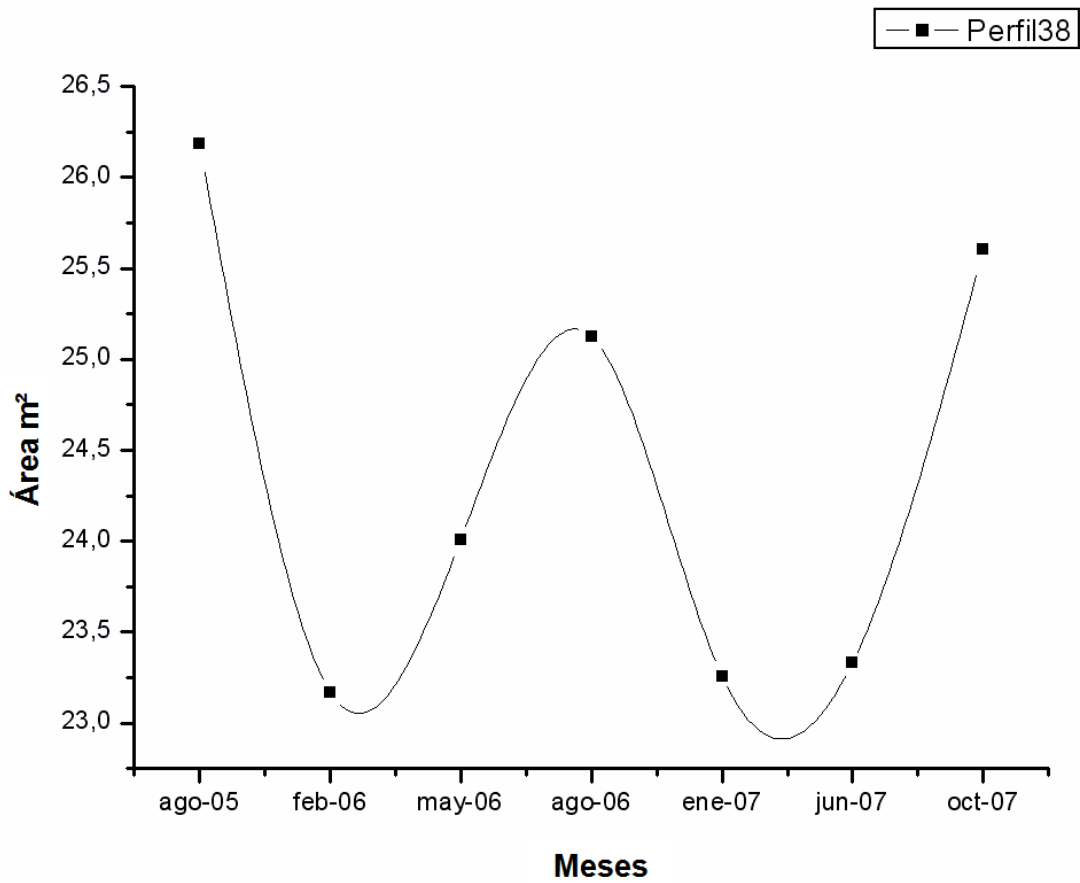


Figura 76. Diagrama de incremento o decremento de la sección transversal del perfil 38.

Playa 21. Champotón, perfiles 39, 40 y 41 (Figura 77)



Figura 77. Playa Champotón angosta con espigones y roca de playa.

Formada principalmente por materia rocosa, los perfiles tienen una morfología muy similar en todos los levantamientos, tienen una amplitud promedio de 16 m y una pendiente promedio de 20%. Esta pendiente tan alta es debido a que forma parte del área de protección del malecón de la ciudad de Champotón. Del gráfico de áreas bajo la curva se observan cambios muy pequeños que no llegan al medio metro cuadrado por lo que se considera como estable (Figs. 78 y 79). Es importante mencionar que a pesar de tener la presencia del río Champotón a unas decenas de metros, la influencia de su aporte de sedimentos es nulo para esta playa por la presencia de espigones, muelles y obras en la zona urbana quedando el poco material fluvial calcáreo en la desembocadura del río.



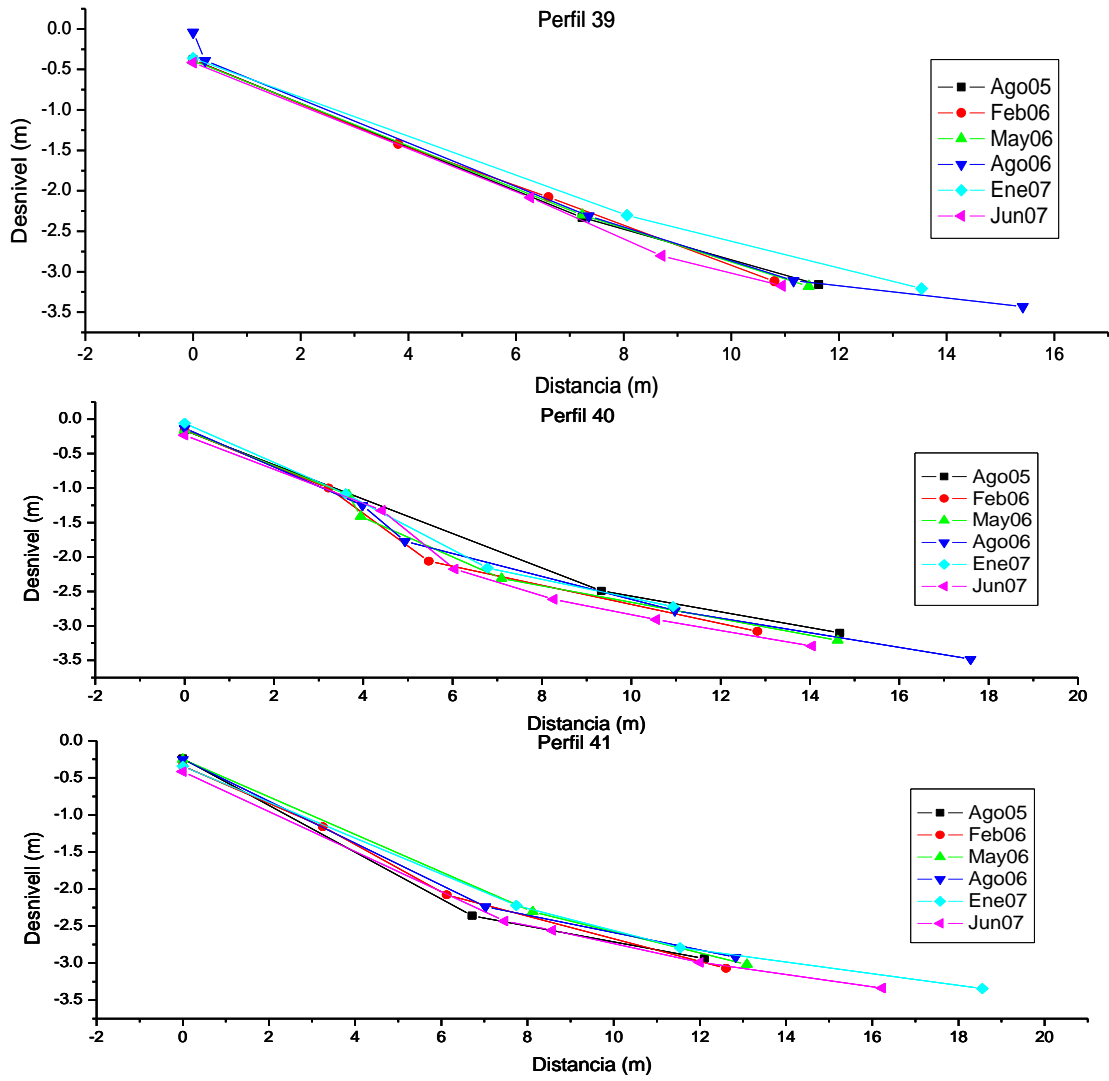


Figura 78. Diagrama de los perfiles 39, 40 y 41, playa Champotón.



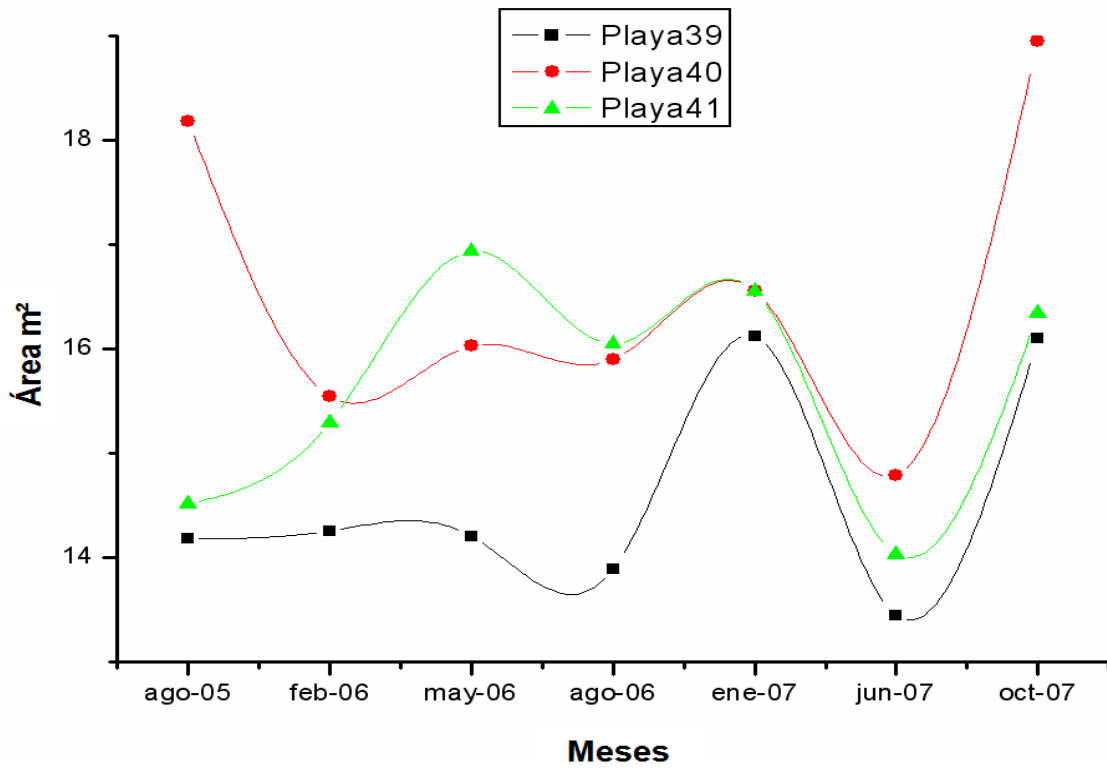


Figura 79. Diagrama de incrementos y decrementos de las secciones transversales de los perfiles 39, 40 y 41.

Playa 22. Punta la Disciplina, perfil 42 (Figura 80)



Figura 80. Playa Punta la Disciplina con destrucción de manglar por erosión.

Este perfil (Figura 81) muestra una playa que tiene un proceso de erosión continuo, y se hace evidente en los escalones que se observan entre la zona de mesoplaya e infraplaya. Cabe aclarar que este perfil se encuentra en el límite de la brecha de acceso a este lugar, por lo que la parte de supraplaya es el límite del terraplén de la vía de acceso. Se observa en el gráfico de áreas de incrementos y decrementos que en los últimos muestreos (nortes, estiaje y lluvias de 2007) existió una pérdida de material mayor respecto a los muestreos anteriores (Figura 82). Esta playa es una de las más afectadas por la erosión debido a que se localiza en la punta de la Península de Atasta donde el oleaje y corrientes litorales inciden directamente en suelos de manglar.

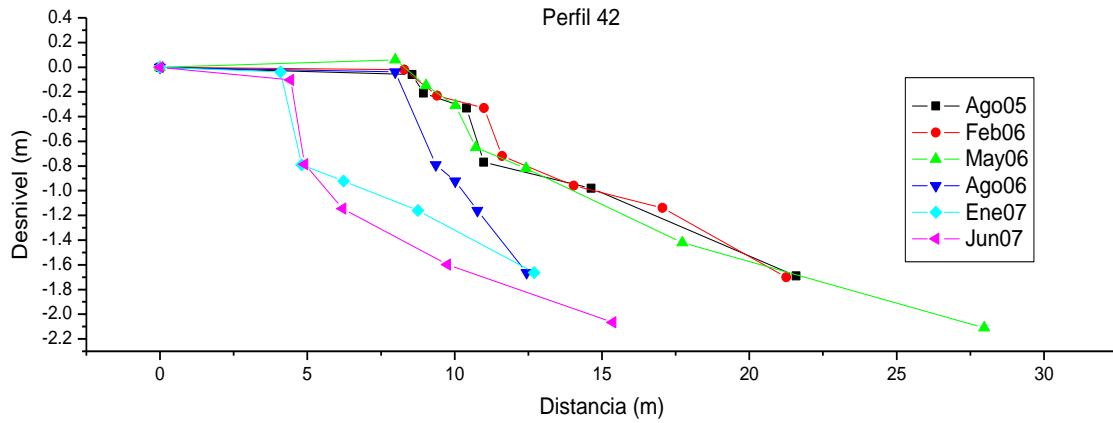


Figura 81. Diagrama del perfil 42, Playa Punta La Disciplina

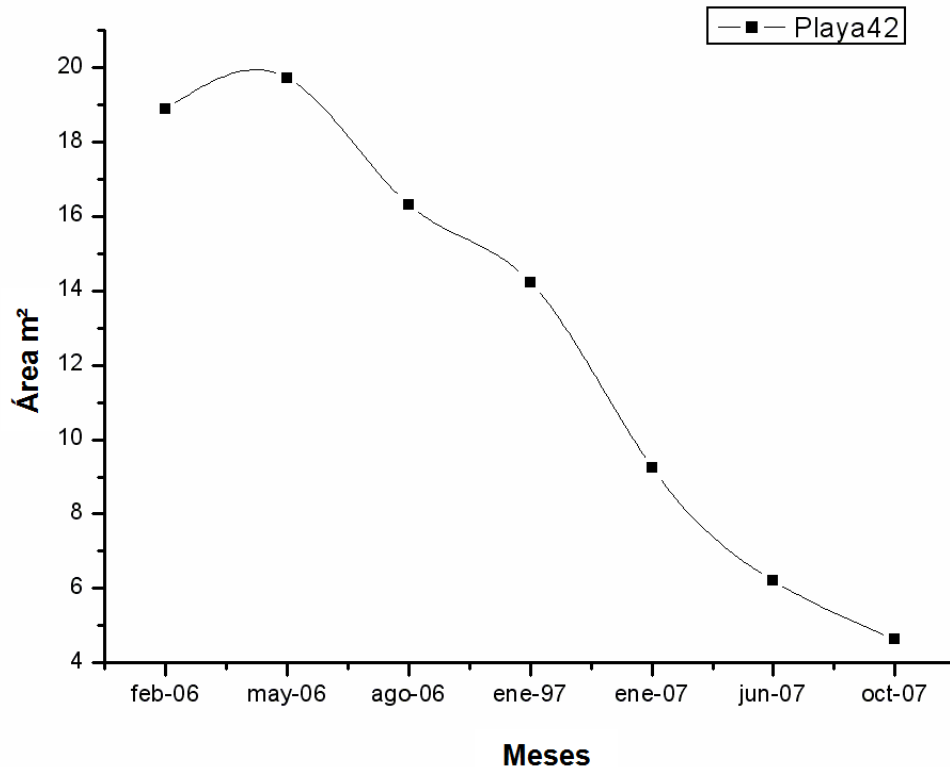


Figura 82 Diagrama de incrementos y decrementos de la sección transversal del perfil 42. Nota.- Las playas 23 a 27 se adicionaron para su medición a partir del periodo de estiaje 2006. Ya que en el trabajo de campo se identificaron como posibles sitios críticos por erosión.

Playa 23. CONANP 1, perfil 43 (Figura 83)



Figura 83. Playa CONANP 1 con escarpe de erosión.

Esta playa se encuentra a un par de kilómetros al Norte del campamento tortuguero de Chenkan donde se observa un proceso de acumulación en el periodo de estiaje al de lluvias del 2006 y erosión en nortes 2007, es una playa con relativa estabilidad y de comportamiento cíclico (Figs. 84 y 85), lo que muestra que en la zona se tiene un aporte de sedimentos por el transporte litoral y oleaje que alimenta a la playa en las épocas de lluvias y estiaje y en nortes se erosiona cuando se presenta la mayor actividad energética.

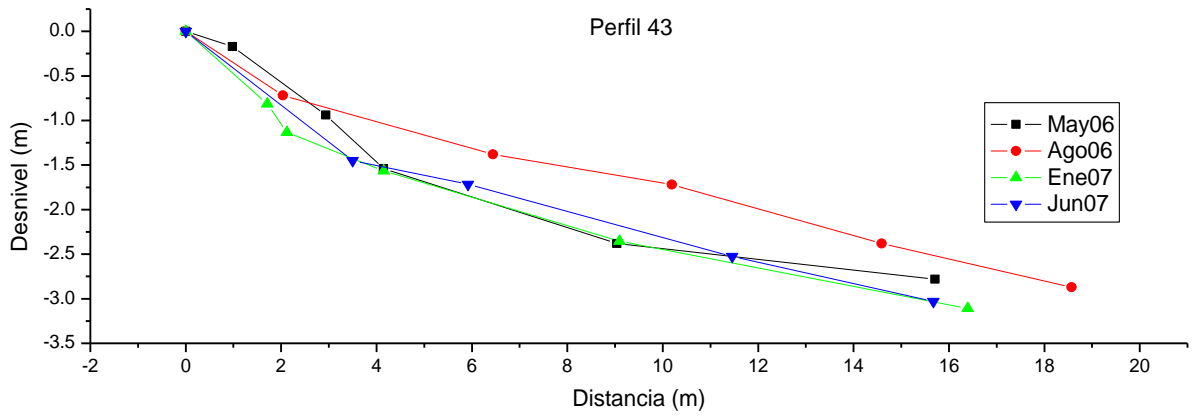


Figura 84. Diagrama del perfil 43; playa CONANP 1.

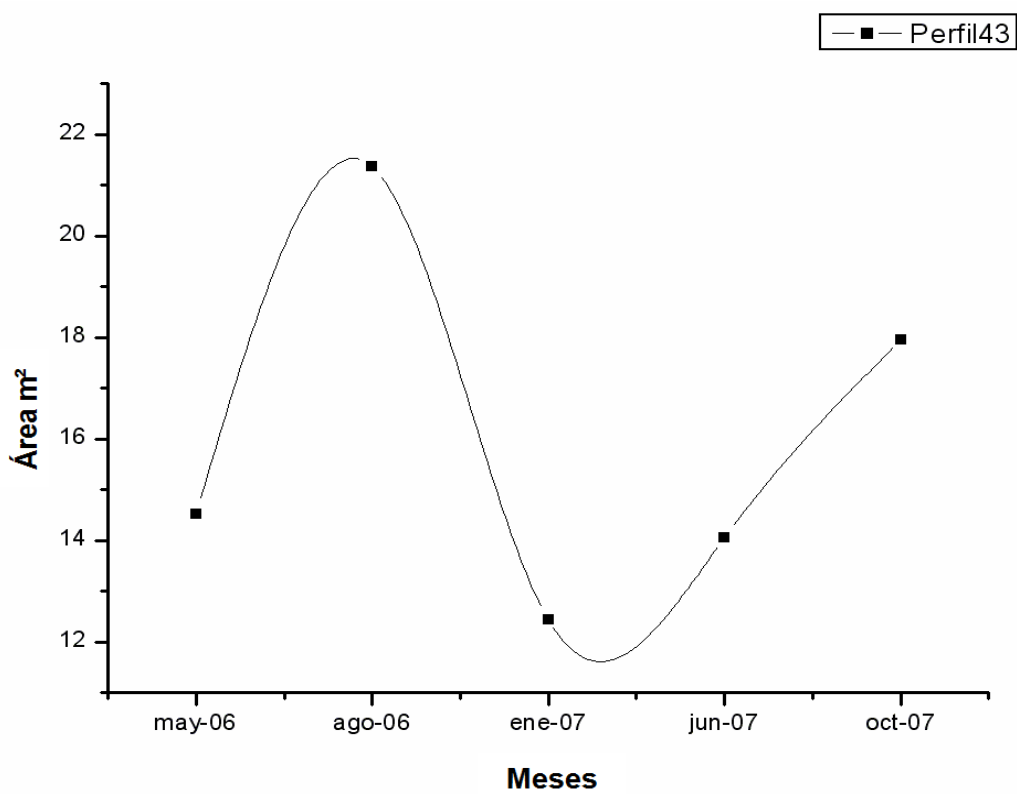


Figura 85. Diagrama de incremento y decremento de la sección transversal del perfil 43.



Playa 24. CONANP 2, perfil 44, 45 y 46 (Figura 86)



Figura 86. Escape de erosión presente en la playa CONANP 2.

Localizada en el km 45 de la carretera de Cd. del Carmen a Champotón, esta playa ha sufrido erosiones muy fuertes modificando sustancialmente su configuración con una gran pérdida de área (Figs. 87 y 88), los primeros perfiles medidos en el periodo de estiaje y lluvias 2006, no se pueden comparar con los dos siguientes muestreos, pues se reubicaron los perfiles debido a la fuerte erosión que se aprecia en la figura 89, donde se puede observar la ubicación de los puntos de muestreo en planta, y se observa el retroceso de la línea de costa en 10 a 15 m. Los perfiles medidos en nortes y estiaje 2007 ya pueden ser comparados entre sí, y los resultados indican que sigue habiendo un proceso de erosión, sobre todo en las zonas de mesoplaya e infraplaya. Este punto en particular sufre una fuerte erosión ya que coincide con la terminación de una serie de espigones que se localizan en el área y han frenado el transporte litoral de sedimentos ocasionando una fuerte y rápida erosión de la playa.

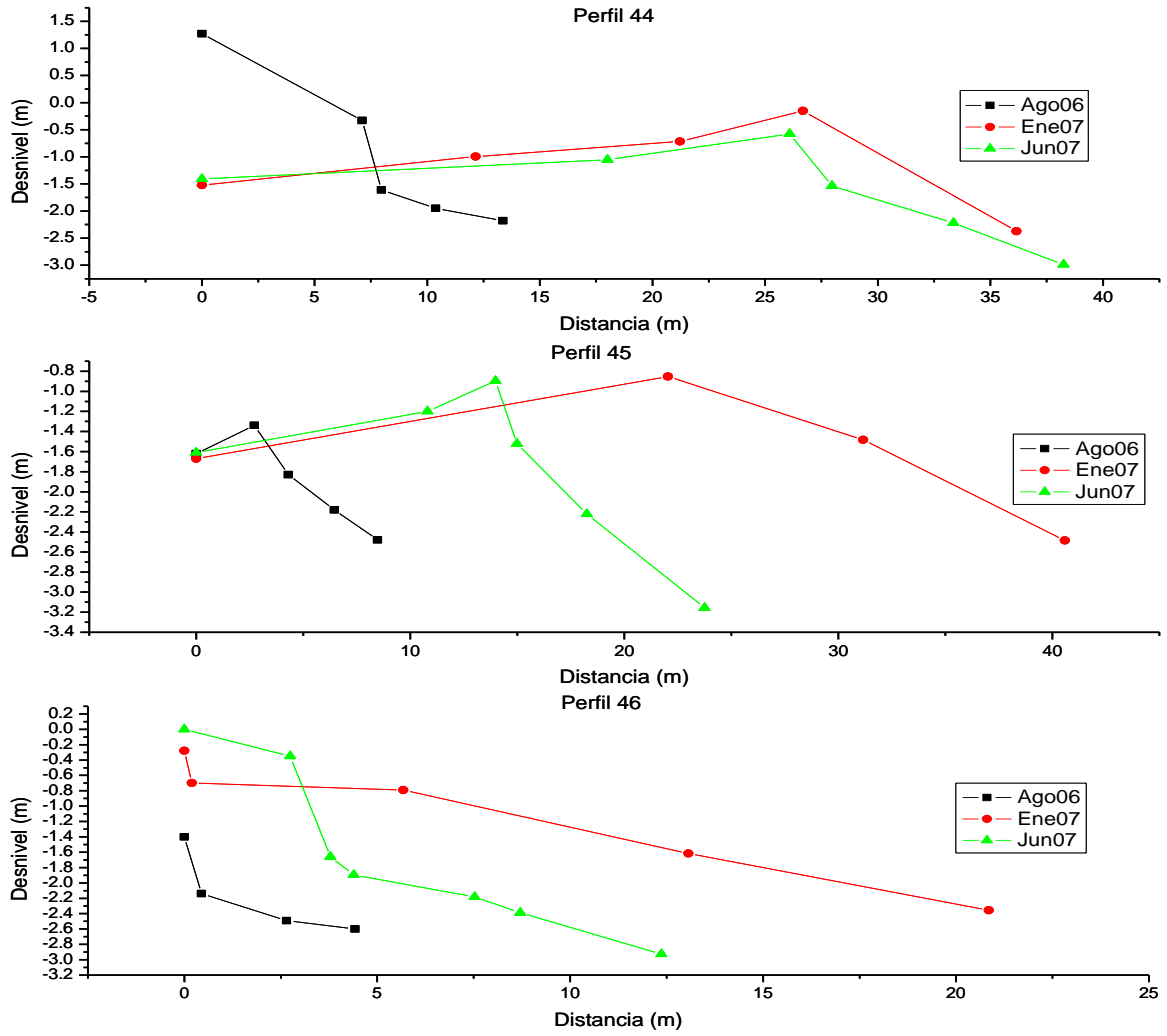


Figura 87. Diagrama de los perfiles 44, 45 y 46, playa CONANP 2.



TESIS DOCTORAL

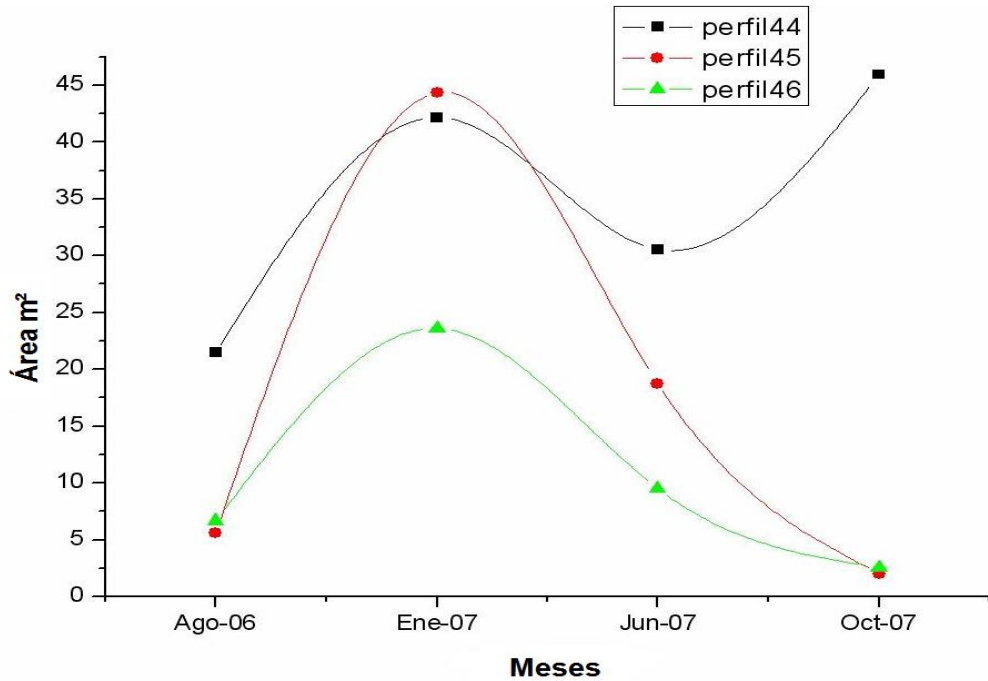


Figura 88. Diagrama de incrementos y decrementos de las secciones transversales de los perfiles 44,45 y 46.

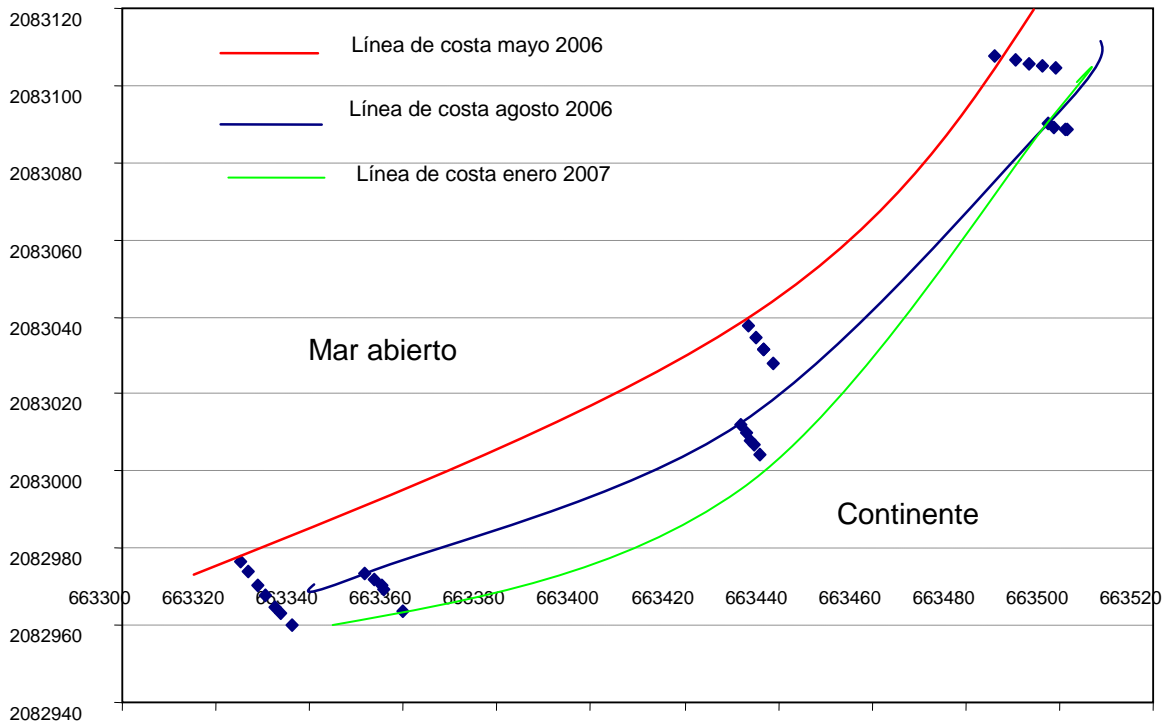


Figura 89. Diagrama de ubicación de los perfiles y bosquejo de la línea de costa para los muestreos de estiaje 2006 a nortes 2007 donde se observa un avance de la línea de costa hacia el continente de casi 40 m en 8 meses.

Playa 25. CONANP 3, perfil 47, 48 y 49 (Figura 90)



Figura 90. Playa CONANP 3 con fuertes escarpes de erosión en sedimentos calcáreos.

En esta playa localizada al Este de CASES en Isla del Carmen no se observan cambios significativos del periodo de estiaje al de lluvias, pero si se observa una acumulación de material para el periodo de nortes 2007 en los perfiles 47 y 48 y para el perfil 49 se aprecia una disminución de material, la parte Este de la misma es más estable que la Oeste (perfil 47) (Figs. 91 y 92).

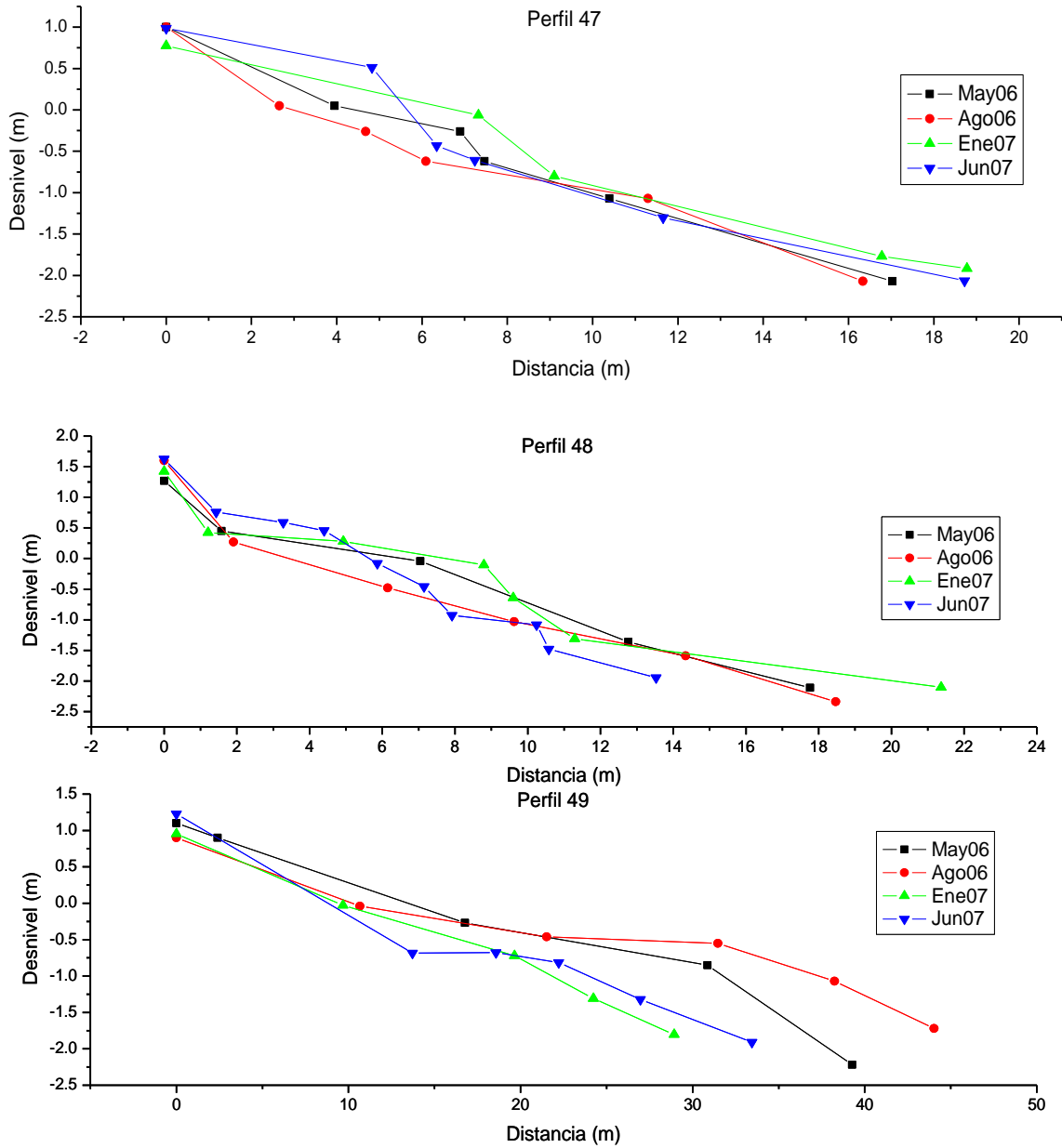


Figura 91. Diagrama de los perfiles 47, 48 y 49, playa CONANP 3.

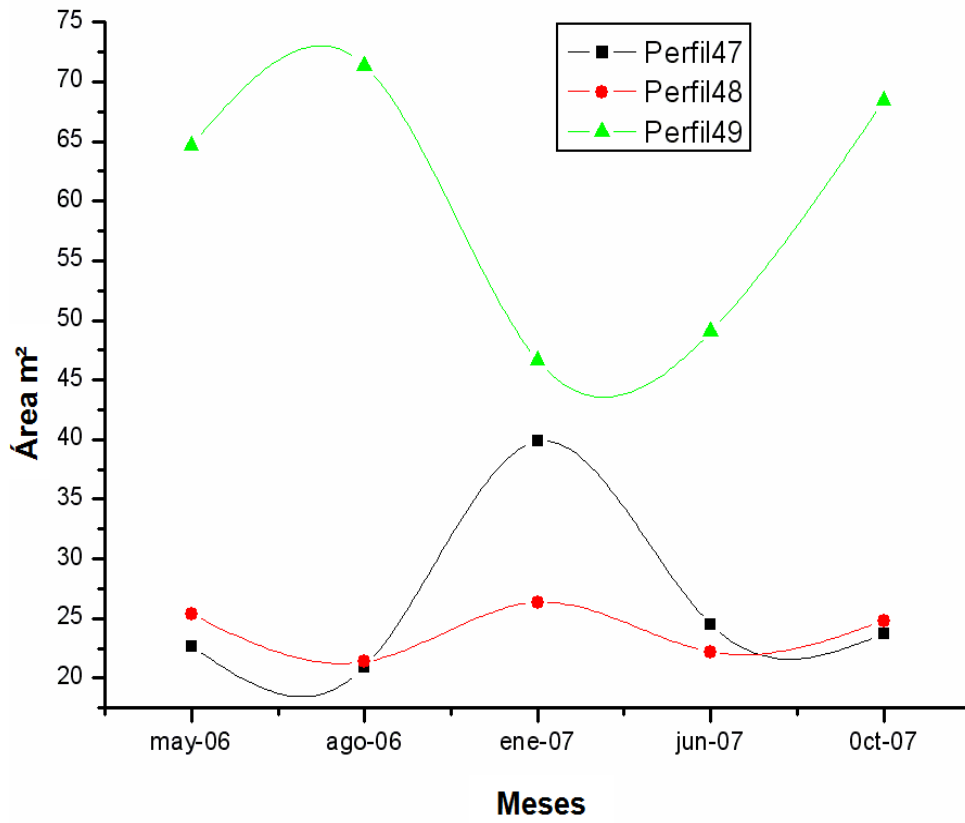


Figura 92. Diagrama de incrementos y decrementos de las secciones transversales de los perfiles 47,48 y 49.

Los perfiles que a continuación se describen se anexaron en el último y penúltimo muestreo por lo que solo se describen espacialmente y no en tiempo.

Playa 26. CONANP 4 perfil 50 (Figura 93)



Figura 93. Playa CONANP 4 con erosión en la zona de mesoplaya.

Este perfil se ubicó en una playa de arribazón de tortugas, al Sur del campamento tortuguero de Chenkán donde se observó una pérdida de material en el periodo de nortes 2007, el cual se hace evidente en la zona de infraplaya en la que se observa un escalón con un desnivel de 1.5 m, para el muestreo de estiaje 2007, hubo pérdida de material, pero no se observaron los escalones (Figura 94). Aparentemente la pérdida de material se debe a la acción del oleaje y a las corrientes en la época de nortes.

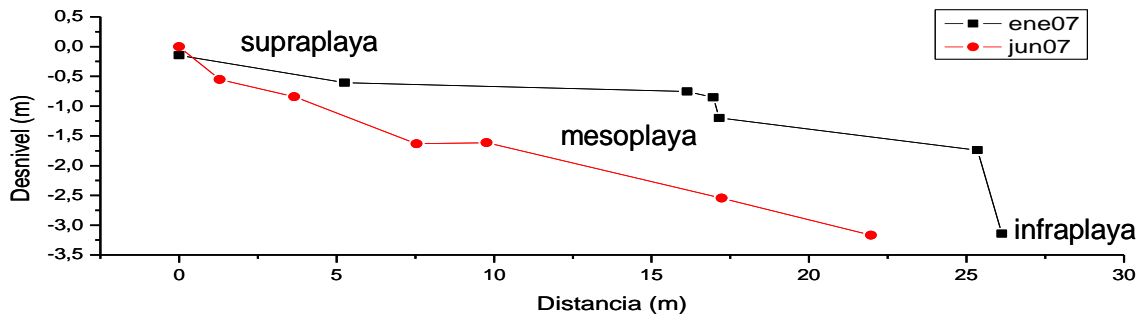


Figura 94. Diagrama del perfil 50, playa CONANP 4.

Playa 27. CAPA (Centro de Adiestramiento de Procesos Automatizados) Perfil 51, 52 y 53 (Figura 95).



Figura 95. Playa CAPA en la Boca de Sabancuy

Estos perfiles se ubican entre el campamento tortuguero y el faro en Sabancuy, en los tres perfiles con una distancia entre perfiles de 50 m (Figura 96), se observa un proceso de erosión en la zona de supraplaya donde se forma un escalón de 60 cm de desnivel. En términos generales esta playa tiene una amplitud promedio de 18 metros y una pendiente del 12 %.

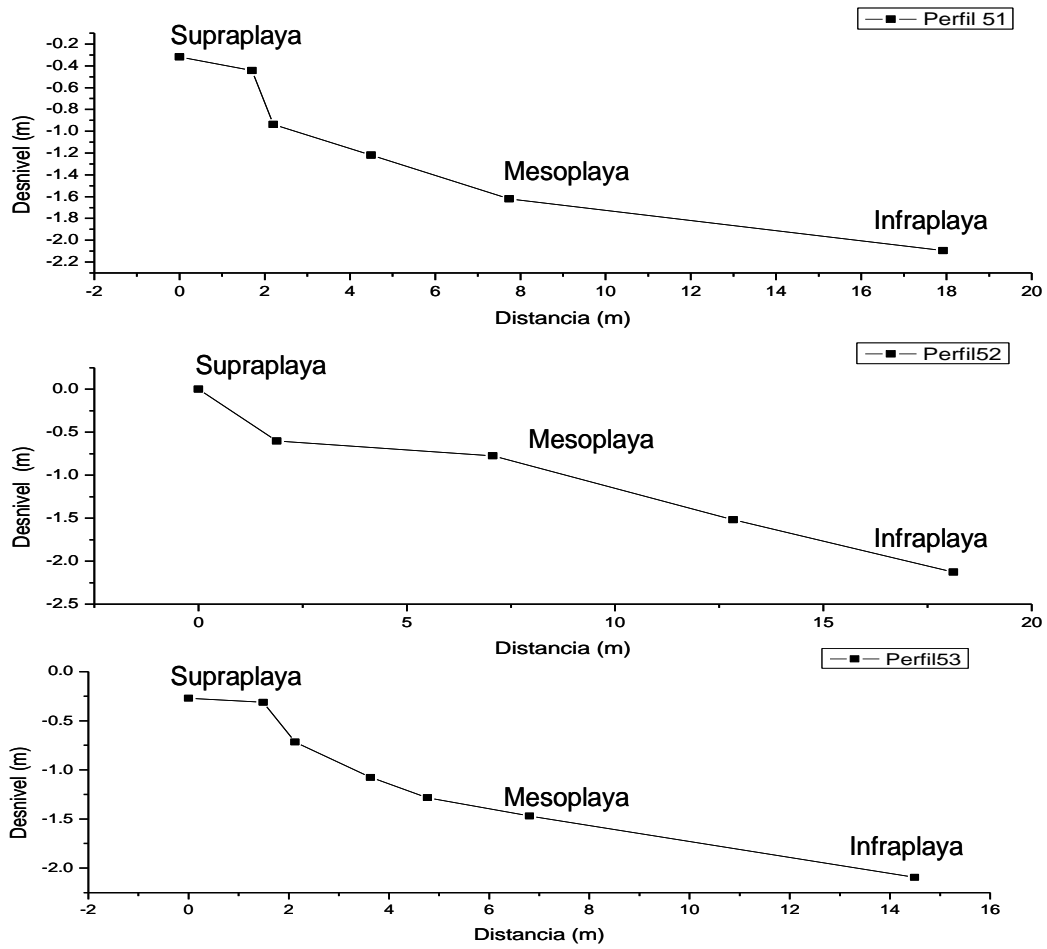


Figura 96. Diagrama de los perfiles 51, 52 y 53, playa CAPA.



**Síntesis de las variables morfológicas.**

Considerando los resultados de los levantamientos topográficos, de las diferencias de volumen de sedimentos por época y el balance estacional (ANEXO), junto con los resultados representados en el diagrama de variación volumétrica (Figura 97) , de manera general se nota que las mayores variaciones morfológicas de la zona litoral por pérdida o ganancia de volumen de sedimentos se tiene en CPTG-Atasta, Punta Disciplina, km 9 de la carretera Cd. del Carmen- Champotón, Club de Playa , CASES, y los sitios CONANP 1, 2, 3 y 4. Estos últimos cuatro, se monitorearon después de iniciar el estudio debido al cambio morfológico tan notorio que presentaban en campo. La playa con mayor variación volumétrica se encuentra asociada con la presencia de espigones que han retenido el transporte litoral, por otra parte esta variación, en la parte central de Isla del Carmen se debe a una disminución del transporte litoral de sedimentos, ya que estos quedan retenidos en la boca de Puerto Real, así como, en la playa localizada en la punta de la Península de Atasta el oleaje y corrientes inciden directamente causando cambios volumétricos de la playa.

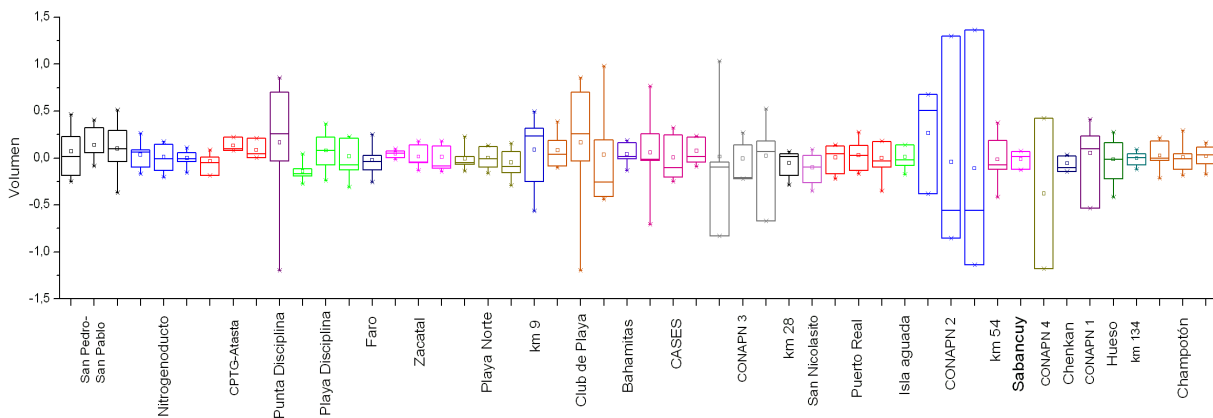


Figura 97. Diagrama de variación volumétrica (m<sup>3</sup>) de los perfiles de playa.

En San Pedro-San Pablo el balance de volúmenes es positivo, esto se debe a la dinámica que origina la desembocadura del río, el cual aporta material en la zona, el perfil 1 ubicado a la cercanía de la desembocadura permite observar la variabilidad estacional de la precipitación por ende del aporte de materiales teniendo acumulación de sedimentos en estiaje del 2006, erosión en lluvias del 2006, con acumulación en nortes y lluvias 2007 y erosión en nortes del 2007.

En la playa ubicada en Nitrogenoducto el balance de volumen y su poca variabilidad temporal permiten catalogarla como una playa estable. En esta playa no existen construcciones que alteren su dinámica y en la escala de tiempo medida (dos años) no se observaron cambios.

En la playa localizada frente a los ductos de CPTG-Atasta, el balance indica que existe una fuerte erosión del lado Oeste de los mientras que en lado Este se observó una acumulación, pues el ducto está funcionando como espigón, acumulando arena en un extremo por el aporte de sedimentos y dirección de la corriente y se erosiona el otro extremo ya que el aporte de sedimentos y corrientes se ven retenidos. Para este punto se estimó una pérdida de más de 50 m en el frente frío de noviembre del 2008.

En Punta la Disciplina, es el sitio que reportó mayor erosión, después del sitio denominado CONANP 2, esta erosión es constante como se puede ver en los valores obtenidos en la tabla de volúmenes por unidad de área del anexo 1, donde el balance entre periodos siempre es negativo. Esta erosión es causada por la corriente que incide en la Punta en todas las épocas, pero sobre todo en Nortes.

En los sitios Playa la Disciplina, Faro y Zacatal, el balance de volúmenes va de estable a pérdida de material, esta zona está influenciada por la dinámica hidrológica de la boca del Carmen. En playa Disciplina se notó un aporte de materiales biogénicos aportados por las corrientes y oleaje hacia la playa, inclusive se observó gran cantidad de residuos sólidos (basura) procedentes de Ciudad del Carmen, que son llevados hasta esta playa (Figura 98). En el sitio El Zacatal se encontraba encallado un buque carguero durante los periodos de medición, el cual funcionó como tómbolo generando una playa, sin embargo, del buque al puente del Zacatal se pudo observar un proceso de erosión; exceptuando la playa formada por la ubicación del buque (Figura 99), esta zona se puede considerar como erosiva por el efecto de la corriente de salida de la boca del Carmen, pero en menor magnitud a la registrada en punta la Disciplina.



Figura 98. Sedimentos biogénicos en Playa Disciplina



Figura 99. Tómbola formada en Playa El Zacatal

En Playa Norte el balance fue negativo, pero esto no se puede asegurar que sea a la dinámica natural de la playa, sino debido a que esta playa es constantemente limpiada con maquinaria pesada y dragada en una parte. Si se considera lo que ocurre en la playa en el km 9 de la carretera el Carmen-Champotón, la cual tiene un balance positivo, y tiene características similares en arena y dinámica hidrológica a la de Playa Norte se puede considerar a éstas como playas estables a acumulativas.

En la parte central de la Isla del Carmen entre los sitios Club de playa y CASES, el balance final de estas playas es positivo, en el caso de Club de Playa fue restaurada durante el estiaje del 2006. Durante el periodo de muestreo en el club de playa en el periodo de lluvias 2005 a nortes de 2006 el balance fue negativo, en este periodo, la playa se perdió e incluso la erosión alcanzó la zona de construcción (Figura 100). Para el caso de CASES, la presencia de roca de playa en la zona

infralitoral de los perfiles localizados al Este del sitio ayudó a la conservación de material, no así, el perfil Oeste del sitio que perdió material (Figura 101).



Figura 100. Efectos de la erosión en Club de Playa



Figura 101. Playa CASES, perfil Oeste con pérdida de material y perfil Este con ganancia de material por la presencia de roca de playa en su zona infralitoral.

En Bahamita se construyó un estacionamiento y el material de playa fue amontonado sobre el perfil, alterando la confiabilidad de los datos, estos sitios son de una dinámica acumulativa, debido a la protección de barrera de palos presente en la playa (Figura 102). Aunque es importante mencionar que cerca de la Punta Brigitte Bardot existe una erosión de la costa por el embate directo del oleaje y corrientes en la zona litoral.





Figura 102. Playa Bahamita con aporte de material de construcción y protección de barrera de palos de madera.

De la parte Oeste de CASES a Puerto Real, la variabilidad de las playas muestreadas es menor, sin embargo, el balance es negativo, esta poca variabilidad es debido a que estas playas están protegidas, tienen frente a ellas un cerco de postes de madera, que ha detenido la erosión pero no en su totalidad (Figura 103), en Puerto Real la playa se encuentra protegida por una plataforma rocosa.



Figura 103. Protección de playas con cerco de palos localizados en algunos sitios en la parte Oeste de la Isla del Carmen.

Para poder observar cambios en esta zona se anexó una playa de monitoreo mas (perfiles 47,48 y 49), sin protección alguna, a la que se le denominó CONANP-3 ubicado entre CASES y km 28 de la carretera el Carmen-Champotón, en esta playa se pudo ver una variabilidad de movimiento de volumen de sedimentos, pero solo el perfil 48 confirma la existencia de un proceso de erosión al presentar balance negativo.

En Isla Aguada, la variación también es mínima y el balance es casi neutral, por lo que esta playa se puede considerar como estable. Del km 54 a Champotón las variaciones fueron mínimas, y con un balance negativo.

Al realizar el monitoreo de playa, se ubicaron otras áreas en las que se hacía más notoria la variación temporal y la pérdida de material por lo que se anexaron al monitoreo los sitios CONANP 2 y CONANP 1, en los que se pudo ver una variabilidad mayor. CONANP 2 se puede considerar un sitio crítico de erosión, en el muestreo de estiaje a lluvias 2006, hubo una pérdida de material que no pudo ser cuantificada, ya que los sitios seleccionados en el primer muestreo, no se pudieron ubicar nuevamente debido a la fuerte erosión, sin embargo, se pudo estimar una pérdida de playa de al menos 20 metros en tres meses. Después de la erosión tan brusca, se ubicaron nuevos perfiles, para poder registrar la dinámica costera, el balance de éstos da negativo lo que indica que el sitio sigue perdiendo material.

En Sabancuy se anexaron 3 perfiles en el último muestreo, ya que se observó que del lado Este del campamento tortuguero existen sitios de erosión en donde se encuentra la Boca de Sabancuy.

### DISTRIBUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LOS SEDIMENTOS LITORALES

Se presentan las características texturales del tamaño gráfico promedio de los sedimentos de la zona litoral en relación con las diferentes épocas climáticas y subzonas de infraplaya, mesoplaya y supraplaya (ANEXO 1). Los muestreos de sedimentos corresponden con los perfiles topográficos de playa.

#### San Pedro y San Pablo (perfiles 1, 2, y 3)

Los sedimentos de la playa en éste sitio están formados por arenas finas (2 a 3  $\phi$ ) procedentes del Río San Pedro y San Pablo, sin variación con respecto a las épocas estacionales y subzonas de playa (Figura 104).

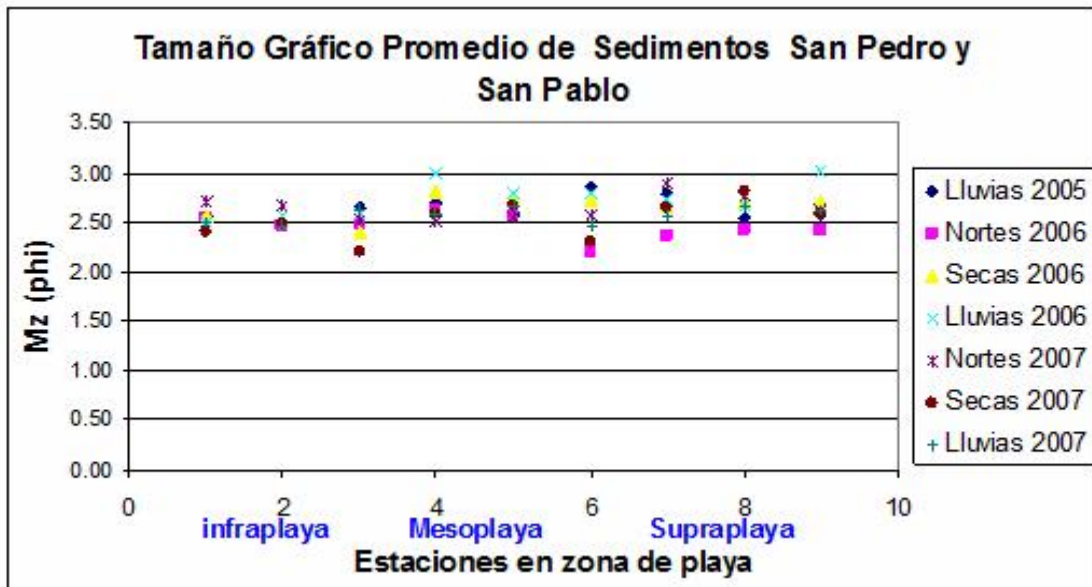


Figura 104. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral de San Pedro y San Pablo.



**Nitrogenoducto (perfiles 4, 5 y 6)**

Los sedimentos en este sitio para las diferentes épocas predominan las arenas finas para las tres subzonas, estas arenas finas también provienen de la desembocadura del río San Pedro y San Pablo, aunque en época de nortes del 2007 se presentan limos (mayor que 4  $\phi$ ) en la zona de infraplaya y en mesoplaya resultado de la erosión de la arena existente aflorando limos del suelo de manglar presente en esta misma playa (Figura 105)

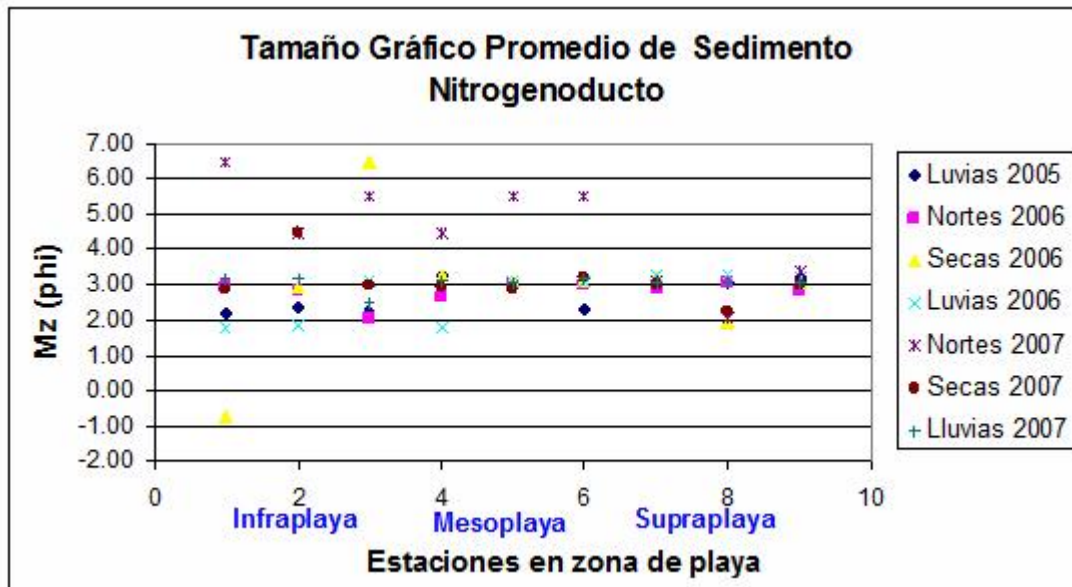


Figura 105. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral de Nitrogenoducto.

CPTG-Atasta (perfiles 6,7 y 8)

Para esta playa, las arenas muy gruesas y gruesas (-1 a 1  $\phi$ ) predominan en casi todas las épocas como resultado de la alta energía presente en esta playa, solo en época de estiaje del 2007 existió una dominancia de arenas finas lo que hace suponer una época de baja energía en comparación con las otras épocas, existen algunas épocas donde afloran limos del suelo de manglar (Figura 106). La predominancia de materiales gruesos en gran parte de las épocas analizadas indican una predominancia de fuerte actividad energética para esta playa.

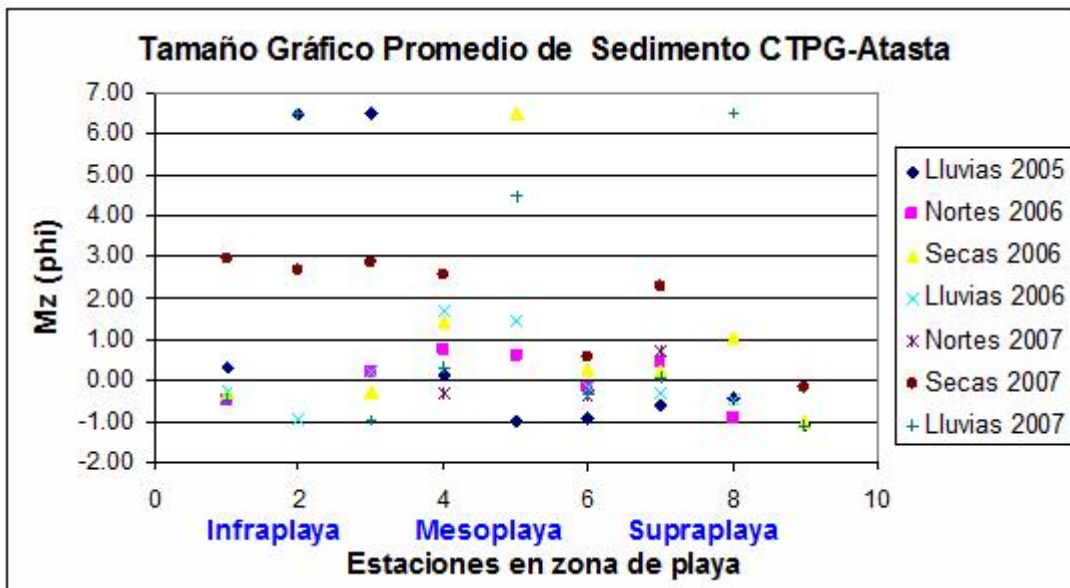


Figura 106. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral de CTPG-Atasta.

Playa Disciplina (perfiles 10, 11 y 12)

Esta playa muestra mucha variación del tamaño de sedimentos en las diferentes épocas y zonas, lo que muestra muchos cambios de energía. Se tienen arenas desde muy gruesas hasta muy finas aunque dominan las arenas medias, pero en estiaje y lluvias del 2006 se tienen sedimentos finos (arenas muy finas y limos) de la erosión de la punta durante la época de nortes del 2006 (Figura107). Esta variación también se debe al transporte litoral proveniente de la boca de la laguna de Términos ya que esta playa se encuentra en la rívera Este de la boca.

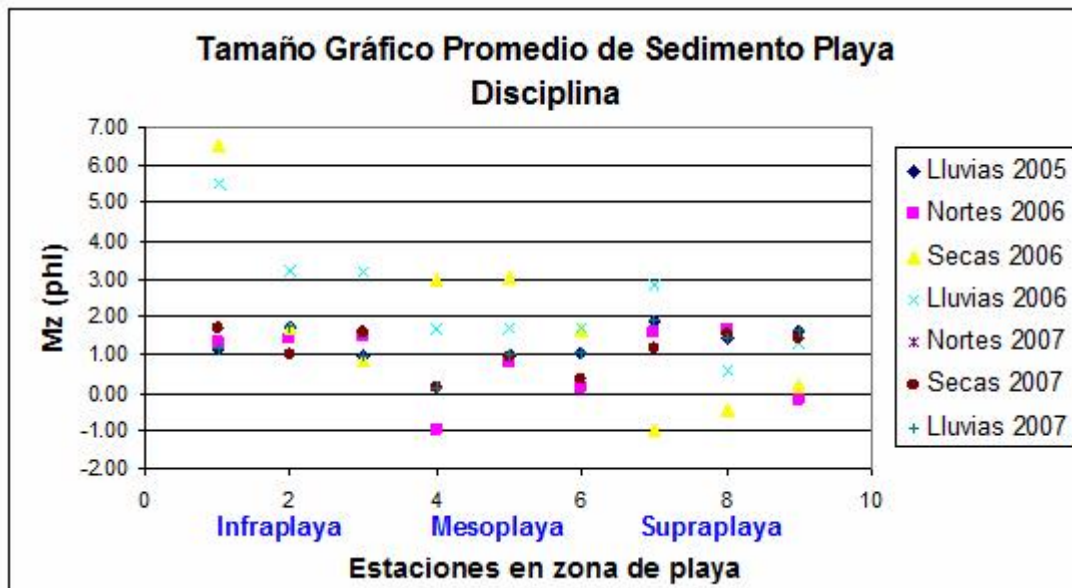


Figura 107. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral de la Playa Disciplina.

El Faro (perfil 13)

Los sedimentos en esta playa presentan una textura muy variable desde arenas gruesas hasta arenas muy finas para todas las épocas y subzonas de playa siendo una zona litoral de mucha variación energética al encontrarse en una de las márgenes de Boca del Carmen (Figura 108) sujeta al transporte litoral de sedimentos de la zona lagunar.

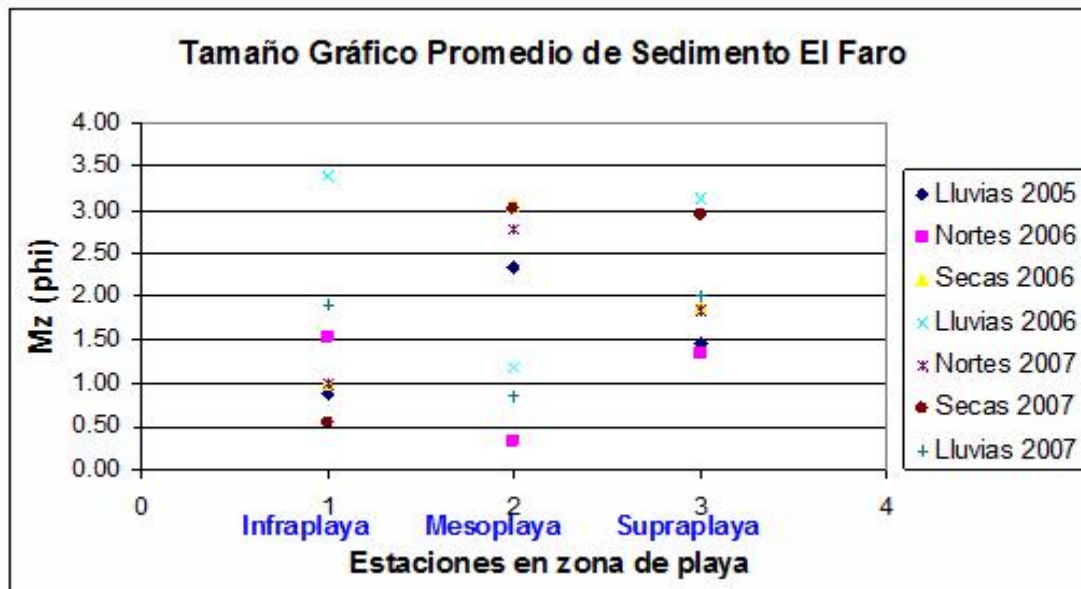


Figura 108. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral El Faro.

El Zacatal (perfiles 14, 15 y 16)

En el Zacatal prevalecen arenas muy finas con tendencia hacia las arenas medias y gruesas sobre todo en la época de lluvias del 2006, a pesar de ubicarse también en Boca del Carmen con muchas variaciones energéticas, en particular en este sitio se encontró encallado un buque de grandes dimensiones que formó un área protegida con depósito de materiales finos (Figura 109).

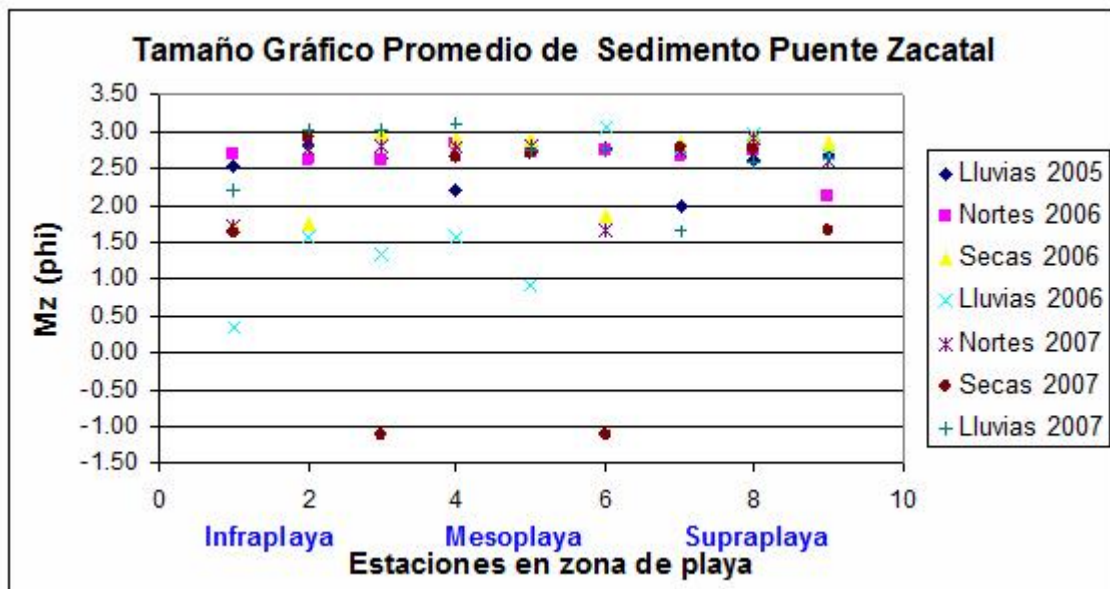


Figura 109. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral del Zacatal.

Playa Norte (perfiles 17, 18 y 19)

En esta playa predominan arenas finas procedentes de la Boca del Carmen aunque con una tendencia hacia arenas medias y gruesas de material biógeno procedentes del transporte litoral de la Isla del Carmen hacia la Boca del Carmen, sobre todo en la época de lluvias del 2006. Esta playa es una zona acumulativa lo que indica una baja energía del oleaje presente en esta zona lo que propicia el depósito de materiales finos (Figura 110).

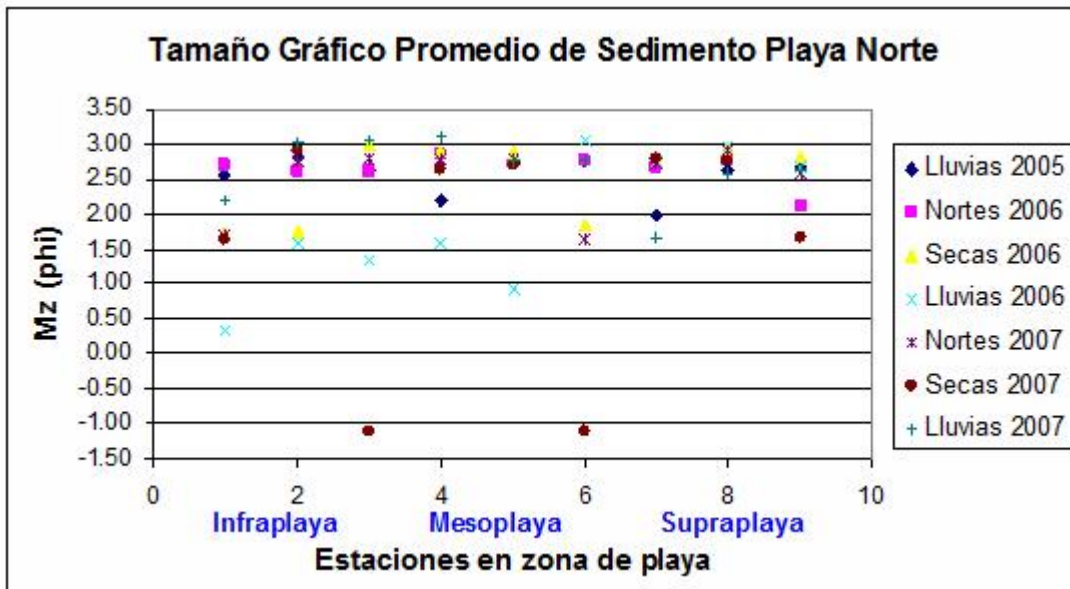


Figura 110. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral de Playa Norte.



Km 9, carretera Cd. del Carmen-Champotón (perfil 20)

Por lo que respecta a esta playa, el tamaño de sedimentos es muy variable desde arenas medias hasta arenas gruesas para las diferentes épocas y en las diferentes subzonas, causado por la presencia de materiales biógenos y de las variaciones energéticas del oleaje y corriente litoral sobre todo en época de nortes (Figura 111).

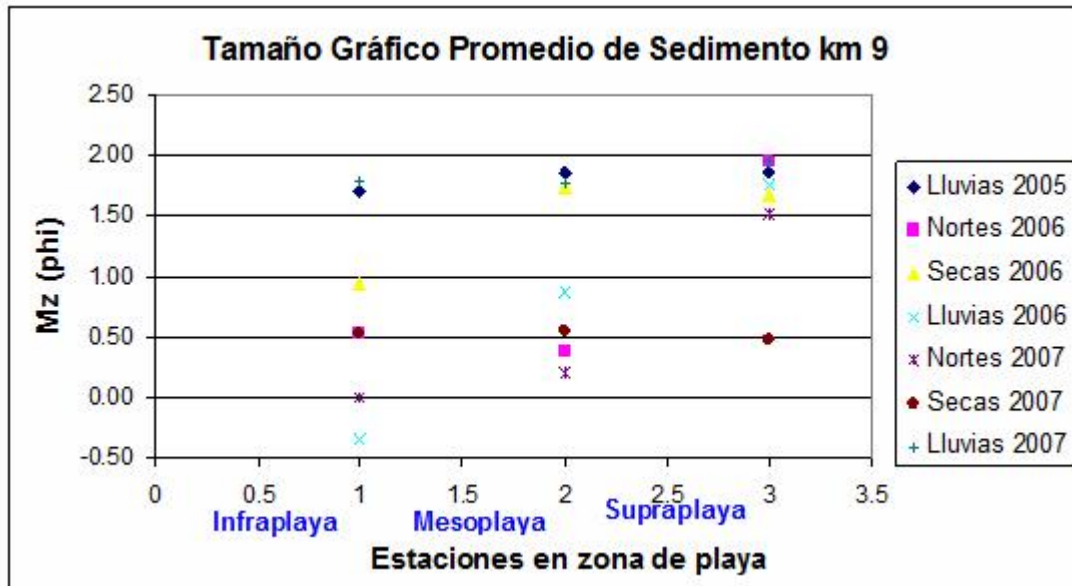


Figura 111. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral del Km 9.

Club de Playa (perfiles 21, 22 y 23)

Los tamaños de sedimentos en esta playa varían desde gravas compuestas de materiales biógenos en nortes del 2006 hasta arenas muy finas de una mezcla de terrígenos y calcáreos en lluvias del 2006. Aunque predominan arenas medias, sobretodo desde estiaje del 2007 y lluvias del 2007, después de un manejo de restauración de playa donde se vertieron toneladas de arena en la playa como medida de mitigación (Figura 112). En la misma figura se nota la heterogeneidad de los tamaños, lo que muestra una zona con una fuerte variación energética aunada a la diferente composición que presenta, además de la arena vertida como medida de mitigación que fue erosionada por el oleaje y transporte litoral.

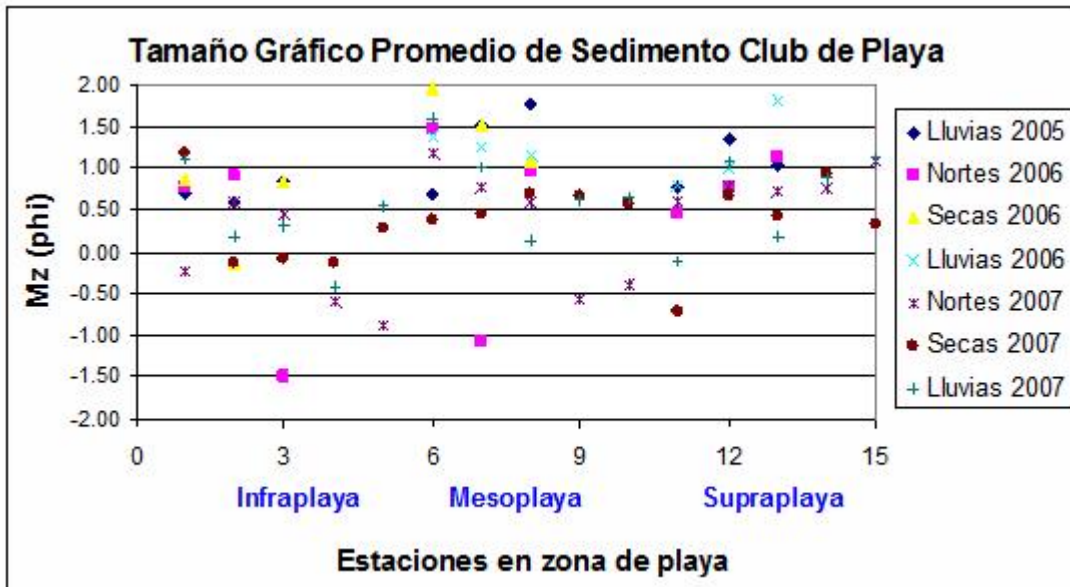


Figura 112. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral del Club de Playa.

Playa Bahamita (perfil 24)

Esta playa, también presenta sedimentos muy variables desde arenas muy gruesas hasta arenas medias de materiales biógenos, presentando arenas gruesas en estiaje 2006 y 2007 reflejo de condiciones de nortes hasta arenas medias en lluvias del 2005 (Figura 113), esta playa al igual que Club de Playa son áreas erosivas con fuerte oleaje sobre todo en época de nortes.

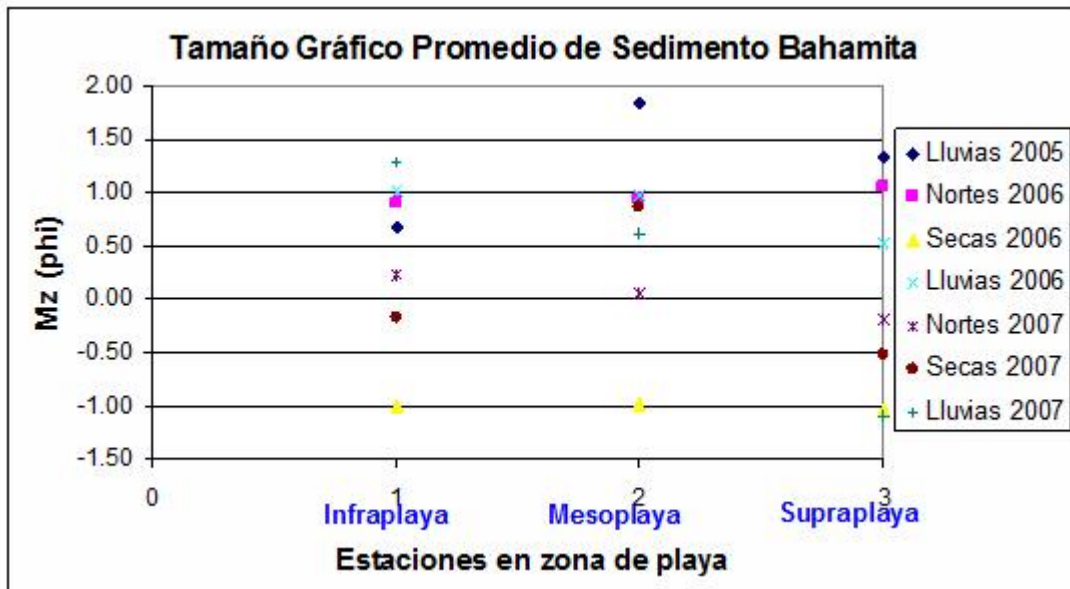


Figura 113. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral de Bahamita.

CASES (perfiles 25,26 y 27)

Esta playa presenta una variación de tamaños desde gravas hasta arenas medias en todas las épocas estacionales y zonas de playa mostrando que esta playa esta sujeta a diferentes intensidades de energía (Figura 114), al igual que las dos playas anteriores son sitios de alta energía dando como resultados playas erosivas cuyo transporte litoral remueve las arenas hacia la parte Oeste de la Isla. A parte de que las arenas estas compuestas de biógenos calcáreos principalmente fragmentos de conchas que predominan en la grava y arenas gruesas.

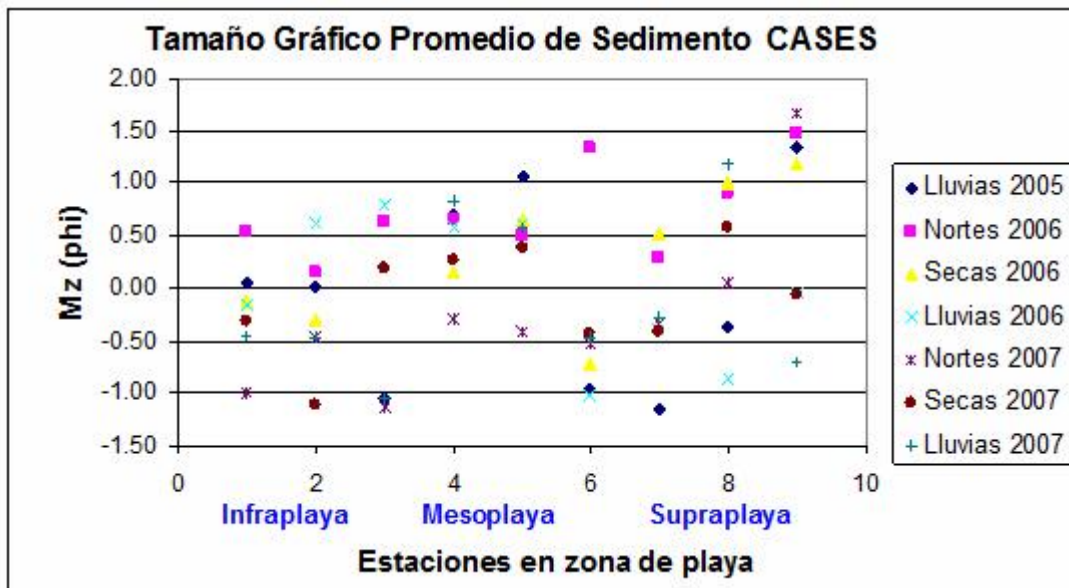


Figura 114. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral de CASES.

Km 28, carretera Cd. del Carmen-Champotón (perfil 28)

Es una playa con sedimentos que varían desde gravas hasta arenas medias para las diferentes épocas y subzonas de playa, parte de estas gravas son fragmentos de conchas y de erosión de material rocoso presente en la zona (Figura 115). Esta playa localizada el Este de la Isla del Carmen su erosión es mínima por la presencia de roca calcárea presente en la zona infralitoral siendo la fuente de sedimentos arenosos que el transporte litoral desplaza hacia el Oeste.

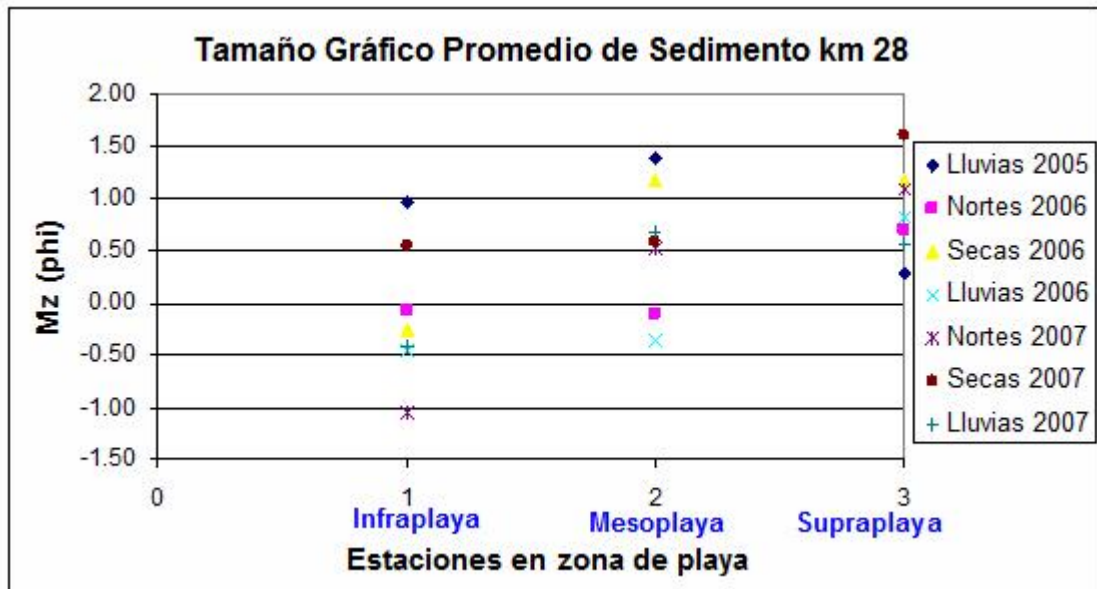


Figura 115. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral del Km 28.

San Nicolasito (perfil 29)

Dominan las arenas gruesas a medias en la subzonas de infraplaya y mesoplaya y arenas gruesas en la supraplaya para todas las épocas, en ella también dominan los fragmentos de conchas y la erosión del sustrato rocoso presente en la playa (Figura 116) proporciona material al transporte litoral en dirección Oeste.

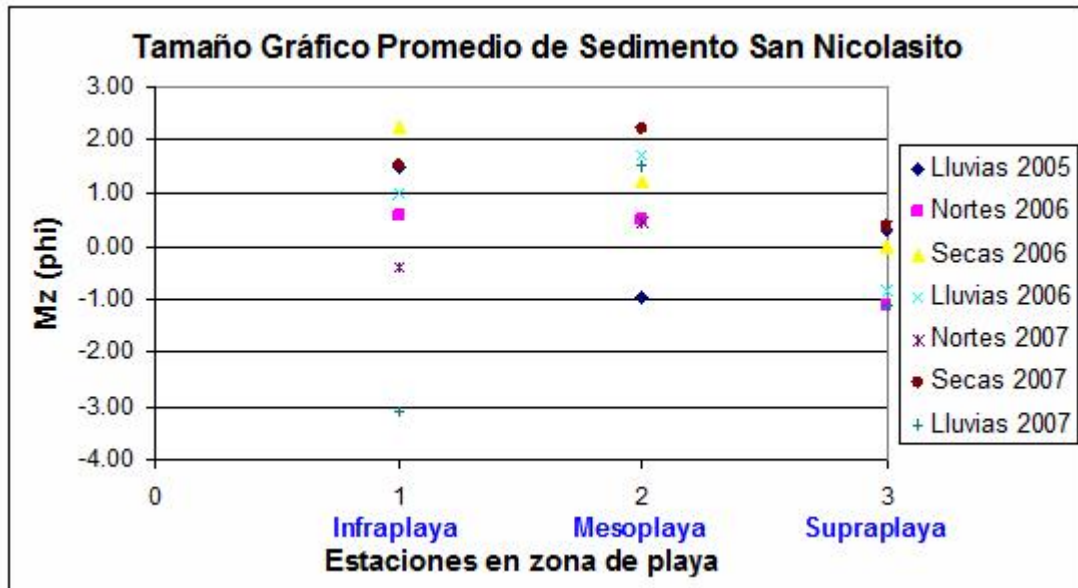


Figura 116. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral de San Nicolasito.

Puerto Real (perfiles 30, 31 y 32)

Esta playa localizada en el extremo Este de la Isla del Carmen presenta arena muy gruesa principalmente en las subzonas de infraplaya y mesoplaya, solo en la mesoplaya se presentan arenas gruesas en estiaje en 2006 y lluvias en 2005 siendo resultado del aporte de biógenos mar-tierra en nortes y quedan en estiaje así como de la erosión de la roca de playa presente en su subzona infralitoral que además también protege a la playa del oleaje y corrientes presentes en el área (Figura 117).

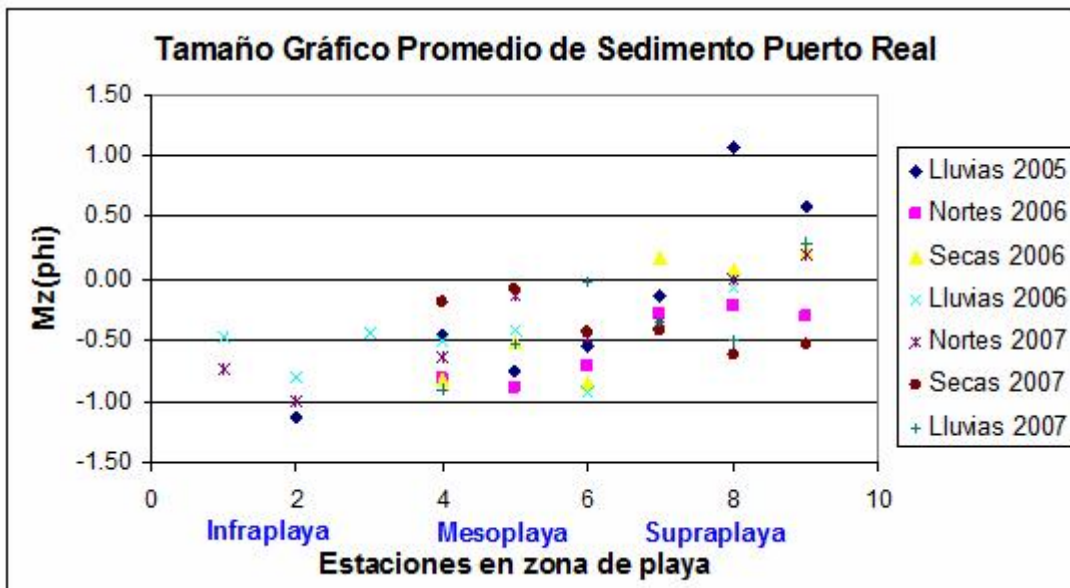


Figura 117. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral de Puerto Real.



Isla Aguada (perfil 33)

Los sedimentos que conforman esta playa comprenden desde arenas gruesas hasta arenas medias para todas las subzonas de la playa y épocas, Están compuestas principalmente por material biogénico acarreado por el transporte litoral procedente del Noreste y depositado en el margen Este de la Boca de Puerto Real (Figura 118).

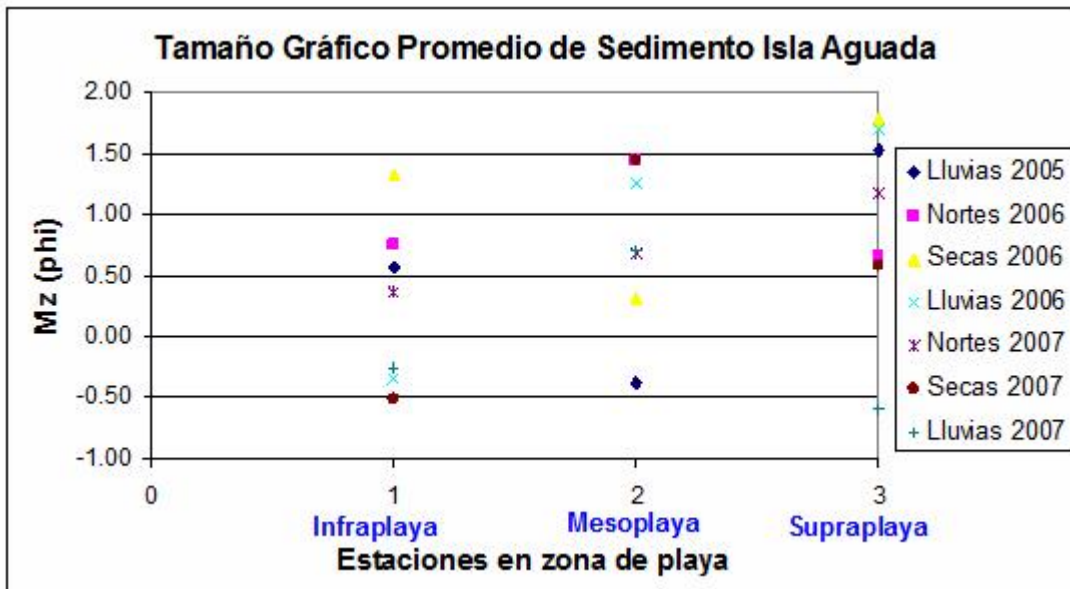


Figura 118. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral de Isla Aguada.

Km 54, carretera Cd. del Carmen-Champotón (perfil 34)

En la subzona de infraplaya prevalecen las arenas muy gruesas formadas principalmente por material biogénico y en mesoplaya y supraplaya las arenas son medias con material biogénico desgastado por el flujo y reflujo del oleaje (Figura 119).

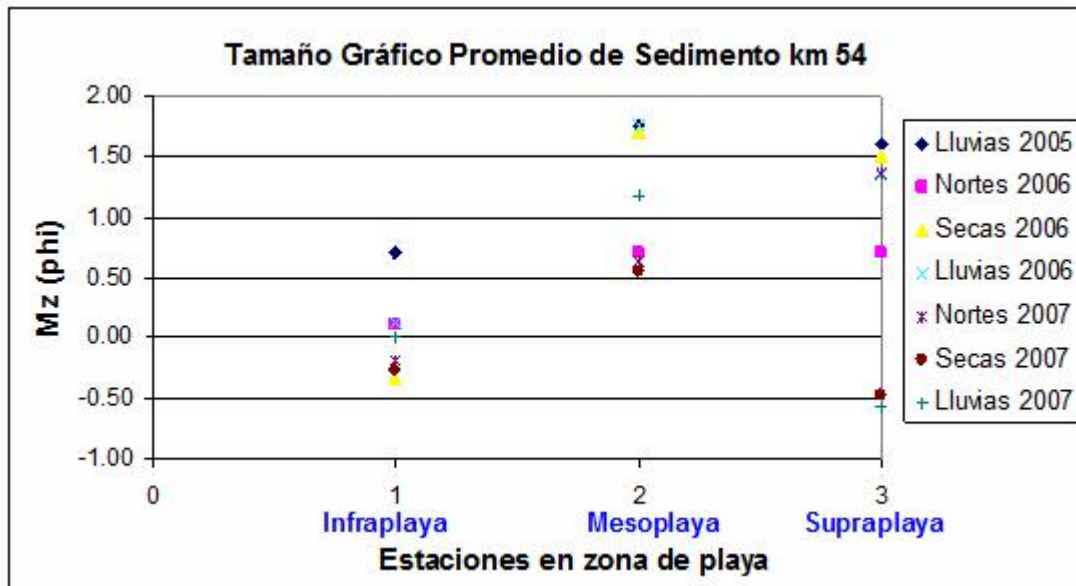


Figura 119. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral del Km 54.

Sabancuy (perfil 35)

En la infraplaya existen arenas gruesas y en la mesoplaya y supraplaya son arenas medias para todas las épocas sus condiciones son también resultado del aporte de material biogénico (Figura120).

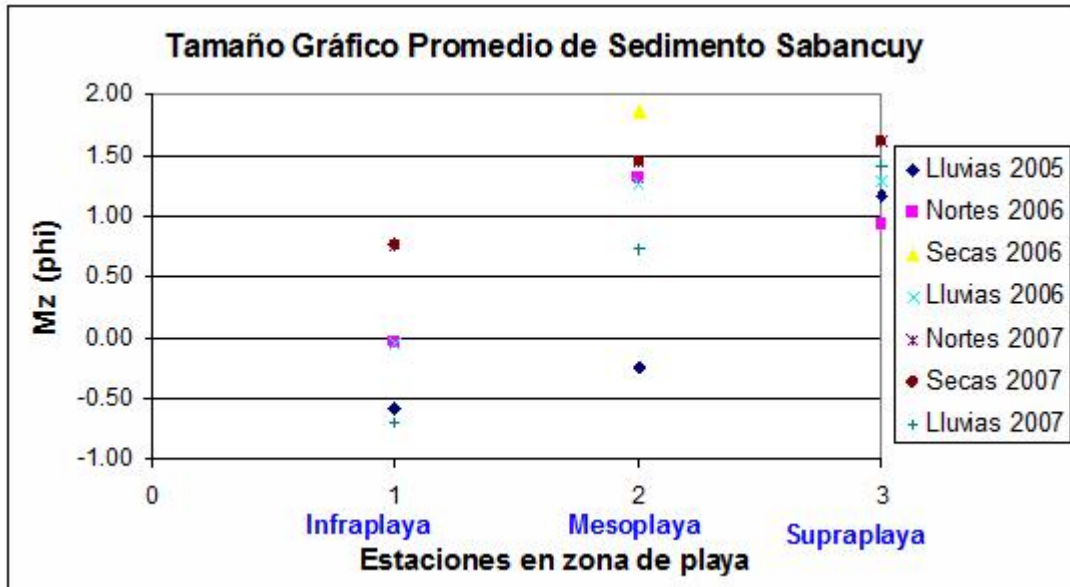


Figura 120. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral de Sabancuy.

Chenkán (perfil 36)

Sus sedimentos varían de arenas gruesas hasta arenas medias en la subzona de infraplaya y mesoplaya, dominando arenas medias en la zona de supraplaya siendo su textura resultado del material calcáreo presente en el área donde al igual que en las playas anteriores las arenas gruesas son fragmentos de conchas y las arenas medias son el resultado de la reducción de tamaño por el desgaste causado por el oleaje y transporte litoral (Figura 121).

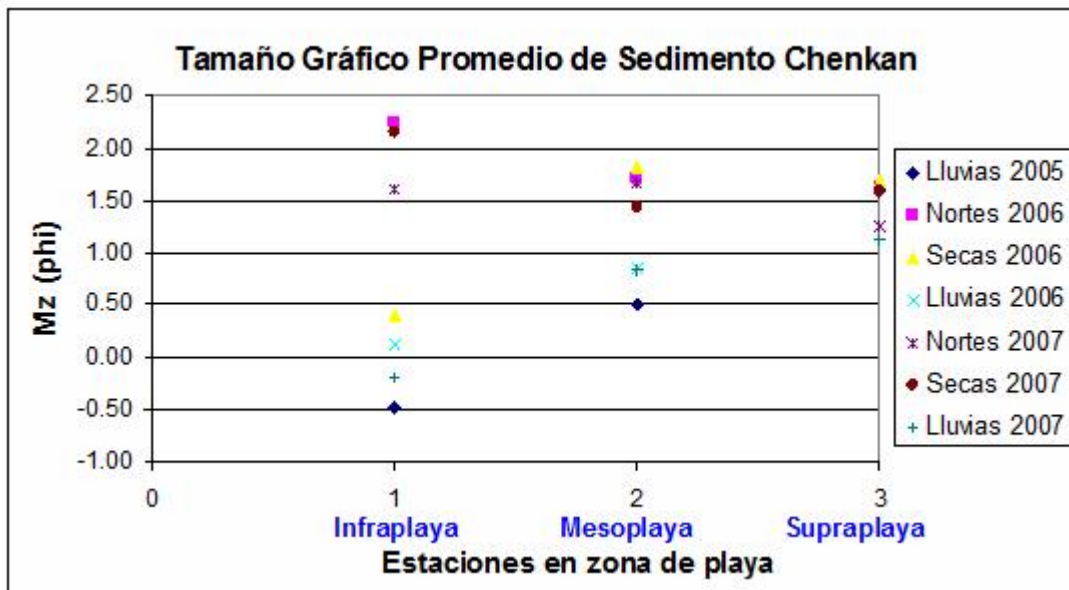


Figura 121. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral de Chenkán.

El Hueso

La infraplaya presenta sedimentos muy variables desde arenas gruesas hasta arenas finas al igual que la subzona de supraplaya mientras que en la mesoplaya solo predominan arenas medias para las diferentes épocas, condiciones similar a las de Chenkán (Figura 122).

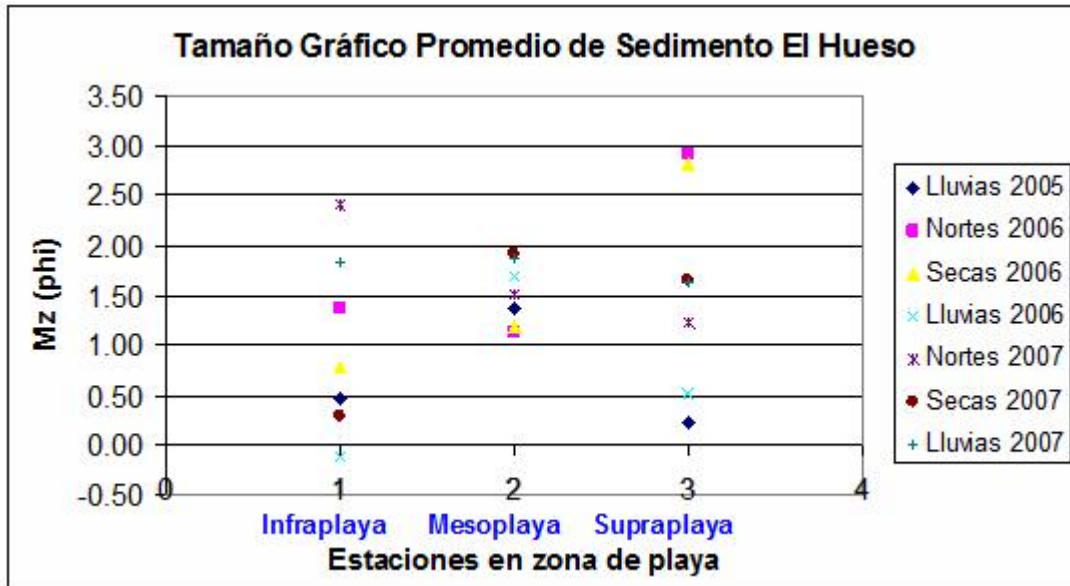


Figura 122. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral El Hueso.

Km 134, carretera Cd. del Carmen-Champotón (perfil 38)

En la subzona de infraplaya los tamaños de sedimentos se encuentran dentro de un rango de arenas muy gruesas hasta medias, aunque de la subzona de mesoplaya solo existen arenas gruesas y en supraplaya gruesas a medias todas ellas de origen biogénico, se nota la transición de tamaños de materiales gruesos en la infraplaya a arenas medias hacia la supraplaya lo que implica un transporte mar-tierra sobre todo en lluvias 2005 y nortes 2006 (Figura 123).

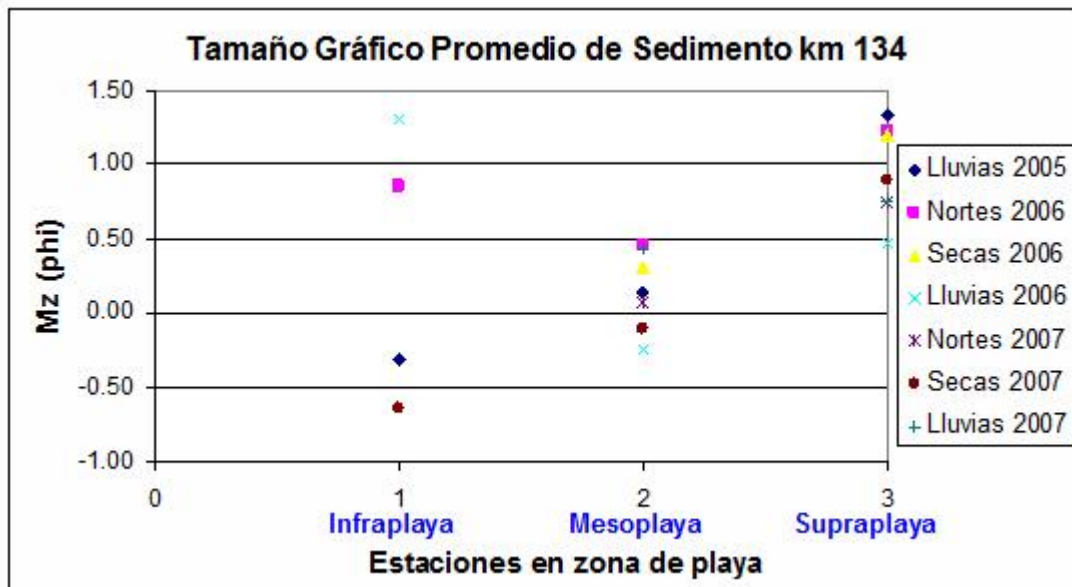


Figura 123. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral de Km 134.

Champotón (perfiles 39, 40 y 41)

En esta playa se tienen arenas muy gruesas a gruesas para todas las épocas y subzonas de playa compuestas también por materiales biogénicos. Esta playa se encuentra en el malecón de la ciudad de Champotón con la presencia de material rocoso. A pesar de encontrarse la desembocadura del Río Champotón no se tiene la influencia de sedimentos provenientes del mismo (Figura 124).

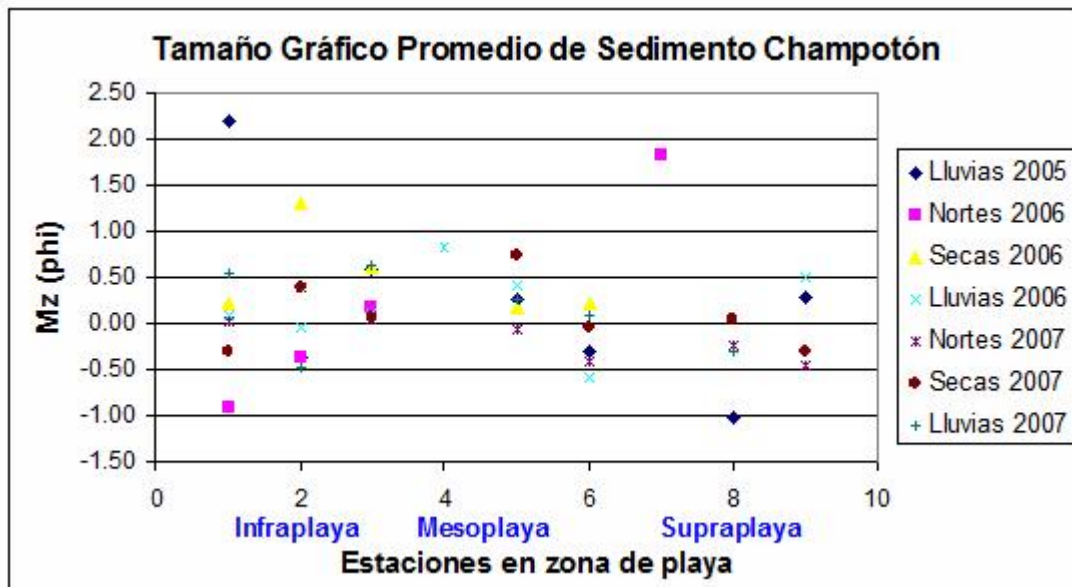


Figura 124. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral de Champotón.



Punta Disciplina (perfil 42)

Localizada en la Península de Atasta presenta en la infraplaya arenas medias y limos finos derivados de la erosión misma de la punta Disciplina, mientras que en la mesoplaya y la supraplaya predominan arenas medias a finas en las diferentes épocas del año dependiendo de las condiciones energéticas estacionales (Figura125).

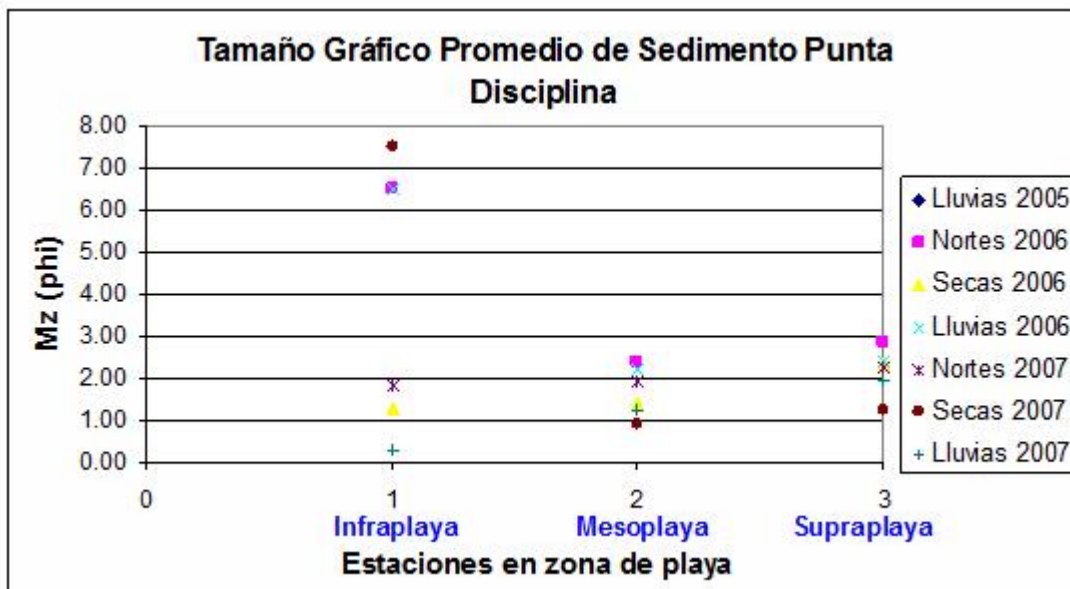


Figura 125. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral de Punta Disciplina.

CONANP-1 (perfil 43)

Localizada al noreste de Chenkan, sus sedimentos están compuestos por arenas muy gruesas y gruesas en la subzona de infraplaya, de muy gruesas a medias en la subzona de mesoplaya y arenas medias en la supraplaya para todas las épocas estacionales compuestas por materiales biogénicos.(Figura 126).

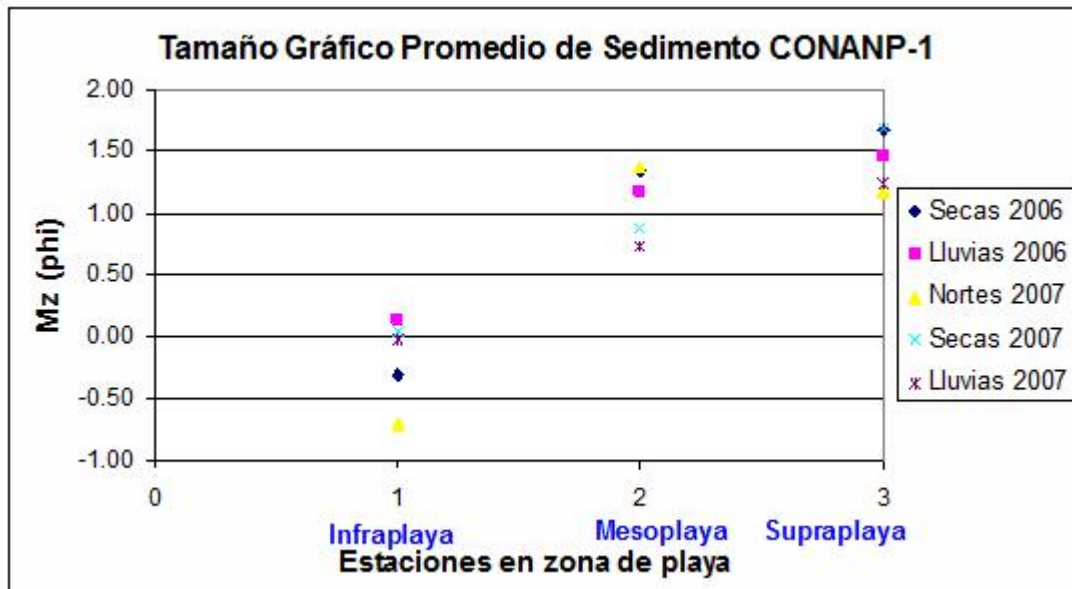


Figura 126. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral de CONANP-1

CONANP-2 (perfiles 44, 45 y 46)

Esta playa se encuentra en el km 45 de la carretera Cd. del Carmen-Champotón al Sur de Sabancuy presenta espigones y sedimentos muy variables en cuanto a sus diferentes tamaños de sedimentos, desde arenas muy gruesas a medias indicando una fuerte variación de las energías presentes para todas las épocas que causan una fuerte erosión y a la presencia de materiales gruesos biógenos (Figura 127).

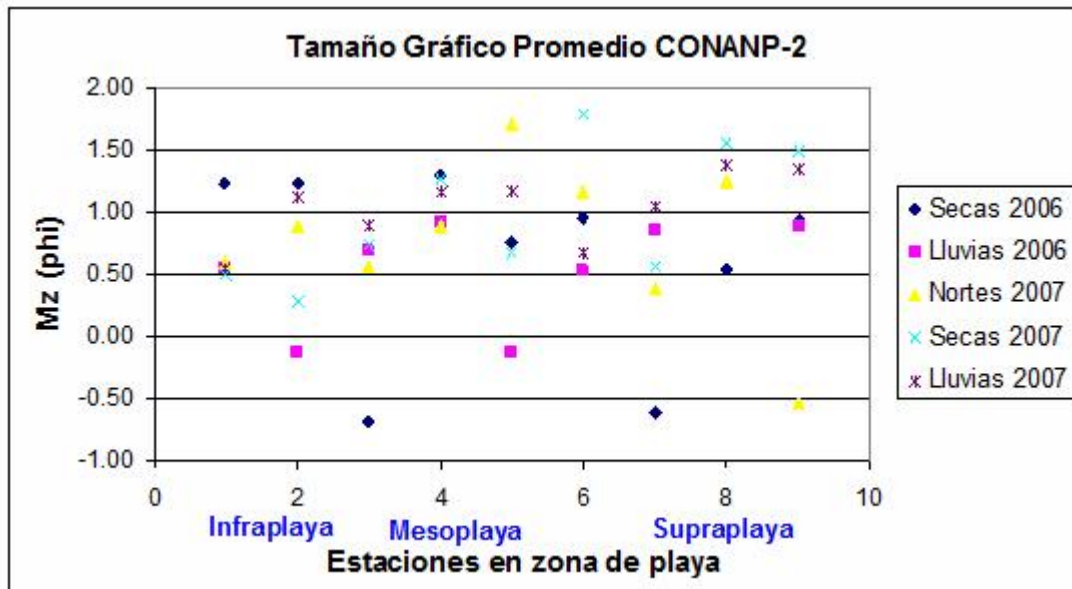


Figura 127. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral de CONANP-2.

CONANP-3 (perfiles 47, 48 y 49)

Esta playa cercana al CASES, en sus tres zonas presenta diversos tamaños en los distintos perfiles desde arenas muy gruesas hasta arenas medias para todas las épocas y subzonas, aunque para nortes del 2007 se nota un predominio de arenas muy gruesas de tipo biógeno y erosión de material rocoso presente en el área (Figura 128).

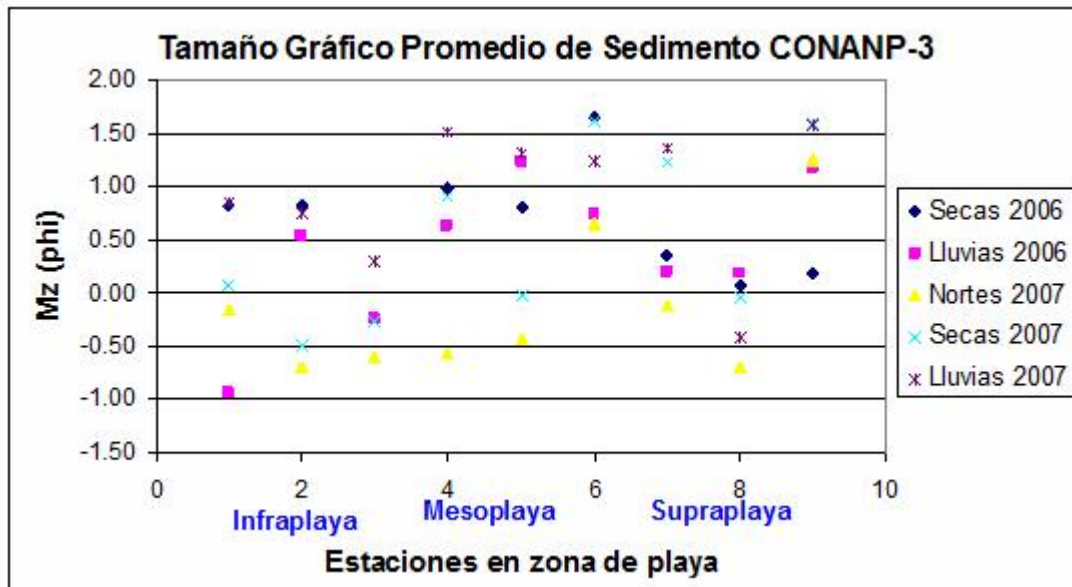


Figura 128. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral CONANP-3

CONANP-4 (perfil 50)

Esta playa al suroeste de Chenkán muestra una variación de arenas gruesas en la infraplaya a arenas medias en la supraplaya para las tres épocas del año 2007 (Figura 129). Aunque solo se muestreó un ciclo anual se tienen variaciones energéticas estacionales considerables.

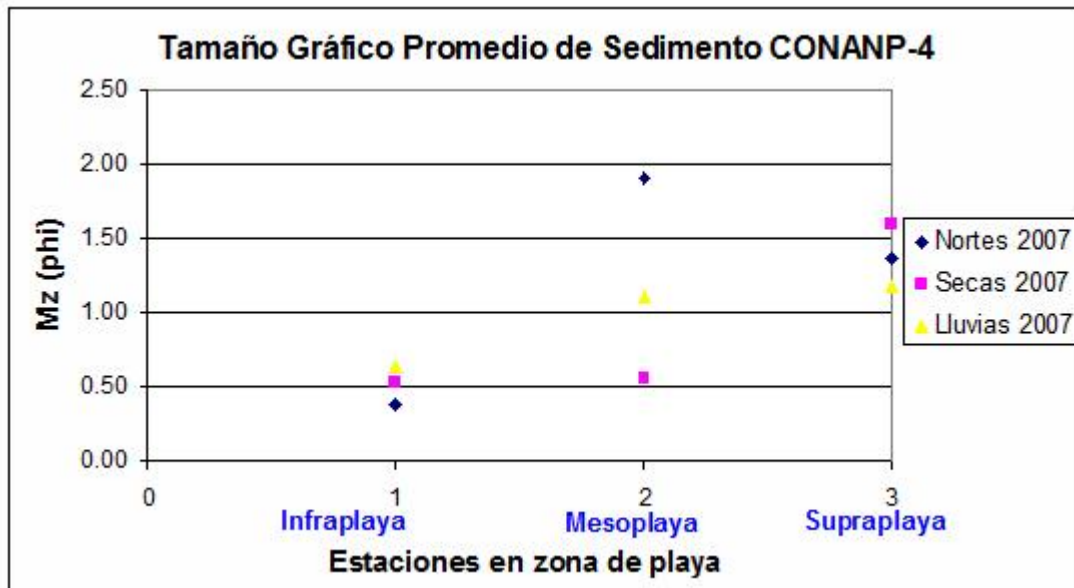


Figura 129. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral CONANP-4.

Centro de Adiestramiento de Procesos Automatizados (CAPA)

Localizada en la boca de Sabancuy muestra para estiaje del 2007 la presencia de arenas finas en la subzona mesolitoral y arenas medias en la subzona supralitoral arenas muy gruesas están presentes en la subzona infralitoral, mientras que en la época de lluvias en 2007 los sedimentos tienen una tendencia a los sedimentos gruesos (Figura 130). Las diferentes texturas muestran un sitio muy variable en cuanto a sus condiciones de energía sobre todo por la presencia de una escollera que induce condiciones de fuerte oleaje y corrientes.

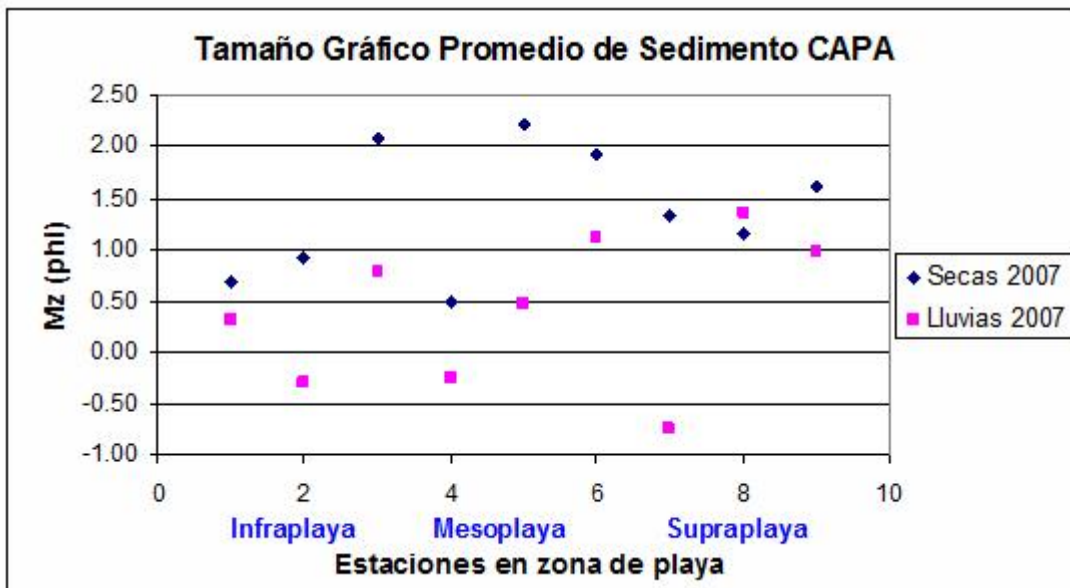


Figura 130. Tamaño gráfico promedio de sedimentos de la zona litoral de CAPA.

**Síntesis de las variaciones texturales en la infraplaya, mesoplaya y supraplaya.**

*Infraplaya*

Considerando los estudios de tamaño gráfico promedio de los sedimentos de la zona litoral, se observa que la zona de infraplaya comprendida las siguientes características: desde el Río San Pedro y San Pablo hasta Puente Zacatal está constituida por sedimentos compuestos de arenas finas, debida a la erosión de cordones litorales, con excepción de Punta Disciplina donde hay arenas medias derivadas de la erosión de la punta y CPTG-Atasta con arenas muy finas y limos también producto de la erosión local. Desde Isla del Carmen hasta Champotón hay arenas gruesas y muy gruesas derivadas de la erosión de rocas calcáreas y de los organismos calcáreos como moluscos que abundan en la región. Con excepción desde Puerto Real hasta el km 54 de la carretera de Isla del Carmen a Champotón donde en infraplaya existe una zona de materiales rocosos (Figura 131).

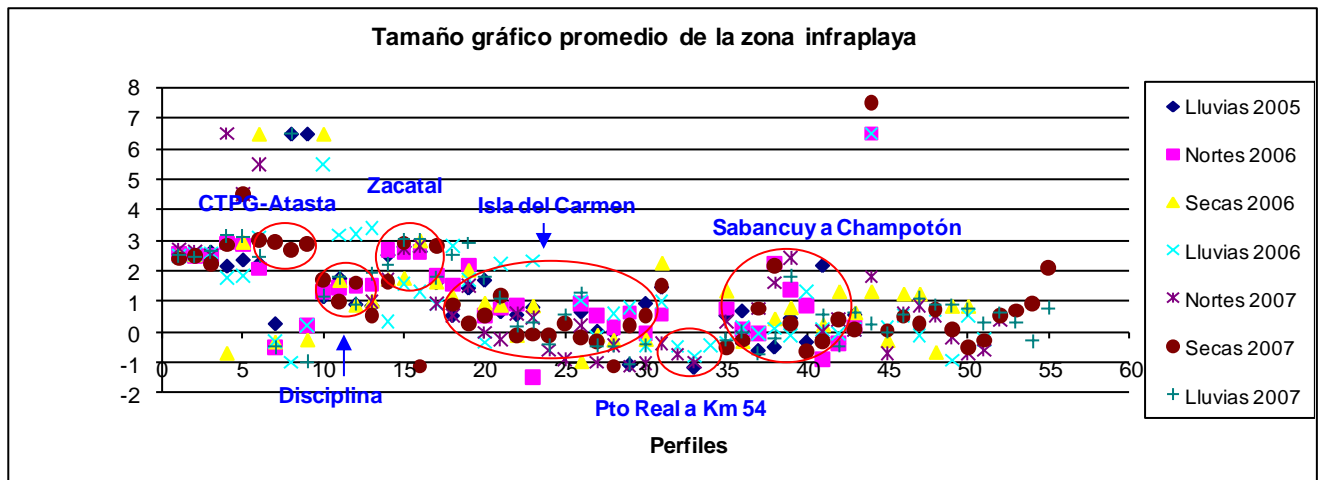


Figura 131. Tamaño gráfico promedio de los sedimentos de la subzona infraplaya.

*Mesoplaya*

En lo que se refiere a la mesoplaya se encontró que los sedimentos de esta subzona desde San Pedro y San Pablo y el Nitrogenoducto hasta el Zacatal la presencia de sedimentos del tamaño de las arenas finas con excepción de CPTG-Atasta y Punta Disciplina donde existen arenas gruesas y arenas medias en lluvias del 2005. En Isla del Carmen predominan arenas gruesas y de Isla Aguada al Km 54 de la carretera Cd. del Carmen- Champotón dominan arenas muy gruesas. Finalmente de Sabancuy a Champotón prevalecen arenas medias y gruesas principalmente. (Figura132). La presencia dominante de arenas gruesas y muy gruesas son reflejó no solo de la



composición biogénica, sino también de la actividad energética del oleaje principalmente dominante en el área en época de Nortes.

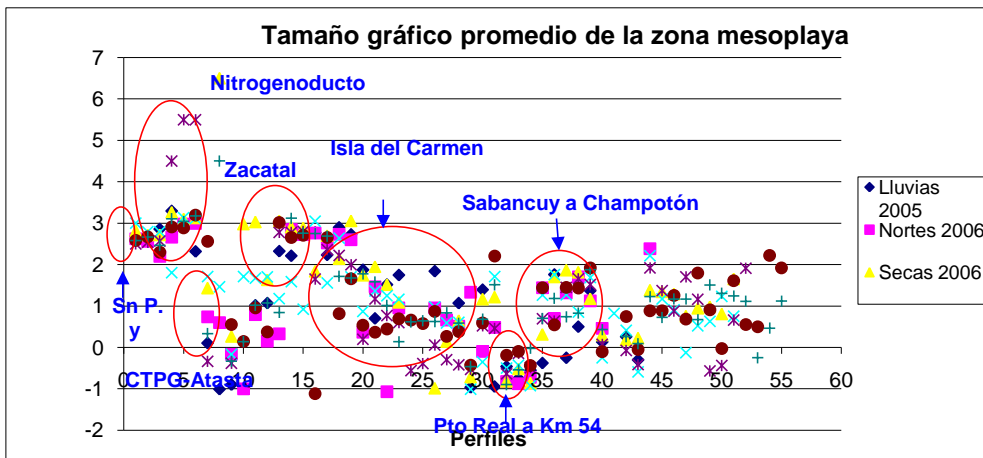


Figura 132. Tamaño gráfico promedio de la subzona de mesoplaya.

*Supraplaya*

En la supraplaya (Figura 133), existen diferencias con respecto a las otras zonas, en CPTG-Atasta hay presencia de arenas muy gruesas y gruesas. En Isla del Carmen predominan las arenas gruesas y medias. En esta zona se puede notar una mayor variación de tamaños principalmente en Nortes 2006, lo que refleja gran mezcla de sedimentos. La zona de supraplaya es la que presenta mayores cambios energéticos causados principalmente por las variaciones del oleaje y corrientes en las diferentes épocas climáticas.

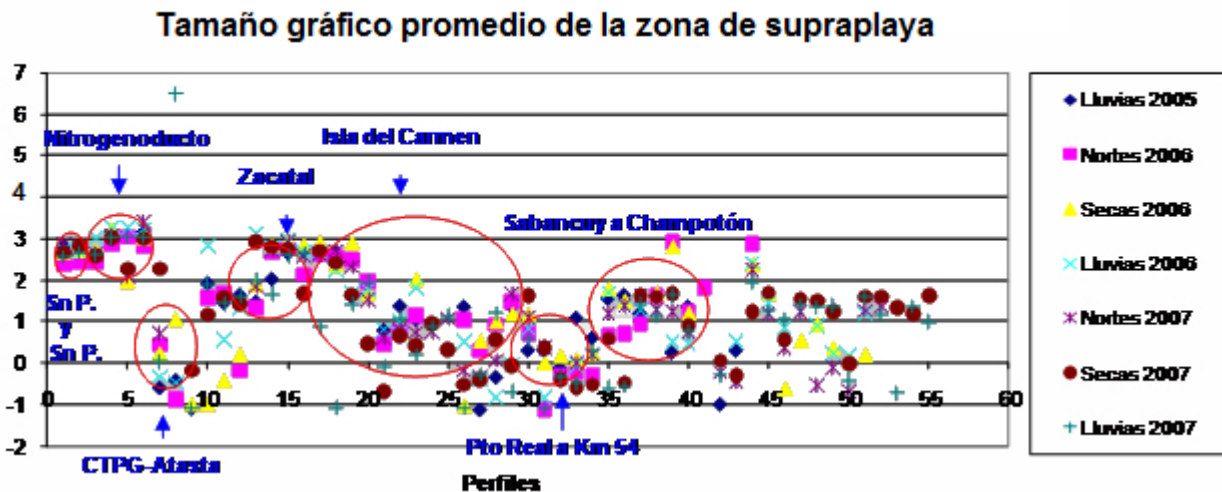


Figura 133. Tamaño gráfico promedio de la subzona de supraplaya.

## COMPOSICIÓN Y PROCEDENCIA DE LOS SEDIMENTOS LITORALES

Los resultados de la composición permiten definir los tipos de sedimentos presentes en la zona litoral y con ello definir su procedencia, obteniéndose los siguientes resultados para las diferentes subzonas.

En la infraplaya predominan biocalcarenitas entre un 25 y 30% en todas las épocas, seguidos de biocalcarenitas arenosas en un 20% en lluvias y estiaje en 2007 y subfeldsarenitas en un 8 % aproximadamente en todas las épocas. Las biocalcarenitas predominan desde Playa Norte en Ciudad del Carmen hasta Champotón por influencia de fuentes calcáreas que son comunes en la provincia calcárea de la Península de Yucatán. Las subfeldsarenitas están presentes en la Península de Atasta debido a la erosión del suelo pantanoso de la misma y por aportes lodosos de la laguna de Términos a través de Boca del Carmen (Figs. 134 a, b y c y 135).



Figura 134. a) Biocalcarenitas en la Playa Disciplina, b) Biocalcarenitas arenosas en la playa de Isla Aguada y c) Feldsarenitas en la Playa Nitrogenoducto.

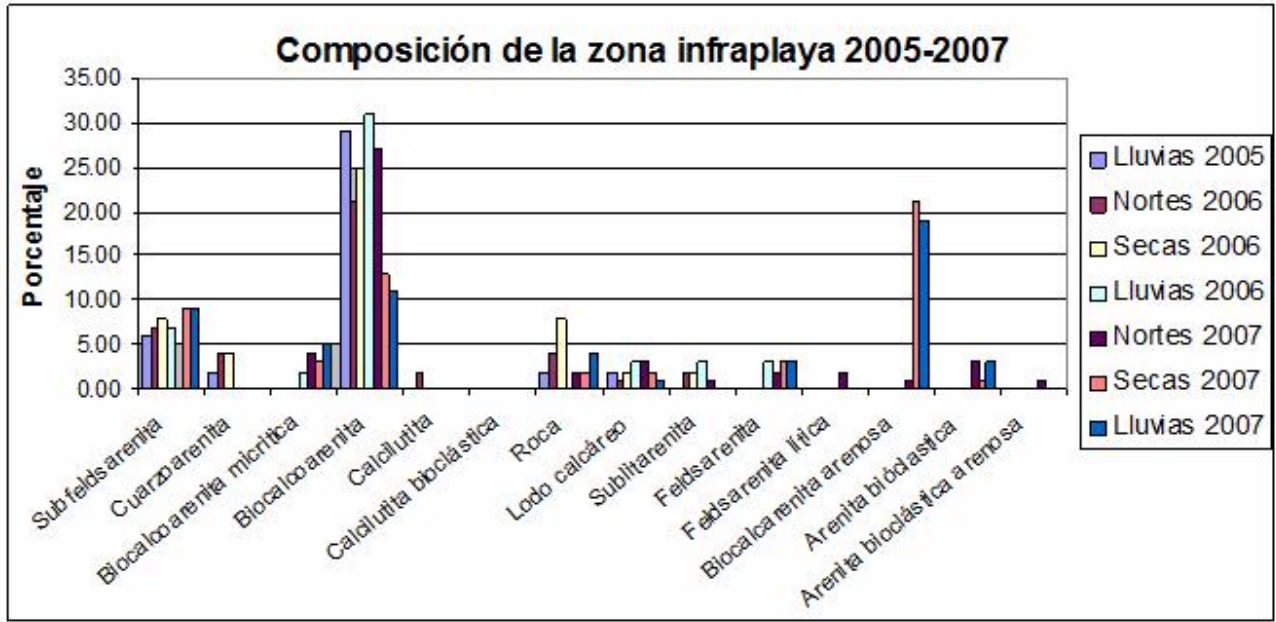


Figura 135. Composición de los sedimentos de la zona de infraplaya.

Las zonas mesoplaya y supraplaya tienen una distribución muy parecida en composición a la zona de infraplaya (Figs. 136 y 137), donde predominan las biocalcoarenitas y le siguen las subfeldsarenitas.

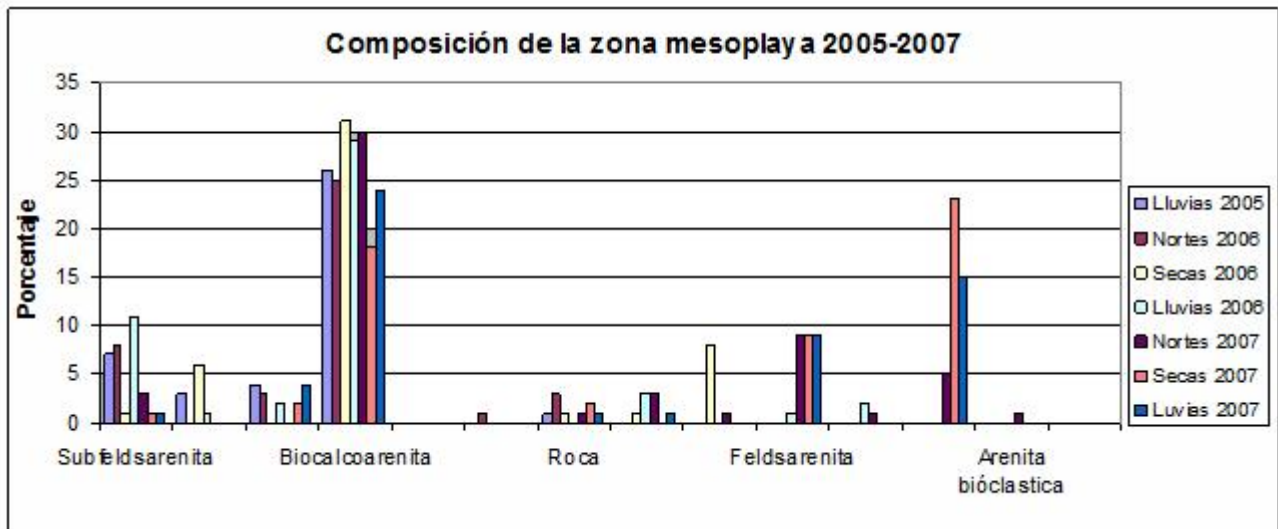


Figura 136. Composición de los sedimentos de la zona de mesoplaya.

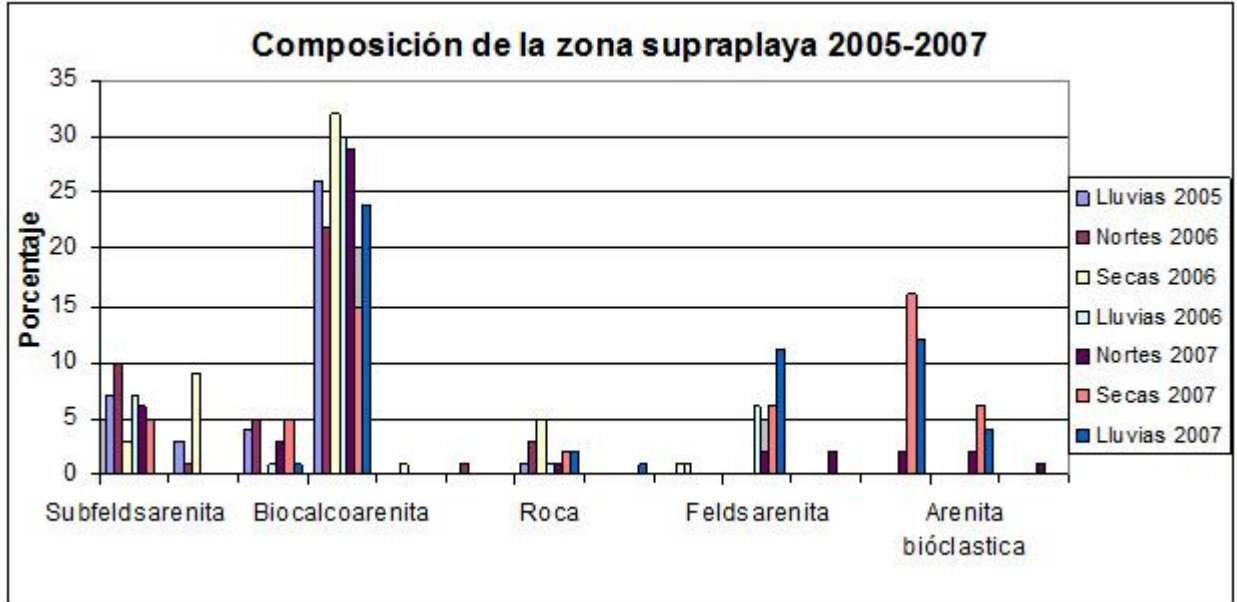


Figura 137. Composición de los sedimentos de la zona de supraplaya

### **Procedencia de los sedimentos de las playas**

Al analizar los resultados de composición y textura de los sedimentos se observa la presencia de dos tipos de sedimentos en la zona: 1) los sedimentos terrígenos aportados por el Río San Pedro y San Pablo y por Boca del Carmen, así como de la erosión misma del litoral en la Península de Atasta, 2) sedimentos calcáreos aportados por el Río Champotón y el transporte litoral de sedimentos erosionados a lo largo de la zona litoral desde la Península de Yucatán hacia Isla del Carmen y la erosión de la zona litoral calcárea. Existe una zona de transición entre Playa Norte y Club de Playa donde se tiene la presencia de material calcáreo y/o terrígeno sobre todo en la parte marina por el aporte de terrígenos hacia el Este por corrientes generadas en Nortes, En general existe un movimiento de sedimentos procedentes de la Península de Yucatán en condiciones de lluvias y estiaje, aunque es interrumpido por la Boca de Sabancuy y la Boca de Puerto Real donde el sedimento litoral es transportado al interior de la laguna de Términos y el estero de Sabancuy (Figura 138).

El transporte de sedimentos se mueve en dirección Suroeste por la corriente litoral predominante durante el año, y ésta puede cambiar de acuerdo con las estaciones climáticas. Un caso es la época de Nortes en el Golfo de México que puede ocasionar abruptos cambios en la dirección de los vientos y de altas velocidades con respecto a los vientos prevalecientes, provocando un transporte de sedimento hacia el Este y hacia la zona de dunas o supraplaya (Davis Jr., 1978), también se pueden dar cambios en la dirección de la deriva de playa o acentuar la deriva cuando coincide con la corriente predominante, provocando erosión o acumulación de material.



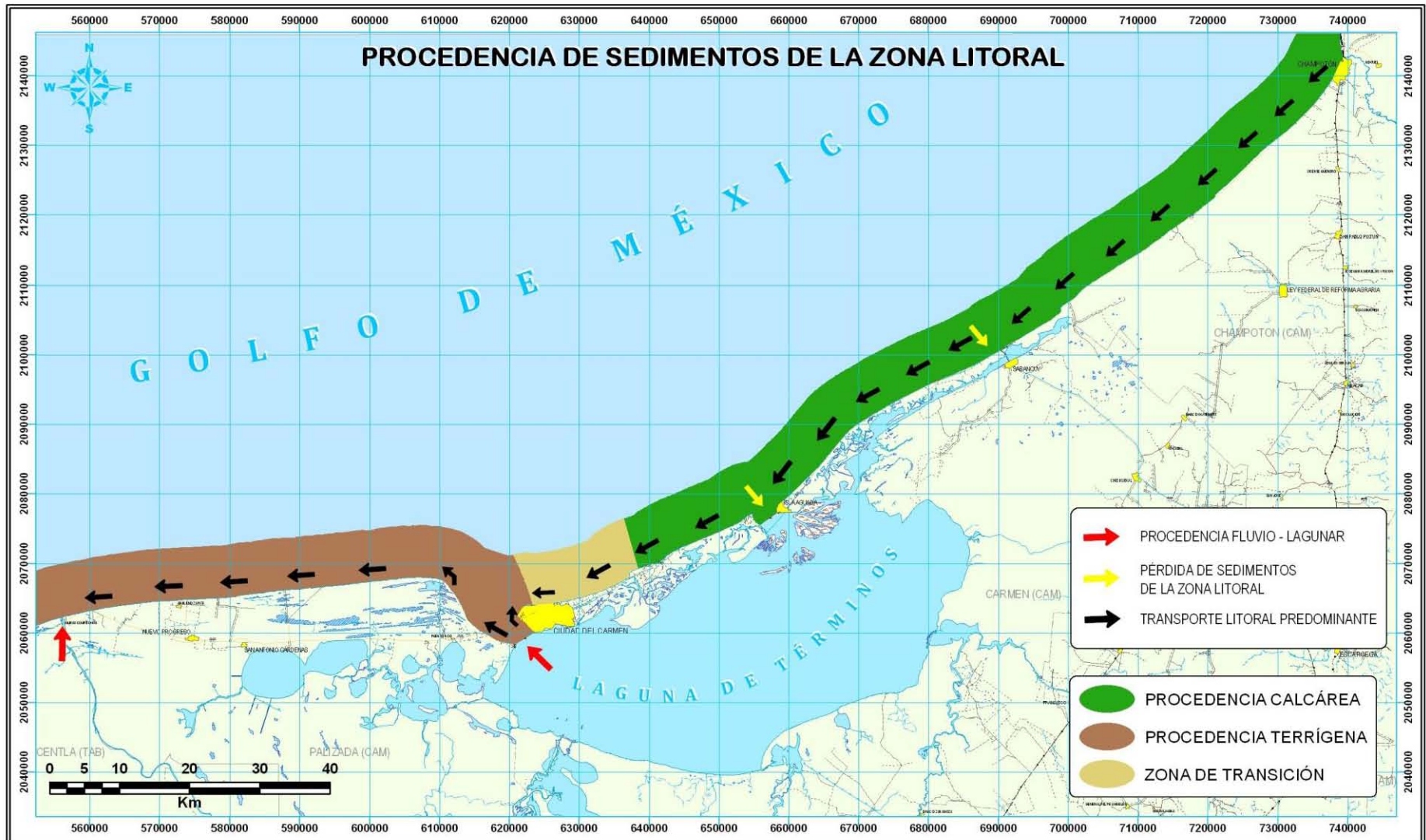


Figura 138. Procedencia de los sedimentos de la zona litoral (verde -sedimentos biogénicos, café-sedimentos terrígenos, ocre-sedimentos de transición (Modificado de UAEM-PEMEX, 2008).

La principal fuente de aporte de sedimentos en la zona litoral, para la gran mayoría de las costas son las corrientes fluviales, las cuales transportan enormes cantidades de arena directamente al océano, sobre todo en época de lluvias. Se tiene otra fuente de sedimentos que es la marina la cual aporta principalmente materiales biogénicos compuestos de restos de conchas la mayoría de las veces moluscos para el caso del litoral de Campeche. Otra de las fuentes de sedimentos a la zona litoral, es la erosión misma de la costa por oleaje y corrientes calcárea o terrígena distribuida por el transporte litoral.



## **FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA SEDIMENTACIÓN COSTERA**

La zona costera actual es el resultado de una combinación de procesos naturales como son: los geológicos, oceanográficos, meteorológicos y biológicos, así como, por construcciones antropogénicas desde presas que retienen el sedimento de los ríos que debería transportarse hasta la zona litoral, hasta construcciones en la zona litoral como espigones, diques, muelles, etc.

Para el caso del área de estudio, se pueden identificar algunos de estos procesos que de alguna forma intervienen en los procesos de erosión y depósito de sedimentos en la zona costera.

### **Factores Geológicos**

Los factores geológicos controlan la geomorfología y litología de la zona litoral, así por ejemplo, las zonas litorales de fácil erosión se tienen cuando los sedimentos en la zona litoral presentan poca cohesión; mientras que las playas tienen mayor resistencia a la erosión cuando presentan un sustrato rocoso o materiales muy cohesivos.

Así tenemos que para el caso de la zona litoral estudiada, la zona que comprende la Península de Atasta es la zona litoral de fácil erosión ya que comprende cordones litorales formados por materiales arenosos y lodosos donde actualmente se ha desarrollado todo un sistema de manglares. Así como parte Oeste de la Isla del Carmen que presenta sedimentos arenosos en su zona litoral. La zonas litoral de mayor resistencia a las erosión se encuentra en la parte Este de Isla del Carmen hasta Champotón donde la zona litoral está compuesta de material rocoso de composición calcárea común en la Península de Yucatán, (Figura 139).

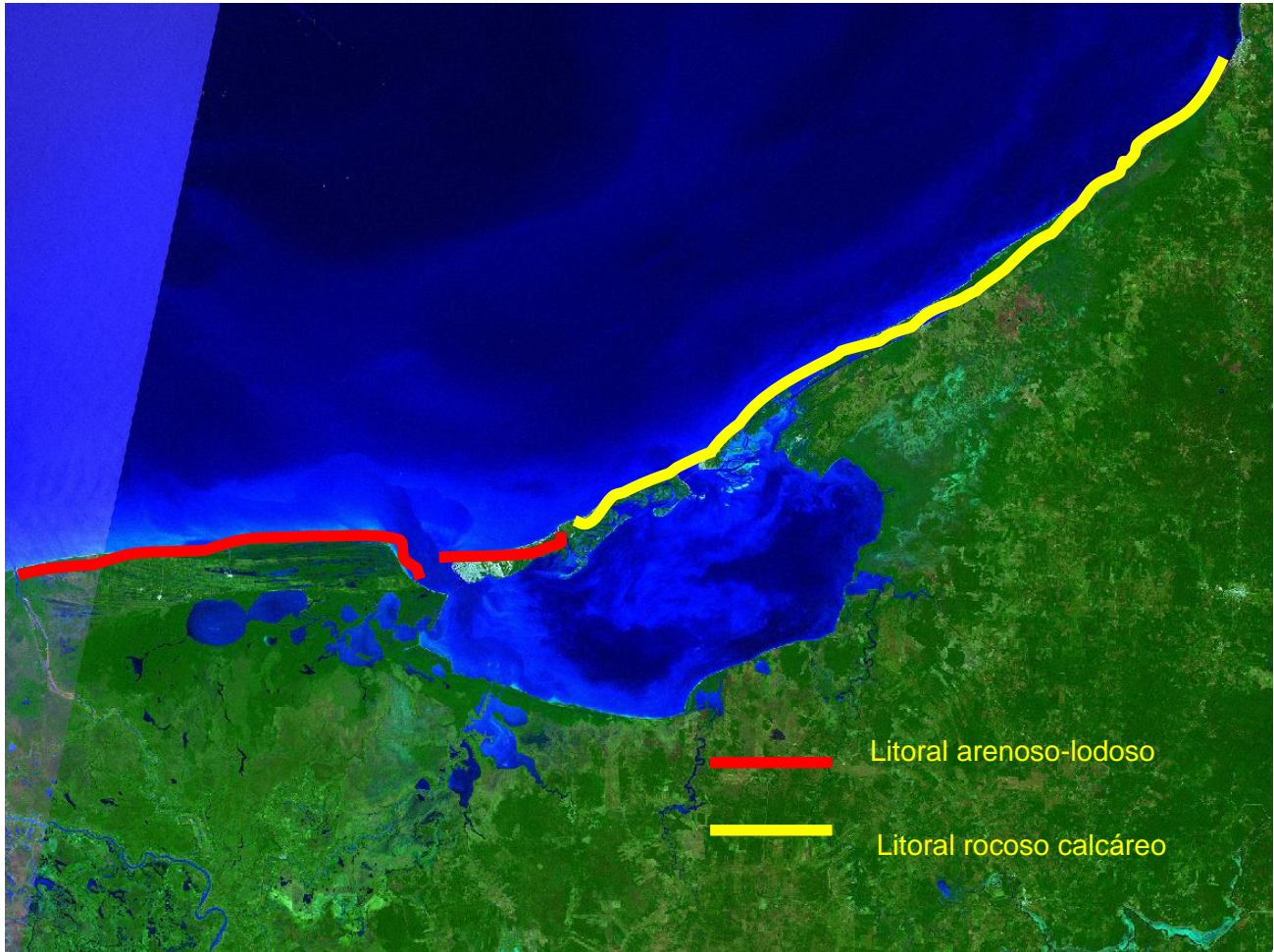


Figura 139. Composición litológica de la zona litoral del área de estudio.

### **Descarga fluvial de sedimentos**

El aporte de arenas a la playa por los ríos o bocas lagunares se da de manera continua en un proceso acumulativo que se ve reflejado al formarse lengüetas, barreras, deltas y cordones litorales en la zona litoral del área de estudio.

En una etapa de la historia geológica, el área presentó etapas acumulativas, cuando el Sistema Grijalva-Usumacinta aportaba enormes cantidades de sedimentos al mar y la playa, formando los deltas del Río Grijalva y delta del San Pedro y San Pablo desarrollando cordones litorales que se extienden hasta la Península de Atasta (Figura 140). Inclusive los ríos que desembocan a la laguna de Términos, aportaban también grandes cantidades de sedimentos al mar sobre todo cuando la Isla del Carmen era formada por tres islas, donde los procesos acumulativos cerraron dos bocas y conformaron la Isla del Carmen.



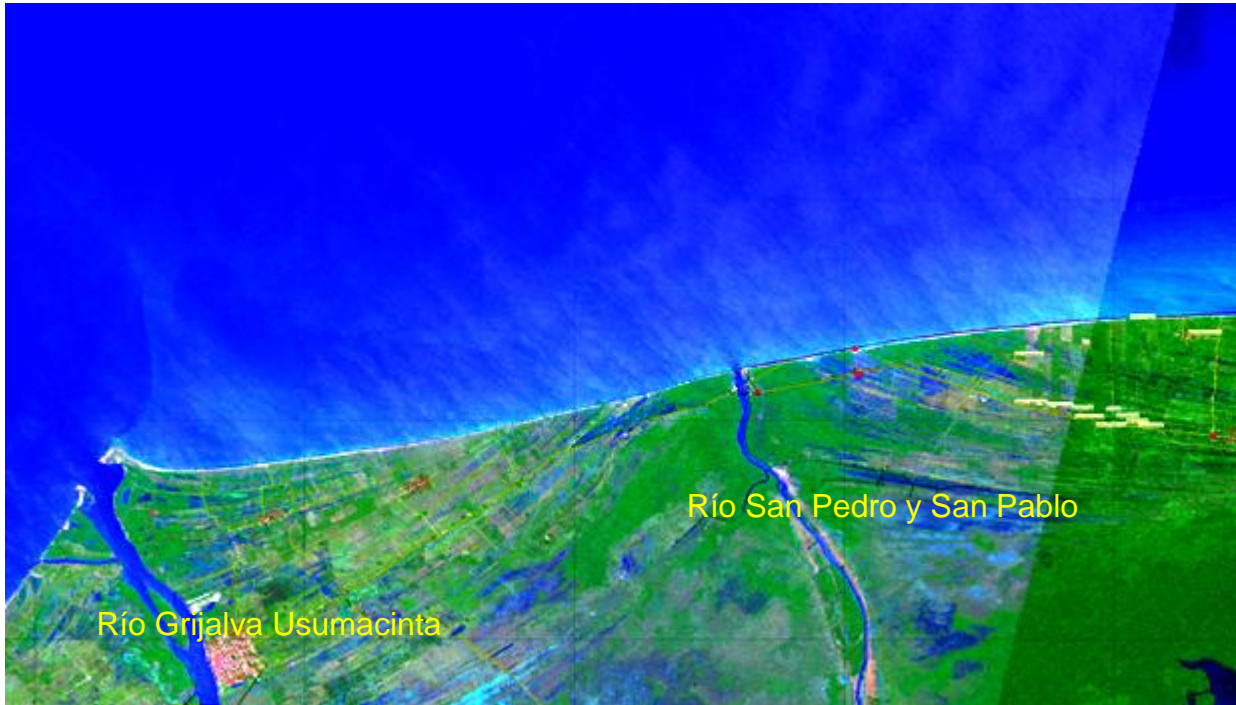


Figura 140 .Delta del Río Grijalva-Usumacinta y delta del río San Pedro y San Pablo

Para el área, se tiene la laguna de Términos con dos bocas: Boca del Carmen donde predomina salida de sedimentos terrígenos (Figura 141), mientras que la Boca Puerto Real es entrada de sedimentos, formando un delta interno con sedimentos que interrumpen su transporte litoral.

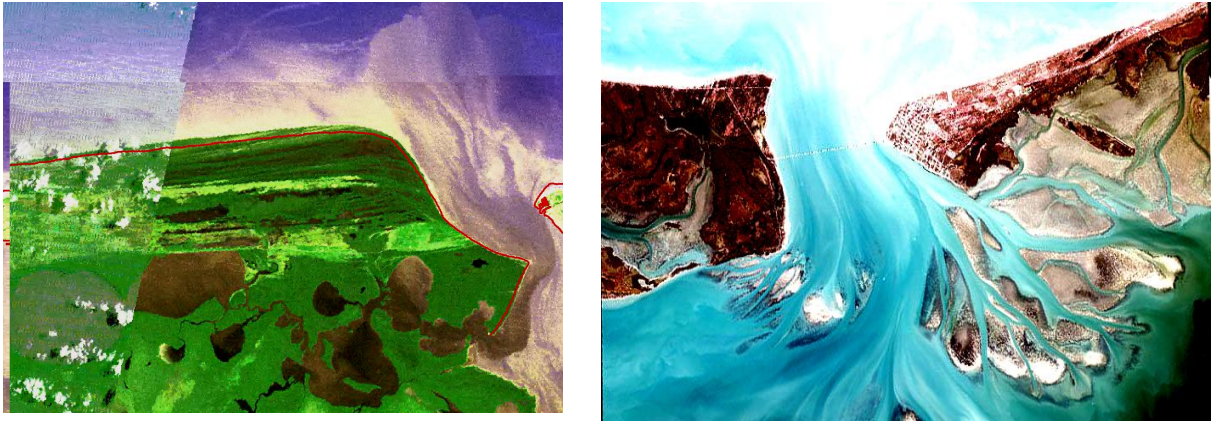


Figura 141. Salida de sedimentos terrígenos en Boca del Carmen y entrada de sedimentos por la Boca de Puerto Real.

## Factores Oceanográficos

Dentro de los factores oceanográficos que afectan la zona costera se consideran aquellos que tienen que ver con la energía que causan la erosión, movimiento y depósito de sedimentos, como son: corrientes costeras, oleaje y sobre elevación por tormenta.

### Corrientes

El patrón de circulación definida en la imagen de satélite y observada en campo en las diferentes épocas de muestro al elaborar los perfiles presenta una dirección dominante del Noreste hacia el Sureste (Figura 142).

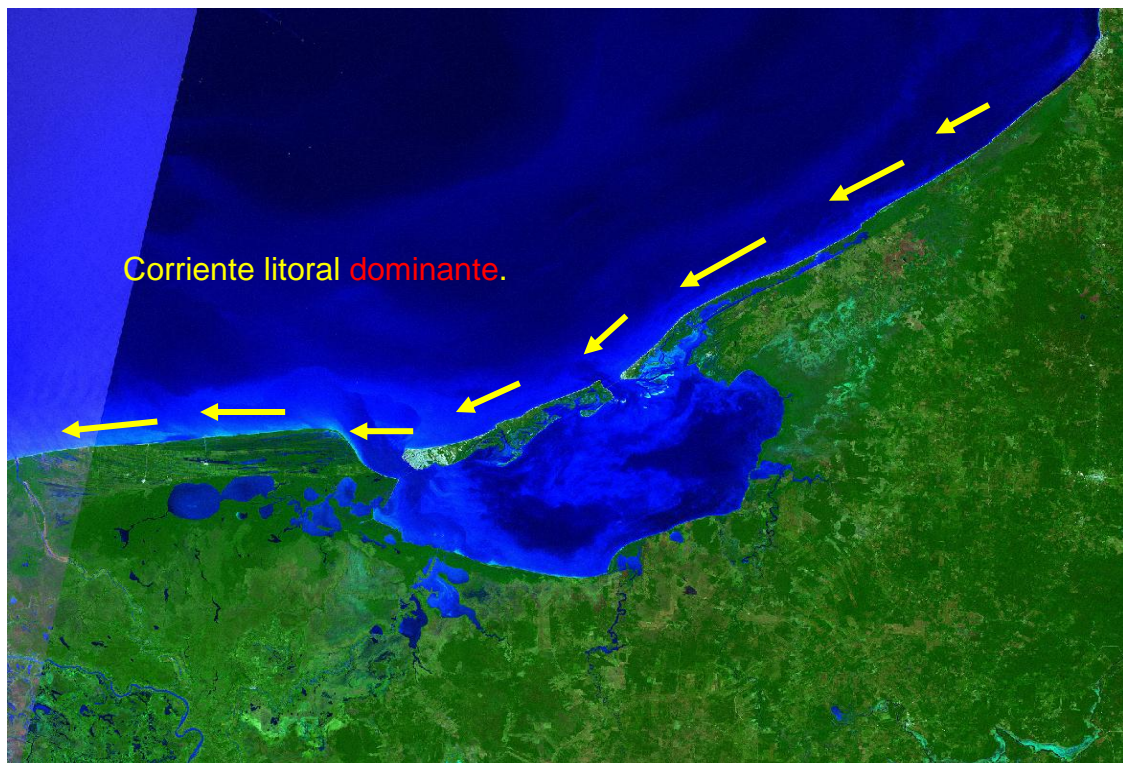


Figura 142. Patrón de circulación dominante en el área de estudio.

Es importante mencionar que durante la ocurrencia de Nortes el flujo se invierte forzado por el viento produciendo corrientes hacia el Este en el litoral (Mancilla y Vargas, 1981).

## **Oleaje**

El oleaje es una de las fuerzas principales que actúa en la geometría y composición de las playas. La mayoría de las olas adquieren su energía de los vientos y finalmente es disipada en la zona litoral. El oleaje es la fuente de energía para la formación de playas, selección y transporte de los sedimentos a lo largo de la zona litoral y de la zona marina hacia la costa.

Las condiciones más severas de erosión las provocan los Nortes que se generan en los meses de octubre a abril, pero los efectos de estos fenómenos no son comparables en intensidad a los de un huracán bien desarrollado. Con base a las mediciones realizadas en las plataformas petroleras, se considera que en la Sonda de Campeche la altura de la ola difícilmente pueda rebasar los 6 m en condiciones extremas, y para un período de 100 años es improbable que la altura de la ola llegue a exceder 9 m de altura (Reporte del IMP, 1983).

La energía del oleaje y las corrientes litorales en los sitios de playa, contribuyen entre otros factores a los fuertes procesos de erosión que se registraron por medio de los monitoreos morfológicos de perfiles de playa y el análisis histórico de la línea de costa.

Uno de los factores del proceso erosivo en las playas, lo constituye la puesta en suspensión de sedimentos por la acción del oleaje, el que a su vez es acarreado por las corrientes litorales provocando un déficit en el abastecimiento natural de arena.

## **Sobreelevación del nivel del mar por tormenta**

Otro factor que provoca la acelerada tasa de erosión en la época de Nortes es la sobre elevación del nivel del mar producida por el apilamiento de agua hacia la costa debido a los fuertes vientos. . Al producirse la sobreelevación por tormenta, se generan cambios significativos en la morfología de la playa, haciendo que el oleaje rompa sobre la supraplaya formando escarpes o escalones de tormenta (Figura 143).





Figura 143. Escarpe de tormenta en Club de Playa (izquierda) y CASES (derecha) posterior al paso de un Norte.

### **Factores meteorológicos**

Elementos directamente asociados con el clima como son temperatura, precipitación, viento afectan a la zona litoral. Las playas son afectadas por trenes de oleaje causados por un viento local o por una tormenta generada a grandes distancias.

### **Vientos**

El viento principalmente en época de Nortes indirectamente actúa sobre la morfología costera a través de la creación del oleaje de gran altura en promedio de tres o cuatro metros (Figura 144). Además de que en la temporada de Nortes se produce un aumento en el nivel del mar por viento causando severos problemas de erosión en la zona costera y sus playas al producir cambios en el nivel del mar, fuertes corrientes y vientos así como altas precipitaciones que mueven grandes cantidades de sedimentos, como se observó en este trabajo.



Figura 144. Oleaje generado por el Norte del 4 de noviembre del 2007, en CPTG-Atasta, que erosionó cerca de 15 m en unas cuantas horas del litoral (Foto tomado por el Biól. Luis Alberto Pérez Basurto, PEMEX).

### **Procesos de erosión durante huracanes**

Se debe tener en cuenta que durante un huracán se genera un oleaje de tormenta y sobreelevación de tormenta cuando fuertes vientos soplan hacia las playas apilando agua hacia la costa produciendo una excepcional elevación del mar en unas horas o días. Acompañando esta elevación del mar se tienen grandes olas que rompen hasta la supraplaya, inundación de las partes bajas de las áreas costeras y cambios en la morfología de la costa en poco tiempo.

La erosión de las playas es muy severa cuando existen estos huracanes y se forma la sobreelevación de tormentas y si la geología litoral la componen sedimentos suaves se presenta una substancial erosión. La elevación temporal del nivel del mar por huracanes a lo largo de la costa Atlántica de los Estados Unidos que ha llegado a ser tan alta como seis metros causando una extensa erosión a las playas y obras civiles costeras (U.S. Army Corps of Engineers, 2002).

En México, Palacio-Prieto y Ortiz-Pérez (2002) publican los efectos del huracán Roxana en la geomorfología costera del Sureste de México que se presentó del 8 al 19 de octubre de 1995, donde las diferencias en litología tuvieron una significativa respuesta a la acción erosiva del huracán ya que en una zona con un litoral rocoso el efecto fue relativamente estable, mientras que en un litoral formado por sedimentos arenosos existió una gran dinámica costera y cambios en la morfología de la costa.



Aunque en el período de monitoreo, no se presentó ningún huracán es importante considerar el hecho de que es una zona de paso de huracanes y en cualquier época de lluvias se puede presentar lo que ocasionaría considerables cambios en la morfología de la playa ya que las olas de tormenta removerían grandes cantidades de sedimentos en suspensión y depositarse en la zona de supraplaya o bien, una considerable cantidad de sedimentos se movería en la corriente litoral, siendo más susceptible las zonas arenosas y lodosas de la Península de Atasta que las zonas de litoral rocoso como lo evaluó Palacio-Prieto y Ortiz-Pérez en el 2002 al paso del Huracán Roxana en la zona litoral de Campeche.

### **Variaciones del nivel del mar y el cambio global climático.**

Los cambios en el nivel del mar causan uno de los mayores efectos en la morfología de la línea de costa. Muchas de las características geomorfológicas en las costas contemporáneas son producto del levantamiento del nivel del mar causado por el cambio global climático, un incremento del aporte de sedimentos a través de los sistemas fluviales por un aumento en la deforestación en la parte continental. Así también se tienen fenómenos de subsidencia que producen variaciones del nivel del mar sea cual fuere el proceso lo que se tendría es un fenómeno de transgresión marina al avanzar el mar hacia la parte continental.

En la zona de estudio se observa claramente en la parte central de la Isla del Carmen en el sitio denominado Club de Playa (Figura 145) el fenómeno de transgresión marina donde el mar avanza hacia la parte continental que puede ser causa de la elevación del mar como lo demuestra, Sánchez-Santillán *et al.* (2005), quién hace una estimación de la tendencia del nivel medio del mar en 6 puertos del Golfo con un aumento promedio de 10.94 cm en los últimos cuarenta años, teniendo al puerto de Tuxpan y Tampico con los valores más altos de 22.5 cm y 17.9 cm, respectivamente. Para Cd. Del Carmen, se estimó un incremento del nivel del mar de aproximadamente 15 cm en 33 años, es decir una tasa de elevación de 0.4 cm/año. Hay que hacer notar que la elevación del nivel del mar puede deberse a subsidencia que es diferente en la zona costera por lo que los valores de elevación cambian. Sin embargo, los cálculos más recientes de la NOAA desde 1993 hasta 2003 reportan una tasa de elevación de 0.31 cm/año.



Figura 145. Avance de la línea de costa por una transgresión marina en la Isla del Carmen, Camp.

Existen fenómenos de largo plazo que causan cambios del nivel del mar están:

- a) Inestabilidad tectónica: donde levantamientos o fallamientos de las márgenes continentales producen lentos cambios en el nivel del mar.
- b) Ajustes Isostáticos: son los procesos mediante los cuales la corteza terrestre alcanza a afectar el equilibrio gravitacional con respecto a fuerzas sobre impuestas (Emery y Aubrey, 1991).ejemplo es la carga de sedimentos que reciben las plataformas continentales y deltas. Esta carga de sedimentos se estima que produce un hundimiento del terreno o subsidencia (Emery y Aubrey, 1991).

Alguno de estos procesos o ambos están presente en el sitio denominado Punta Brigitte Bardot en la parte central de la Isla del Carmen donde aparentemente se tiene un fallamiento que provoca

también una subsidencia como lo demuestra la presencia de cuerpos de agua de una lado de la posible falla (Figura 146).



Figura 146. Posible falla con subsidencia en la Punta Brigitte Bardot en la Isla del Carmen. Camp.

Una significativa subsidencia ocurre en los deltas fluviales, donde grandes volúmenes de sedimentos finos se acumulan rápidamente, lo que produce una compactación natural de los lodos y por lo tanto fenómenos de subsidencia., el primer efecto que es una pérdida de terreno causando la erosión de las playas y en consecuencia se tiene el retroceso de la línea de costa hacia la porción continental. (Ortiz, 1992). La erosión presente en la Península de Atasta también puede ser explicada por un probable fenómeno de subsidencia (Figura 147).





Figura 147. Avance de la línea de costa de 1984 a 1990 en la Península de Atasta.

Las consecuencias del cambio de nivel se ven reflejadas en inundaciones, en intrusión de cuña salina y erosión de la costa (Wayne, *et al.*, 1993). Esto provoca una pérdida de humedales y por lo tanto la destrucción de una barrera natural contra las sobreelevación y oleaje de tormentas provocando que el oleaje impacte en forma erosiva sobre todo a la zona de supraplaya.

### Factores biológicos

Las áreas costeras son normalmente áreas con intensa actividad biológica, en el área de estudio los manglares y los pastos marinos juegan un importante papel en el atrapamiento y estabilización de sedimentos. El crecimiento de plantas acuáticas en humedales y estuarios es crítico para el atrapamiento de sedimentos finos, que al no existir podrían destruirse estos ambientes y con ello facilitar la erosión de la zona costera (Figura 148). Por otro lado hay restos de organismos marinos con partes de esqueletos duros, principalmente constituidos de carbonato de calcio que suministran carbonatos a los sedimentos en ciertos ambientes marinos siendo la principal fuente de sedimentos biogénicos presentes en la zona litoral.

Los manglares de la Laguna de Términos son considerados como los más representativos del Golfo de México y el Caribe, proporcionan muchos servicios ambientales, al convertirse en medios naturales de control, ya que forman barreras contra inundaciones, evitan la erosión costera, filtran toxinas y remueven nutrientes, además son el hábitat de diversas especies de peces, crustáceos, moluscos con importancia ecológica y comercial. Son también zonas de refugio, anidación y alimentación de fauna silvestre que se encuentra amenazada o en peligro de extinción, y de especies endémicas y migratorias. Asimismo es fuente de ingreso para el turismo, la pesca, la obtención de leña para carbón o construcción de viviendas para las comunidades (Agraz-Hernández *et al*, 2006).

Los sitios que sufren una mayor deforestación son: CTPG- Atasta, Playa Disciplina, Punta La Disciplina y el Zacatal, la cual es causada principalmente por la falta de sedimentos en la playa, el incremento del nivel del mar, la intensificación de las corrientes y oleaje sobre todo en huracanes y Nortes, los cambios en el uso de suelo, los asentamientos humanos, la construcción de carreteras, la fragmentación, el turismo, la sobreexplotación pesquera y el uso inadecuado de los manglares (SEMARNAT, 1997).



Figura 148. Pérdida de manglar en la Península de Atasta por erosión costera.

Otro evento que ha ocurrido en la zona es la pérdida de palmeras por la plaga de amarillamiento que destruyó varias áreas de cocoteros dejando al descubierto material arenoso en la zona litoral, el cual es más susceptible de erosión (Figuras 149 y 150).

En la zona de Sabancuy-Champotón la presencia de pastos marinos ha ayudado a la fijación de sedimentos incrementando la resistencia a la erosión de los sedimentos marinos cercanos a la playa.



Figura 149. Material arenoso en agosto 2006  
Atasta



Figura 150. Erosión de la zona litoral, en  
febrero 2006, en Atasta.



## **Factores Antropogénicos**

En diversas partes del mundo el hombre ha modificado la línea de costa, directamente por construcción de obras o dragado, o indirectamente, como resultado las afectaciones que han generado cambios en el aporte de sedimentos a las playas.

Indirectamente, otras actividades que pueden impactar a la zona costera son aquellas que se realizan en la parte continental localizados inclusive a cientos de kilómetros de la costa, como la construcción de presas en los ríos que reducen considerablemente el aporte de sedimentos a la costa ocasionando un desequilibrio en el balance natural de los sedimentos y la reducción de las playas y por consiguiente su erosión (Schwartz, 1982). Por otro lado, la deforestación y las actividades agrícolas que producen erosión de los suelos de la parte continental, los cuales son transportados en grandes volúmenes de sedimentos hacia la costa, aportan materiales generalmente finos, que no son apropiados para la construcción de playas.

La construcción de estructuras como malecones, muelles, escolleras, rompeolas y espigones (Figura 151) son quizás las obras más críticas hechas por el hombre que inducen la erosión costera ya que no se hacen estudios previos de la dinámica costera litoral. Las estructuras paralela a la costa como los rompeolas tratan de prevenir la erosión a lo largo de acantilados o de playas con pendientes fuertes; sin embargo, las olas y mareas generan problemas de erosión en sus extremos.

Estructuras perpendiculares como los espigones, interrumpen el transporte litoral provocando erosión en los sitios donde ya no llegan los sedimentos, ejemplo de ello son las rocas en Club de Playa y espigones presentes en el km 45 de la carretera Cd. del Carmen-Champotón.

Se pueden presentar efectos destructivos en la zona de supraplaya por la destrucción de dunas y la vegetación de la playa al construirse diferentes obras civiles, haciendo muy vulnerable esta zona sobretodo en la época de tormentas. Además estas construcciones interrumpieron el aporte de sedimentos hacia la playa, dando como resultado la erosión de la misma.



Figura 151. Presencia de obras de protección y crecimiento de la zona urbana que modifican la playa.

### **Afectación por obras civiles**

Adicionalmente, en algunas imágenes de satélite y en campo se pudo verificar la existencia del fuerte proceso erosivo que se presenta en el área y que deteriora la infraestructura costera, siendo las vías de comunicación las más afectadas. Además de que se observaron construcciones derribadas y ocupadas por el mar y en algunas zonas se distinguieron defensas (frentes de palizadas y de sacos de arena) improvisadas por los habitantes para ayudar a amortiguar los efectos del oleaje.

En la figura 152 se presenta la distribución de las principales obras civiles localizadas en el litoral del municipio del Carmen.

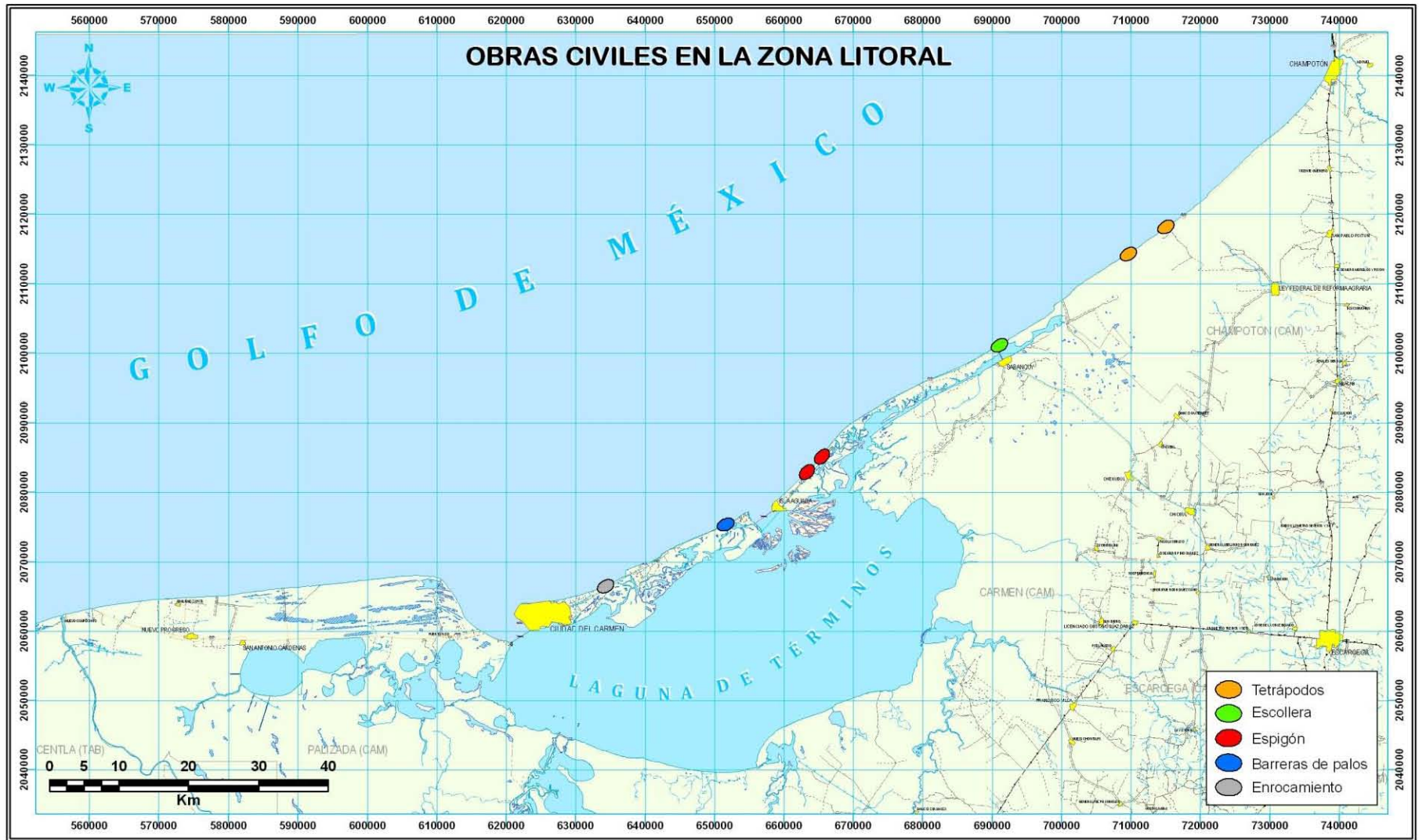


Figura 152. Localización de las principales obras civiles en el litoral del Municipio del Carmen (Modificado de UAEM-PEMEX, 2008).



A continuación se plantean algunos ejemplos de la infraestructura que causa problemas de erosión y viceversa; el fenómeno de erosión afectando a la infraestructura.

En Club de Playa, el hecho de retirar un enrocamiento presente en playa en 2006, causó una rectificación de la línea de costa perdiéndose una parte de la playa (Figura 153).



Figura 153. Club de Playa 2006 y 2007.

Escolleras localizadas en la Boca de Sabancuy interrumpieron el transporte litoral provocando acumulación al Noreste y erosión al Suroeste de la costa (Figura 154).

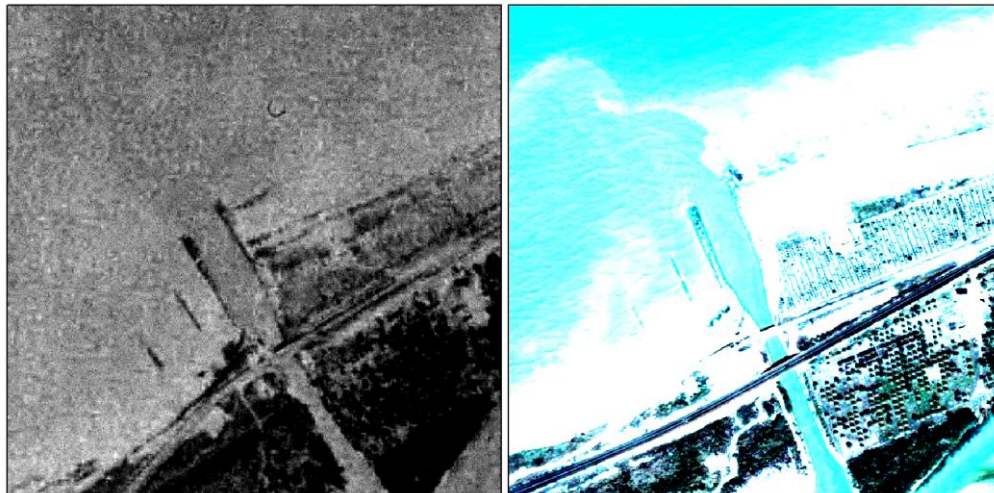


Figura 154. Escolleras en Boca de Sabancuy.

Afectación de la carretera Isla del Carmen-Champotón en el km 45 por la erosión costera (Figura 155).

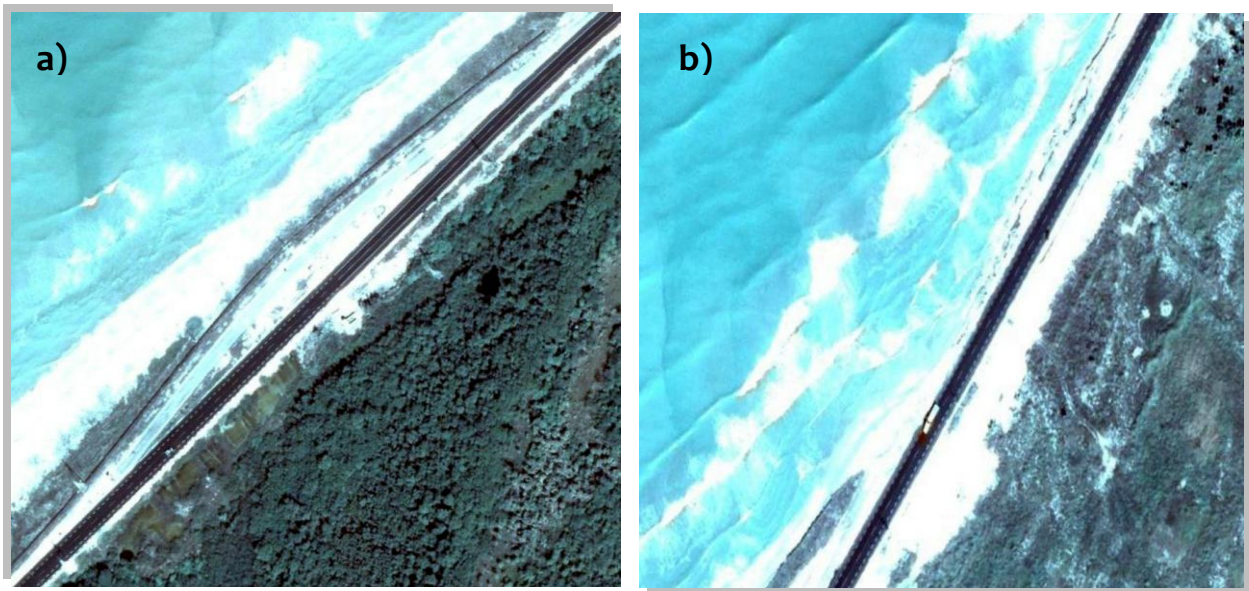


Figura 155. En la imagen a) se observa el desplazamiento de la carretera y en la b) la cercanía entre la costa y la carretera.

Área de espigones en el km 45 de la carretera Cd. Carmen-Champotón, ocasionando interrupción del transporte litoral de arena por los espigones (Figura 156).



Figura 156. Espigones localizados en la zona litoral.

Espigones que no han funcionando para proteger la línea de costa por falta de sedimentos e incrementos del oleaje y modificación de corrientes (Figura157).





Figura 157. Espigones presentes en la zona litoral del Municipio del Carmen en el km 45 de la carretera Cd. del Carmen-Champotón.

Efecto de erosión en la carretera federal en Sabancuy, causado por la interrupción del transporte litoral al construir escolleras en Boca Sabancuy (Figura 158).



Figura 158. Erosión de carretera en Boca Sabancuy.

La presencia de obras civiles en la zona costera produce la mayoría de las veces efectos contrarios a los deseables, por lo que es muy importante hacer los estudios oceanográficos necesarios que permitan modelar y conocer la eficiencia y efectos de la obra en la zona litoral antes de autorizar su construcción. Además de que es importante comparar los efectos de estas obras con los factores naturales.



## CONCLUSIONES

El estudio de la dinámica costera requirió de una metodología compuesta y compleja de investigación monitoreándose y analizándose los diferentes factores que influyen en la dinámica costera en un período de dos años (con 6 muestreos en épocas de lluvias, secas y nortes). Esto permitió identificar en espacio y tiempo (sitios y épocas) los sitios con mayor dinámica por los procesos erosivos.

Un hecho que merece remarcar en el presente estudio es la fusión de metodologías de geodesía, topografía, sistemas de información geográfica y sedimentología que han permitido un análisis completo de la dinámica costera identificando y cuantificando los procesos de erosión y depósito, obteniendo así las siguientes conclusiones:

### **Análisis histórico de la línea de costa**

Los procesos geomorfodinámicos a lo largo de la zona costera del estado de Campeche, determinados en este estudio para un intervalo de 1974 a 2008, muestran un predominio del proceso de erosión de la línea de costa sobre los efectos de los procesos de acreción o depósito, tanto a nivel regional como local. Estas tendencias, son también comparables con los existentes en otras regiones como lo son las costas de Tabasco.

Se identificaron dos procesos geológicos en la zona litoral: 1) Proceso de erosión continua y 2) Proceso de fluctuación de erosión-depósito.

#### 1) Proceso de erosión continúa

Se obtuvo a través de la medición de la línea de costa más antigua (1974) hasta la línea de costa más actual (2002-08), se extiende a todo lo largo del área de estudio. En la zona litoral de la Península de Atasta está la zona más crítica, donde la pérdida de material sobrepasa 700 metros (20.58 m/año), en los que la desaparición de la playa fue completa. El sitio de Isla Aguada fue una de los puntos menos erosionados con una tasa de 0.2 m/año. La causa principal es la presencia de cordones litorales y estratos lodosos de rápida erosión en la zona de Atasta, mientras el transporte litoral acarrea y deposita sedimentos a la playa en Isla Aguada.

#### 2) Fluctuación erosión – depósito

Este segundo proceso es identificado en playa Disciplina y Playa Norte, donde a lo largo de tres décadas ha sufrido erosión o depósito; sin embargo, del 2001 al 2005 está presentando una erosión de la costa, estimándose 20 m/año en Playa Disciplina principalmente al norte de la misma y 48m/año en Playa Norte en la lengüeta arenosa localizada el Oeste de la Playa Norte.

### **Variaciones morfológicas estacionales de la zona litoral.**

Los resultados del análisis morfológico a través de los levantamiento de perfiles de playa permitieron identificar los sitios más críticos por procesos de erosión, estos son: Punta La Disciplina, CONANP 2 (localizado en el km 45 de la Carretera Cd. del Carmen-Champotón), Club de Playa, el Centro de Adiestramiento en Seguridad, Ecología y Supervivencia (CASES) y CPTG-Atasta.

Considerando la morfología de las playas se puede dividir a la zona litoral de Campeche en siete zonas:

- a) La primera zona comprende desde Río San Pedro-San Pablo hasta las playas que se ubican cercanas al Nitrogenoducto las cuales se pueden considerar como estables y formadas por arenas finas.
- b) La segunda zona corresponde con las playas localizadas entre CPTG-Atasta hasta el puente Zacatal (donde se ubica punta La Disciplina), donde predominan los procesos erosivos de los cordones litorales y suelos pantanosos de la Península de Atasta.
- c) La tercera zona es la punta Oeste de la Isla del Carmen, particularmente, desde el Este de Playa Norte hasta la playa en el km 9 de la carretera Isla del Carmen-Champotón con un litoral estable formado de arenas medias y finas.
- d) La cuarta zona es la que corresponde al Club de Playa hasta CASES en la que los resultados evidencian un proceso de erosión formada por arenas gruesas biogénicas.
- e) La quinta zona corresponde con la parte Este de la Isla del Carmen y la zona de Isla Aguada que se puede considerar como estable por la presencia de rocas en la zona litoral.
- f) La sexta zona abarca del km 30 al km 60 aproximadamente de la carretera Cd. Carmen-Champotón y que se encuentra en proceso de erosión.
- g) La séptima zona se localiza del campamento Tortuguero Sabancuy a Champotón las que se pueden considerar como estable o que sufren cambios normales a los diferentes periodos estacionales (excepto Boca de Sabancuy) formado por arenas gruesas biogénicas y protegidas por la presencia de roca de playa en su zona infralitoral.

De las épocas analizadas, la época de Lluvias del 2006, fue la época con mayores aportes fluviales a la zona litoral mientras que la época de nortes del 2006 fue la de mayores variaciones del oleaje y corrientes.

### **Distribución espacio-temporal de los sedimentos litorales durante las diversas épocas**

Considerando el tamaño gráfico promedio de los sedimentos se puede definir tres zonas sedimentarias:

- a) La zona comprendida entre Río San Pedro y San Pablo hasta Boca del Carmen, compuesta por arenas medias a finas de origen terrígeno.
- b) La zona de Isla del Carmen hasta Champotón compuesta por arenas gruesas a medias.
- c) La zona de las bocas con mayores fluctuaciones de tamaño de sedimento, arenas finas en Boca del Carmen y arenas muy gruesas en la boca de Puerto real dependen de la dinámica oceanográfica de las bocas.
- c) La zona de supraplaya es la que refleja los mayores cambios energéticos causados principalmente por las variaciones del oleaje y corrientes en las diferentes épocas climáticas, siendo la época de nortes 2006 donde se dio la mayor variación de tamaños, desde limos hasta arenas muy gruesas. En cuanto a la zona de infraplaya se presentan condiciones energéticas altas con presencia de arenas gruesas principalmente y en la zona de mesoplaya las arenas medias son las más predominantes en cualquiera de las épocas muestreadas.

### **Composición y fuentes de procedencia de los sedimentos litorales**

Se identificaron tres tipos de sedimentos en la zona: 1) los sedimentos terrígenos aportados por el Río San Pedro y San Pablo y por Boca del Carmen, así como de la erosión misma del litoral en la Península de Atasta, 2) sedimentos transicionales y 3) calcáreos aportados por el Río Champotón y el transporte litoral de sedimentos erosionados a lo largo de la zona litoral calcárea de la península hasta la parte central de Isla del Carmen, con el aporte marino de biogénicos hacia la playa.

Por otro lado, en la Boca de Puerto Real y Sabancuy, se interrumpe el transporte litoral de sedimentos hacia el interior de la laguna y estero respectivamente.

Entre los procesos de erosión presentes en la zona litoral, se deben a la suma de varios factores que actúan en mayor o menor grado modificando la línea de costa y sus sedimentos se citan:

- la diferencia de la composición geológica de litoral desde suelos de pantano y cordones litorales arenosos en la Península de Atasta y de un litoral rocoso son arenas biogénicas en la Isla del Carmen hasta el río Champotón. Un fenómeno de subsidencia presente en escala de tiempo largo.
- la interrupción del transporte litoral de sedimentos que predomina del Noreste hacia el Suroeste por escolleras la boca de Sabancuy. Por la presencia de espigones y tretápodos entre el km 45 de

la carretera Cd. del Carmen Champotón y la introducción de arena en boca de Puerto Real hacia la laguna de Términos.

-la disminución de la carga fluvial arenosa hacia la zona litoral.

- la sobre-elevación del nivel del mar por tormenta, con incremento de la altura del oleaje y cambios en intensidad y dirección de corrientes principalmente en nortes, aunque en huracanes también se puede dar con resultados catastróficos pero con períodos de retorno mayores a los nortes, y

- la pérdida de manglar por cuña salina o deforestación.

Los procesos de erosión-depósito son una combinación de factores geológicos, hidrológicos y oceanográficos intensificados por fenómenos meteorológicos, por variaciones del nivel del mar y por la presencia de obras civiles que interrumpen el transporte de sedimentos litoral como son espigones, tetrápodos, escolleras y la carretera federal misma que en conjunto hace muy compleja la dinámica costera. Además de la disminución del aporte de sedimentos al mar debidos a la construcción de presas, carreteras, tetrápodos y gaviones a lo largo de la costa campechana.

Entre otros problemas, la erosión costera ha provocado reducción de playas, avance de la línea de costa hacia el continente, pérdida de playas, pérdida de ecosistemas (manglares), destrucción de playas de anidación de tortugas marinas, intrusión salina, cambios en la batimetría y morfología costera, impactando obras civiles (carreteras, líneas eléctricas, casas habitación e infraestructura petrolera).

## RECOMENDACIONES

La dinámica costera es el resultado de factores naturales y antropogénicos que se producen en diferentes escalas de tiempo y espacio. Los efectos de la dinámica sobre las costas pueden ser de estabilidad, de erosión y de crecimiento de la franja litoral. En este estudio se obtuvo evidencia suficiente para señalar que el litoral de Campeche se encuentra actualmente bajo el efecto de la erosión de sus costas. Con base a los resultados hacemos las siguientes recomendaciones.

- No realizar ninguna obra civil o reparación en la zona litoral sin contar con un estudio de la dinámica costera del sitio, modelando antes y después de la obra. El estudio deberá aportar información sobre fuente de material arenoso, transporte litoral de sedimentos y condiciones de erosión-acreción.
- Monitorear estacionalmente los procesos de la dinámica costera en los sitios críticos detectados en el presente estudio, específicamente CPTG Atasta, Club de playa, CASES y CONANP-2 para prevenir y actuar a tiempo ante los riesgos y vulnerabilidad de infraestructura para diversos escenarios de cambio climático. Las variables a monitorear son: cambio de nivel del mar, patrón de circulación de corrientes y oleaje a detalle, sobre todo en las épocas de nortes y de lluvias. Igualmente, llevar el monitoreo estacional de la tasa de aporte de sedimentos al litoral, transporte litoral y dinámica fluvial en la zona de descarga.
- Realizar una evaluación cuantitativa y cualitativa de todos los aportes naturales de sedimentos a la zona litoral y detectar aquellos que han sido obstruidos o se encuentren con un aporte mínimo (canales de desagüe, drenajes fluviales y de manglares). Así mismo, registrar las diferentes interrupciones de la zona litoral y plantear medidas de solución para el libre tránsito de los sedimentos.
- Dado que la laguna de Términos juega un papel importante en el aporte de sedimentos a la zona litoral y en el equilibrio hidrológico en la zona, se recomienda estudiar la dinámica lagunar en este cuerpo de agua, incluyendo su batimetría estacional para conocer la variación de volúmenes; sus corrientes; y su sedimentología. Además, evaluar las descargas hacia la zona litoral y el aporte de sedimentos que llegan a la laguna por los ríos y las bocas, incluyendo Pom Atasta.
- Realizar una carta de vulnerabilidad de la zona costera a los huracanes y nortes en cuenta los planes de emergencia por huracanes, así como contribuir con los ordenamientos costeros y municipales.
- Crear un programa de prevención y capacidad de respuesta a los efectos ocasionados por la erosión costera para la población ribereña (inundaciones, pérdida de zona urbana), la industria

petrolera (derrames en la zona litoral, movimientos de plataformas) y la conservación de ecosistemas (manglar y playas de anidación tortuguera).

- Instalar un sistema de monitoreo permanente de medición de corrientes y oleaje mediante perfiladores acústicos Doppler para la obtención de información para la modelación regional y local de corrientes, sobretodo, las cercanas a las plataformas petroleras. Tales modelos de circulación coadyuvarán a los sistemas de atención de emergencia en eventos tales como derrames, y accidentes y localización de personas y objetos a la deriva.

Se considera que las acciones o medidas de mitigación deben realizarse con una coordinación interinstitucional y de los tres órdenes de gobierno bajo un programa integral de protección de la zona costera, en el entendido que son acciones a largo plazo y muchas de ellas costosas, considerando que son mucho menores los costos de prevenir que de resolver los daños ocasionados en el aspecto social, económico y ambiental.



**LITERATURA CITADA**

- Agraz-Hernández, C., Noriega-Trejo, R., López-Portillo, J., Flores-Verdugo, F. J. y Jiménez-Zacarías, J. J. 2006. Guía de Campo. Identificación de los Manglares en México. Universidad Autónoma de Campeche. Campeche, México. 45 p.
- Aguayo Camargo J.E., J. Araujo Mendieta, M.A. Gutiérrez Estrada y J.H. Sandoval Ochoa, 2001. Proyecto de Investigación sobre la Geodinámica Marina del Suroeste del Golfo de México, del Neógeno al Reciente. Proyecto FIES-96-17-1 IMP-UNAM, 51 pp. 22.
- Aguirre Gómez R., 2002. Primary Production in the Southern Gulf of Mexico Estimated from Solar-Stimulated Natural Fluorescence. *Hidrobiológica*, 12 (1): 12-28.
- Ayala-Castañares, A., 1963. Sistemática y distribución de los foraminíferos recientes de la Laguna de Términos, Campeche, México. *Bol. Inst. Geol. Univ. Nal. Auton. México*. 67(3): 1-130.
- Bouma, A.H., 1971. Distribution of Sediments and Sedimentary Structures in the Gulf of Mexico. In: Rezak R and V. J. Henry (eds.) *Contributions on the Geological and Geophysical Oceanography of the Gulf of Mexico*. Vol. 3 Texas A. & M. University Oceanographic Studies pp 35-65.
- Cabrera-Ramírez M. and A. Carranza-Edwards. 2002. The Beach Environment in Mexico as a Potential Source of Placer Minerals. *Marine Georesources and Geotechnology*, 20:187-198.
- Campos Castán J., 1981a. Contribución a la Sedimentología y Morfología de la Plataforma Continental Frente a las Costas Campeche, México (Primera Parte). *Inv. Ocean./G81-01:1-41*.
- Campos Castán J., 1981b. Contribución a la Sedimentología y Morfología de la Plataforma Continental frente a las Costas Campeche, México (Segunda Parte). *Inv. Ocean./G81-02:1-46*.
- Carranza-Edwards, A., M. Gutiérrez & R. Rodríguez. 1979. Unidades morfotectónicas continentales de las costas mexicanas, México. *An. Centro Cienc. Del Mar y Limnol. U.N.A.M.* 2: 81- 88.
- Carranza-Edwards A. L. Rosales-Hoz & A. Monreal-Gómez. 1993. Suspended in the Southeastern Gulf of Mexico. *Marine Geology*, 112:257-269.
- Carranza-Edwards A. y Margarita C. C., 1994. Zonificación del perfil de playa. *Boletín informativo del área de ciencias de la tierra*. México, D.F. Vol.2 (II). 26-32pp.
- Carranza-Edwards, A., L. Rosales-Hoz and S. Santiago-Perez, 1996. A Reconnaissance Study of Carbonates in Mexican Beach Sands. *Sedimentary Geology* 101:261-268.
- Carranza Edwards A. 2001. Grain Size Sorting in Modern Beach Sands. *Journal of Coastal Research*, 17 (1): 38-52.
- Carranza-Edwards, A. 2009. Causas y consecuencias de la erosión de playas. [www.tuobra.unam.mx/publicadas/090608101838.pdf](http://www.tuobra.unam.mx/publicadas/090608101838.pdf).

- Carver, R. E., 1971. Procedures in Sedimentary Petrology. Athens, Georgia. 49-135 pp.
- Davis, R. A. Jr., and Hayes, M.O. 1984. What is a Wave-Dominated Coast?, Hydrodynamics and Sedimentation in Wave-Dominated Coastal Environments; B. Greenwood and R.A. Davis, Jr., eds., Marine Geology, Vol 60, pp 313-329.
- Davis, Jr. 1978. Coastal Sedimentary Environments; Springer-Verlag, New York Inc. p 420.
- Emery, K.O., and Aubrey, D.G. 1991. Sea Levels, Land Levels, and Tide Gauges; Springer-Verlag, New York, NY.
- Folk, R. L. 1974. Petrology of Sedimentary Rock. Hemphill Publishing Company, Austin, TX.
- Inman, D.L. and C. E. Nordstrom., 1971. On the tectonic and morphologic classification of coasts. Journal of Geology 79(1):1-21.
- Instituto Mexicano Del Petroleo (IMP). 1983. Estudios Oceanográficos y Meteorológicos en la Sonda de Campeche. Subdirección de Tecnología de Explotación, división de Estudios Especiales.
- Krumbein, W.C. and Sloss, L.C., 1963. Stratigraphy and Sedimentation, W.H. Freeman. Company, San Francisco, 660p.
- Lecuanda R. y F. Ramos-López, 1985. Distribución de Sedimentos en el Sur del Golfo de México. Informe Técnico N°2, Laboratorio de Sedimentología, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México D.F., 22 p.
- Lewis, D.W., 1984. Practical Sedimentology. Van Nostrand Reinhold Company Inc., New York, 229 pp.
- Mancilla-Peraza y Vargas-Flores. 1981. Los primeros estudios sobre la circulación y el flujo neto de agua a través de la Laguna de Términos, Campeche, ICMYL. An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México, 7(2): 1-12.
- McManus, D. A., 1988. A study of maximum load for small diameter screens, J. Sed. Pet. 35, 792-796.
- Monreal-Gómez M.A., D.A. Salas de León, A.R. Padilla Pilotze and M.A. Alatorre Mendieta. 1992. Hidrografía y Estimación de Corrientes de Densidad en el Sur de la Bahía de Campeche, México. Ciencias Marinas 18(4): 115-133.
- Montaño - Ley Y., Mario Gutiérrez-Estrada. Javier Aldeco-Ramírez. 1988. Dinámica de playas del delta del río Balsas, México. ICMYL, An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México, 16(1): 17-32.
- Ortiz P., M.A. (1992), Retroceso reciente de la línea de costa del frente deltaico del río Sn Pedro, Campeche- Tabasco; Investigaciones Geográficas, Boletín, núm. 25, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 7-23.

- Palacio- Prieto, J. L., Mario a. Ortiz Pérez. 2002. Effects of Hurricane Roxanne on Coastal Geomorphology in Southern Mexico. In: Applied Geomorphology; Theory and Practice (ed) R. J. Allison. Jonh Wiley and Sons, Ltd. pp 429-442.
- PEP-UAEM. 2008. Estudio de la Dinámica Costera del litoral norte del municipio del Carmen, Campeche. 522pp.
- Perrilliat-Montoya, M. C., 1960. Moluscos del Mioceno de la Cuenca salina del Istmo de Tehuantepec, México. Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geol. Paleontología Mexicana 8: 1-38.
- Rosales- Hoz, L., A. Carranza Edwards, C. Méndez- Jaime, M. A. Monreal Gómez. 1999. Metals in shelf sediments and their association with continental discharges in a tropical zone. Mar; Freshwater Res. 50, pp. 189-96
- Rothwell, R.G. 1989. Minerals and Minedaloids in Marine Sediments. Elsevier Applied Science, London. 278pp.
- Sánchez, S. N., Garduño L.R. y Negrete R.P. 2005. Análisis del nivel del mar en seis puertos del Golfo de México a través de un método alternativo; Depto. El Hombre y su Ambiente, UAM-Xochimilco. Depto. Climatología. Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM.
- Schwartz, M.L., Ed. 1982. The Enciclopedia of Beaches and Coastal Environments; Enciclopedia of Earth Sciences, Volume XV, Hutchinson Ross Publishing Company, Stroudsburg.PA.
- SEMARNAT 1997. Programa de Manejo del Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos
- Shepard, F.P. 1954(a). Shoreline and Coast of the Gulf of Mexico. In: Gulf of Mexico, its origin, waters and marine life. Fishery Bull. U.S. Fish and Wildlife Serv. 55 (14): 1-604.
- Shepard, F.P. 1954(b). Nomenclature based in sand-silt-clay ratios, Jour. Sed. Pet., 24: 151-158
- Suárez C. 1991. Modificaciones naturales y artificiales en las lagunas de Unare y Piritu y sus efectos ambientales. Universidad Pedagógica Experimental Libertador. Instituto Pedagógico de Caracas. Departamento de ciencias de la tierra, Caracas.
- Tamayo, J. L., 1970. Geografía moderna de México. Ed. Trillas, México. pp. 390.
- U.S. Army Corps of Engineers. 2002. Coastal Engineering Manual; Engineer Manual 1110-2-1100, U.S Army Corps of Engineers, Washington, D.C. (in 6 voluminous).
- Wayne, L., M. Byrnes, L Bristsch, S. Penland, P. Wilkey, T. Williams y J. Williams.1993. A method for classifying land loss by geomorphology and process; in Coastlines of the Gulf of México, American Society of Civil Engineers, Nueva York, pp. 85-95.
- Wentworth, C. K., 1922. A scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. Jour. Geol. 30(5): 377-392.
- Wolf, Paul, Brinker, Russell.1997.Topografía. Editorial Alfaomega, novena edición, Colombia., p. 834.

**ANEXO**

*Diferencias de volumen de sedimentos entre las épocas estacionales y cálculo de balance estacional de las playas muestreadas.*

Sitio	Perfil	Volumen de sedimento estimado (m <sup>3</sup> )						
		Período de lluvias 2005 a nortes 2006	Periodo de nortes 2006 a estiaje 2006	Período de estiaje 2006 a lluvias 2006	Período de lluvias 2006 a nortes 2007	Período de nortes 2007 a estiaje 2007	Período de estiaje 2007 a lluvias 2007	Cálculo de balance (m <sup>3</sup> )
Desembocadura del Río San Pedro - San Pablo	1	0.226	0.162	-0.188	0.465	0.013	-0.251	0.428
	2	0.054	0.069	0.407	-0.083	0.058	0.324	0.828
	3	-0.038	0.099	0.512	-0.370	0.096	0.291	0.591
Nitrogenoducto	4	0.065	0.065	-0.170	-0.095	0.086	0.265	0.215
	5	0.146	0.104	-0.202	-0.010	-0.133	0.177	0.081
	6	0.048	-0.007	-0.158	0.053	0.109	-0.040	0.005
Ducto CPTG-Atasta	7	0.088	-0.187	-0.049	**	**	0.007	-0.141
	8	*	0.079	0.096	**	**	0.222	0.397
	9	*	0.211	0.004	**	**	0.043	0.259
Playa la Disciplina	10	0.049	-0.056	-0.042	0.237	0.263	-0.470	-0.021
	11	0.126	-0.241	0.082	0.221	0.362	-0.075	0.476
	12	0.189	-0.075	-0.130	0.207	0.228	-0.307	0.112
Faro	13	0.008	-0.127	-0.040	-0.255	0.248	0.026	-0.140
Puente Zacatal	14	0.002	0.097	-0.016	0.074	0.071	0.052	0.280
	16	-0.136	0.18315	0.002	0.140	-0.045	-0.051	0.093

Sitio	Perfil	Volumen de sedimento estimado (m <sup>3</sup> )						
		Período de lluvias 2005 a nortes 2006	Periodo de nortes 2006 a estiaje 2006	Período de estiaje 2006 a lluvias 2006	Período de lluvias 2006 a nortes 2007	Período de nortes 2007 a estiaje 2007	Período de estiaje 2007 a lluvias 2007	Cálculo de balance (m <sup>3</sup> )
		-0.085		0.113	0.125	-0.108	0.178	0.076
			-0.147					
Playa Norte, Ciudad del Carmen	17	-0.032	0.229	-0.069	-0.049	0.013	-0.138	-0.046
	18	-0.008	0.035	0.132	-0.163	-0.097	0.121	0.019
	19	-0.294	0.159	-0.159	0.041	-0.089	0.067	-0.275
Km 9 carretera Isla del Carmen	20	0.310	-0.251	0.496	0.230	-0.563	0.314	0.536
Club de playa	21	-0.101	0.036	0.186	0.066	0.387	-0.085	0.489
	22	-0.034	0.418	0.255	0.699	-1.199	0.851	0.990
	23	-0.439	0.195	0.981	-0.255	-0.411	0.154	0.224
Bahamita	24	0.012	0.165	-0.012	-0.132	0.186	0.024	0.243
CASES	25	-0.255	-0.239	-0.707	0.768	0.068	-0.014	-0.379
	26	-0.250	-0.103	0.321	-0.202	0.243	0.024	0.032
	27	0.016	-0.042	0.222	-0.089	0.233	0.115	0.455
km 28 carretera Isla del Carmen	28	0.066	0.014	-0.183	0.042	0.021	-0.287	-0.327
San Nicolasito	29	-0.002	-0.351	0.091	0.028	-0.261	-0.097	-0.593
Punta Real	30	-0.171	0.118	0.127	-0.224	0.138	0.042	0.029

Sitio	Perfil	Volumen de sedimento estimado (m <sup>3</sup> )						
		Período de lluvias 2005 a nortes 2006	Periodo de nortes 2006 a estiaje 2006	Período de estiaje 2006 a lluvias 2006	Período de lluvias 2006 a nortes 2007	Período de nortes 2007 a estiaje 2007	Período de estiaje 2007 a lluvias 2007	Cálculo de balance (m <sup>3</sup> )
	31	0.047	0.029	-0.133	0.274	-0.168	0.131	0.179
	32	0.118	-0.098	0.182	-0.033	0.176	-0.351	-0.005
Isla Aguada	33	0.071	0.140	0.138	-0.176	-0.078	-0.018	0.077
Km 54 carretera a Champotón	34	-0.034	0.187	-0.123	0.375	-0.416	-0.071	-0.082
Sabancuy, campamento tortuguero	35	0.018	-0.127	0.067	0.075	-0.122	0.015	-0.073
Chenkan, campamento tortuguero	36	0.002	-0.147	-0.105	0.022	-0.144	0.033	-0.340
El hueso	37	-0.222	0.160	0.276	-0.417	0.132	-0.01	-0.085
Km 134 Carretera a Champotón	38	-0.123	0.034	0.045	-0.076	0.003	0.092	-0.023
	39	0.006	-0.004	-0.026	0.181	-0.217	0.216	0.157
	40	-0.184	0.034	-0.009	0.045	-0.123	0.290	0.053
Champotón	41	0.054	0.114	-0.061	0.035	-0.174	0.160	0.127
Punta la Disciplina	42	***	-0.047	-0.189	-0.116	-0.276	-0.170	-0.706



Sitio	Perfil	Volumen de sedimento estimado (m <sup>3</sup> )						
		Período de lluvias 2005 a nortes 2006	Periodo de nortes 2006 a estiaje 2006	Período de estiaje 2006 a lluvias 2006	Período de lluvias 2006 a nortes 2007	Período de nortes 2007 a estiaje 2007	Período de estiaje 2007 a lluvias 2007	Cálculo de balance (m <sup>3</sup> )
CONANP1	43	***	***	0.408	-0.532	0.097	0.232	0.204
CONANP2	44				0.676	-0.379	0.503	0.800
	45	***	***	*	1.295	-0.856	-0.560	-0.121
	46				1.363	-1.134	-0.558	-0.330
CONANP3	47			-0.095	1.028	-0.832	-0.044	0.056
	48	***	***	-0.212	0.266	-0.223	0.140	-0.028
	49			0.181	-0.670	0.065	0.524	0.101
CONANP4	50	***	***	***	***	-1.181	0.423	-0.758
Sabancuy-CAPA	51							Solo un muestreo
	52	***	***	***	***	***	***	
	53							

**Nota:** \* Cambio de Banco Nivel por destrucción, \*\* Sin datos por condiciones adversas durante el muestreo, \*\*\* Muestreos iniciados en diferentes fechas.