Consultoría Estratégica para el Proyecto de la Planta Desaladora para las Ciudades de Guaymas y Empalme, Estado de Sonora

B.7 ANÁLISIS DEL PATRÓN DE CORRIENTES Y MAREAS DE LA ZONA.

B.10 IDENTIFICACIÓN DEL SITIO PARA LA UBICACIÓN DEL EMISOR SUBMARINO Y LA GEORREFERENCIACIÓN DEL PUNTO PARA LA DESCARGA DEL AGUA DE SALMUERA.

B.13 MODELACIÓN DE LA DIFUSIÓN DEL AGUA DE RECHAZO DE LA PLANTA DESALADORA.

CONTRATO: CV-B03-012/2016

CIUDAD DE MÉXICO, NOVIEMBRE DE 2016

Contenido

Antecedentes y objetivos 1

B. 7 Análisis del patrón de corrientes y mareas de la zona.

1. Estudio del Clima Marítimo 3

1.1. Oleaje Normal 3
1.2. Oleaje Extraordinario 13
1.3. Viento 19
1.4. Caracterización de las Mareas 26
1.5. Caracterización de las Corrientes Marinas 29

2. Estudios de Corrientes y Calidad del Agua In Situ Sitio 1 35

2.1. Estudio de Corrientes 35
2.2. Estudio de Calidad del Agua In Situ Sitio 1 36
2.2.1. Medición Diurna Sitio 1 37

B.10 Identificación del sitio para la ubicación del emisor submarino y la georreferenciación del punto para la descarga del agua de salmuera.

3. Estudios de Dinámica Marina Sitio 1 42

3.1. Determinación de la Profundidad de Cierre Sitio 1 42
3.2. Análisis de la Propagación y Transformación del Oleaje (CMS-WAVE), Sitio 1 44
3.3. Modelación Hidrodinámica de la Zona Costera Sitio 1 54

4. Estudios de Dinámica Marina Sitio 2 66

4.1. Modelación Hidrodinámica de la Zona de Estudio Sitio 2 66
4.1.1. Análisis del Forzante del Modelo Sitio 2 66
4.1.2. Análisis de Propagación y Transformación del Oleaje Sitio 2 98
4.2. Determinación de la Profundidad de Cierre Sitio 2 124

B.13 Modelación de la difusión del agua de rechazo de la planta desaladora.

4.3. Modelación de Dispersión de Salmuera Sitio 2 127

Anexo Clasificación de Sedimentos Playeros Sitio 1 155

Lista de Figuras

Figura 1. Localización del Sitio de Proyecto *1*
Figura 2. Vértice BN1 ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Figura 3. Vértice BN2 ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Figura 4. Localización del Banco de Nivel de Guaymas ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Figura 5. Banco de Nivel BN3 ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Figura 6. Equipo Empleado para la Nivelación Diferencial ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Figura 7. Vértice Geodésico V 262517 ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Figura 8. Equipo Empleado en el Levantamiento Topográfico ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Figura 9. Mojonera BN3 ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Figura 10. Mojonera BN4 ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Figura 11. Seccionamiento Playeros ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Figura 12. Equipo Empleado en el Levantamiento Batimétrico ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Figura 13. Levantamiento Batimétrico ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Figura 14. Toma de Lecturas en Regla de Mareas ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Figura 15. Levantamiento Batimétrico Terminado ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Figura 16. Plano del Levantamiento Batimétrico Sitio 1 ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Figura 17. Localización de Puntos de Muestreo de Sedimentos ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Figura 18. Toma de Muestra en la Zona de Rompientes ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Figura 19. Muestras Obtenidas ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Figura 20. Levantamiento Topohidrográfico Sitio 2, Proporcionado por la CEAS **¡Error! Marcador no definido.**
Figura 21. Malla del Modelo WaveWatch III para la Zona del Golfo de California 4
Figura 22. Serie Histórica de Hs. Fuente WaveWatch III (aguas profundas). Análisis con AMEVA®, CAROL® y MATLAB® 5
Figura 23. Serie Histórica de Tp. Fuente WaveWatch III (aguas profundas). Análisis con AMEVA®, CAROL® y MATLAB® 5
Figura 24. Serie Anual de Hs. Fuente WaveWatch III (Aguas Profundas). Análisis con AMEVA®, CAROL® y MATLAB® 6
Figura 25. Función de Distribución Hs. Fuente WaveWatch III (aguas profundas). Análisis con AMEVA®, CAROL® y MATLAB® 7
Figura 26. Función de Distribución Hs. Fuente WaveWatch III (Aguas Profundas). Análisis con AMEVA®, CAROL® y MATLAB® 8
Figura 27. Rosa Direccional del Análisis Anual del Oleaje. Fuente WaveWatch III (Aguas Profundas). Análisis con AMEVA®, CAROL® y MATLAB® 8
Figura 28. Análisis Estadístico de Frecuencia de Ocurrencia por Dirección y Rosa Direccional del Análisis del Oleaje de PRIMAVERA. Fuente WaveWatch III (Aguas Profundas). Análisis con AMEVA®, CAROL® y MATLAB®. 9
Figura 29. Análisis Estadístico de Frecuencia de Ocurrencia por Dirección y Rosa Direccional del Análisis del Oleaje de VERANO. Fuente WaveWatch III (Aguas Profundas). Análisis con AMEVA®, CAROL® y MATLAB®. 9
Figura 30. Análisis Estadístico de Frecuencia de Ocurrencia por Dirección y Rosa Direccional del Análisis del Oleaje de OTOÑO. Fuente WaveWatch III (Aguas Profundas). Análisis con AMEVA®, CAROL® y MATLAB® 10
Figura 31. Análisis Estadístico de Frecuencia de Ocurrencia por Dirección y Rosa Direccional del Análisis del Oleaje de INVIERNO. Fuente WaveWatch III (Aguas Profundas). Análisis con AMEVA®, CAROL® y MATLAB®. 10
Figura 32. Rosas de Oleaje de Información Separada de Forma Mensual para Emplear en la Modelación. Enero a Junio 11

Figura 33. Rosas de Oleaje de Información Separada de Forma Mensual para Emplear en la Modelación. Julio a Diciembre 12
Figura 34. Análisis Estadístico del Oleaje Mensual 13
Figura 35. Trayectoria de Huracanes Analizados con Influencia en la Zona de Estudio entre 1900 y 2015. Fuente NOAA 16
Figura 36. He Asociada a Periodos de Retorno GEV. Datos con Registros de Oleaje de Últimos 10 Años 18
Figura 37. Serie Histórica de Datos Medidos en la Zona Cercana a la de Estudio. Registros de la Estación Campo Selza de la REMAS 20
Figura 38. Rosa de Vientos. Registros de la Estación Campo Selza de la REMAS 21
Figura 39. Mapa de Datos NOAA/NCEP Global Forecast System (GFS) 22
Figura 40. Rosa de Vientos de a) Zona Costera y Terrestre de Guaymas y b) Zona Costera y Terrestre Entre Cochorit y Guásima 22
Figura 41. Rosa de Vientos de a) Zona Marina Bahía y b) Zona Costera y Terrestre Isla Lobos 23
Figura 42. Rosas de Vientos de Información Separada Mensualmente para Modelación; Enero a Junio .24
Figura 43. Rosas de Vientos de Información Separada Mensualmente para Modelación; Julio a Diciembre 25
Figura 44. Análisis Estadístico de los Vientos Mensuales 25
Figura 45. Comparativa de Mediciones y Pronósticos de Marea de la Estación Guaymas; a) Gráfica Mensual; b) Gráfica Semanal. SEMAR 28
Figura 46. Serie Histórica y Mensual de la Rapidez de la Corriente en la Zona de Estudio; Punto 1 en Superficie. Datos HYCOM 1995-2012 31
Figura 47. Serie Histórica y Mensual de la Rapidez de la Corriente en la Zona de Estudio; Punto 1 en Fondo. Datos HYCOM 1995-2012 31
Figura 48. Serie Histórica y Mensual de la Rapidez de la Corriente en la Zona de Estudio; Punto 2 en Superficie. Datos HYCOM 1995-2012 31
Figura 49. Serie Histórica y Mensual de la Rapidez de la Corriente en la Zona de Estudio; Punto 2 en Fondo. Datos HYCOM 1995-2012 32
Figura 50. Diagrama de Densidades de la Rapidez de la Corriente Respecto a la Dirección en la Zona de Estudio; Punto 1 en Superficie (Izquierda) y Fondo (Derecha). Datos HYCOM 1995-2012 32
Figura 51. Diagrama de Densidades de la Rapidez de la Corriente Respecto a la Dirección en la Zona de Estudio; Punto 2 en Superficie (Izquierda) y Fondo (Derecha). Datos HYCOM 1995-2012 33
Figura 52. Rosas de Corrientes Generadas en el Punto 1 en Superficie (Izquierda) y Fondo (Derecha). Datos HYCOM 1995-2012 33
Figura 53. Rosas de Corrientes Generadas en el Punto 2 en Superficie (Izquierda) y Fondo (Derecha). Datos HYCOM 1995-2012 33
Figura 54. Localización de los Puntos de Medición de Corrientes Sitio 1 35
Figura 55. Equipo Empleado en la Medición de Corrientes 35
Figura 56. Estaciones de Muestreo Calidad del Agua In Situ Sitio 1 37
Figura 57. Temperatura Diurna Sitio 1 38
Figura 58. Salinidad Diurna Sitio 1 38
Figura 59. Potencial Hidrógeno Diurno Sitio 1 39
Figura 60. Oxígeno Disuelto Diurno Sitio 1 39
Figura 61. Sólidos Disueltos Totales Diurno Sitio 1 40
Figura 62. Zonificación de Perfil Estacional (Hallermeirer, 1978) 43
Figura 63. Construcción del Modelo Digital de Terreno con base en Cartas Náuticas y Batimetría Disponible; a) Zona de Aguas Profundas; b) Aguas Intermedias y Bajas 46
Figura 64. Representación de la Malla del Modelo; a) Aguas Profundas; b) Aguas Bajas 47
Figura 65. Estaciones de Medición de Oleaje Distribuidas en la Zona de Estudio 47
Figura 66. Representación de la Propagación del Oleaje de Aguas Profundas; a) SSE; b) WNW; c) NW; para Oleaje en Régimen Medio 48

Figura 67. Representación Esquemática de la Propagación del Oleaje en Régimen Medio en Aguas Bajas para la Dirección SSE con Frecuencia del 41%....49
Figura 68. Representación Esquemática de la Propagación del Oleaje en Régimen Medio en Aguas Bajas para la Dirección WNW con Frecuencia del 15.5% 49
Figura 69. Representación Esquemática de la Propagación del Oleaje en Régimen Medio en Aguas Bajas para la Dirección NW con Frecuencia del 35.5%....49
Figura 70. Representación de la Propagación del Oleaje en Aguas Profundas; a) SSE; b) S; c) SSW; d) SW; Régimen Extremal 50
Figura 71. Representación de la Propagación del Oleaje en Aguas Profundas; a) WSW; b) W; Régimen Extremal....51
Figura 72. Representación de la Propagación del Oleaje Extremal en Aguas Bajas para la Dirección SSE 52
Figura 73. Representación de la Propagación del Oleaje Extremal en Aguas Bajas para la Dirección S ..52
Figura 74. Representación de la Propagación del Oleaje Extremal en Aguas Bajas para la Dirección SSW 53
Figura 75. Representación de la Propagación del Oleaje Extremal en Aguas Bajas para la Dirección SW 53
Figura 76. Representación de la Propagación del Oleaje Extremal en Aguas Bajas para la Dirección WSW 54
Figura 77. Representación de la Propagación del Oleaje Extremal en Aguas Bajas para la Dirección W .54
Figura 78. Diagrama de Acoplamiento del Modelo 55
Figura 79. Dominio del Modelo Hidrodinámico 56
Figura 80. Forzamiento de Mareas 57
Figura 81. Serie de Magnitudes de Velocidad en el Tiempo para el Punto Point1, -2.5 m de Profundidad59
Figura 82. Serie de Magnitudes de Velocidad en el Tiempo para el Punto Point2, -5 m de Profundidad...59
Figura 83. Serie de Magnitudes de Velocidad en el Tiempo para Aguas Intermedias el Punto Point3, -8 m de Profundidad 60
Figura 84. Patrones de Corrientes Generales en la Zona de Estudio para Forzante de Marea Solamente 60
Figura 85. Patrones de Corrientes Generales en la Zona de Estudio para Forzante de Marea y Viento ...61
Figura 86. Patrones de Corrientes Generales en la Zona de Estudio para Forzante de Marea, Viento y Oleaje 61
Figura 87. Magnitudes de Velocidad para la Dirección Principal del Viento (315º y 7 m/s), Noviembre a Febrero 62
Figura 88. Patrones de Corrientes al Presentarse la Pleamar para la Principal Dirección del Viento, Noviembre a Febrero (315º y 7 m/s) 62
Figura 89. Patrones de Corrientes al Presentarse la Bajamar para la Principal Dirección del Viento, Noviembre a Febrero (315º y 7 m/s) 63
Figura 90. Magnitudes de Velocidad para la Dirección Principal del Viento (315º y 7 m/s), Marzo y Abril .63
Figura 91. Patrones de Corrientes al Presentarse la Pleamar para la Principal Dirección del Viento, Marzo y Abril (315º y 7 m/s) 64
Figura 92. Magnitudes de Velocidad para la Dirección Principal del Viento (135º y 6 m/s), Junio 64
Figura 93. Patrones de Corrientes al Presentarse la Pleamar para la Principal Dirección del Viento, Junio (135º y 6 m/s) 65
Figura 94. Patrones de Corrientes al Presentarse la Bajamar para la Principal Dirección del Viento, Junio (135º y 6 m/s) 65
Figura 95. Malla del Modelo WaveWatch III para la Zona del Golfo de California, Sitio 2 67
Figura 96. Serie Histórica de Hs. Fuente WaveWatch III (Aguas Profundas). Análisis con AMEVA®, CAROL® y MATLAB®, Sitio 2....68
Figura 97. Serie Histórica de Tp. Fuente WaveWatch III (Aguas Profundas). Análisis con AMEVA®, CAROL® y MATLAB®, Sitio 2....68

Figura 98. Serie Anual de Hs. Fuente WaveWatch III (Aguas Profundas). Análisis con AMEVA®, CAROL® y MATLAB®, Sitio 2 69
Figura 99. Función de Distribución Hs. Fuente WaveWatch III (Aguas Profundas). Análisis con AMEVA®, CAROL® y MATLAB®, Sitio 2 70
Figura 100. Función de Distribución Hs. Fuente WaveWatch III (Aguas Profundas). Análisis con AMEVA®, CAROL® y MATLAB®, Sitio 2 71
Figura 101. Rosa Direccional del Análisis Anual del Oleaje. Fuente WaveWatch III (Aguas Profundas). Análisis con AMEVA®, CAROL® y MATLAB®, Sitio 2. 71
Figura 102. Análisis Estadístico de Frecuencia de Ocurrencia por Dirección y Rosa Direccional del Análisis del Oleaje de PRIMAVERA. Fuente WaveWatch III (Aguas Profundas). Análisis con AMEVA®, CAROL® y MATLAB®, Sitio 2 72
Figura 103. Análisis Estadístico de Frecuencia de Ocurrencia por Dirección y Rosa Direccional del Análisis del Oleaje de VERANO. Fuente WaveWatch III (Aguas Profundas). Análisis con AMEVA®, CAROL® y MATLAB®, Sitio 2 72
Figura 104. Análisis Estadístico de Frecuencia de Ocurrencia por Dirección y Rosa Direccional del Análisis del Oleaje de OTOÑO. Fuente WaveWatch III (Aguas Profundas). Análisis con AMEVA®, CAROL® y MATLAB®, Sitio 2 73
Figura 105. Análisis Estadístico de Frecuencia de Ocurrencia por Dirección y Rosa Direccional del Análisis del Oleaje de INVIERNO. Fuente WaveWatch III (Aguas Profundas). Análisis con AMEVA®, CAROL® y MATLAB®, Sitio 2 73
Figura 106. Rosas de Oleaje de Información Separada de Forma Mensual para Modelación. Enero a Junio, Sitio 2 74
Figura 107. Rosas de Oleaje de Información Separada de Forma Mensual para Emplear en Modelación. Julio a Diciembre, Sitio 2 75
Figura 108. Análisis Estadístico del Oleaje Mensual 76
Figura 109. Trayectoria de Huracanes Analizados con Influencia en la Zona de Estudio entre 1900 y 2015. Fuente NOAA, Sitio 2 79
Figura 110. He Asociada a Periodos de Retorno GEV. (Datos con Registros de Oleaje de Últimos 10 años), Sitio 2 81
Figura 111. Serie Histórica de Datos Medidos en la Zona Cercana a la de Estudio. Registros de la Estación Campo Selza de la REMAS, Sitio 2 83
Figura 112. Rosa de Vientos. Registros de la Estación Campo Celza de la REMAS, Sitio 2 84
Figura 113. Mapa de Datos de Oleaje NOAA/NCEP Global Forecast System (GFS), Sitio 2 85
Figura 114. Rosa de Vientos de a) Zona Costera y Terrestre de Guaymas y b) Zona Costera y Terrestre Entre Cochorit a Guasima, Sitio 2 85
Figura 115. Rosa de Vientos de a) Zona Marina Bahía y b) Zona Costera y Terrestre Isla Lobos, Sitio 2.86
Figura 116. Rosas de Vientos de Información Separada de Forma Mensual para Emplear en Modelación. Enero a Junio, Sitio 2....87
Figura 117. Rosas de Vientos de Información Separada de Forma Mensual para Emplear en Modelación. Julio a Diciembre, Sitio 2 88
Figura 118. Análisis Estadístico de los Vientos Mensuales, Sitio 2 88
Figura 119. Comparativa de Mediciones y Pronósticos de Marea en la Estación de Guaymas a) Gráfica Mensual y b) Gráfica Semanal. SEMAR, Sitio 2 91
Figura 120. Serie Histórica y Mensual de la Rapidez de la Corriente en la Zona de Estudio, Punto 1 en Superficie. Datos de HYCOM 1995-2012, Sitio 2 94
Figura 121. Serie Histórica y Mensual de la Rapidez de la Corriente en la Zona de Estudio, Punto 1 en Fondo. Datos de HYCOM 1995-2012, Sitio 2 95
Figura 122. Serie Histórica y Mensual de la Rapidez de la Corriente en la Zona de Estudio, Punto 2 en Superficie. Datos de HYCOM 1995-2012, Sitio 2 95
Figura 123. Serie Histórica y Mensual de la Rapidez de la Corriente en la Zona de Estudio, Punto 2 en Superficie. Datos de HYCOM 1995-2012, Sitio 2 95

Figura 124. Diagrama de Densidades Rapidez de la Corriente Respecto a la Dirección en la Zona de Estudio, Punto 1 en Superficie (izquierda) y Fondo (derecha). Datos de HYCOM 1995-2012, Sitio 2 96
Figura 125. Diagrama de Densidades Rapidez de la Corriente Respecto a la Dirección en la Zona de Estudio, Punto 2 en Superficie (izquierda) y Fondo (derecha). Datos de HYCOM 1995-2012, Sitio 2 96
Figura 126. Rosas de Corrientes Generales en el Punto 1 en Superficie (izquierda) y Fondo (derecha). Datos de HYCOM 1995-2012, Sitio 2....97
Figura 127. Rosas de Corrientes Generales en el Punto 1 en Superficie (izquierda) y Fondo (derecha). Datos de HYCOM 1995-2012, Sitio 2....97
Figura 128. Construcción del Modelo Digital de Terreno con Base en Cartas Náuticas y Batimetrías Disponibles, a) Zona de Aguas Profundas y b) Aguas Intermedias y Bajas, Sitio 2....99
Figura 129. Representación de la Malla del Modelo a) Aguas Profundas y b) Aguas Bajas, Sitio 2 100
Figura 130. Estaciones de Medición de Oleaje Distribuidas en la Zona de Estudio, Sitio 2 101
Figura 131. Representación de la Propagación del Oleaje de Aguas Profundas de a) SSE, b) WNW y c) NW para Oleaje en Régimen Medio, Sitio 2....101
Figura 132. Representación Esquemática de la Propagación del Oleaje en Régimen Medio en Aguas Bajas para la Dirección SSE, que Tiene una Frecuencia de Ocurrencia de 41%, Sitio 2 102
Figura 133. Representación Esquemática de la Propagación del Oleaje en Régimen Medio en Aguas Bajas para la Dirección WNW, que Tiene una Frecuencia de Ocurrencia de 15.5%, Sitio 2 103
Figura 134. Representación Esquemática de la Propagación del Oleaje en Régimen Medio en Aguas Bajas para la Dirección NW, que Tiene una Frecuencia de Ocurrencia de 35.5%, Sitio 2 103
Figura 135. Representación de la Propagación del Oleaje de Aguas Profundas de a) SSE, b) S, c) SSW, d) SW Para Oleaje en Régimen Extremal, Sitio 2 104
Figura 136. Representación de la Propagación del Oleaje de Aguas Profundas de a) WSW y b) W, Para Oleaje en Régimen Extremal, Sitio 2....105
Figura 137. Representación de la Propagación del Oleaje Extremal en Aguas Bajas para a Dirección SSE, Sitio 2....106
Figura 138. Representación de la Propagación del Oleaje Extremal en Aguas Bajas Para la Dirección S, Sitio 2....106
Figura 139. Representación de la Propagación del Oleaje Extremal en Aguas Bajas Para la Dirección SSW, Sitio 2....107
Figura 140. Representación de la Propagación del Oleaje Extremal en Aguas Bajas Para la Dirección SW, Sitio 2....107
Figura 141. Representación de la Propagación del Oleaje Extremal en Aguas Bajas Para la Dirección WSW, Sitio 2....108
Figura 142. Representación de la Propagación del Oleaje Extremal en Aguas Bajas Para la Dirección W, Sitio 2....108
Figura 143. Diagrama de Acoplamiento de Modelos, Sitio 2....109
Figura 144. Dominio del Modelo Hidrodinámico, Sitio 2 110
Figura 145. Forzante de Marea, Sitio 2....111
Figura 146. Serie de Magnitudes de Velocidad en el Tiempo para el Punto Cercano a la Costa (Point1) -2.5 m de Profundidad, Sitio 2 113
Figura 147. Serie de Magnitudes de Velocidad en el Tiempo Cercano a la Costa (Point2) -5 m de Profundidad, Sitio 2 114
Figura 148. Serie de Magnitudes de Velocidad en el Tiempo para Aguas Intermedias (Point3) -8 m de Profundidad, Sitio 2 114
Figura 149. Patrones de Corrientes Generales en la Zona de Estudio para Forzante de Marea Solamente, Sitio 2....115
Figura 150. Patrones de Corrientes Generales en la Zona de Estudio para Forzante de Marea y Viento, Sitio 2....115

Figura 151. Patrones de Corrientes Generales en la Zona de Estudio para Forzante de Marea, Viento y Oleaje, Sitio 2 116
Figura 152. Magnitudes de Velocidad para la Dirección Principal del Viento (315° y 7 m/s) Que Se Presenta de Diciembre y Enero, Sitio 2 116
Figura 153. Patrón de Corrientes al Presentarse la Pleamar para la Principal Dirección del Viento de Diciembre y Enero (315° y 7m/s), Sitio 2 117
Figura 154. Patrón de Corrientes al Presentarse la Bajamar para la Principal Dirección del Viento de Diciembre y Enero (315° y 7m/s), Sitio 2 117
Figura 155. Magnitudes de Velocidad para la Dirección Principal del Viento (315° y 6.5 m/s) que se Presenta en Febrero, Abril y Noviembre, Sitio 2....118
Figura 156. Patrón de Corrientes al Presentarse la Pleamar para la Principal Dirección del Viento en el Mes de Febrero, Abril y Noviembre (315° y 6.5 m/s), Sitio 2 118
Figura 157. Magnitudes de Velocidad para la Dirección Principal del Viento (315° y 5.5 m/s) que se Presenta de Marzo, Septiembre y Octubre, Sitio 2....119
Figura 158. Patrón de Corrientes al Presentarse la Pleamar para la Principal Dirección del Viento de Marzo, Septiembre y Octubre (315° y 5.5 m/s), Sitio 2 119
Figura 159. Magnitudes de Velocidad para la Dirección Principal del Viento (315° y 5 m/s) que se Presenta en Mayo, Sitio 2 120
Figura 160. Patrón de Corrientes al Presentarse la Pleamar para la Principal Dirección del Viento de Mayo (315° y 5 m/s), Sitio 2 120
Figura 161. Magnitudes de Velocidad para la Dirección Principal del Viento (135° y 6.2 m/s) que se Presenta en Junio, Sitio 2 121
Figura 162. Patrón de Corrientes al Presentarse la Pleamar para la Principal Dirección del Viento en el Mes de Junio (135° y 6 m/s), Sitio 2....121
Figura 163. Patrón de Corrientes al Presentarse la Bajamar para la Principal Dirección del Viento en el Mes de Junio (135° y 6 m/s), Sitio 2....122
Figura 164. Magnitudes de Velocidad para la Dirección del Viento (157.5° y 5.5 m/s) que se Presenta en Julio, Agosto y es la Tercera Dirección que Incide en Septiembre, Sitio 2....122
Figura 165. Patrón de Corrientes al Presentarse la Pleamar para la Principal Dirección del Viento en los Meses de Julio y Agosto, así como Tercera Dirección en Septiembre. (157.5° y 5.5 m/s), Sitio 2 ..123
Figura 166. Esquema Resumen de las Corrientes en la Zona de Estudio por Mes y Dirección de la Costa, Sitio 2....123
Figura 167. Zonificación de Perfil Estacional, Hallermeirer (1978), Sitio 2....125
Figura 168. Esquema del Emisor Submarino de Descarga de Salmuera, Sitio 2 128
Figura 169. Dominio del Modelo. 130
Figura 170. Representación Espacial de la Pluma. Enero (315 y 7 m/s) 131
Figura 171. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Primera Dirección. Enero (315 y 7 m/s)....132
Figura 172. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Segunda Dirección. Enero (292.5 y 6.5 m/s) 132
Figura 173. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Primera Dirección. Febrero (315 y 6.7 m/s) 133
Figura 174. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Primera Dirección. Febrero (315 y 6.7 m/s) 134
Figura 175. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Segunda Dirección. Febrero (292.5 y 6.5 m/s)....134
Figura 176. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Primera Dirección. Marzo (315 y 5.7 m/s)....135
Figura 177. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Primera Dirección. Marzo (315 y 5.7 m/s)....136
Figura 178. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Segunda Dirección. Marzo (292.5 y 6.5 m/s) 136

Figura 179. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Primera Dirección. Abril (315 y 6.2 m/s) 137
Figura 180. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Primera Dirección. Abril (315 y 6.2 m/s) 138
Figura 181. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Segunda Dirección. Abril (292.5 y 5.8 m/s) 138
Figura 182. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Primera Dirección. Mayo (315 y 5 m/s) 139
Figura 183. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Primera Dirección. Mayo (315 y 5 m/s) 139
Figura 184. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Segunda Dirección. Mayo (292.5 y 4.5 m/s) 140
Figura 185. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Primera Dirección. Junio (135 y 6.2 m/s) 141
Figura 186. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Primera Dirección. Junio (135 y 6.2 m/s) 141
Figura 187. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Segunda Dirección. Junio. (157.5 y 6 m/s) 142
Figura 188. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Primera Dirección. Julio (157.5 y 5.5 m/s). 143
Figura 189. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Primera Dirección. Julio (157.5 y 5.5 m/s) 143
Figura 190. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Segunda Dirección. Julio. (135 y 4.8 m/s) 144
Figura 191. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Tercera Dirección. Julio (180.5 y 4.5 m/s) 144
Figura 192. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Tercera Dirección. Julio. (180 y 4.5 m/s) 145
Figura 193. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Primera Dirección. Agosto (157.5 y 5.2 m/s) 146
Figura 194. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Primera Dirección. Agosto (157.5 y 5.2 m/s) 146
Figura 195. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Segunda Dirección. Agosto. (135 y 4.5 m/s) 146
Figura 196. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Tercera Dirección. Agosto. (180 y 4.2 m/s) 147
Figura 197. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Primera Dirección. Septiembre (315 y 5.4 m/s) 148
Figura 198. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Primera Dirección. Septiembre (315 y 5.4 m/s) 148
Figura 199. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Primera Dirección. Octubre (315 y 5.5 m/s) 149
Figura 200. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Segunda Dirección. Octubre (292.5 y 6.5 m/s) 150
Figura 201. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Primera Dirección. Noviembre (315 y 6.7 m/s) 151
Figura 202. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Primera Dirección. Noviembre (315 y 6.7 m/s) 151
Figura 203. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Segunda Dirección. Noviembre (337.5 y 6.2 m/s) 151
Figura 204. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Primera Dirección. Diciembre (315 y 7 m/s) 152

Figura 205. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Primera Dirección. Diciembre (315 y 7 m/s) 153
Figura 206. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Segunda Dirección. Diciembre (337.5 y 6.7 m/s) 153
Figura 207. Dilución por Meses al Este 154
Figura 208. Dilución por Meses al Oeste 154

Lista de Tablas

Tabla 1. Coordenadas de los Vértices del Control Terrestre Sitio 1 .... ***¡Error! Marcador no definido.***
Tabla 2. Planos de Marea y Cotas de los Bancos de Nivel de Guaymas.... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 3. Nivelación Diferencial de BN3 a V262517 Sitio 1 .... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 4. Elevaciones de Vértices del Control Terrestre Sitio 1 .... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 5. Coordenadas de Vértices en la Zona de Estudio Sitio 1 .... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 6. Coordenadas de Vértices Monumentados Sitio 1 .... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 7. Resumen de Sedimentos Playeros Sitio 1 .... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 8. Análisis Estadístico de Frecuencia de Ocurrencia por Dirección de Hs, Empleando Umbrales. Fuente WaveWatch III (Aguas Profundas). Análisis con AMEVA®, CAROL® y MATLAB® 6
Tabla 9. Análisis Estadístico de Frecuencia de Ocurrencia por Dirección de Tp, Empleando Umbrales. Fuente WaveWatch III (Aguas Profundas). Análisis con AMEVA®, CAROL® y MATLAB® 7
Tabla 10. Altura Hs (m) y Periodo Tp (seg) Medios por Dirección (Grados) 13
Tabla 11. Listado de Huracanes Analizados con Influencia en la Zona de Estudio entre 1900 y 2015. Fuente NOAA. 16
Tabla 12. Altura de Oleaje Extremo Estimada para Huracanes Dentro de un Radio de 150 Km Normatividad M-PROY-PUE-1-04-005/09 17
Tabla 13. Altura de Oleaje Extremo de Huracanes Asociada a Periodos de Retorno 17
Tabla 14. Datos Estadísticos del Viento Asociados a Dirección y Frecuencias de Ocurrencia. Registros de Campo Selza de la REMAS 21
Tabla 15. Velocidades Medias del Viento por Direcciones Principales y Meses del Año 26
Tabla 16. Pronósticos Gráficos de Marea para Guaymas, Topolobampo y Mazatlán, 2016. SEMAR 29
Tabla 17. Rapidez de la Corriente en Función de Distribución, en Porcentiles 34
Tabla 18. Registros de Medición de Corrientes Sitio 1 36
Tabla 19. Velocidades de Corrientes Obtenidas Sitio 1 36
Tabla 20. Nutrientes Sitio 1 40
Tabla 21. Clorofila “a” y DBO5 Sitio 1 40
Tabla 22. H12 para la Zona de Estudio a Partir de Oleaje Propagado Hasta el Sitio de Estudio con Base en Datos Históricos de 2005-2010 WWIII 42
Tabla 23. Estimación de Profundidad Litoral (dl) para Diferentes Criterios Empleando Modelos Empíricos 43
Tabla 24. Estimación de Profundidad Máxima de Actividad Sedimentaria Empleando la Expresión de Cur (1987) 44
Tabla 25. Resultados de Propagación del Oleaje al Sitio de Estudio, Régimen Medio, para las Tres Direcciones Principales de Incidencia, Medidos en el Modelo y Distribuidos Entre las Cotas -4 y -848
Tabla 26. Resultados de Propagación del Oleaje al Sitio de Estudio, Régimen Extremo, para Todas las Direcciones Desfavorables, Medidos en el Modelo y Distribuidos Entre las Cotas -4 y -8....51
Tabla 27. Forzante de Viento 57
Tabla 28. Forzante de Oleaje 57
Tabla 29. Análisis Estadístico de Frecuencia de Ocurrencia por Dirección de Hs, Empleando Umbrales. Fuente WaveWatch III (Aguas Profundas). Análisis con AMEVA®, CAROL® y MATLAB®, Sitio 2 ..69
Tabla 30. Análisis Estadístico de Frecuencia de Ocurrencia por Dirección de Tp, Empleando Umbrales. Fuente WaveWatch III (Aguas Profundas). Análisis con AMEVA®, CAROL® y MATLAB®, Sitio 2. .69

Tabla 31. Altura Media Mensual del Oleaje por Dirección 76
Tabla 32. Listado de Huracanes Analizados con Influencia en la Zona de Estudio entre 1900 y 2015. Fuente NOAA, Sitio 2 79
Tabla 33. Altura de Oleaje Extremo Estimada para Huracanes Dentro de un Radio de 150 Km Normatividad M-PROY-PUE-1-04-005/09, Sitio 2 80
Tabla 34. Altura de Oleaje Extremo de Huracanes Asociada a Periodos de Retorno, Sitio 2 80
Tabla 35. Datos Estadísticos del Viento Asociados a Diección y Frecuencias de Ocurrencia. Registros de la Estación Campo Selza de la REMAS, Sitio 2 84
Tabla 36. Velocidades Medias del Viento por Direcciones Principales y Meses del Año, Sitio 2 89
Tabla 37. Componentes de Marea para la Zona de Guaymas, Sitio 2 91
Tabla 38. Pronósticos Gráficos de Marea para Guaymas, Topolobampo y Mazatlán, 2016. SEMAR, Sitio 2 92
Tabla 39. Rapidez de la Corriente de Función de Distribución, en Porcentiles, Sitio 2 97
Tabla 40. Resultados de Propagación del Oleaje en Régimen Medio para las Tres Direcciones Principales de Incidencia, Medidos en el Modelo y Distribuidos entre la cota -4 a -8 m, Sitio 2 102
Tabla 41. Resultados de Propagación del Oleaje en Régimen Extremo Para las Todas las Direcciones Más Desfavorables, Medidos en el Modelo y Distribuidos Entre la Cota -4 y -8 m, Sitio 2 105
Tabla 42. Forzante de Viento, Sitio 2 111
Tabla 43. Altura Media Mensual del Oleaje por Dirección, Sitio 2 111
Tabla 44. H12 Para la Zona de Estudio a Partir de Oleaje Propagado Hasta el Sitio de Estudio Con Base en Datos Históricos de 2005-2010 WWIII. Apartado: Estudios del Clima Marítimo, Sitio 2 124
Tabla 45. Estimación de Profundidad Litoral (dl) para Diferentes Criterios Empleando Modelos Empíricos, Sitio 2 125
Tabla 46. Estimación de Profundidad Máxima de Actividad Sedimentaria Empleando la Expresión de Cur (1987), Sitio 2 126
Tabla 47. Forzantes del viento y escenarios simulados para definir el comportamiento de la pluma salina. 131

Antecedentes y objetivos

Antecedentes

En un predio localizado a aproximadamente 8 Km al Este de la ciudad de Guaymas (ver figura), en el estado de Sonora, se considera localizar una Planta Desaladora y descargar el agua producto del tratamiento (salmuera) en el Mar de Cortés.

Figura 1. Localización del Sitio de Proyecto

El citado predio tiene un frente marítimo de aproximadamente 1.2 Km y sus coordenadas intermedias son en sistema UTM 520,800 y 3,088,266.

La capacidad de la Planta Desaladora será de 200 lps.

Objetivo

Tomando en cuenta los antecedentes citados, la presente memoria describe los trabajos realizados del “Modelo de Difusión del Agua de Rechazo de la Planta Desaladora”.

Es importante señalar que los trabajos se realizaron, en una primera instancia para el sitio original de ubicación de la Planta Desaladora (denominado Sitio 1); sin embargo, por decisión de la CNA y de la CEAS, se modificó el sitio y se seleccionó uno nuevo, en el cual se desarrolló el Modelo de Dilución (Sitio 2).

Los trabajos que se incluyen en la presente memoria están ordenados tomando en cuenta una lógica metodológica, para su adecuada secuencia técnica de su desarrollo; en tal sentido se señala que, tomando en cuenta los Términos de Referencia de la CNA para la ejecución de los trabajos, los incisos solicitados en ellos se relacionan con los de la memoria de acuerdo con lo que se señala a continuación.

- El Inciso 4.1.6. Análisis del Patrón de Corrientes y Mareas de la Zona, de los Términos de Referencia, se presenta en la memoria en el inciso 4.4 Caracterización de las Mareas, así como en el inciso 4.5 Caracterización de las Corrientes Marinas y en el inciso 5.1 Estudio de Corrientes.

- El Inciso 4.1.6.1. Modelo Hidrodinámico, de los Términos de Referencia, se presenta en la Memoria en inciso 6.3 Modelación Hidrodinámica de la Zona de Estudio Sitio 1, así como en el inciso 7.3 Modelación Hidrodinámica de la Zona de Estudio Sitio 2.

- Finalmente, los Incisos 4.4.1. Modelación de la Difusión del Agua de Rechazo de la Planta Desaladora y 4.4.2. Actividades a Realizar en la Modelación de la Difusión del Agua de Rechazo de la Planta Desaladora, Sobre la Base de la Información Recabada Previamente, se presentan en la memoria en el capítulo 7 Estudios de Dinámica Marina Sitio 2, con énfasis en el inciso 7.3 Modelo de Dispersión de Salmuera Sitio 2.

B.7 ANÁLISIS DEL PATRÓN DE CORRIENTES Y MAREAS DE LA ZONA.

1. Estudio del Clima Marítimo

Los resultados que se presentan en este capítulo, de acuerdo con lo señalado por la CONAGUA y la CEAS, se consideran válidos tanto para el sitio original de proyecto (Sitio 1), así como para el nuevo sitio de proyecto determinado (Sitio 2).

1.1. Oleaje Normal

Introducción

Uno de los principales fenómenos oceanográficos a considerar en cualquier obra proyectada en la franja costera y en el mar es el oleaje, ya que es un parámetro que participa en forma determinante en la definición de los criterios de diseño.

Las olas superficiales generalmente obtienen su energía de los vientos. Una cantidad significante de esta energía del oleaje es disipada finalmente en la región próxima en la costa y sobre las playas.

Se considera un régimen normal de oleaje al que actúa la mayor parte del tiempo, generado bajo condiciones meteorológicas normales.

Materiales y Fuentes Empleadas

Existen diversas fuentes de información del oleaje, como:

- Régimen de Oleaje Normal, Oficina Meteorológica y Laboratorio de Física Nacional de Inglaterra; Publicación Ocean Wave Statistics, 1967, y actualizada 1958-1997
- Régimen de Oleaje Normal, Oficina Hidrográfica de los E.U. publicación Sea and Swell Charts, 1942.
- Régimen de Oleaje Satelital, Observaciones satelitales Topex-Poseidon Geosat ER-5, Datos del 1986 a 1997, (oleaje medido CFE).
- NOAA/NWS/NCEP/ Marine Modeling basado en WAVEWATCH III es un modelo de la onda de la tercera generación desarrollado en NOAA/NCEP.
- ATLOOM, que es el Atlas del Oleaje Oceánico Mexicano elaborado por el IMT con datos de 1958 a 2001. Modelo en base al WWIII.
- GROW Fine Northeast Pacific (GROW-FINE NEPAC) de 1980 a 2015 con datos de vientos (Reanalysis).

El Ocean Wave y Sea and Swell son fuentes que se empleaban ampliamente en México hasta hace unos años debido a la falta de información de oleaje; sin embargo, la experiencia en diferentes proyectos señala que no son fuentes muy confiables para esta zona de México.

Para el caso de la fuente de Oleaje Satelital, esta es información con mayor confiabilidad; sin embargo, debido a que es por regiones, para algunos proyectos solo sirve a un nivel de aproximación.

El ATLOOM y GROW-FINE NEPAC son atlas de oleaje comerciales tipo hindcast construidas a partir de modelaciones y calibrados con datos de boyas, satélite, etc.

Para este proyecto se caracterizó el oleaje para la zona de aguas profundas (donde el oleaje no ha sido afectado) frente al sitio de estudio empleando información del WAVEWATCH III de 2005 a 2015. Se trata de un modelo de la NOAA/NCEP que se alimenta con información de medición de viento y oleaje y corre en modo predictivo (forecast), posteriormente los datos históricos se vuelven a correr en modo retrospectivo (hindcast) incluyendo huracanes y a la base se le identifica como reanalysis.

Metodología

Los datos que se procesan para este estudio corresponden a las coordenadas 27.5° Longitud y -111° Latitud, ubicado frente al sitio de estudio y que se compone de una serie histórica con datos de oleaje (periodo pico, dirección, altura significante) con registros cada 3 horas de 2005 a 2015.

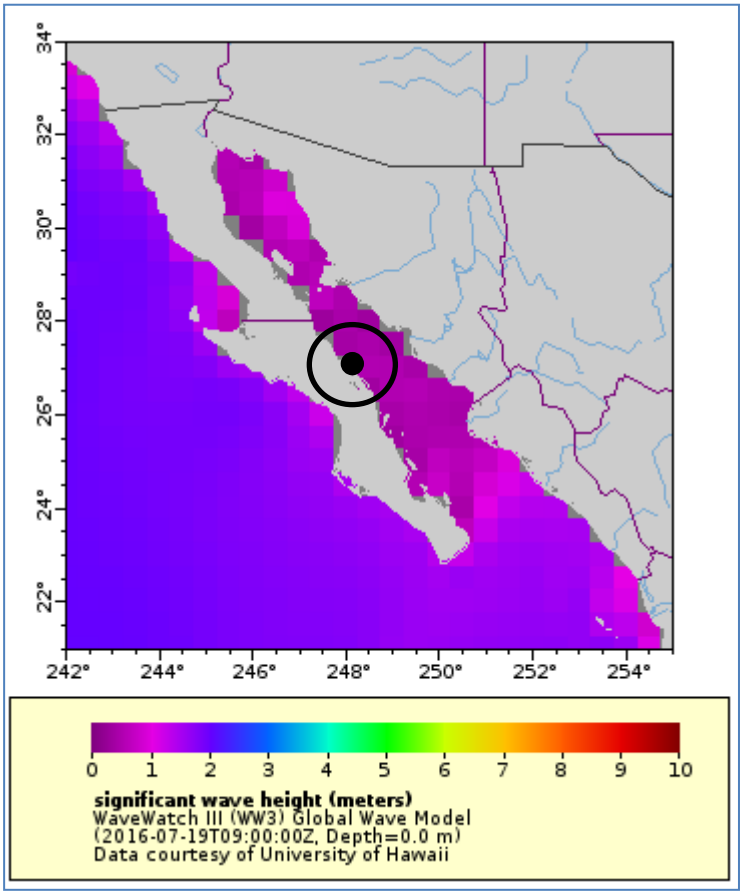


Figura 2. Malla del Modelo WaveWatch III para la Zona del Golfo de California

Con los registros de la serie histórica se realizó un análisis estadístico, en el cual se obtuvo el **régimen medio anual del oleaje,** así como el **régimen medio estacional del oleaje**, obteniendo tabla de probabilidades direccionales de ocurrencia de Hs (Altura significante) y Tp (Periodo Pico), histograma de frecuencias para la magnitud de Hs y Tp, rosa dirección de oleaje y función de distribución de la magnitud de Hs y Tp.

Para el análisis y presentación de resultados se empleó el software AMEVA®, CAROL®, desarrollado por (IH-Cantabria, 2010).) y MATLAB®.

Resultados

A continuación se presenta la serie histórica empleada para el análisis del oleaje normal significante, datos de Hs y Tp.

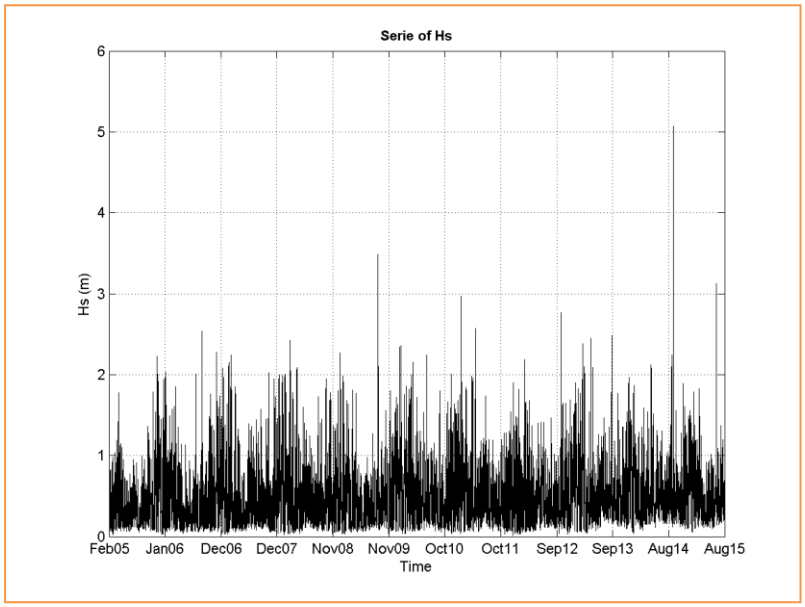


Figura 3. Serie Histórica de Hs. Fuente WaveWatch III (aguas profundas). Análisis con AMEVA®, CAROL® y MATLAB®

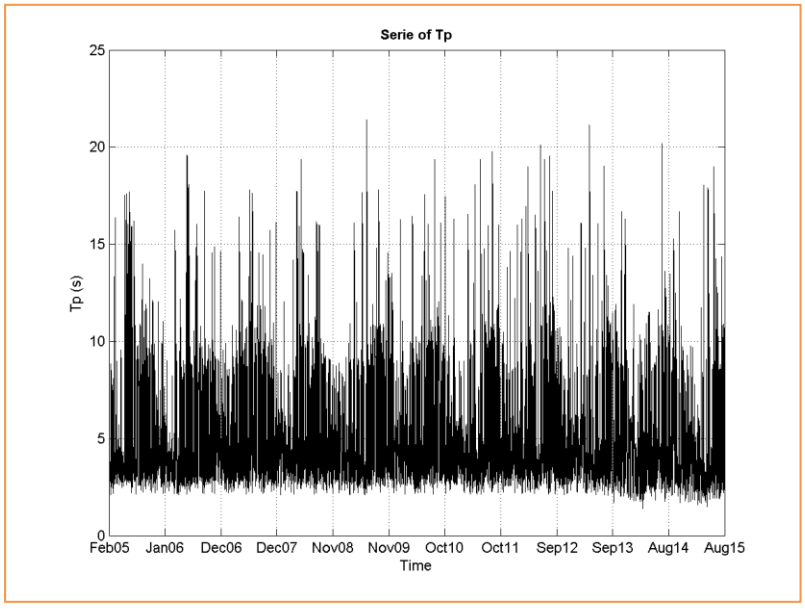


Figura 4. Serie Histórica de Tp. Fuente WaveWatch III (aguas profundas). Análisis con AMEVA®, CAROL® y MATLAB®

En la siguiente figura se puede apreciar los meses de mayor energía, noviembre a marzo, mientras que los de menor energía son de abril a octubre.

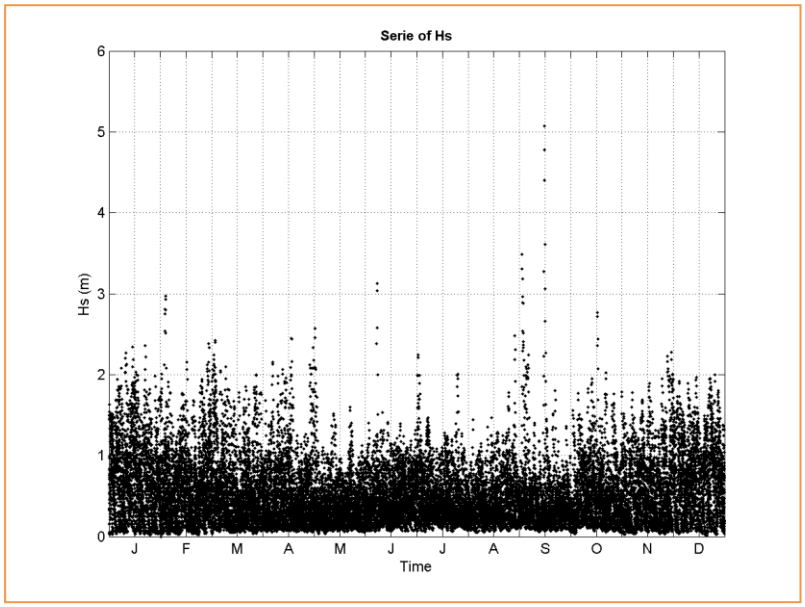


Figura 5. Serie Anual de Hs. Fuente WaveWatch III (Aguas Profundas). Análisis con AMEVA®, CAROL® y MATLAB®

Con base en el análisis estadístico anual de la información de oleaje, la dirección de mayor frecuencia de ocurrencia corresponde a la SSE (41%), con una Hs media de 0.24 m y un Tp de 8 seg, seguida de la dirección NW (33.5%) con Hs media de 0.7 m y un Tp de 4.5 seg, y WNW (15.5%) con Hs media de 0.42 m y Tp de 3.5 seg. La frecuencia acumulada para las tres direcciones es del 90%.

Tabla 1. Análisis Estadístico de Frecuencia de Ocurrencia por Dirección de Hs, Empleando Umbrales. Fuente WaveWatch III (Aguas Profundas). Análisis con AMEVA®, CAROL® y MATLAB®

TABLA ESTADISTICOS BASICOS

Variable medida:Hs

direcciones(º)	prob.direccion	$Hs_{50\%}$	$Hs_{90\%}$	$Hs_{99\%}$	Hs_{12}
N	0.0003	0.3450	0.8910	1.0200	1.0200
NNE	0.0003	0.3200	0.6340	0.8100	0.8100
NE	0.0005	0.2900	0.7400	1.0000	1.0000
ENE	0.0002	0.4700	0.9960	1.0500	1.0500
E	0.0006	0.5000	0.7400	0.8400	0.8400
ESE	0.0008	0.3900	0.7320	0.8900	0.8900
SE	0.0147	0.5700	1.0000	1.7328	1.9745
SSE	0.4129	0.2400	0.7600	1.3608	2.6055
S	0.0300	0.3500	0.7630	1.5238	2.2551
SSW	0.0103	0.3150	0.8500	1.4284	1.6000
SW	0.0087	0.3100	0.7000	1.0470	1.0800
WSW	0.0096	0.2800	0.6220	1.0418	1.1400
W	0.0176	0.3000	0.6290	1.0570	1.4406
WNW	0.1546	0.4200	0.8600	1.6253	2.1013
NW	0.3348	0.7000	1.3500	1.9200	2.2571
NNW	0.0040	0.5400	1.0620	1.3908	1.4200

Tabla 2. Análisis Estadístico de Frecuencia de Ocurrencia por Dirección de Tp, Empleando Umbrales. Fuente WaveWatch III (Aguas Profundas). Análisis con AMEVA®, CAROL® y MATLAB®

TABLA ESTADISTICOS BASICOS

Variable medida:Tp

direcciones(º)	prob.direccion	$Tp_{50\%}$	$Tp_{90\%}$	$Tp_{99\%}$	Tp_{12}
N	0.0003	2.8150	3.7280	4.0700	4.0700
NNE	0.0003	2.5100	3.5340	3.9900	3.9900
NE	0.0005	2.7450	3.5140	3.5600	3.5600
ENE	0.0002	2.9800	3.9840	4.0000	4.0000
E	0.0006	3.1400	3.5660	3.8400	3.8400
ESE	0.0008	2.9900	3.9980	5.5000	5.5000
SE	0.0147	3.4400	4.6760	6.7304	7.4456
SSE	0.4129	8.1000	11.5200	17.4500	19.4932
S	0.0300	3.3250	4.0230	5.2412	6.1175
SSW	0.0103	3.4200	4.1260	5.0256	5.1300
SW	0.0087	3.4000	3.8600	4.2385	4.3300
WSW	0.0096	3.4100	3.8200	4.2500	4.7600
W	0.0176	3.3000	3.7000	4.9142	5.0253
WNW	0.1546	3.3600	4.1400	5.2300	6.2339
NW	0.3348	4.1600	5.5900	6.3500	6.7957
NNW	0.0040	3.2500	4.4200	5.1162	5.1600

La probabilidad media de que ocurra Hs con mejor ajuste Weibull Mínimos en aguas profundas es de 0.45 m, por lo cual se trata de una zona costera de baja energía del oleaje.

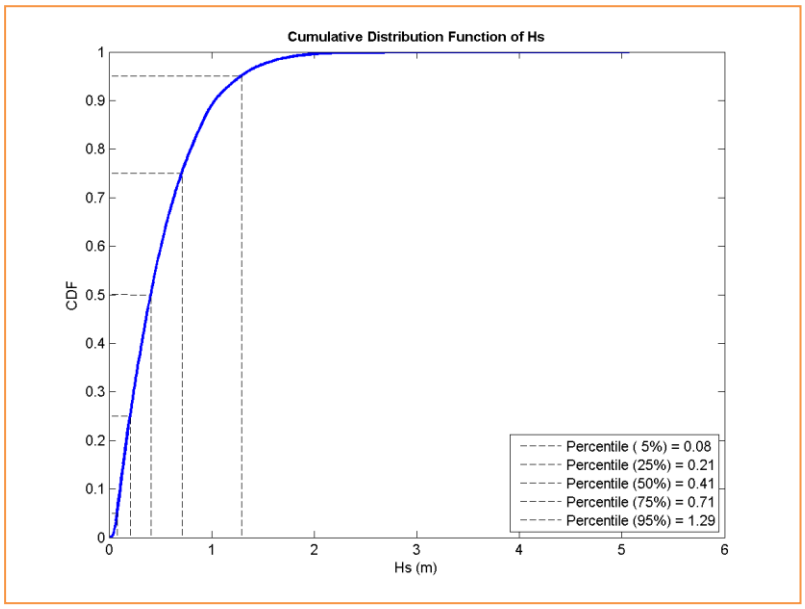


Figura 6. Función de Distribución Hs. Fuente WaveWatch III (aguas profundas). Análisis con AMEVA®, CAROL® y MATLAB®

Con base en el análisis de régimen medio y mejor ajuste con Gumbel Máximos, se puede establecer que las ondas son cortas pues tienen un periodo (Tp) de 4 seg.

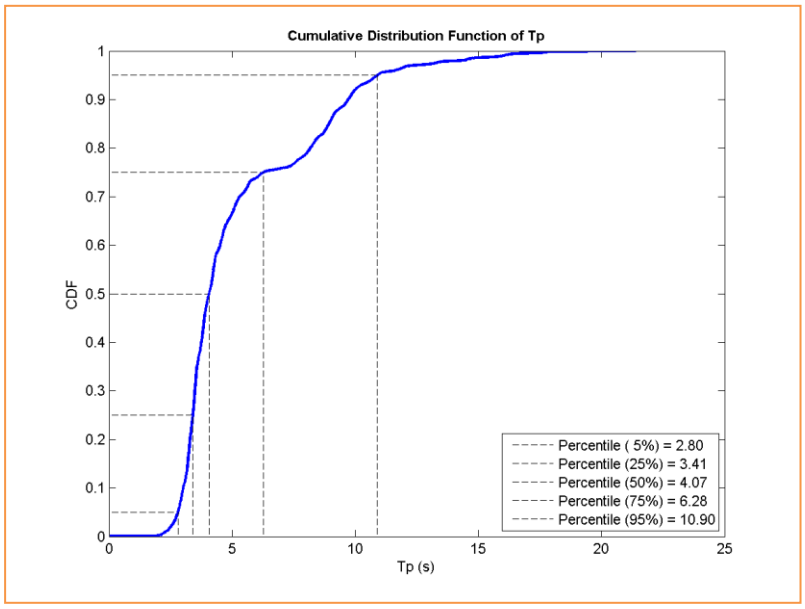


Figura 7. Función de Distribución Hs. Fuente WaveWatch III (Aguas Profundas). Análisis con AMEVA®, CAROL® y MATLAB®

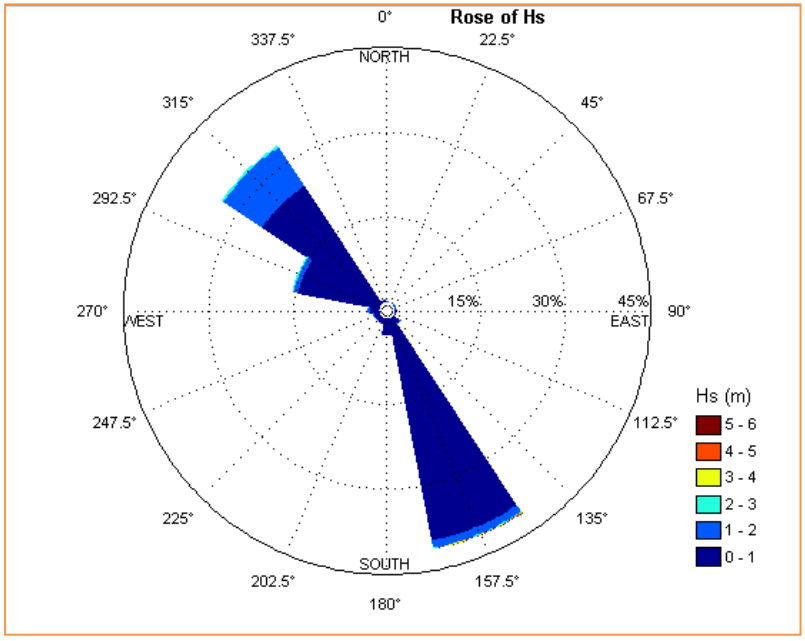


Figura 8. Rosa Direccional del Análisis Anual del Oleaje. Fuente WaveWatch III (Aguas Profundas). Análisis con AMEVA®, CAROL® y MATLAB®

Al realizar el análisis estacional del oleaje, durante la primavera, el oleaje incide principalmente del NW (32%) y SSE (31%), seguido del WNW (24%) con una Hs de 0.17 a 0.64 m, correspondiendo una Hs media de 0.35 m (Weibull de mínimos).

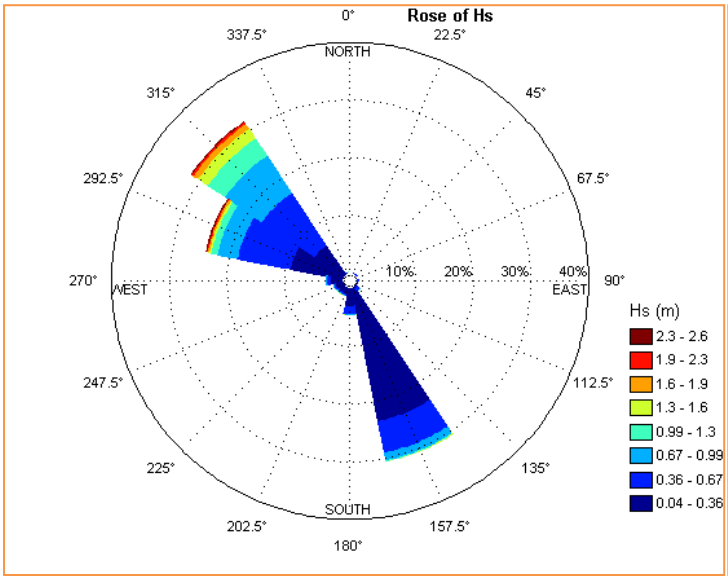


TABLA ESTADISTICOS BASICOS

Variable medida:Hs

direcciones(°)	prob.direccion	$Hs_{50\%}$
N	0.0001	0.3200
NNE	0.0002	0.2600
NE	0.0007	0.3700
ENE	0.0000	0.0000
E	0.0006	0.3600
ESE	0.0001	0.3200
SE	0.0095	0.4150
SSE	0.3060	0.1700
S	0.0470	0.2900
SSW	0.0152	0.2700
SW	0.0150	0.2950
WSW	0.0165	0.2400
W	0.0281	0.2400
WNW	0.2410	0.4300
NW	0.3178	0.6400
NNW	0.0020	0.3800

Figura 9. Análisis Estadístico de Frecuencia de Ocurrencia por Dirección y Rosa Direccional del Análisis del Oleaje de PRIMAVERA. Fuente WaveWatch III (Aguas Profundas). Análisis con AMEVA®, CAROL® y MATLAB®.

Durante el verano, el oleaje incide principalmente del SSE (79%), con una Hs de 0.35 m (Weibull de mínimos). El oleaje viene principalmente del cuadrante sur.

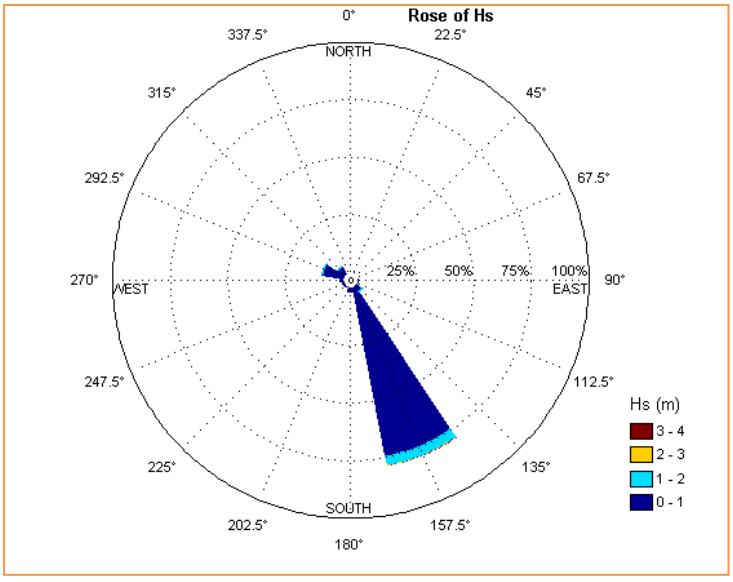


TABLA ESTADISTICOS BASICOS

Variable medida:Hs

direcciones(°)	prob.direccion	$Hs_{50\%}$
N	0.0001	0.2700
NNE	0.0004	0.3200
NE	0.0000	0.0000
ENE	0.0000	0.0000
E	0.0001	0.5000
ESE	0.0004	0.6400
SE	0.0314	0.6400
SSE	0.7877	0.3400
S	0.0219	0.3400
SSW	0.0041	0.2400
SW	0.0044	0.2800
WSW	0.0036	0.2850
W	0.0146	0.3400
WNW	0.0936	0.4000
NW	0.0377	0.5250
NNW	0.0000	0.0000

Figura 10. Análisis Estadístico de Frecuencia de Ocurrencia por Dirección y Rosa Direccional del Análisis del Oleaje de VERANO. Fuente WaveWatch III (Aguas Profundas). Análisis con AMEVA®, CAROL® y MATLAB®.

Durante el otoño, al realizar el análisis estacional del oleaje, el oleaje incide principalmente del SSE (42%), seguido del NW (34%) con una Hs de 0.19 a 0.64 m, correspondiendo una Hs media de 0.38 m (Weibull de mínimos).

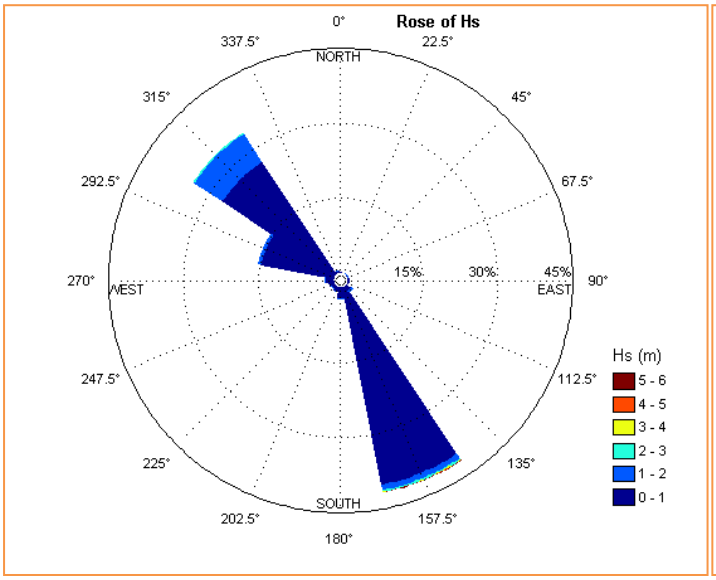


TABLA ESTADISTICOS BASICOS

Variable medida:Hs

direcciones(°)	prob.direccion	$Hs_{50\%}$
N	0.0003	0.5350
NNE	0.0000	0.0000
NE	0.0007	0.7400
ENE	0.0010	0.4700
E	0.0015	0.6000
ESE	0.0019	0.3900
SE	0.0141	0.5700
SSE	0.4179	0.1900
S	0.0244	0.4300
SSW	0.0098	0.4100
SW	0.0071	0.3500
WSW	0.0089	0.3400
W	0.0158	0.3700
WNW	0.1524	0.4300
NW	0.3399	0.6400
NNW	0.0043	0.4400

Figura 11. Análisis Estadístico de Frecuencia de Ocurrencia por Dirección y Rosa Direccional del Análisis del Oleaje de OTOÑO. Fuente WaveWatch III (Aguas Profundas). Análisis con AMEVA®, CAROL® y MATLAB®

Durante el invierno, el oleaje incide principalmente del NW (66%), con una Hs de 0.65 m (ajuste Normal). El oleaje es el de mayor energía en aguas profundas.

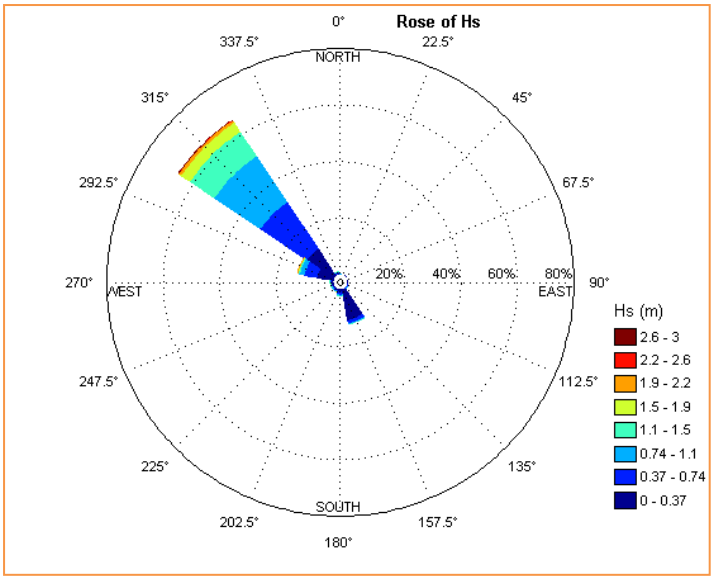


TABLA ESTADISTICOS BASICOS

Variable medida:Hs

direcciones(°)	prob.direccion	$Hs_{50\%}$
N	0.0005	0.3400
NNE	0.0005	0.3500
NE	0.0007	0.2300
ENE	0.0000	0.0000
E	0.0003	0.3150
ESE	0.0007	0.3000
SE	0.0031	0.4300
SSE	0.1264	0.0900
S	0.0257	0.5100
SSW	0.0118	0.3800
SW	0.0082	0.3750
WSW	0.0091	0.2600
W	0.0113	0.3800
WNW	0.1276	0.4100
NW	0.6637	0.7700
NNW	0.0103	0.5800

Figura 12. Análisis Estadístico de Frecuencia de Ocurrencia por Dirección y Rosa Direccional del Análisis del Oleaje de INVIERNO. Fuente WaveWatch III (Aguas Profundas). Análisis con AMEVA®, CAROL® y MATLAB®.

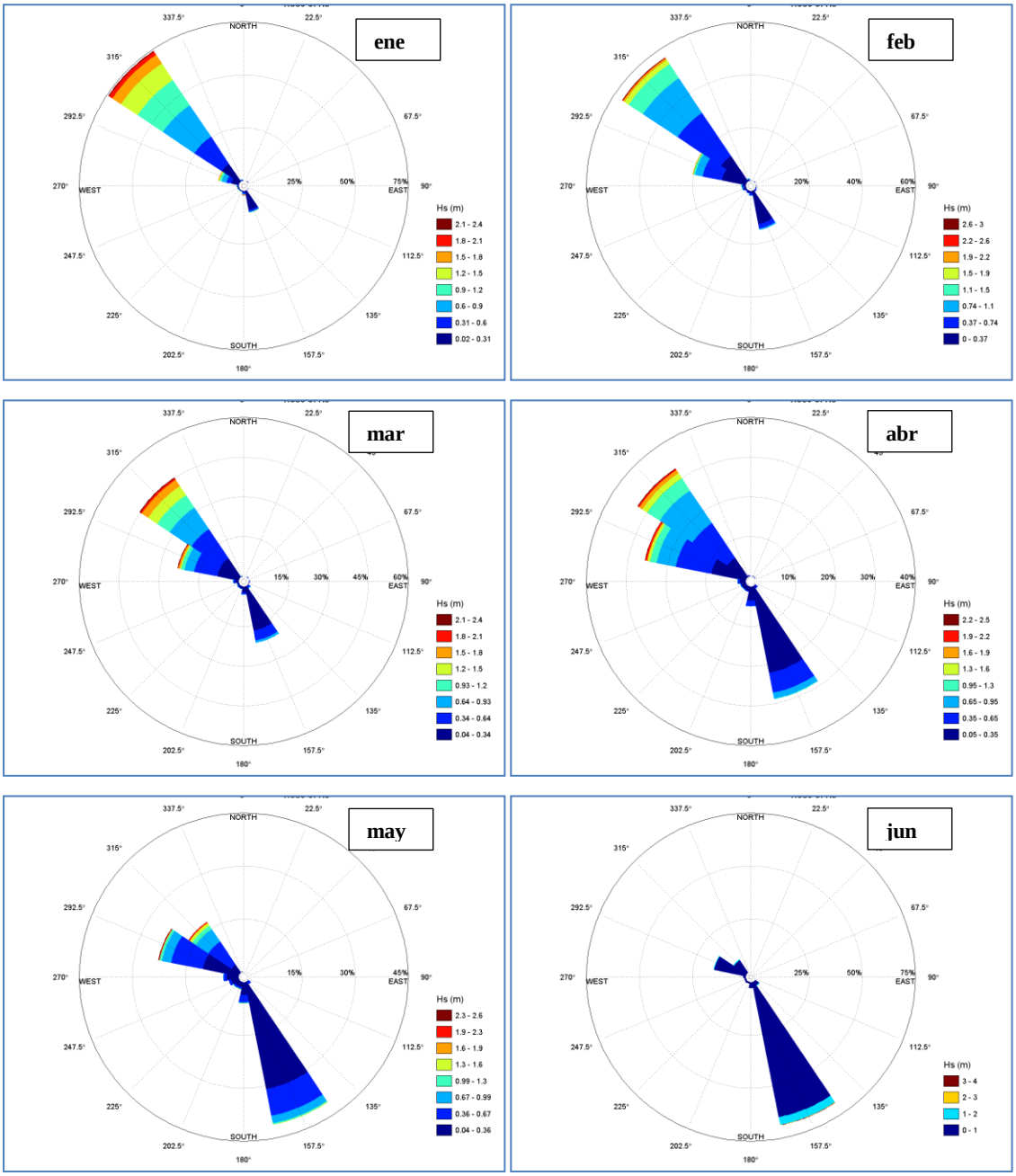


Figura 13. Rosas de Oleaje de Información Separada de Forma Mensual para Emplear en la Modelación. Enero a Junio

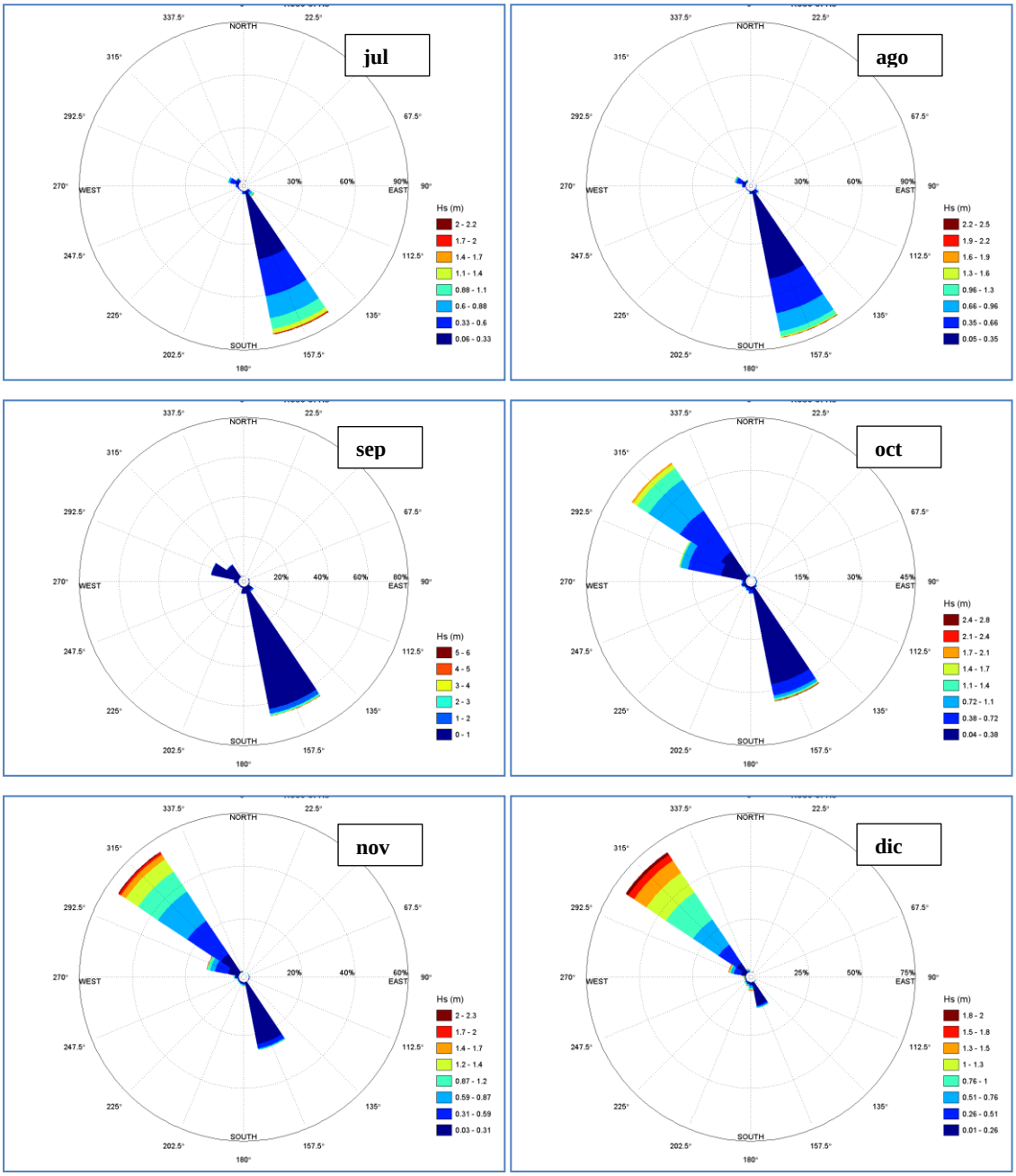


Figura 14. Rosas de Oleaje de Información Separada de Forma Mensual para Emplear en la Modelación. Julio a Diciembre

En la siguiente figura se puede observar que el oleaje invernal es el más energético, mientras que el verano y otoño se presenta el oleaje de menor energía. El oleaje de mayor altura y periodo corresponde con la temporada de tormentas.

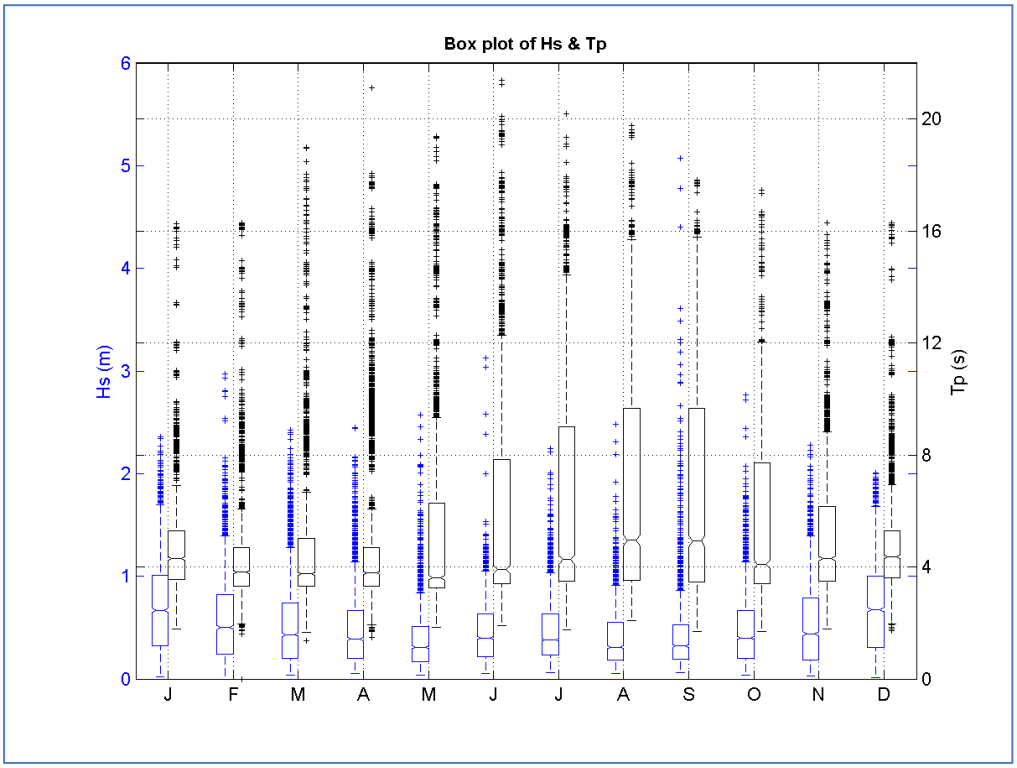


Figura 15. Análisis Estadístico del Oleaje Mensual

Con base en el análisis estadístico por dirección, las velocidades para las principales direcciones de incidencia por mes son las siguientes, variando entre 0.1 y 0.7 m la altura y 3 a 9 el periodo.

Tabla 3. Altura Hs (m) y Periodo Tp (seg) Medios por Dirección (Grados)

Mes	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Dir °	315	315	315	315	157.5	157.5	157.5	157.5	157.5	315	315	315
1ra	0.65 4.5	0.50 4	0.65 4	0.7 4	0.3 3.5	0.4 4	0.4 4.5	0.3 5	0.3 5	0.6 4	0.7 4	0.7 4
Dir °	-	-	292.5	157.5	-	-	-	-	-	292.5	157.5	
2da	-	-	0.45 4	0.5 3.5	-	-	-	-	-	0.45 3	0.1 8.5	
Dir °	-	-	157.5	292.5	-	-	-	-	-	157.5	-	-
3ra	-	-	0.15 9	0.15 9	-	-	-	-	-	0.15 9	-	-

1.2. Oleaje Extraordinario

Introducción

El oleaje ciclónico también llamado huracanado, es un oleaje extraordinario generado por la formación de centros de baja presión y vientos de fuerte intensidad.

El interés de analizar este tipo de oleaje es determinar la altura y período de ola que se presenta durante una condición meteorológica extrema en la zona de estudio para establecer la respuesta de la costa y zona marítima de estudio, estableciendo criterios de diseño y/o revisión de estabilidad de la infraestructura proyectada.

Materiales y Fuentes Empleadas

Los huracanes se tomaron de la información desplegada en la página de Internet de Sistema Meteorológico Nacional, [SMN]; del Unisys Weather [UNISYS] y del National Oceanic and Atmospheric Administration [NOAA].

Para definir los huracanes que tienen influencia en la zona de estudio se trazó un semicírculo con centro en cada zona de estudio y radio de 90 km, que corresponde con el radio de impacto de un huracán (Strike Circle 75 nm) y se analizaron todos los huracanes históricos cuya trayectoria se ubica en el interior del semicírculo.

Considerando que los datos de oleaje del NOAA/NWS/NCEP/ Marine Modeling basado en WAVEWATCH III, proyecto Reanalysis ya incluye datos de oleaje asociados a huracanes, se tomaron directamente dichos datos para el periodo comprendido entre 2005 y 2015.

Resultados

Para obtener las características del oleaje huracanado comúnmente se utiliza el método de Huracán Estándar, publicado en el Shore Protection Manual, (1984), que permite determinar el incremento del nivel del mar, debido a la presencia de huracanes. Este método se especifica en las normas técnicas mexicanas de puertos M-PROY-PUE-1-04-005/09.

Las ecuaciones que permiten estimar la altura de ola y período significante del oleaje, son las siguientes:

$$H_m = 5.03e^{\frac{R\Delta_p}{6270}}\left[1+\frac{0.153\alpha V_f}{\sqrt{U_R}}\right]$$

$$T_m = 8.6e^{\frac{R\Delta_p}{12541}}\left[1+\frac{0.076\alpha V_f}{\sqrt{U_R}}\right]$$

Donde:

H_m = Altura de ola significante en aguas profundas, m.

T_m = Período de ola significante correspondiente, s.

R = Radio del viento máximo, km.

$\Delta p = p_n - p_o$, donde p_n es la presión normal de 760 mmHg (1013.3 mb), y p_o es la presión central del huracán, en mmHg.

V_f = Velocidad de desplazamiento del huracán, m/s.

U_R = Velocidad del viento máxima sostenida, m/s,

Calculada para 10 m sobre la superficie media del mar en un radio R,

Donde:

$U_R = 0.865U_{máx} + 0.5\ V_f$ (para un huracán en movimiento)

$U_{máx}$ = Gradiente máximo de la velocidad del viento, 10 metros sobre la superficie del agua.

$U_{máx} = 0.447[14.5(p_n-p_o)^{1/2} - R(0.31f)]$

f = Parámetro de Coriolis = 2 ω sen ϕ, donde w es la velocidad angular de la tierra = $2\pi/24$, rad/h.

α = Coeficiente que depende la velocidad de desplazamiento del huracán y del incremento efectivo de la longitud del fetch por el movimiento del huracán. Cuando el huracán se mueve lentamente se supone α= 1.

Con los datos extraídos se realizó el cálculo del oleaje asociado a cada huracán, para lo cual se emplearon herramientas computacionales.

Posteriormente, se realiza la asociación de los eventos a periodos de retorno. Para ello se emplea el Método de Valores Extremos de Gumbel (Salinas, 1993), el cual consiste en determinar la curva de valores extremos contra períodos de retorno, definida por la siguiente ecuación:

$$H_e = H_m + 0.77996 * \sigma * [\ y - E(y)\ ]$$

Donde:

H_e = Altura extrema, en función del período de retorno, m.

H_m = Altura promedio de las alturas máximas anuales, m.

σ = Desviación estándar de los datos de las alturas.

y = Variable reducida = -ln (-ln(p)).

p = Probabilidad de ocurrencia del evento.

E(y) = Número de Euler = 0.5722

Por otra parte, con los registros de la serie histórica del Wave Watch III de 2005 a 2015 (10 años); se realizó el análisis del **régimen extremal del oleaje** de Hs (Altura significante) y Tp (Periodo Pico), empleando las funciones de distribución 1) Valores Extremos = Máximos Anuales (Valores Extremos Generalizada GEV y Gumbel de Máximos), y 2) Valores Extremos = Excedencias Sobre un Umbral (Peak Over Threshold POT).

Para el análisis de los datos del Wave Watch III, y presentación de mismos, se empleó el software AMEVA®, CAROL®, desarrollado por (IH-Cantabria, 2010).) y MATLAB®.

Resultados

Con base en el análisis de huracanes, se identificaron 16 huracanes que tuvieron influencia dentro de un radio menor a 150 Km.

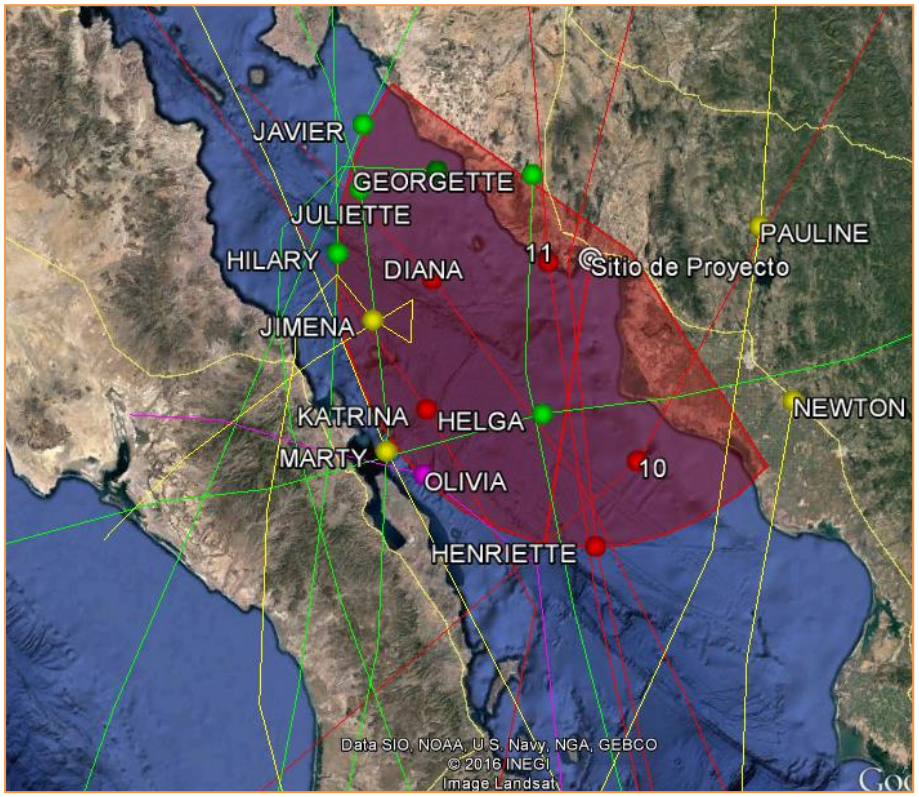


Figura 16. Trayectoria de Huracanes Analizados con Influencia en la Zona de Estudio entre 1900 y 2015. Fuente NOAA

Tabla 4. Listado de Huracanes Analizados con Influencia en la Zona de Estudio entre 1900 y 2015. Fuente NOAA.

Huracán	Fecha
GEORGETTE	20-23 SEP 2010
10	1-6 OCT 1957
11	30 SEP-6 OCT 1958
DIANA	17-20 AUG 1960
HELGA	9-17 SEP 1966
OLIVIA	6-15 OCT 1967
KATRINA	30 AUG-3 SEP 1967
PAULINE	26 SEP-3 OCT 1968
NEWTON	18-24 SEP 1986
HILARY	17-27 AUG 1993
JULIETTE	21 SEP-3 OCT 2001
MARTY	18-26 SEP 2003
JAVIER	10-20 SEP 2004
HENRIETTE	30 AUG-6 SEP 2007
JULIO	23-27 AUG 2008
JIMENA	28 AUG-5 SEP 2009

De la lista de huracanes que inducen oleaje huracanado con posible influencia en la zona de estudio, en aguas profundas desarrollan alturas de oleaje He de 7 a 9 m.

El huracán que desarrolla mayor altura de oleaje es Javier en 2004, con una He de 8.9 m.

Tabla 5. Altura de Oleaje Extremo Estimada para Huracanes Dentro de un Radio de 150 Km Normatividad M-PROY-PUE-1-04-005/09

Huracán	Fecha	H_e m	T_p s
GEORGETTE	20-23 SEP 2010	7.2	10.41
10	1-6 OCT 1957	8.1	11.04
11	30 SEP-6 OCT 1958	8.0	10.90
DIANA	17-20 AUG 1960	8.3	11.19
HELGA	9-17 SEP 1966	7.4	10.57
OLIVIA	6-15 OCT 1967	7.8	10.76
KATRINA	30 AUG-3 SEP 1967	8.3	11.18
PAULINE	26 SEP-3 OCT 1968	7.1	10.29
NEWTON	18-24 SEP 1986	7.5	10.59
HILARY	17-27 AUG 1993	8.2	11.00
JULIETTE	21 SEP-3 OCT 2001	8.7	11.35
MARTY	18-26 SEP 2003	7.6	10.58
JAVIER	10-20 SEP 2004	8.9	11.49
HENRIETTE	30 AUG-6 SEP 2007	7.8	10.79
JULIO	23-27 AUG 2008	7.1	10.27
JIMENA	28 AUG-5 SEP 2009	8.7	11.31

Al asociar los huracanes a periodos de retorno, se obtiene para un Tr = 50 años una He de 9.44 m.

Tabla 6. Altura de Oleaje Extremo de Huracanes Asociada a Periodos de Retorno

Datos		**Hm=**	**7.918**	
m	**Hm**	**s =**	**0.587**	
GEORGETTE	7.2	E (y) =	0.577	
10	8.1		0.458	
11	8.0	**Periodo de Retorno & Altura de Ola**		
DIANA	8.3	**Tr**	**y**	**He**
HELGA	7.4	**(años)**	**ln (Tr-0.5)**	**(m)**
OLIVIA	7.8	5	1.50	8.34
KATRINA	8.3	10	2.25	8.68
PAULINE	7.1	15	2.67	8.88

NEWTON	7.5	20	2.97	9.01
HILARY	8.2	25	3.20	9.12
JULIETTE	8.7	**50**	**3.90**	**9.44**
MARTY	7.6	100	4.60	9.76
JAVIER	8.9	200	5.30	10.08
HENRIETTE	7.8	500	6.21	10.50
JULIO	7.1			
JIMENA	8.7			

Por otro lado, con el análisis del régimen extremal del oleaje de la serie histórica del Wave Watch III de 2005 a 2015 (10 años), se obtuvo una He de 8 m.

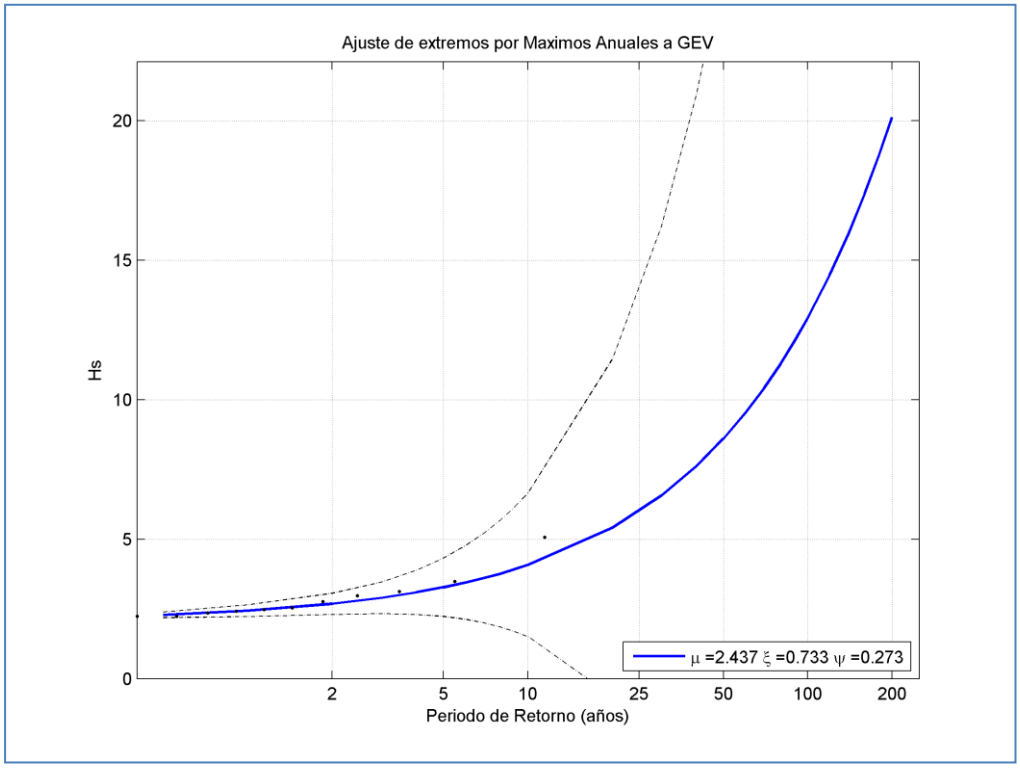


Figura 17. He Asociada a Periodos de Retorno GEV. Datos con Registros de Oleaje de Últimos 10 Años

Considerando que para un registro de solo 10 años se asocia una He de 8 m a un Tr = 50 años., se toma como criterio emplear la He obtenida con modelos empíricos de 9,4 m, ya que el análisis abarca un periodo mayor a 100 años de trayectorias de huracanes.

He = 9.4 m.

Respecto al periodo pico de diseño, por Gumbel y GEV se obtiene un Tp de 23 seg; en este caso se emplea el correspondiente a los registros del Wave Watch III:

Tp = 23 seg.

1.3. Viento

Introducción

Uno de los parámetros a considerar en el estudio es el viento. Los vientos inciden directamente sobre la superficie del agua, induciendo oleaje local y corrientes, siendo más representativo su efecto en zonas con poca profundidad.

En este estudio el viento se incluirá dentro de la modelación hidrodinámica que determinará el patrón de corrientes en la zona de estudio.

Existen diversas fuentes de información, como el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) que tiene una red nacional de estaciones de medición operando desde 1951; actualmente cuenta con varias estaciones automáticas con mediciones en tiempo real que se pueden consultar en su página de internet (red EMA´s). Otra fuente es la Comisión Federal de Electricidad (CFE) que tiene registros de mediciones satelitales desde 1986 en todo el país. También se cuenta con una fuente de información cuyo origen es local, como la Red de Estaciones Medio Ambientales de Sonora. De igual manera existe un proyecto de un modelo de pronóstico del clima denominado NCEP/NCAR Reanalysis con datos de varios año. Este modelo que también realiza pronósticos se alimenta con mediciones satelitales que lo hacen cada vez más confiable.

Materiales y Fuentes Empleadas

Para la caracterización del viento en la zona de estudio se consultaron tres fuentes de información distintas; la primera de ellas corresponde a datos de mediciones denominada “Campo Selza” y se ubica en el Municipio de Empalme y presenta datos de 3 años; también se revisó una caracterización de vientos de la estación de Guaymas de la CNA del estudio “Estudio Oceanográfico del Área de Cochórit – Guásimas”, sin embargo; esta fuente se descartó por que al estar rodeada de cerros, pueden existir variaciones importantes respecto de lo que se puede registrar en la zona pegada a la costa.

Considerando la disponibilidad de la información y el uso de la misma, se realizó también la caracterización del viento en la zona de estudio empleando los datos obtenidos del modelo atmosférico global NOAA/NCEP Global Forecast System (GFS) para 4 zonas del sitio correspondientes al sitio de estudio. Los vientos son presentados en magnitud vectorial u y v, en m/s a 10 m de la superficie a cada 3 horas y se obtuvieron 5 años de registros.

Metodología

Inicialmente se efectuó un procesamiento con herramientas computacionales para depurar las series históricas de datos.

A las series de datos de mediciones de “Estación Ortiz (La Campana)” se les efectuó un análisis de forma anual únicamente para comparar contra los datos del GFS, mientras que a los datos del NOAA/NCEP Global Forecast System (GFS) se les caracterizó de forma anual y mensual.

Para ambas fuentes de información se obtuvieron la frecuencia de ocurrencia por dirección del viento, se elaboraron diagramas de dispersión, regresiones aplicando diferentes modelos para obtener el régimen medio, se construyeron rosas de viento, etc., empleando para ello diferentes herramientas estadísticas.

Para el análisis y presentación de resultados se empleó el software AMEVA®, CAROL®, desarrollado por (IH-Cantabria, 2010).) y MATLAB®.

Resultados

Datos de Mediciones "Campo Selza"

Los datos corresponden a 3 años de datos medidos entre 2013 y 2016 en una estación ubicada en el Municipio de Empalme. Es la fuente más cercana de datos continuos medidos.

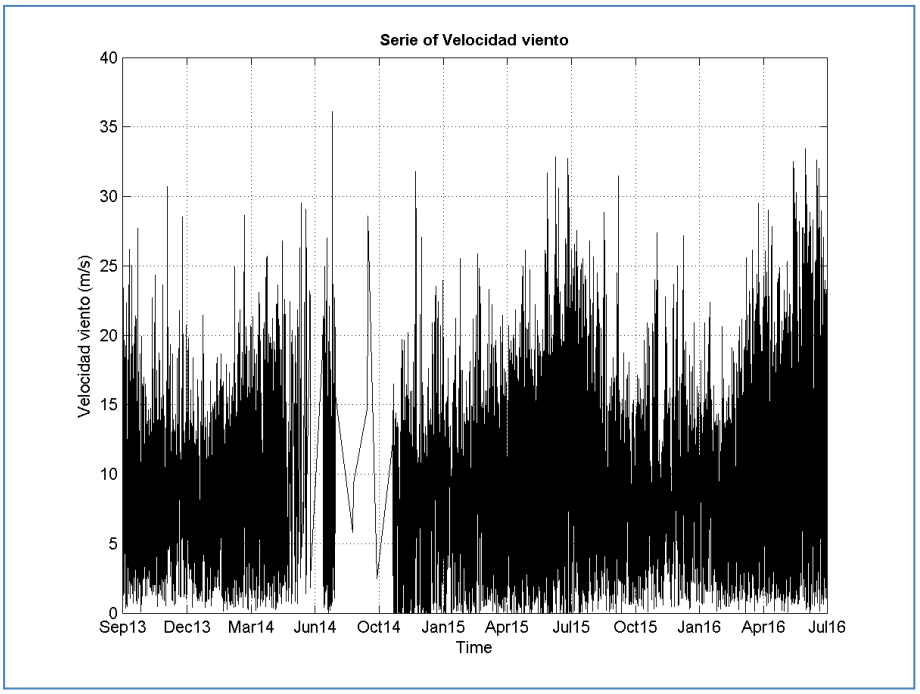


Figura 18. Serie Histórica de Datos Medidos en la Zona Cercana a la de Estudio. Registros de la Estación Campo Selza de la REMAS

Con base en los datos de mediciones, se puede establecer que no existe una dirección reinante, el viento igual va al S, N, SSW, E, W, NNE, las frecuencias de ocurrencia mayores son entre 8 y 12%.

La velocidad media del viento es de 7 m/s y de acuerdo con la dirección de incidencia se ubican entre 4 y 13.7 m/s.

El viento dominante proviene del NE, con una velocidad media de 13.7 m/s y una frecuencia de ocurrencia del 9%, mientras que el registro máximo del viento es de 37 m/s, (133 Km/hr) presentado en julio.

Tabla 7. Datos Estadísticos del Viento Asociados a Dirección y Frecuencias de Ocurrencia. Registros de Campo Selza de la REMAS

TABLA ESTADISTICOS BASICOS

Variable medida:Velocidad del viento

direcciones(°)	prob.direccion	Velocidad del viento	Velocidad del viento 50%	Velocidad del viento 90%	Velocidad del viento 99%
N	0.0618	6.9950	14.4470	21.8932	26.5234
NNE	0.0555	9.4800	16.9980	24.2458	33.0187
NE	0.0924	13.6500	21.2180	27.7902	31.8271
ENE	0.0650	9.0050	16.9740	22.5800	26.8570
E	0.0922	6.9000	14.5090	21.8008	28.0934
ESE	0.0709	6.3200	13.2920	22.3021	27.2595
SE	0.0382	4.7400	10.5510	20.9874	25.8016
SSE	0.0287	4.4750	10.8620	17.7668	20.7439
S	0.0914	6.7300	14.4680	21.9720	27.3879
SSW	0.0755	5.6700	12.4520	24.0022	28.6300
SW	0.0711	8.1500	22.0780	29.0345	32.7100
WSW	0.0826	8.3700	18.6470	25.3572	31.3278
W	0.0689	7.0600	16.1580	25.5277	29.0807
WNW	0.0456	5.6300	12.9180	23.7838	30.5652
NW	0.0238	4.0400	10.4190	22.2804	30.9444
NNW	0.0366	5.5350	11.0930	22.7204	27.4709

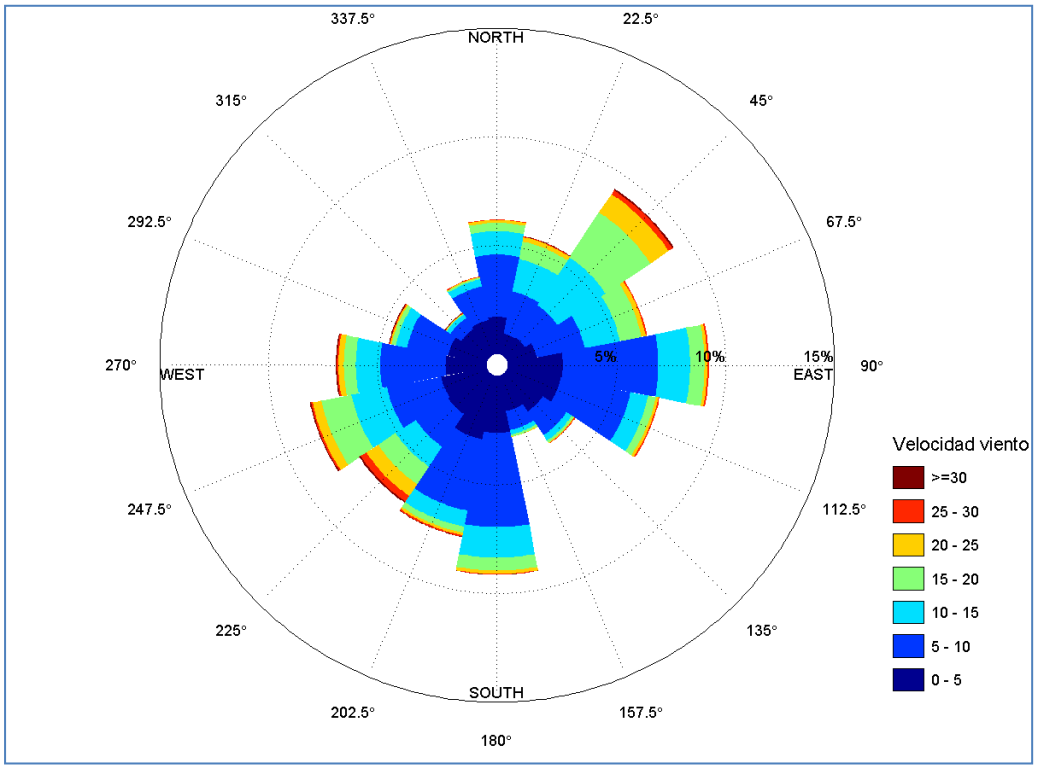


Figura 19. Rosa de Vientos. Registros de la Estación Campo Selza de la REMAS

Global Forecast System (GFS)

Para las modelaciones hidrodinámicas se requiere la información de viento en la zona marina y considerando que el dominio del modelo cubre una zona de estudio amplia, se efectuó un análisis para 4 puntos de datos.

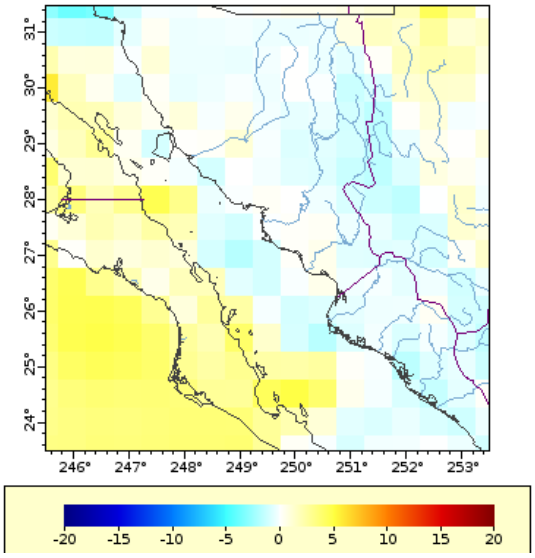
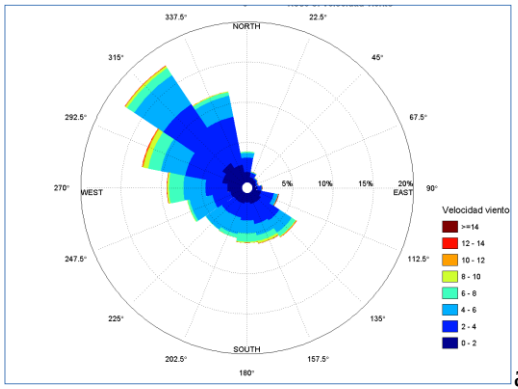
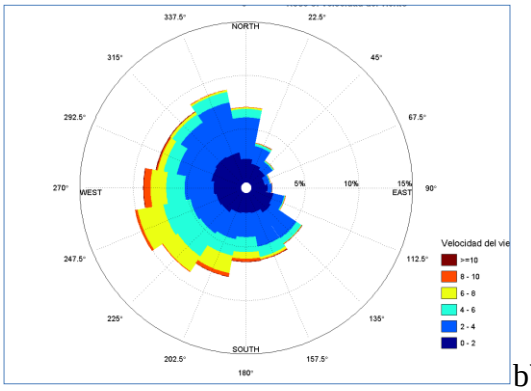


Figura 20. Mapa de Datos NOAA/NCEP Global Forecast System (GFS)

De la comparativa de rosas de oleaje de los 4 puntos, se puede observar que la zona costera entre Cochorit y Guasima presenta una dispersión mayor del viento, respecto a la que se presente en las demás zonas; esto debido a la barrera montañosa ubicada al este.

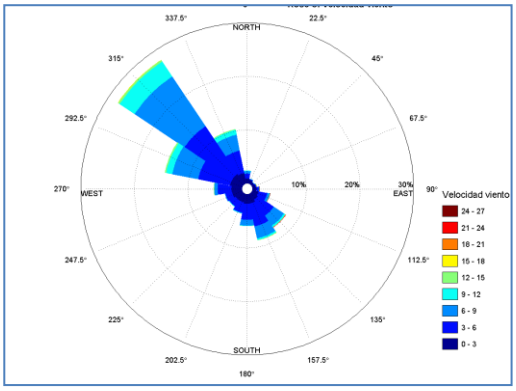


a)

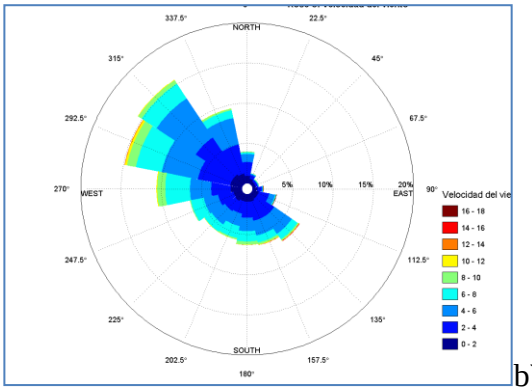


b)

Figura 21. Rosa de Vientos de a) Zona Costera y Terrestre de Guaymas y b) Zona Costera y Terrestre Entre Cochorit y Guásima



a)

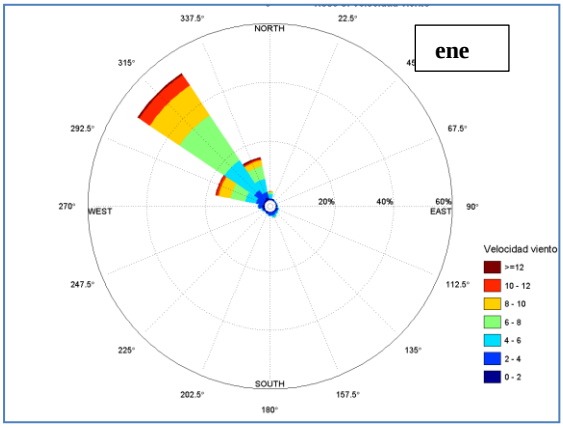


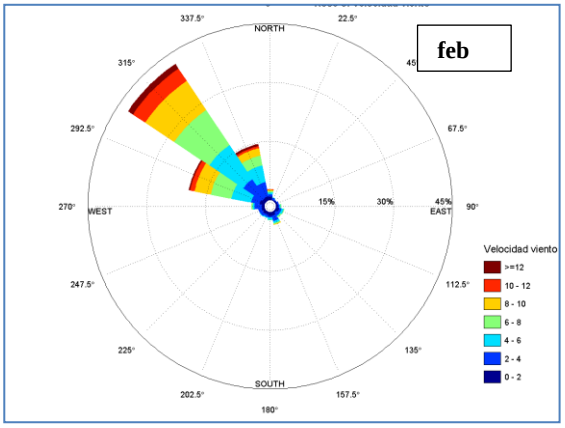
b)

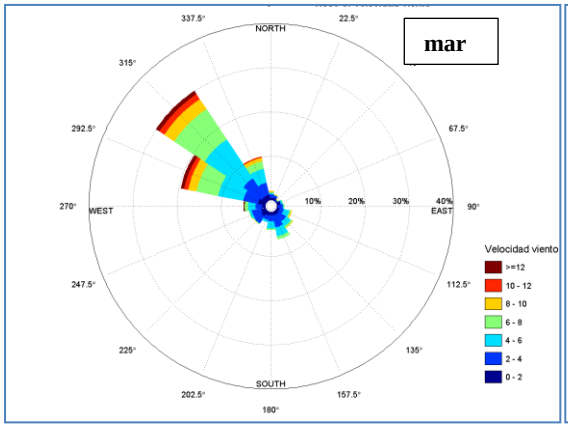
Figura 22. Rosa de Vientos de a) Zona Marina Bahía y b) Zona Costera y Terrestre Isla Lobos

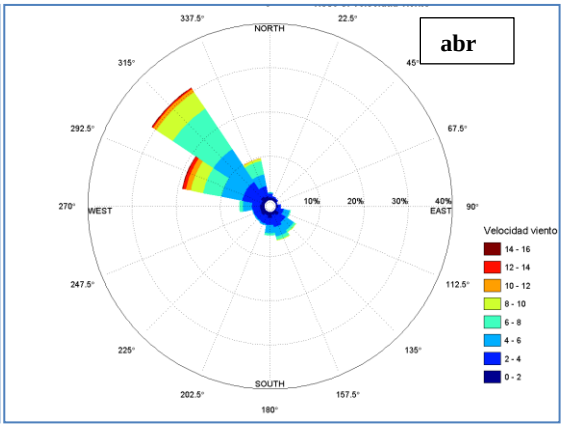
Considerando que la zona que presenta un viento más puro por falta de barreras laterales es la zona marina Bahía, se consideró esta zona para caracterizar el oleaje de forma mensual, que será empleado en los modelos.

Con base en la información procesada, entre enero y mayo se presentan dos direcciones de incidencia principales del mismo cuadrante NW. En junio de forma particular se tiene un viento que incide de dos cuadrantes, SE y NW.









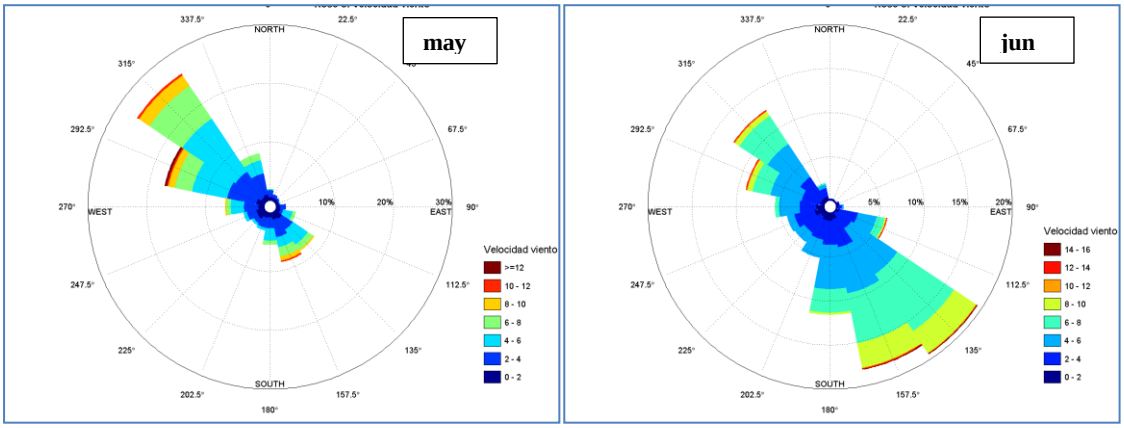
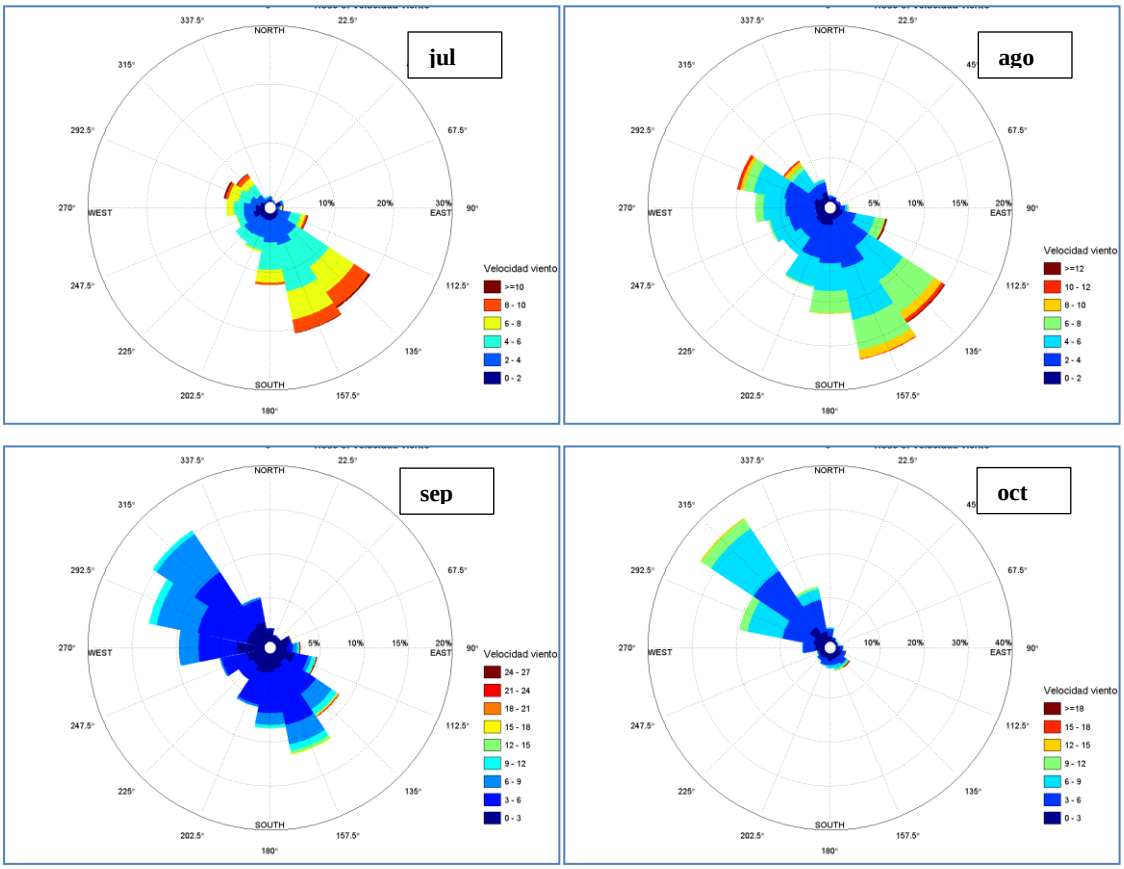


Figura 23. Rosas de Vientos de Información Separada Mensualmente para Modelación; Enero a Junio

Para julio el viento proviene principalmente del cuadrante SE. Para agosto y septiembre el viento incide de los cuadrantes SE, SW y NW y fi



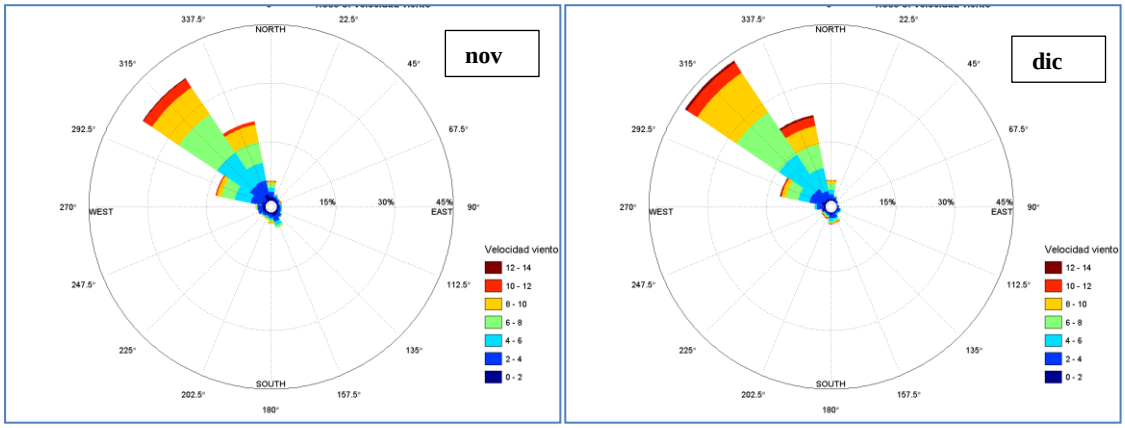


Figura 24. Rosas de Vientos de Información Separada Mensualmente para Modelación; Julio a Diciembre

En la siguiente figura se puede observar que los vientos invernales son los de mayor intensidad, mientras que la primavera y verano se presentan los vientos de menor intensidad. Los meses de septiembre y octubre presentan los registros de vientos máximos, correspondiendo con la temporada de tormentas.

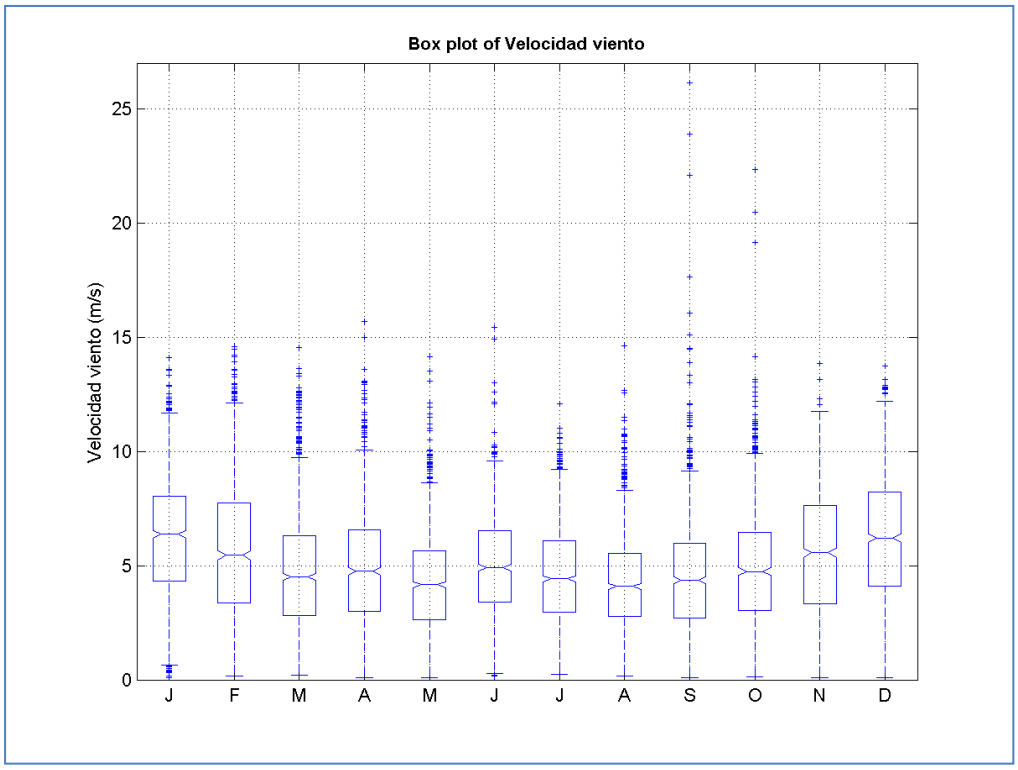


Figura 25. Análisis Estadístico de los Vientos Mensuales

Con base en el análisis estadístico por dirección, las velocidades para las principales direcciones de incidencia por mes son las siguientes, variando entre 4 y 7 m/s.

Tabla 8. Velocidades Medias del Viento por Direcciones Principales y Meses del Año

Velocidades Medias del Viento por Direcciones Principales (m/s)												
Mes	**ene**	**feb**	**mar**	**abr**	**may**	**jun**	**jul**	**ago**	**sep**	**oct**	**nov**	**dic**
Dir	315	315	315	315	315	135	157.5	157.5	315	315	315	315
1ra	7	6.7	5.7	6.2	5	6.2	5.5	5.2	5.4	5.5	6.7	7
Dir °	292.5	292.5	292.5	292.5	292.5	157.5	135	135	292.5	292.5	337.5	337.5
2da		6.5	5.5	5.8	4.5	6	4.8	4.5	5.5	6.5	6.2	6.7
Dir °	-	-	-	-	-	315	180	180	157.5	-	-	-
3ra	-	-	-	-	-	5.2	4.5	4.2	5	-	-	-

1.4. Caracterización de las Mareas

Introducción

Las mareas son movimientos periódicos y alternativos de ascenso (flujo) y descenso (reflujo) de las aguas del mar. Están motivadas por las atracciones combinadas de la Luna y el Sol sobre las masas oceánicas, aunque es la Luna la que ejerce mayor influencia por su proximidad a la Tierra, pero de forma irregular por razón de los continuos cambios de posición con respecto al planeta, así como sus desplazamientos relativos con relación al Sol. La combinación de estas fuerzas puede dar lugar a sumas de ellas, manifestándose en forma de las llamadas mareas vivas, o restarse entre ellas produciendo las llamadas mareas muertas.

La importancia de las mareas en los estudios costeros se debe a que 1) el cambio periódico de los niveles del agua permite al oleaje alcanzar diferentes niveles de la playa a través de los días, por lo cual traslada continuamente la zonas donde rompe el oleaje, que son puntos de alta turbulencia que favorecen los procesos de mezcla del agua., 2) las corrientes que se generan por el gradiente de marea pueden ser importantes según la configuración de la costa; estas corrientes regularmente son más fuertes cercanas a la costa en la zona de bocas de esteros, lagunas y desembocaduras de los ríos.

Al punto de altura máxima de la marea se le llama pleamar, y al punto mínimo bajamar. Por su parte, la diferencia de nivel entre la pleamar y la bajamar se le denomina amplitud o carrera de marea. Ésta varía de forma periódica para un mismo lugar y es diferente entre una costa y otras. Normalmente en los océanos, en que las aguas son abiertas, o los mares cerrados (como el Mediterráneo), las amplitudes de marea son mínimas; sin embargo en las bahías estrechas como el Golfo de California se manifiestan las amplitudes máximas.

Al propagarse al interior de un cuerpo de agua, la onda progresiva de la marea incidente se transforma parcial o totalmente en onda estacionaria al reflejarse parcial o totalmente en la cabeza, paredes y fondo, y su amplitud se amplifica o amortigua, y su avance se retarda, debido a la fricción y el asomeramiento del fondo. De hecho, la marea en el Golfo de California que se propaga hasta la zona de estudio se produce básicamente por oscilación con la marea del Océano Pacífico. Esto quiere decir que las variaciones del nivel del mar dentro del Golfo se deben principalmente a las variaciones del nivel del mar

a la entrada del golfo y no a la atracción gravitatoria del sol y la luna sobre las aguas del golfo (Ripa y Velázquez, 1993).

Materiales y Fuentes Empleadas

En México, la Secretaría de Marina (SEMAR) y la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) llevan varios años realizando registros de los niveles de mareas en diferentes puertos del país. Actualmente se han sumado más instituciones, como el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) y Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), aunque su red aún es limitada. Actualmente las cuatro instituciones señaladas presentan registros de mediciones en tiempo real que pueden ser consultadas en sus páginas de internet. La SEMAR y el CICESE también proporcionan pronósticos de los niveles de marea.

Para el caso de la zona de estudio, la SEMAR es la institución que mayor número de sitios de medición tiene, contando con registros de Guaymas desde 1999. Los datos de predicción de mareas de la SEMAR tienen un nivel de confianza muy buena por el tiempo que lleva midiendo y actualiza las armónicas de marea con los cuales se construyen los pronósticos.

Metodología

Los planos de marea que caracterizan la zona de estudio se obtuvieron de las tablas de marea de la SEMAR 2016 que están referidos al N.B.M.I.

Para las modelaciones se efectuó un análisis de las curvas de marea de un año completo (2016) para identificar un periodo de al menos 15 días donde se tengan mareas vivas y muertas que sea representativo de los ciclos diarios y mensuales de las mareas en la zona de estudio.

Resultados

De acuerdo con la estación Mareográfica de la UNAM ubicada en Guaymas los planos de marea característicos en la zona de estudio son los siguientes:

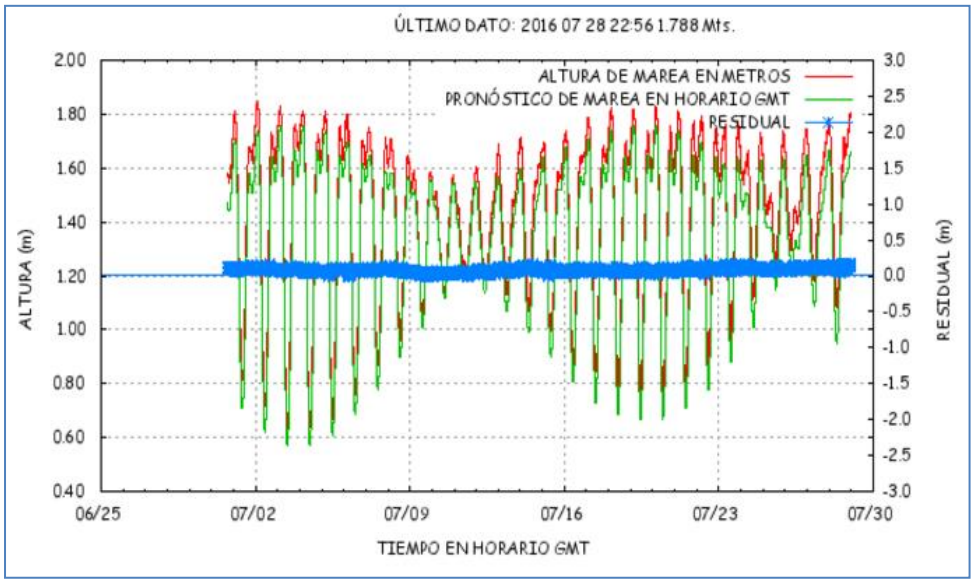
- Pleamar Máxima Registrada: 1.410
- Nivel de Pleamar Media Superior: 0.759
- Nivel de Pleamar Media: 0.717
- Nivel Medio del Mar: 0.441
- Nivel de Bajamar Media: 0.205
- Nivel de Bajamar Media Inferior: 0.00
- Bajamar Mínima Registrada: -0.73

De los registros anteriores se puede establecer que la amplitud de marea media es de 51 cm aproximadamente.

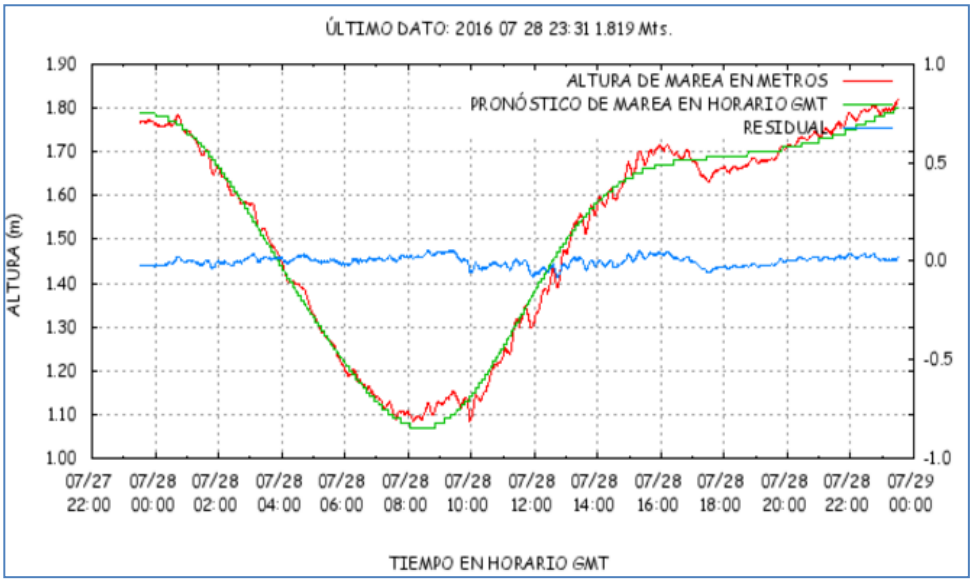
Las principales componentes armónicas que describen la marea en la zona de estudios son:

Componentes de Marea para la Zona de Guaymas (m)						
M_2	S_2	N_2	K_2	K_1	O_1	P_1
0.143	0.110	0.040	0.033	0.287	0.193	0.091

De un estudio de observaciones de nivel del mar en la Boca de la Bahía de Guaymas, en diferentes épocas, se indica que la marea es mixta principalmente diurna (Pugh, 1987).



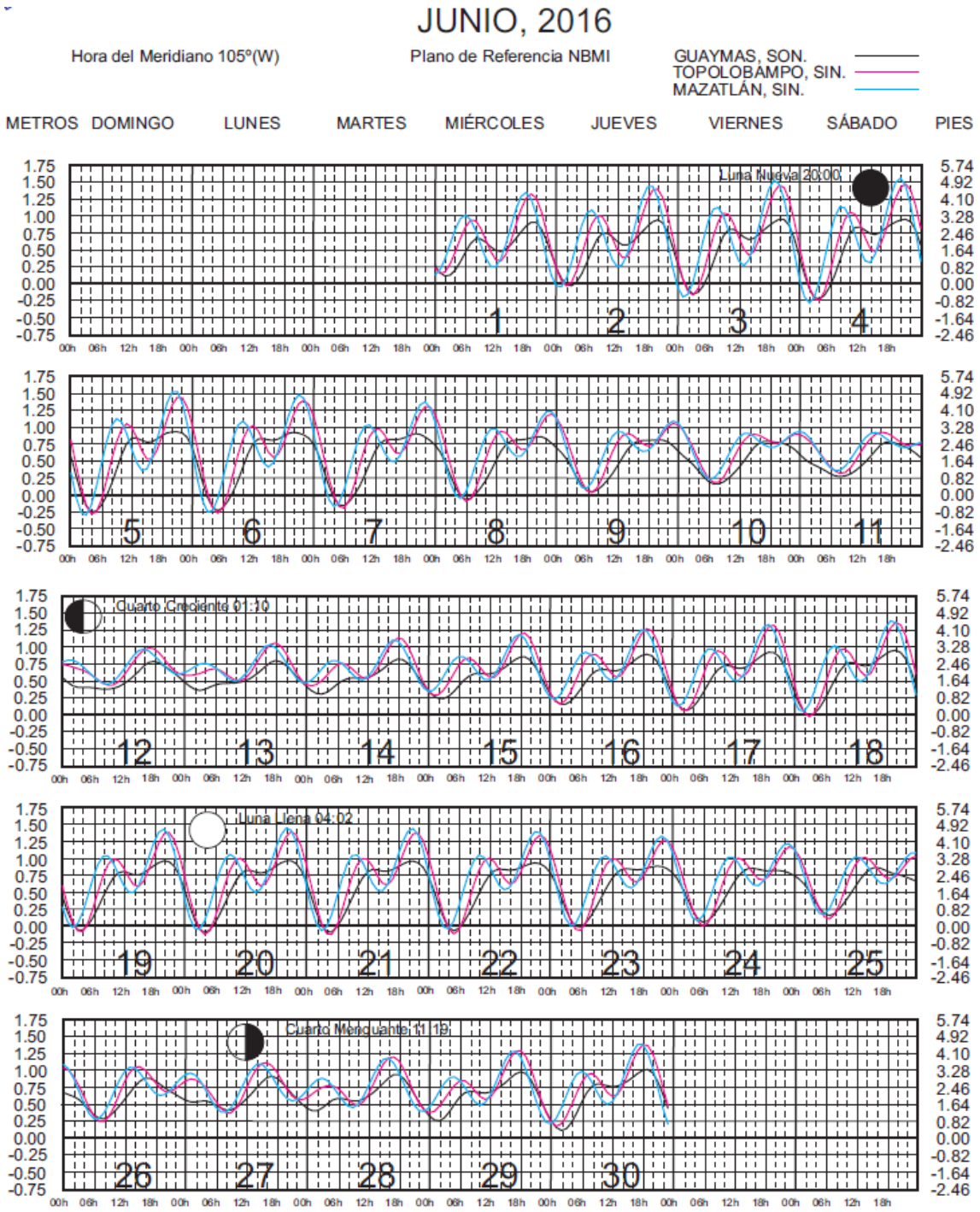
a)



b)

Figura 26. Comparativa de Mediciones y Pronósticos de Marea de la Estación Guaymas; a) Gráfica Mensual; b) Gráfica Semanal. SEMAR

Tabla 9. Pronósticos Gráficos de Marea para Guaymas, Topolobampo y Mazatlán, 2016. SEMAR



1.5. Caracterización de las Corrientes Marinas

Introducción

Las corrientes se producen en el mar como una consecuencia del actuar de otros agentes sobre las masas líquidas. En las proximidades de la costa van asociadas a los agentes que las producen y por lo tanto no se analizan necesariamente como corrientes.

Las corrientes que actúan un poco alejadas de las costas se estudian como agentes principales; estas se caracterizan por no tener una periodicidad muy definida y son muy sensibles a los cambios de otros agentes climáticos, pudiendo variar rápidamente su dirección y rapidez.

Las corrientes marinas o generales se generan por la acción continua del viento, las distintas densidades de las masas de agua y el movimiento de rotación terrestre, así como el efecto Coriolis. Estas corrientes dan un gran recorrido y gran masa de agua discurren sobre los océanos. Estas tienen nombres generales e inclusive sus derivaciones, por otro lado, las corrientes locales inducidas por el viento o de corriente costera se generan en la zona donde sopla el viento.

En este estudio es importante caracterizar las corrientes alejadas de la costa para identificar su comportamiento y cómo pueden influenciar a las corrientes en la zona de estudio.

Materiales y Fuentes Empleadas

En la actualidad existen diversas fuentes de información de corrientes oceánicas, tanto en formato de cartas, estudios locales y modelos tipo análisis retrospectivo o hindcast.

Por la disponibilidad de información y robustez de la misma, los análisis fueron realizados a través de las salidas del modelo operacional HYCOM, que emplea para sus condiciones de fronteras e iniciales mediciones in situ e imágenes de satélites meteorológicos de alta resolución. La rejilla que utiliza tiene celdas de 1/12º (esta relación está cercana a los 7 Km en latitudes medias).

Metodología

Los datos que se procesan para este estudio corresponden a las coordenadas 27.8° Longitud y -110.7 a -110.8° Latitud, ubicada frente al sitio de estudio y que se compone de una serie histórica con datos de corrientes (vector_u y vector_v) con registros cada 3 horas de 1995 a 2012 (17 años) en superficie y fondo.

Con los registros de la serie histórica se realizó un análisis estadístico, en el cual se obtuvo el régimen anual de las corrientes, rosas direccionales de corrientes, función de distribución de la rapidez e histograma de densidades.

Para el análisis y presentación de resultados se empleó el software AMEVA®, CAROL®, desarrollado por (IH-Cantabria, 2010).) y MATLAB®.

Resultados

En las siguientes figuras se muestran las series históricas y organizadas en forma mensual de la rapidez de la corriente en el punto 1, que se ubica frente a la barra de la Bahía de Guaymas.

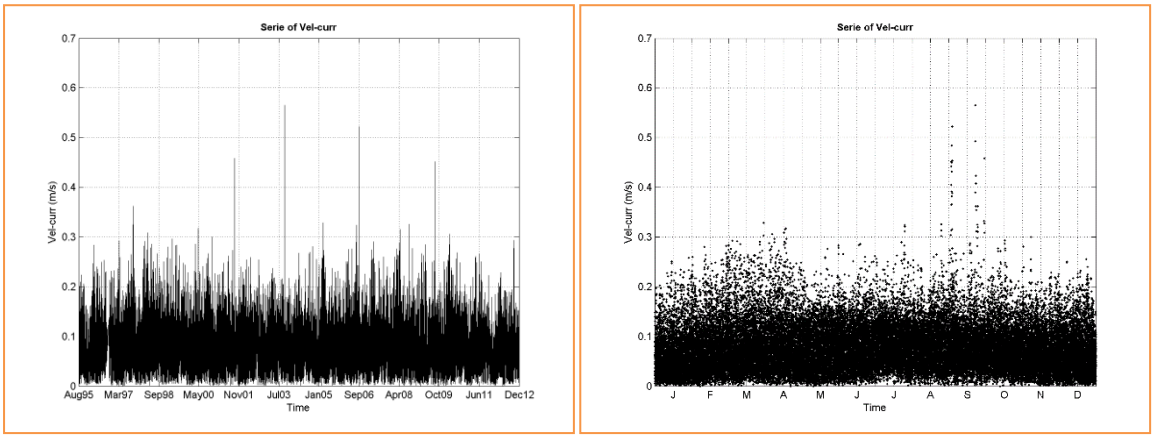


Figura 27. Serie Histórica y Mensual de la Rapidez de la Corriente en la Zona de Estudio; Punto 1 en Superficie. Datos HYCOM 1995-2012

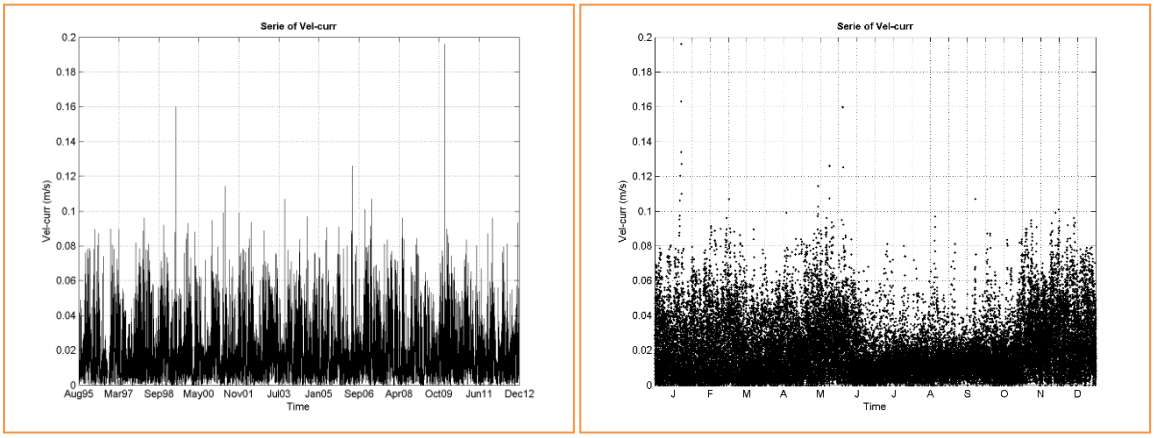


Figura 28. Serie Histórica y Mensual de la Rapidez de la Corriente en la Zona de Estudio; Punto 1 en Fondo. Datos HYCOM 1995-2012

En las siguientes figuras se muestran las series históricas y organizadas en forma mensual de la rapidez de la corriente en el punto 2, que se ubica frente a la playa Cochorit.

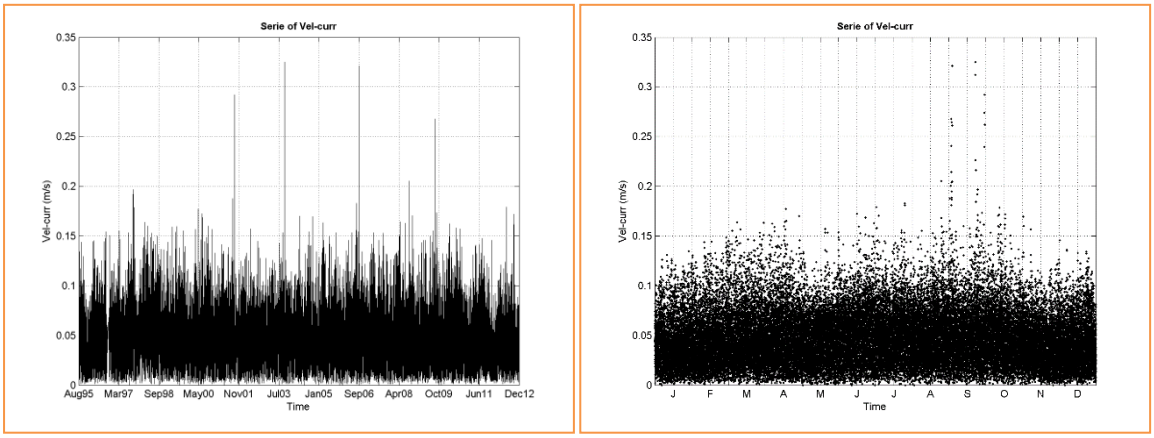


Figura 29. Serie Histórica y Mensual de la Rapidez de la Corriente en la Zona de Estudio; Punto 2 en Superficie. Datos HYCOM 1995-2012

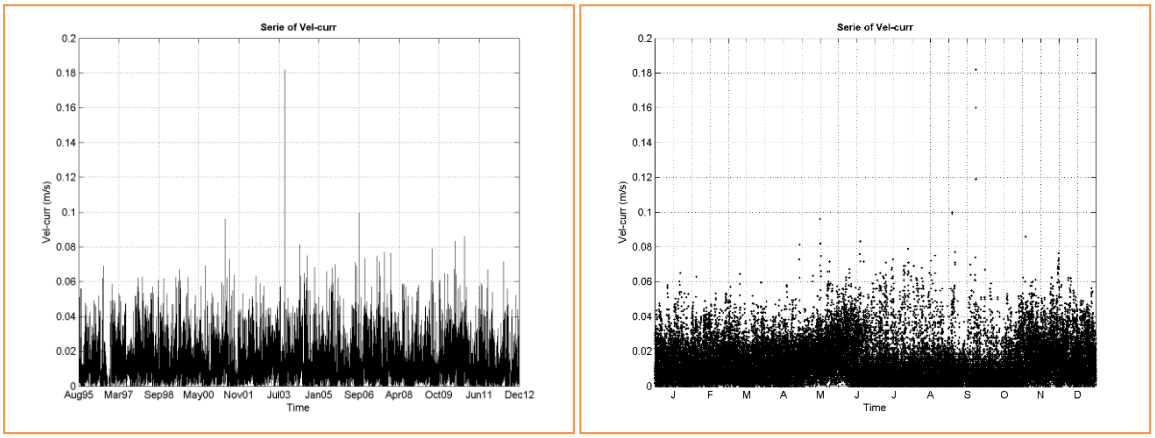


Figura 30. Serie Histórica y Mensual de la Rapidez de la Corriente en la Zona de Estudio; Punto 2 en Fondo. Datos HYCOM 1995-2012

En la siguiente figura se pueden observar el diagrama de densidades de la rapidez de la corriente en el Punto 1 ubicado frente a la barra de la Bahía de Guaymas. Se aprecia en el diagrama de superficie que la zona de mayor densidad corresponde con rapidez de la corriente de 0.05 a 0.1 m/s y dirección hacia el ESE (112.5°); para el caso de las corrientes de Fondo (~20 m), se tienen la mayor densidad en rapidez de corriente de 0.01 m/s y las corrientes van hacia las direcciones E (90°) y W (270°).

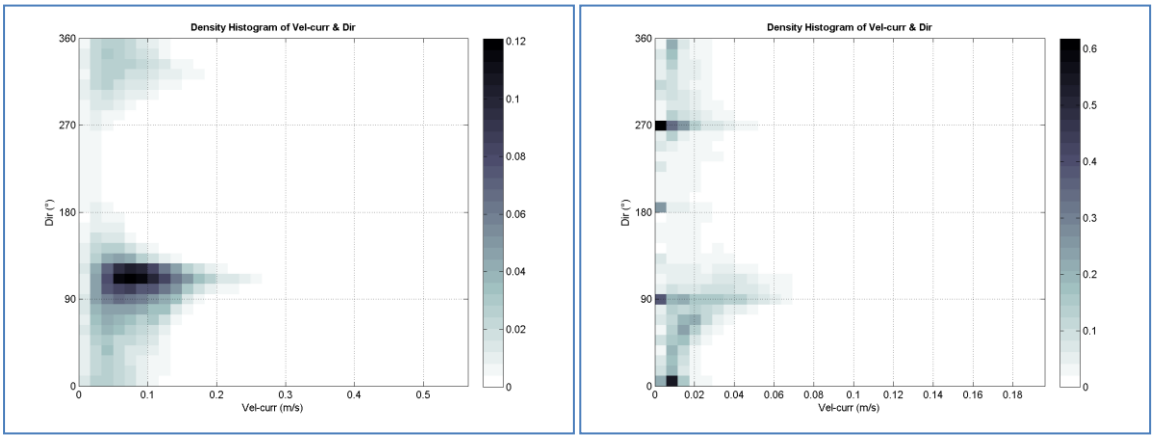


Figura 31. Diagrama de Densidades de la Rapidez de la Corriente Respecto a la Dirección en la Zona de Estudio; Punto 1 en Superficie (Izquierda) y Fondo (Derecha). Datos HYCOM 1995-2012

En la siguiente figura se pueden observar el diagrama de densidades de la rapidez de la corriente en el Punto 2 ubicado frente a la playa Cochorit. Se aprecia en el diagrama de superficie que la zona de mayor densidad corresponde con rapidez de la corriente de 0.05 m/s y dirección hacia el ESE (112.5° y SE (135°); para el caso de las corrientes de Fondo (~20 m), se tienen la mayor densidad en rapidez de corriente de 0.01 m/s y las corrientes van hacia las direcciones E (90°) y W (270°).

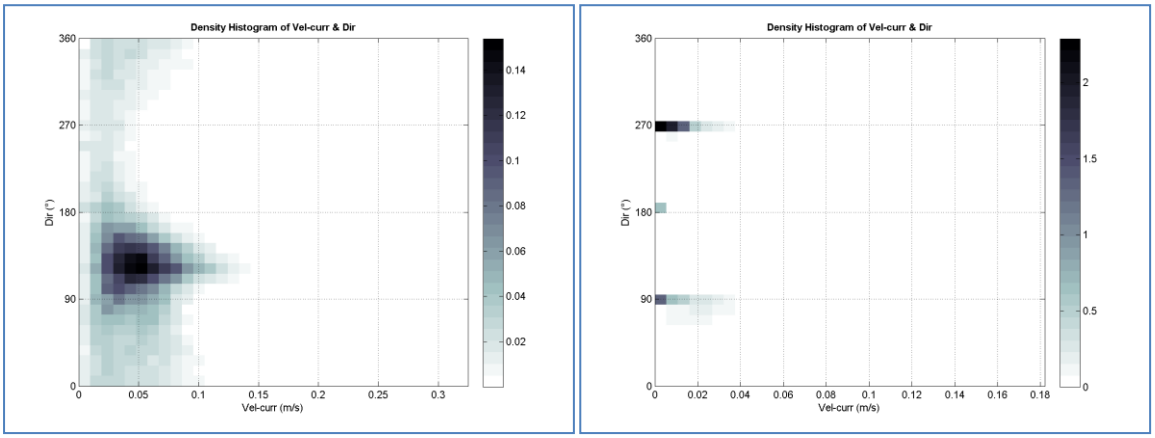


Figura 32. Diagrama de Densidades de la Rapidez de la Corriente Respecto a la Dirección en la Zona de Estudio; Punto 2 en Superficie (Izquierda) y Fondo (Derecha). Datos HYCOM 1995-2012

En la siguiente figura se pueden observar la rosa de corrientes superficial y de fondo (~20 m) en el Punto 1 ubicado frente a la barra de la Bahía de Guaymas.

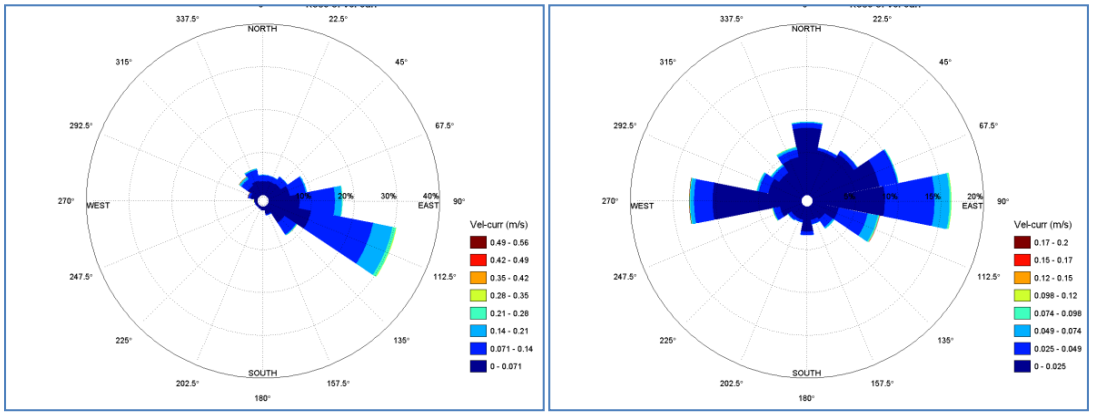


Figura 33. Rosas de Corrientes Generadas en el Punto 1 en Superficie (Izquierda) y Fondo (Derecha). Datos HYCOM 1995-2012

En la siguiente figura se pueden observar la rosa de corrientes superficial y de fondo (~20 m) en el Punto 2 ubicado frente a la playa Cochorit.

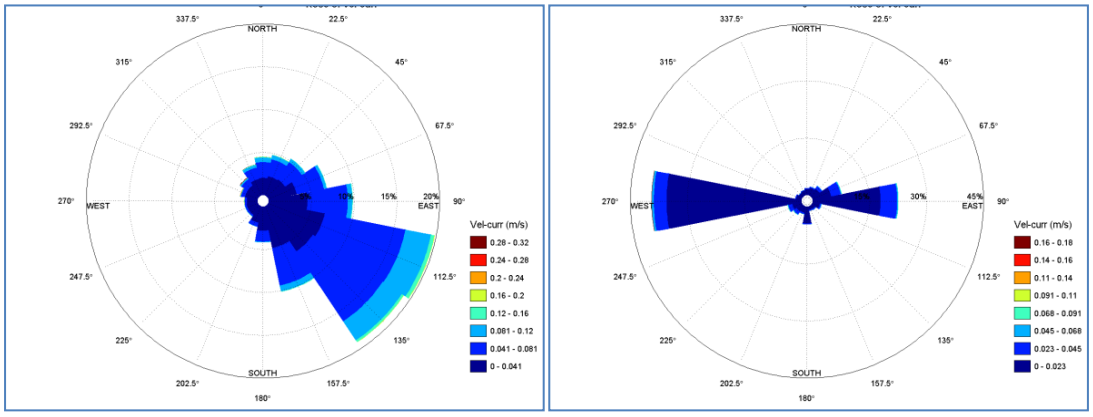


Figura 34. Rosas de Corrientes Generadas en el Punto 2 en Superficie (Izquierda) y Fondo (Derecha). Datos HYCOM 1995-2012

Las corrientes de superficie se ubican en promedio entre 4 y 7 cm/s, mientras que las corrientes de fondo son mínimas, apenas alcanzan 1 mc/s. En ambos casos son corrientes relativamente pequeñas. El registro máximo de corriente de superficie es de 55 cm/s y el de fondo de 20 cm/s.

Tabla 10. Rapidez de la Corriente en Función de Distribución, en Porcentiles

Rapidez de la Corriente (cm/s), Porcentiles					
Punto	**Zona**	**25%**	**50%**	**75%**	**95%**
Punto 1	Sup.	4	**7**	10	16
	Fondo	1	**1**	3	5
Punto 2	Sup.	3	**4**	6	9
	Fondo	1	**1**	2	3

2. Estudios de Corrientes y Calidad del Agua In Situ Sitio 1

2.1. Estudio de Corrientes

Con el objeto de conocer de forma puntual la magnitud de las corrientes que se presentan en el frente marino de la zona de estudio del Sitio 1, se realizó una campaña de medición de corrientes.

Las corrientes se tomaron sobre una línea al centro del Predio, sensiblemente perpendicular a la línea de costa y a las profundidades de 5.0 m, 7.5 m y 10.0 m. La ubicación se presenta en la siguiente imagen.

Figura 35. Localización de los Puntos de Medición de Corrientes Sitio 1

En cada punto de medición de corrientes se tomaron lecturas en tres diferentes profundidades (Superficial, 0.4d y 0.8d). El equipo empleado fue un molinete tipo Price marca LOVI con contador digital.

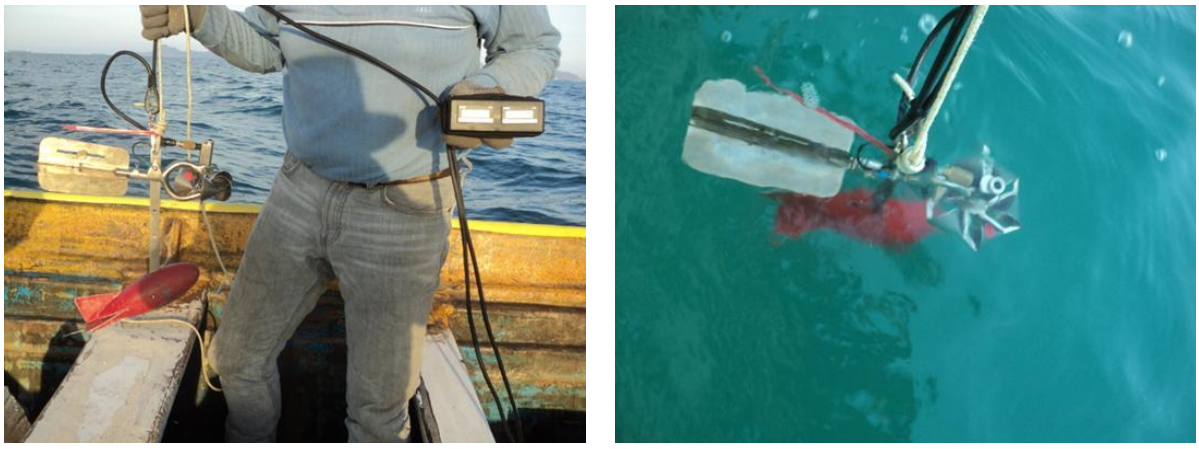


Figura 36. Equipo Empleado en la Medición de Corrientes

Los registros obtenidos de la campaña de medición de corrientes se presentan en la siguiente tabla, donde los valores están en Número de Revoluciones por Minuto.

Tabla 11. Registros de Medición de Corrientes Sitio 1

Hora	5.0 m			7.5 m			10.0 m		
	SUP.	0.4 d	0.8 d	SUP.	0.4 d	0.8 d	SUP.	0.4 d	0.8 d
06:00	10	6	2	13	10	5	16	10	9
08:00	16	8	10	14	9	3	9	10	5
09:00	4	3	1	7	6	6	9	7	4
10:30	13	9	6	16	15	16	3	2	4
12:00	9	8	6	19	12	9	10	12	8
13:00	18	8	8	13	8	14	16	11	12
14:00	19	8	7	14	12	10	18	12	10

Finalmente, aplicando la ecuación del molinete, se procedió a calcular las velocidades de cada registro.

$V = m*N+b$

m = 0.7186

b = -0.0004

Tabla 12. Velocidades de Corrientes Obtenidas Sitio 1

Hora	5.0 m			7.5 m			10.0 m		
	SUP.	0.4 d	0.8 d	SUP.	0.4 d	0.8 d	SUP.	0.4 d	0.8 d
06:00	0.1194	0.0715	0.0236	0.1553	0.1194	0.0595	0.1912	0.1194	0.1074
08:00	0.1912	0.0954	0.1194	0.1673	0.1074	0.0355	0.1074	0.1194	0.0595
09:00	0.0475	0.0355	0.0116	0.0834	0.0715	0.0715	0.1074	0.0834	0.0475
10:30	0.1553	0.1074	0.0715	0.1912	0.1793	0.1912	0.0355	0.0236	0.0475
12:00	0.1074	0.0954	0.0715	0.2272	0.1433	0.1074	0.1194	0.1433	0.0954
13:00	0.2152	0.0954	0.0954	0.1553	0.0954	0.1673	0.1912	0.1313	0.1433
14:00	0.2272	0.0954	0.0834	0.1673	0.1433	0.1194	0.2152	0.1433	0.1194

De acuerdo con las indicaciones señaladas por la CONAGUA y la CEAS, los resultados de la campaña de Medición de Corrientes efectuada en el Sitio 1, se consideran válidos también para el nuevo sitio de proyecto denominado como Sitio 2.

2.2. Estudio de Calidad del Agua In Situ Sitio 1

Se realizó el estudio de calidad del agua in situ de acuerdo con las siguientes características.

Fecha del muestreo: 23 junio 2016

Sitio: Frente a playa Cochorit

Coordenadas de las estaciones de muestreo (ver siguiente figura):

- -5 m 27° 54´ 53.2"; 110° 46´ 41.0"
- -10 m 27° 53´ 35.6"; 110° 46´ 49.8"

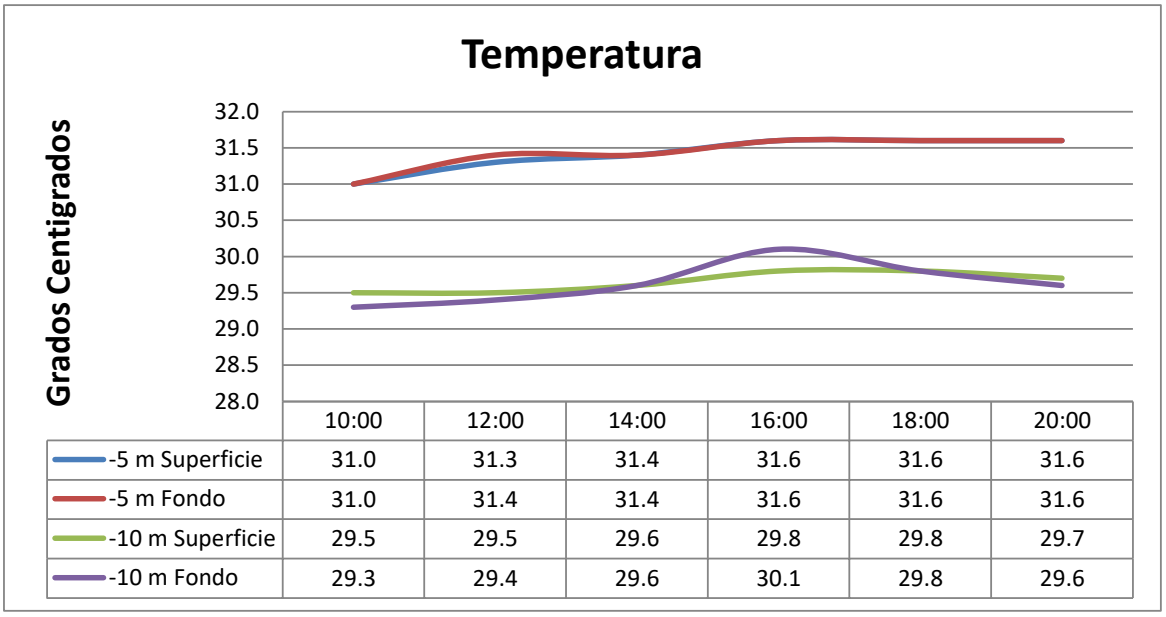
Figura 37. Estaciones de Muestreo Calidad del Agua In Situ Sitio 1

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el estudio.

2.2.1. Medición Diurna Sitio 1

Temperatura

La variación total de la temperatura se presentó entre 29.3 °C como mínimo en fondo para la estación de los -10 m y hasta 31.6 °C como máximo a partir de las 4 de la tarde en superficie y fondo de la estación -5 m, para hacer una diferencia total durante el día de 2.3 °C que es resultado de la acumulación de energía térmica solar, ante la falta de otra fuente de energía y que alcanza su punto culminante a partir de las 16:00 horas; sin embargo, el análisis por sustrato indica dos masas de agua homogéneas por sustrato y diferentes por profundidad de la columna de agua, ya que mientras en la profundidad de -5 m el rango de variación se mostró entre 31.0 y 31.6 °C, con una diferencia de tan solo 0.6 °C, la medición en la profundidad de -10 m varió entre 29.3 y 30.1 °C con una diferencia de 0.8 °C, diferencias que se pueden observar en el siguiente gráfico.

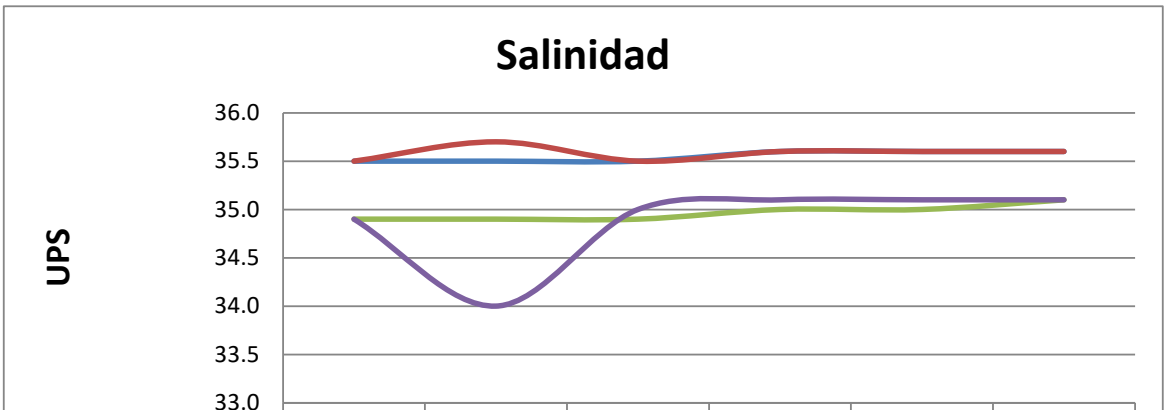


	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00
-5 m Superficie	31.0	31.3	31.4	31.6	31.6	31.6
-5 m Fondo	31.0	31.4	31.4	31.6	31.6	31.6
-10 m Superficie	29.5	29.5	29.6	29.8	29.8	29.7
-10 m Fondo	29.3	29.4	29.6	30.1	29.8	29.6

Figura 38. Temperatura Diurna Sitio 1

Salinidad

El rango de variación total se presentó entre 34 y 35.7 ups, es decir tan solo 1.7 ups de diferencia para hacer un promedio de 35.2 ups a lo largo del muestreo diurno, aunque por profundidad de la columna de agua se detectaron dos masas de agua diferentes con aguas de mayor salinidad en superficie; este efecto no es el esperado dado que las aguas con mayor salinidad, más densas, tienden a depositarse en fondo, por lo que se considera un fenómeno local debido al efecto de acumulación térmica que a su vez produce una evotranspiración en superficie que así lo provoca en la zona menos profunda, como se puede observar gráficamente a continuación.

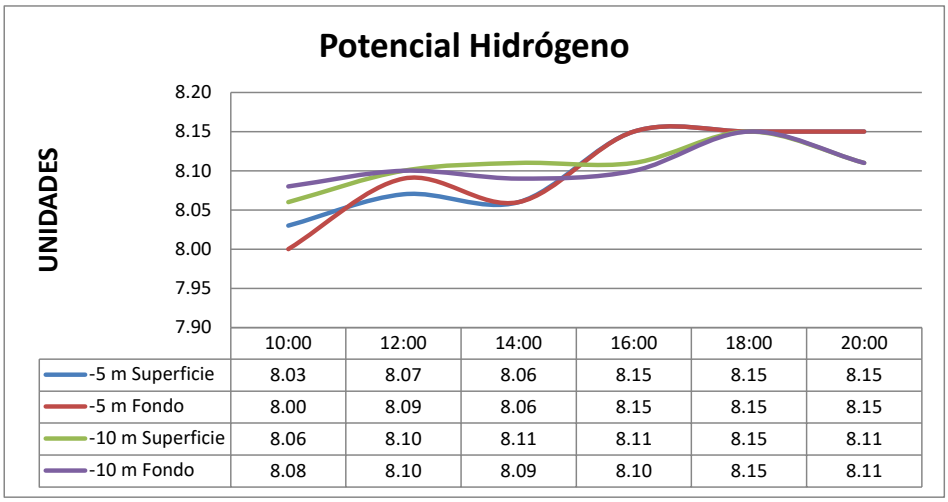


	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00
-5 m Superficie	35.5	35.5	35.5	35.6	35.6	35.6
-5 m Fondo	35.5	35.7	35.5	35.6	35.6	35.6
-10 m Superficie	34.9	34.9	34.9	35.0	35.0	35.1
-10 m Fondo	34.9	34.0	35.0	35.1	35.1	35.1

Figura 39. Salinidad Diurna Sitio 1

Potencial Hidrógeno

Para este muestreo el pH se encontró en un rango de entre 8.0 y 8.15 unidades resultando prácticamente homogéneo con una diferencia total y en los -5 m de 0.15 unidades mientras que en la profundidad de -10 m fue de tan solo 0.09 unidades, por lo que se considera un parámetro estacionalmente estable para esta época del año.

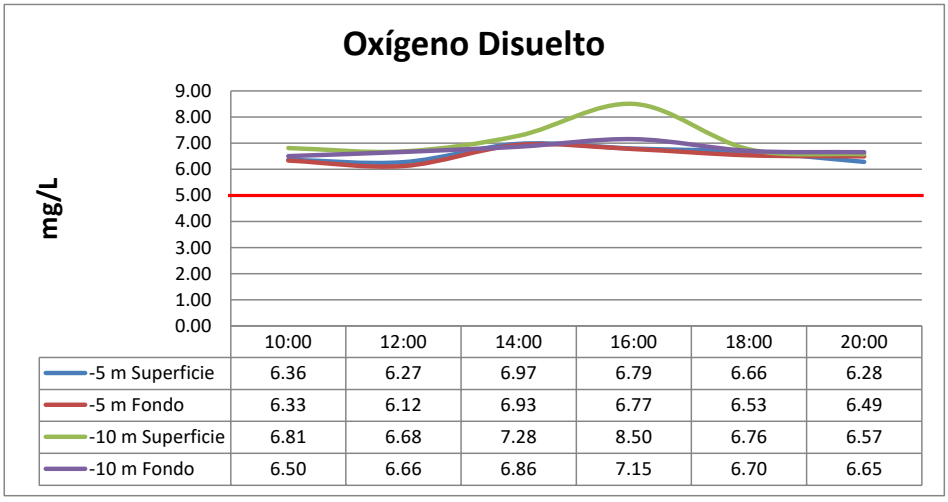


	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00
-5 m Superficie	8.03	8.07	8.06	8.15	8.15	8.15
-5 m Fondo	8.00	8.09	8.06	8.15	8.15	8.15
-10 m Superficie	8.06	8.10	8.11	8.11	8.15	8.11
-10 m Fondo	8.08	8.10	8.09	8.10	8.15	8.11

Figura 40. Potencial Hidrógeno Diurno Sitio 1

Oxígeno Disuelto

El límite mínimo establecido para el sostenimiento de la vida acuática es de 5.0 mg/L, mientras que en las mediciones efectuadas siempre se mantuvo por arriba de ese límite, en un rango de entre 6.1 mg/L como mínimo y hasta 8.5 mg/L como máximo, para hacer un promedio total de 6.7 mg/L; cabe aclarar que esta relativa homogeneidad se mantiene a lo largo de la medición con un pico en la estación de los -10 m donde se presenta el valor más alto de 8.5 mg/L, mientras que si se descuenta dicho valor de los registros la diferencia entre máximos y mínimos disminuye hasta los 1.2 mg/L total, de 0.9 mg/L para la estación de los -5 m y de 0.8 mg/L para la estación de los -10 m, que confirma la relativa estabilidad de este parámetro.



	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00
-5 m Superficie	6.36	6.27	6.97	6.79	6.66	6.28
-5 m Fondo	6.33	6.12	6.93	6.77	6.53	6.49
-10 m Superficie	6.81	6.68	7.28	8.50	6.76	6.57
-10 m Fondo	6.50	6.66	6.86	7.15	6.70	6.65

Figura 41. Oxígeno Disuelto Diurno Sitio 1

Sólidos Disueltos Totales

Siendo una zona de mayor energía (cercanía al rompimiento del oleaje) resulta congruente que en la estación de los -5 m se presenten los mayores valores que estuvieron entre 28.7 y 30.5 mg/L, mientras que en la de los -10 m estos valores fueron de entre 28.8 y 29.3 mg/L;, aun así, la variación total está controlada por los valores de la zona más cercana a la playa, la variación total fue de 1.9 mg/L, mientras que para los –5 m fue ese mismo valor y para la de los -10 m fue de 0.5 mg/L.

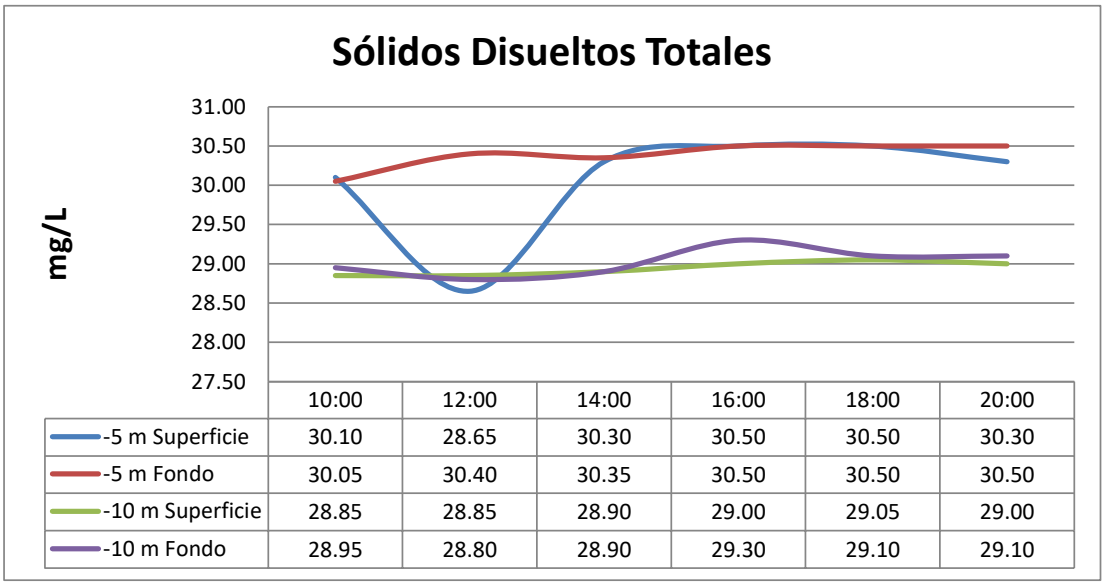


Figura 42. Sólidos Disueltos Totales Diurno Sitio 1

Otros Parámetros

A continuación se presentan los resultados puntuales de otros parámetros tomados durante la medición de las 12 horas.

Tabla 13. Nutrientes Sitio 1

ESTACION	COLECTA	NITRITOS (µg/L)	NITRATOS (µg/L)	AMONIO (µg/L)	ORTOFOSFATOS (µg/L)	SILICATOS (µg/L)
5 m	SUPERFICIE	0.00	3.50	56.97	30.38	64.96
	FONDO	0.00	3.78	50.40	30.38	59.92
10 m	SUPERFICIE	0.00	3.08	67.20	16.43	29.96
	FONDO	0.00	2.38	50.40	17.98	36.68

Tabla 14. Clorofila "a" y DBO_5 Sitio 1

ESTACION	COLECTA	CLOROFILA 'a' (µg/L)	DBO_5 (mg/L)
5 m	SUPERFICIE	1.04	0.95
	FONDO	1.60	0.95
10 m	SUPERFICIE	0.45	0.62
	FONDO	0.45	0.62

De acuerdo con las indicaciones señaladas por la CONAGUA y la CEAS, los resultados de la campaña de Calidad de Agua In Situ Corrientes efectuada en el Sitio 1, se consideran válidos también para el nuevo sitio de proyecto denominado como Sitio 2.

B.10. IDENTIFICACIÓN DEL SITIO PARA LA UBICACIÓN DEL EMISOR SUBMARINO Y LA GEORREFERENCIACIÓN DEL PUNTO PARA LA DESCARGA DEL AGUA DE SALMUERA.

3. Estudios de Dinámica Marina Sitio 1

3.1. Determinación de la Profundidad de Cierre Sitio 1

Introducción

La profundidad denominada de cierre, o “shoal”, es aquella a partir de la cual no hay ningún tipo de transporte, bien sea paralelo o perpendicular a la costa (ds).

El tramo existente entre la profundidad activa y la de cierre se denomina “shoal zone”, y en dicha zona solo actúan fenómenos de transporte perpendiculares a la costa.

Materiales y Fuentes Empleadas

Para calcular dichas profundidades se utiliza el concepto de H_{12}, que es la altura de ola significante que solamente es superada o excedida doce horas al año en régimen medio (probabilidad del 0.9987).

Metodología

La clasificación tradicional fue realizada por Hallermeier (1978 y 1985), si bien, la formulación sencilla y aplicable será la de Birkemeier en 1985, que define:

- H_{12}: Altura de ola significante o promedio del tercio de olas más altas, excedida doce horas al año en régimen medio, m.

Tabla 15. H_{12} para la Zona de Estudio a Partir de Oleaje Propagado Hasta el Sitio de Estudio con Base en Datos Históricos de 2005-2010 WWIII

Dirección (frecuencia ocurrencia)	Aguas Profundas		Frente a Zona de Estudio	
	H_{12} (m)	T_{12} (s)	H_{12b} (m)	T_{12b} (s)
SSE (41%)	2.6	20	1.1	20
WNW (15.5%)	2.1	6	0.2	6
NW (33.5%)	2.3	7	0.1	7

- d_l: Profundidad litoral, es decir, aquella donde existe transporte de sedimentos en sentido longitudinal (Longshore) y transversal (onshore – offshore), m.
- d_s: Profundidad shoal o de asomeramiento, es decir, aquella hasta donde se puede cuantificar el transporte transversal, m.
- d_{off}: Profundidad offshore, donde no existe actividad por efecto ondulatorio, zona neutra.

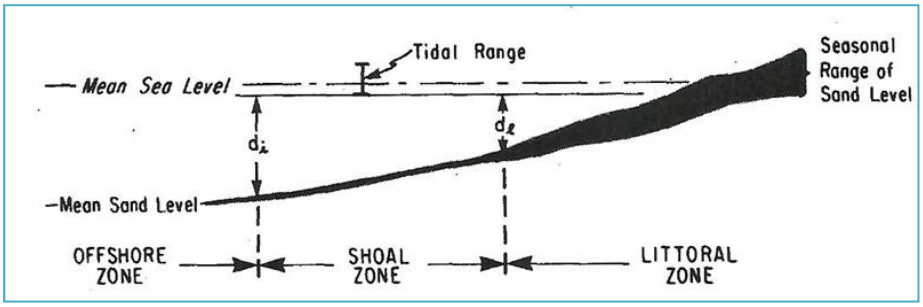


Figura 43. Zonificación de Perfil Estacional (Hallermeirer, 1978)

Tal como se describía anteriormente, la formulación clásica Hallemeier (1978 y 1985):

$$d_l = 2.28H_{12} - 68.5\left(\frac{H_{12}^2}{gT_z^2}\right)$$

Donde:

- d_l Profundidad litoral en metros
- H_{12} Altura de ola significante excedida doce horas en régimen medio en metros
- g Aceleración de la gravedad, m/s2
- T_z Período del oleaje correlacionado con H_{12}, s

Empleando datos de campo, Birkemeier corrige la fórmula de Hallermeier, obteniendo:

$$d_l = 1.75H_{12} - 57.9\left(\frac{H_{12}^2}{gT_z^2}\right)$$

Corrigiendo para un espectro Jonswap, en lugar de Pierson Moskowitz, y como fórmula simplificada se obtiene:

$$d_l = 1.75H_{12}$$

Resultados

Por lo tanto para las diferentes direcciones se obtienen los siguientes:

Tabla 16. Estimación de Profundidad Litoral (dl) para Diferentes Criterios Empleando Modelos Empíricos

Dirección (frecuencia ocurrencia)	Frente a Zona de Estudio		d_l (m)	d_l (m)	d_l (m)
	H_{12} (m)	T_{12} (s)	Hallemeier (1981)	Birkemeier (1985)	Cur (1987)
SSE (41%)	1.1	20	**2.5**	1.9	1.9
WNW (15.5%)	0.2	6	**0.4**	0.3	0.4
NW (33.5%)	0.1	7	**0.2**	0.2	0.2

A su vez, la profundidad máxima, se calcula en función de la de fondos activos con la expresión de Cur (1987):

$$d_i = 2d_l = 3.5H_{12}$$

Empleando el criterio de mayor profundidad entre formulación clásica y simplificada, para las diferentes direcciones se obtienen las siguientes profundidades.

Tabla 17. Estimación de Profundidad Máxima de Actividad Sedimentaria Empleando la Expresión de Cur (1987)

Dirección (°)	Datos de Oleaje		d_{lprom} (m)	d_i (m)
	H_{12} (m)	T_{12} (s)		
SSE (41%)	1.1	20	**2.1**	**4.2**
WNW (15.5%)	0.2	6	**0.4**	**0.8**
NW (33.5%)	0.1	7	**0.2**	**0.4**

Con base en lo anterior, **LA MAYORÍA DE LOS CAMBIOS morfodinámicos de la playa se producirán entre la línea de orilla y la zona bañada por el estrán (zona intermareal) y la batimétrica -2 m aproximadamente, PARA DEJAR DE PRODUCIRSE MODIFICACIONES paulatinamente en los fondos hasta alcanzar la batimétrica -4 m,** donde a partir de la cual no se esperan modificaciones. Estos valores son respecto al nivel de bajamar media inferior.

3.2. Análisis de la Propagación y Transformación del Oleaje (CMS-WAVE), Sitio 1

Introducción

Uno de los principales fenómenos oceanográficos a considerar en el diseño y planeación de cualquier obra en el la zona costera y en el mar, es el oleaje, ya que es un parámetro que participa en forma determinante.

Los efectos de las ondas de agua son de gran importancia en el campo de la ingeniería de costas. Las olas son el principal factor en la determinación de la geometría y composición de las playas y tienen gran influencia en la planeación y diseño de puertos, vías navegables, medidas de protección costera, estructuras cerca de la costa, apertura o cierres de bocas y otras obras marítimas. Las olas superficiales generalmente obtienen su energía de los vientos.

Para caracterizar el clima del oleaje en una zona específica de la costa regularmente se emplean modelos de propagación, ya que no existe regularmente información en la zona cercana, por lo cual se toman datos de aguas profundas y se propagan hacia la costa.

El propósito de aplicar la propagación del oleaje hacia la costa es para describir los cambios cuantitativos en los parámetros del oleaje (altura de la ola, periodo, dirección y forma del espectro) fuera de la costa y cercano a la costa. En aguas relativamente profundas, los campos de oleaje son relativamente homogéneos en la escala de kilómetros; pero en aguas cercanas a la costa, donde las olas son fuertemente influenciadas por la variación de la batimetría (profundidad y presencia de un importante número de islas), los parámetros del oleaje.

Materiales y Fuentes Empleadas

Para la caracterización del oleaje en la zona de estudio se empleó un modelo de propagación de oleaje denominado CMS-WAVE, que permite la creación de un modelo de transformación de espectro de oleaje que resuelve en estado estático las ecuaciones de balance de acción del oleaje en una malla no uniforme cartesiana, simula la difracción, reflexión, zonas de generación del oleaje, disipación por fricción de fondo, rompiente, interacción de corrientes con oleaje, ascenso de la ola, rebase y transmisión en estructuras.

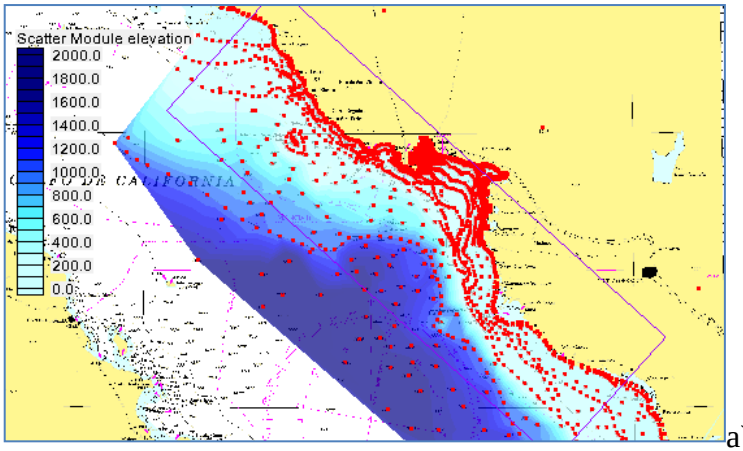
CMS-Wave es un componente del Sistema de Modelado Costero (CMS) (Coastal and Hydraulics Laboratory, U.S. Army Engineer Research and Development Center, 2014). Es un motor numérico de volumen-finito que incluye actualmente diversas capacidades de modelación bidimensional y que se operan con la interface Surface water Modelling System (SMS). El modelo fue desarrollado por CIRP (Coastal Inlets Research Program) que administra el ejército de los Estados Unidos a través del CHL (Coastal and Hydraulics Laboratory). La misión del desarrollo del software es tener una herramienta que permita predecir cuantitativamente para realizar el manejo de proyectos de navegación en bocas, el diseño principalmente, operación y mantenimiento de canales y estructuras costeras en el frente marítimo, reducir los costos de dragado y preservar las playas en un sistema que trata la boca y las playas como un solo elemento.

El modelo digital de terreno empleado en el modelo se construyó con base en un ensamble de cartas náuticas S.M. 233.3, S-M. 233.5 y S.M. 200 y con los datos del levantamiento batimétrico.

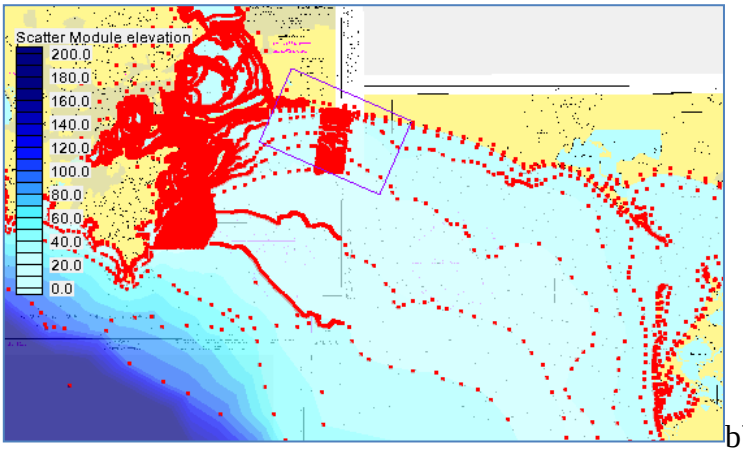
Para la propagación del oleaje se tomaron los datos procesados de oleaje en régimen anual para las direcciones con una frecuencia de ocurrencia mayor a 5%, también se consideraron los datos de oleaje extremal para las direcciones más desfavorables.

Metodología

Inicialmente con las cartas náuticas y batimetría del sitio de estudio se formó un ensamble de un modelo digital de terreno.



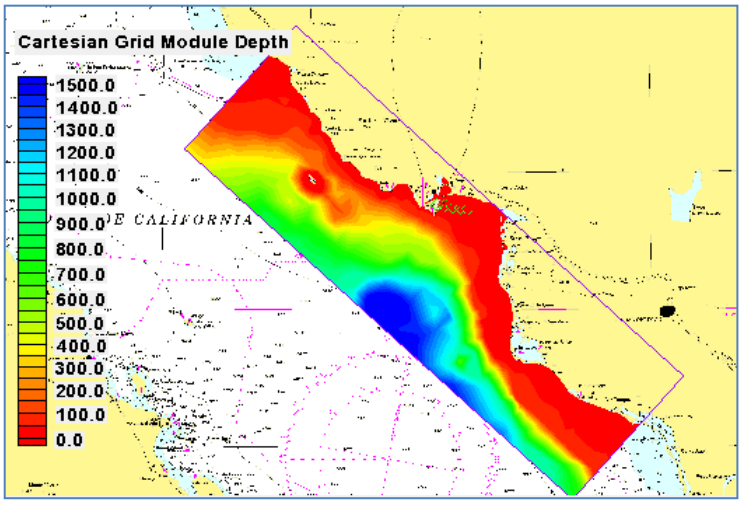
a)



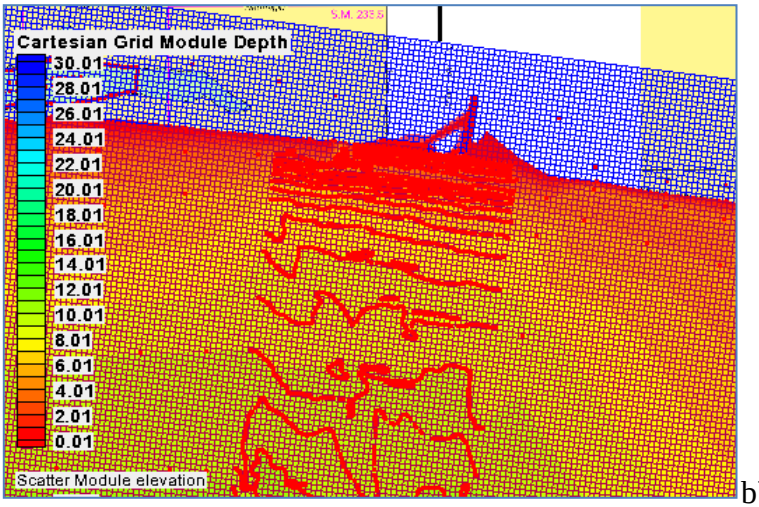
b)

Figura 44. Construcción del Modelo Digital de Terreno con base en Cartas Náuticas y Batimetría Disponible; a) Zona de Aguas Profundas; b) Aguas Intermedias y Bajas

Para la propagación del oleaje se elaboraron dos mallas con diferente resolución encadenadas entre sí, siendo la primera malla en aguas profundas de menor resolución (celdas cuadradas de 200 m) y la segunda malla en la zona cercana al sitio de estudio con mayor resolución (celdas cuadradas de 30 m). Las mallas encadenadas facilitan la transferencia de datos, respetando los resultados de forma individual por celda.



a)



b)

Figura 45. Representación de la Malla del Modelo; a) Aguas Profundas; b) Aguas Bajas

Posteriormente con los datos de altura, periodo y dirección se construyeron espectros de oleaje tipo Jonswap para emplear como condición de frontera.

Finalmente se efectuó un encadenamiento de mallas para que los datos espectrales de propagación de la malla gruesa se trasladaran a la malla fina con base en información de 4 puntos distribuidos en la longitud de la frontera.

Resultados

Para la medición de los datos en la zona de estudio se colocaron ocho (8) estaciones de medición distribuidas frente al sitio de estudio.

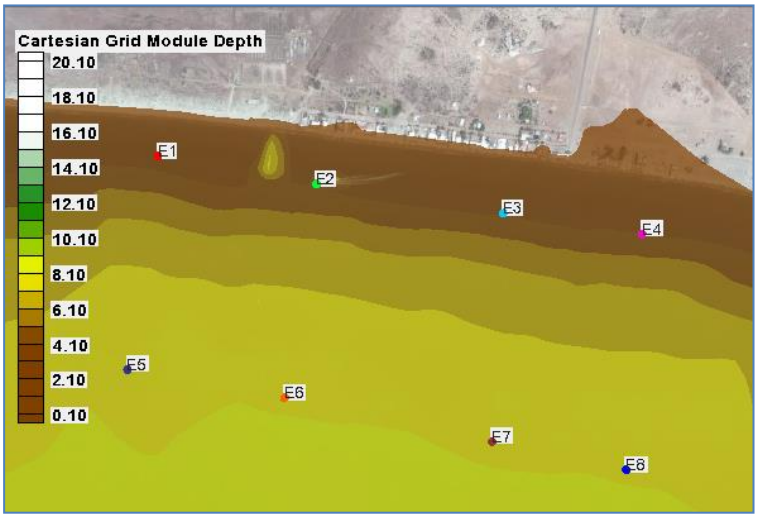


Figura 46. Estaciones de Medición de Oleaje Distribuidas en la Zona de Estudio

En las siguientes figuras se muestran algunos de los resultados gráficos de la propagación del oleaje normal desde aguas profundas para las diferentes direcciones de incidencia.

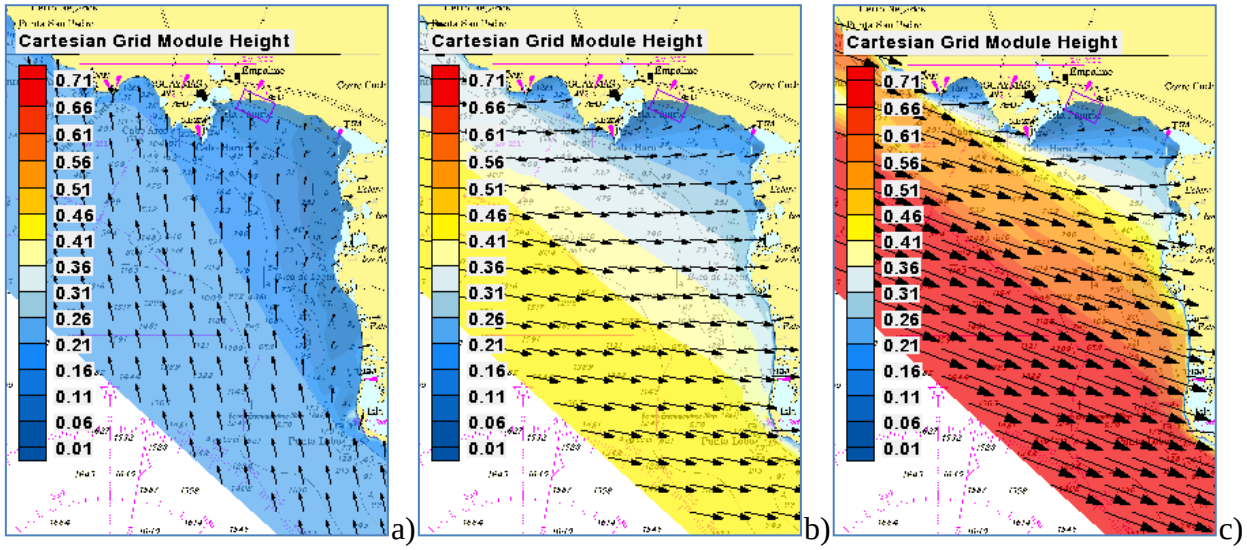


Figura 47. Representación de la Propagación del Oleaje de Aguas Profundas; a) SSE; b) WNW; c) NW; para Oleaje en Régimen Medio

Oleaje Normal

De los resultados observados se puede establecer que bajo condiciones de régimen medio del oleaje, el que viene de una zona de generación lejana u oleaje tipo “swell” es de muy baja energía; se presenta en la zona con alturas menores a 15 cm para todas las direcciones.

El oleaje para la dirección principal, la de mayor energía en la zona de estudio llega normal a la costa, por lo cual la playa tiende a tener una forma de playa rítmica, aunque por la baja energía del oleaje, presenta cambios lentos respecto a la dinámica sedimentaria “por oleaje”.

Tabla 18. Resultados de Propagación del Oleaje al Sitio de Estudio, Régimen Medio, para las Tres Direcciones Principales de Incidencia, Medidos en el Modelo y Distribuidos Entre las Cotas -4 y -8

Hs (m)										
Dirección	**Ocurr. (%)**	**H_0**	**P1**	**P2**	**P3**	**P4**	**P5**	**P6**	**P7**	**P8**
SSE	41	0.24	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
WNW	15.5	0.42	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
NW	33.5	0.70	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02

Con base en lo anterior se puede establecer que el oleaje local o “sea” puede ser un oleaje que tenga importancia en la respuesta de la dinámica costera, al ser el oleaje distante de baja energía.

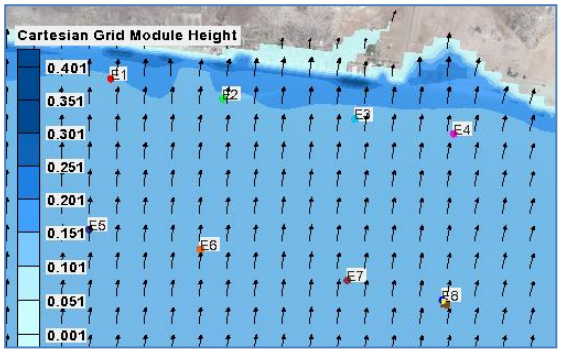


Figura 48. Representación Esquemática de la Propagación del Oleaje en Régimen Medio en Aguas Bajas para la Dirección SSE con Frecuencia del 41%

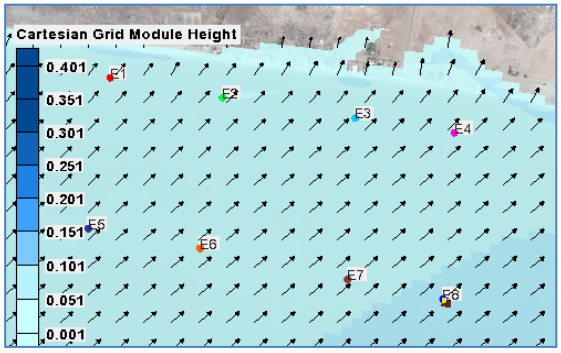


Figura 49. Representación Esquemática de la Propagación del Oleaje en Régimen Medio en Aguas Bajas para la Dirección WNW con Frecuencia del 15.5%

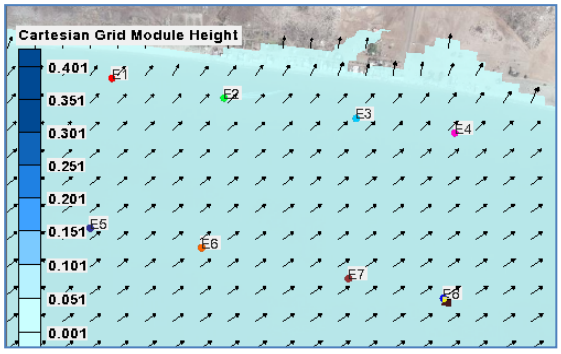


Figura 50. Representación Esquemática de la Propagación del Oleaje en Régimen Medio en Aguas Bajas para la Dirección NW con Frecuencia del 35.5%

Oleaje Extremo

En las siguientes figuras se muestran algunos de los resultados gráficos de la propagación del oleaje extremal desde aguas profundas para las diferentes direcciones de incidencia.

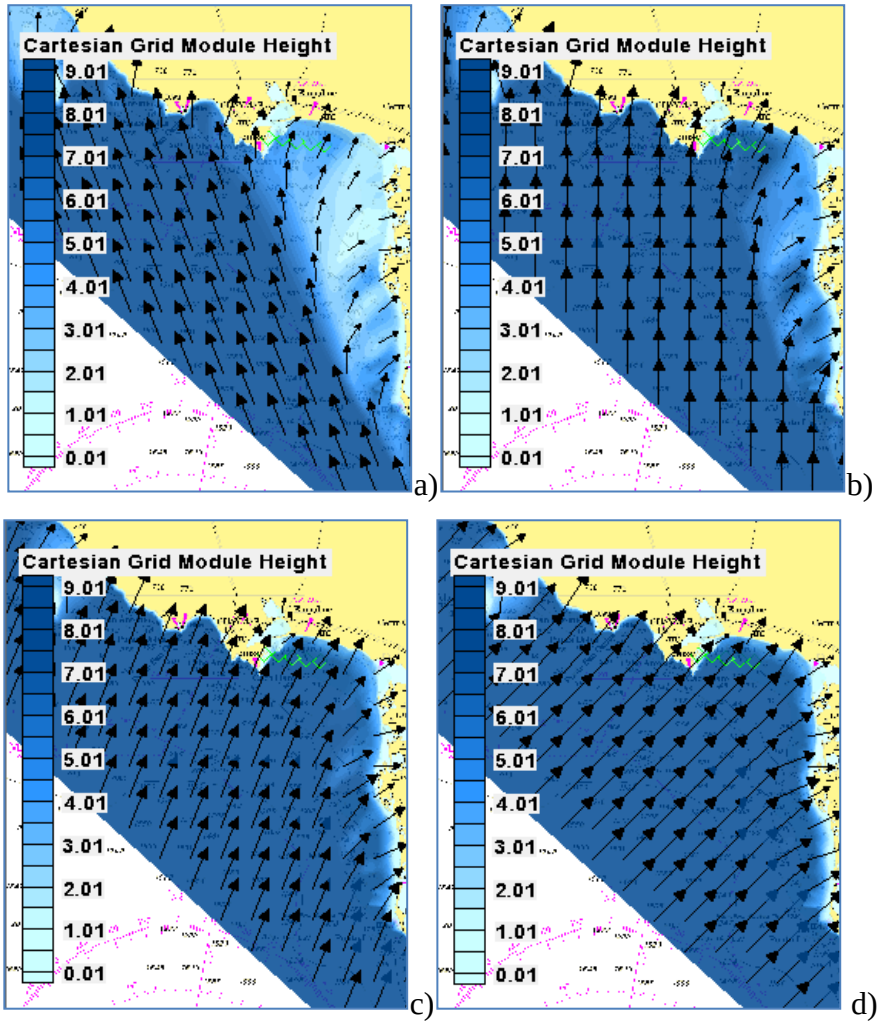
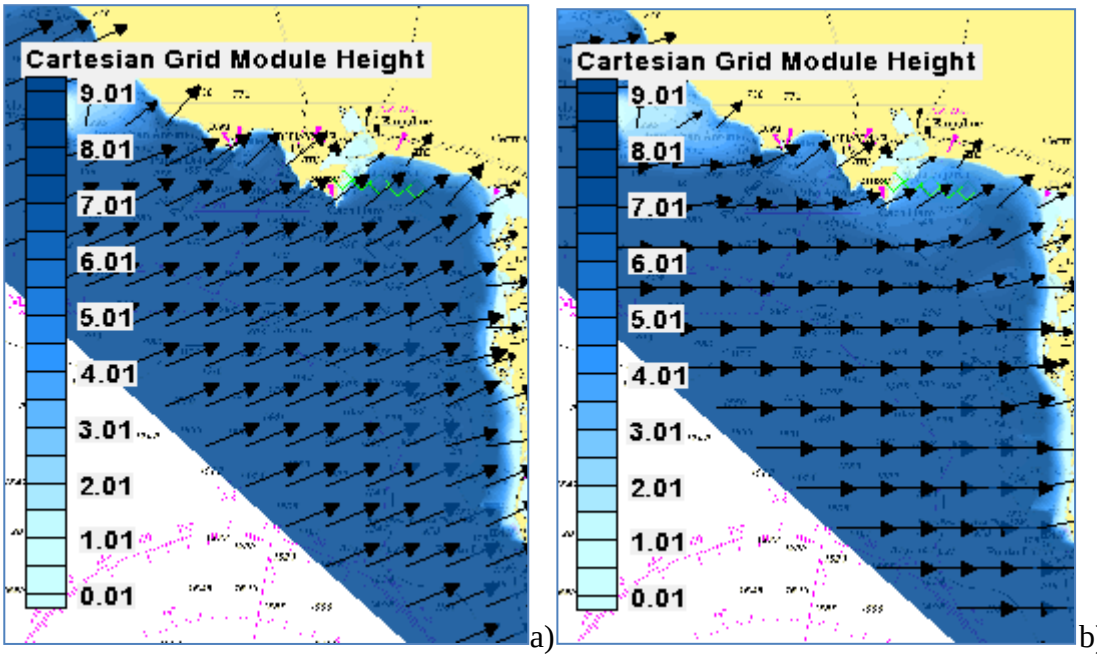


Figura 51. Representación de la Propagación del Oleaje en Aguas Profundas; a) SSE; b) S; c) SSW; d) SW; Régimen Extremal



a) b)

Figura 52. Representación de la Propagación del Oleaje en Aguas Profundas; a) WSW; b) W; Régimen Extremal

De los resultados observados se puede establecer que bajo condiciones de régimen extremo, el oleaje que viene de las direcciones S a SW es el de mayor energía con alturas de oleaje de hasta 3 m en la zona cercana y 5.5 m en la cota -8 m.

Para todas las direcciones de incidencia de oleaje extremo, este llega oblicuo, con una inclinación de unos 20° respecto a la normal de la playa.

Tabla 19. Resultados de Propagación del Oleaje al Sitio de Estudio, Régimen Extremo, para Todas las Direcciones Desfavorables, Medidos en el Modelo y Distribuidos Entre las Cotas -4 y -8

He (m)									
Dirección	**H_0**	**P1**	**P2**	**P3**	**P4**	**P5**	**P6**	**P7**	**P8**
SSE	9.4	2.8	3.3	3.1	3	3.9	3.9	3.9	3.9
S	9.4	**2.9**	**3.2**	**3.2**	**3.2**	**5.5**	**5.5**	**5.5**	**5.5**
SSW	9.4	**2.9**	**3.2**	**3.2**	**3.2**	**5.5**	**5.5**	**5.5**	**5.5**
SW	9.4	**2.9**	**3.2**	**3.2**	**3.0**	**5.0**	**5.0**	**5.0**	**5.0**
WSW	9.4	2.7	3.0	3.0	3.0	4.0	4.0	4.0	4.0
W	9.4	2.0	2.1	2.1	2.1	2	2	2	2

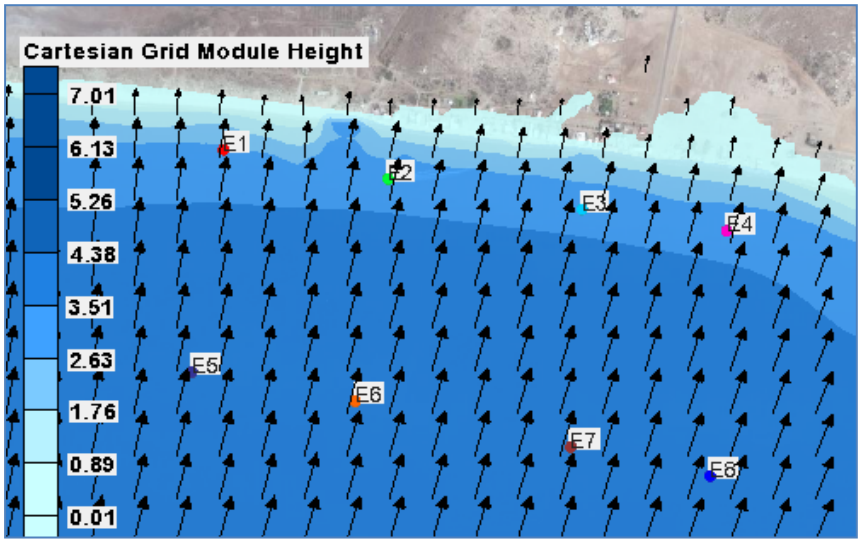


Figura 53. Representación de la Propagación del Oleaje Extremal en Aguas Bajas para la Dirección SSE

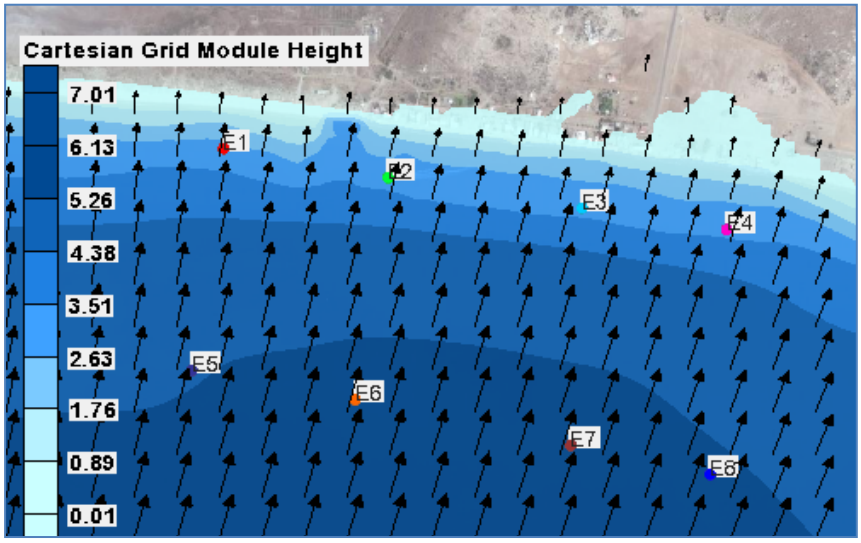


Figura 54. Representación de la Propagación del Oleaje Extremal en Aguas Bajas para la Dirección S

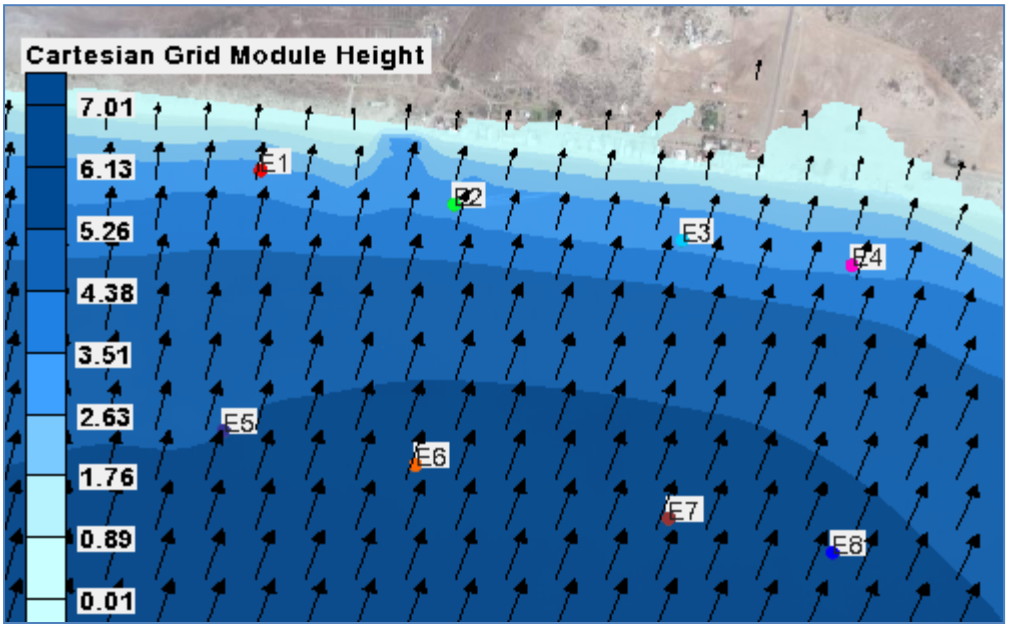


Figura 55. Representación de la Propagación del Oleaje Extremal en Aguas Bajas para la Dirección SSW

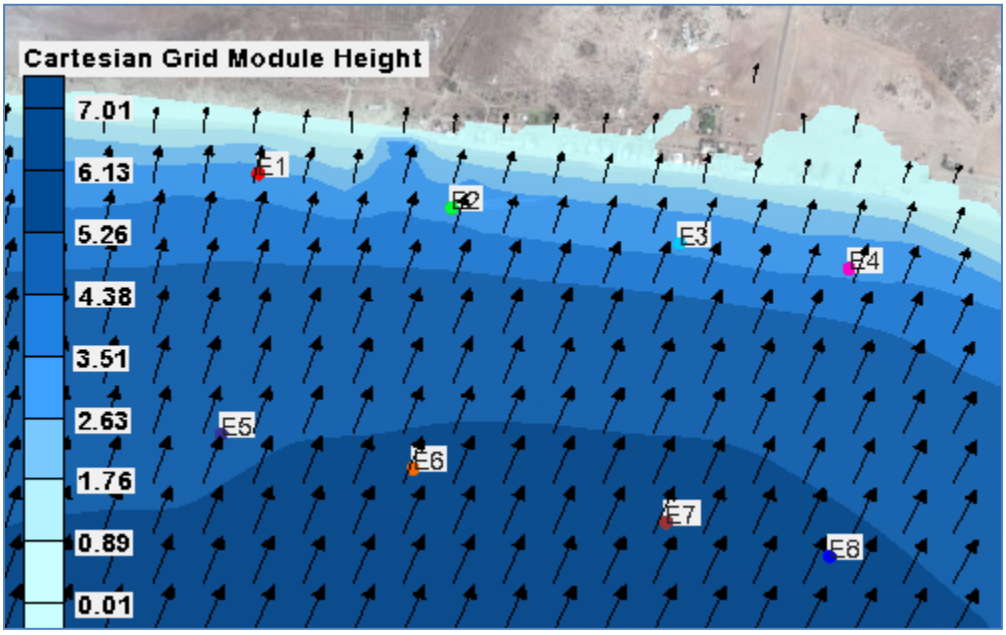


Figura 56. Representación de la Propagación del Oleaje Extremal en Aguas Bajas para la Dirección SW

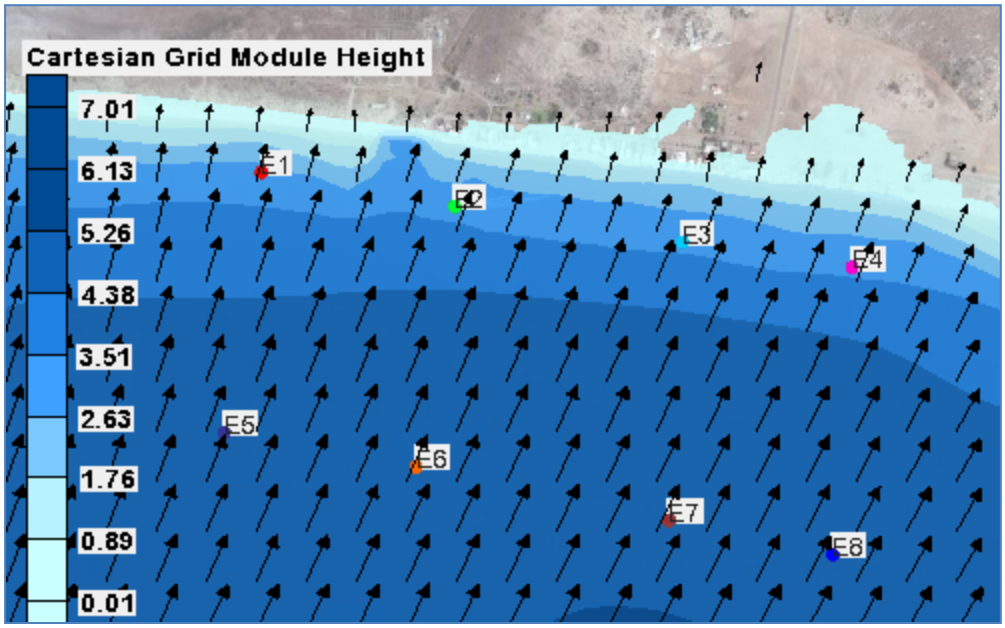


Figura 57. Representación de la Propagación del Oleaje Extremal en Aguas Bajas para la Dirección WSW

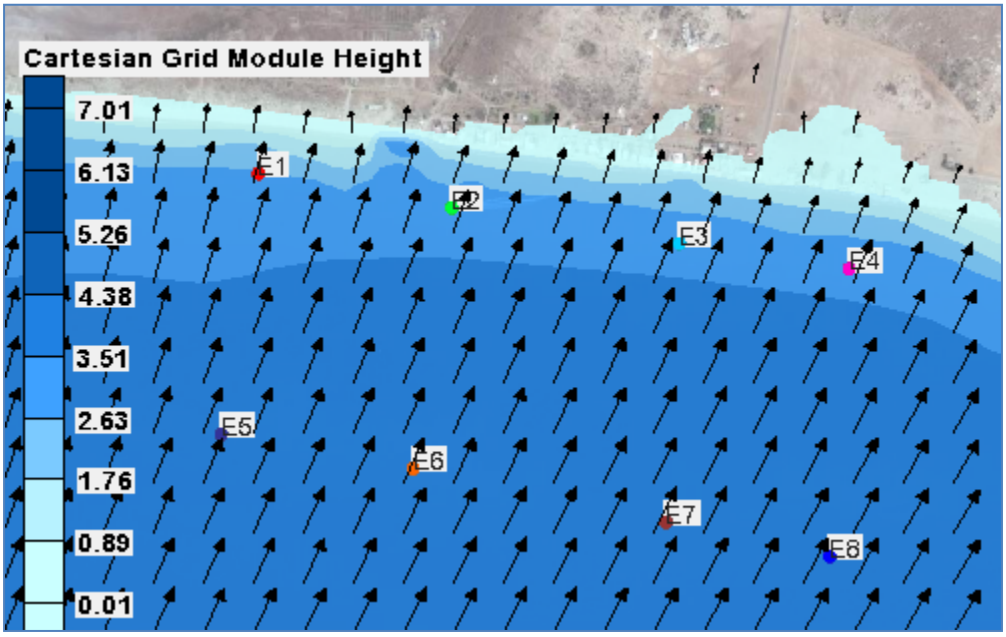


Figura 58. Representación de la Propagación del Oleaje Extremal en Aguas Bajas para la Dirección W

3.3. Modelación Hidrodinámica de la Zona Costera Sitio 1

Introducción

Con la información de mareas del sitio de interés, de vientos y oleaje, y con el levantamiento batimétrico, se construyó la malla de cálculo para la modelación hidrodinámica. Con información de campo, específicamente la medición de corrientes se calibró el modelo en condiciones normales.

Los resultados del modelo hidrodinámico permitirán establecer criterios de diseño para definir el área de dilución de la descarga del emisor submarino.

Para el análisis se empleó un modelo acoplado CMS-WAVE y CMS-FLOW ideal para caracterizar la hidrodinámica en zonas cercanas a la costa, aguas intermedias y bajas, así como con influencia cercana de bocas litorales como la del sistema Guaymas-Empalme y Bahía de Guásimas.

Descripción del Modelo

CMS-Flow y CMS-Wave son un componente del Sistema de Modelado Costero (CMS). Es un motor numérico de volumen-finito que incluye actualmente diversas capacidades de modelación bidimensional y que se operan con la interface Surface water Modelling System (SMS).

El modelo fue desarrollado por CIRP (Coastal Inlets Research Program) que administra el ejército de los Estados Unidos a través del CHL (Coastal and Hydraulics Laboratory).

Las características del modelo son:

CMS-FLOW- Simula los niveles de agua flujo bajo cualquier condición de marea, viento, oleaje y flujo de los ríos. El modelo resuelve la forma conservativa de las ecuaciones de aguas bajas e incluye los términos de coriolis, cortante del viento, energía del oleaje, fricción de fondo y difusión turbulenta.

Todas las ecuaciones se resuelven utilizando el método de volumen finito en una malla cartesiana no uniforme.

CMS-WAVE- Modelo de transformación de espectro de oleaje que resuelve en estado estático las ecuaciones de balance de acción del oleaje en una malla no uniforme cartesiana, simula la difracción, reflexión, zonas de generación del oleaje, disipación por fricción de fondo, rompiente, interacción de corrientes con oleaje, ascenso de la ola, rebase, y transmisión en estructuras.

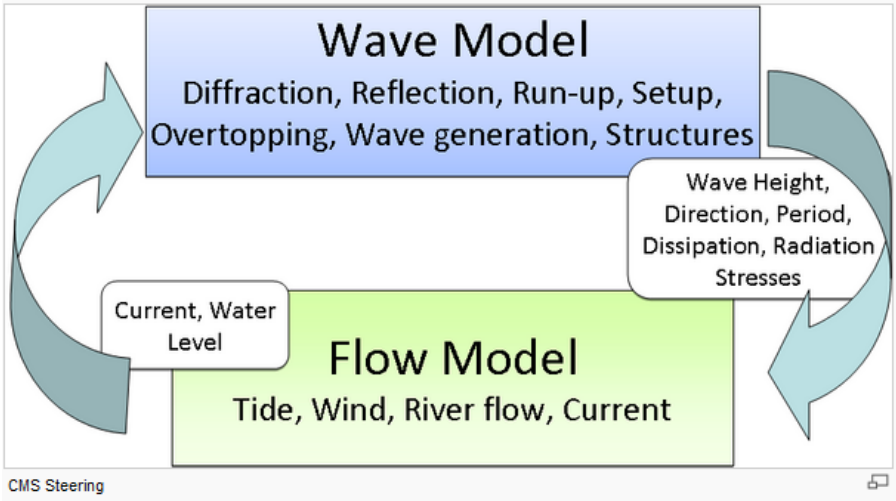


Figura 59. Diagrama de Acoplamiento del Modelo

Dominio Espacial

El dominio espacial se construyó con el Modelo Digital del Fondo Marino a partir de:

a) Batimetría del sitio de estudio de levantamiento 2016.

b) Batimetrías cercanas (Zona de Guaymas Empalme)

c) Cartas náuticas S.M. 233.3, S-M. 233.5 y S.M. 200.

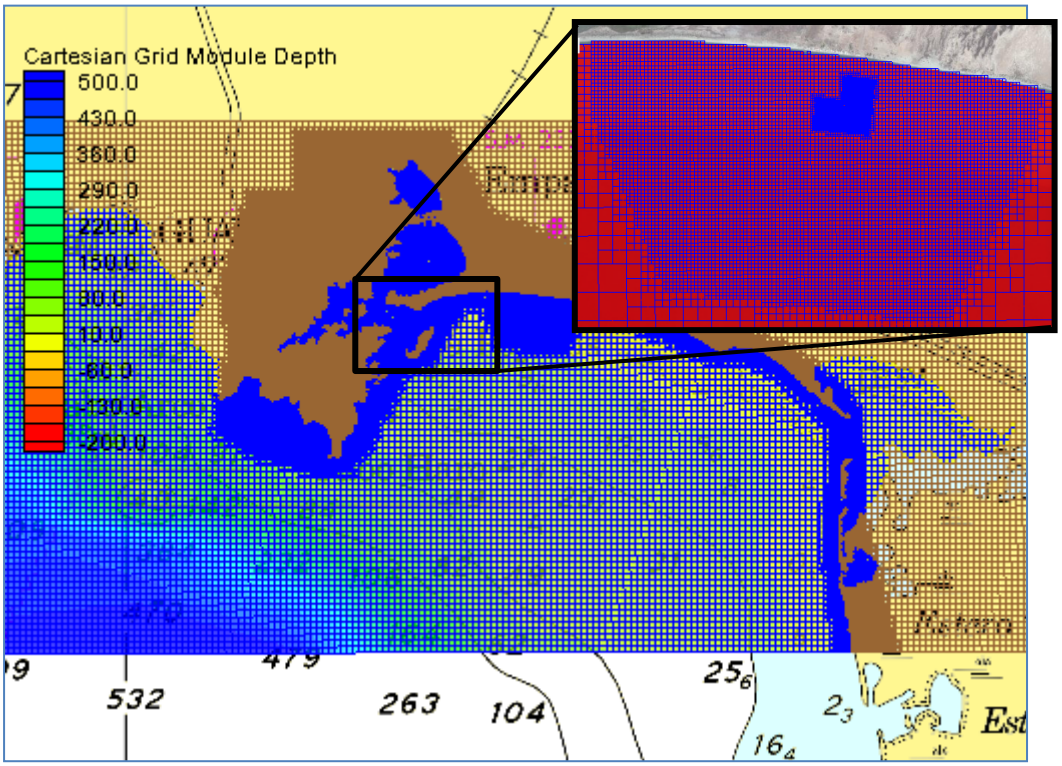


Figura 60. Dominio del Modelo Hidrodinámico

Para facilitar su calibración se alejaron las fronteras de oleaje y marea varios kilómetros, también se construyó un dominio extenso para identificar si existe influencia de los chorros de flujo y reflujo de las bocas.

Se construyó una malla telescópica con 64,757 celdas de 320 x 320 m en zonas generales 40 x 40 m en zona de influencia y 2.50 x 2.50 m en la zona de estudio.

Forzantes del Modelo

Marea

La forzante de marea se ingresó como una serie de tiempo de 240 horas representativa de los ciclos mensuales del sitio de estudio (marea viva y muerta).

Forzante de Viento

El viento se ingresó como una constante en la malla para las 2 principales direcciones mensuales.

Forzante de Oleaje

El oleaje se ingresó como una constante mensual para las principales direcciones de incidencia, propagado desde aguas profundas empleando una malla anidada o encadenada.

	time(hrs)	wse(m)
1	0.0	0.19349
2	1.0	0.37971
3	2.0	0.58965
4	3.0	0.7879
5	4.0	0.92954
6	5.0	0.98729
7	6.0	0.9697
8	7.0	0.91317
9	8.0	0.86027
10	9.0	0.84089
11	10.0	0.8611
12	11.0	0.90473
13	12.0	0.95121
14	13.0	0.99293
15	14.0	1.02812

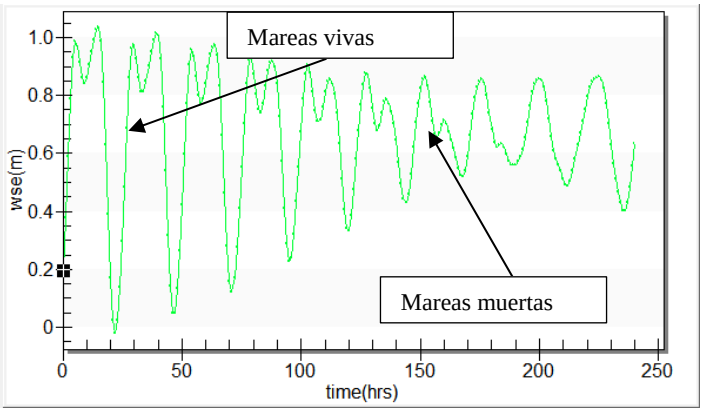


Figura 61. Forzamiento de Mareas

Tabla 20. Forzante de Viento

Velocidades Medias del Viento por Direcciones Principales (m/s)												
Mes	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Dir °	315	315	315	315	315	135	157.5	157.5	315	315	315	315
1ra	7	6.7	5.7	6.2	5	6.2	5.5	5.2	5.4	5.5	6.7	7
Dir °	292.5	292.5	292.5	292.5	292.5	157.5	135	135	292.5	292.5	337.5	337.5
2da		6.5	5.5	5.8	4.5	6	4.8	4.5	5.5	6.5	6.2	6.7
Dir °	-	-	-	-	-	315	180	180	157.5	-	-	-
3ra	-	-	-	-	-	5.2	4.5	4.2	5	-	-	-

Tabla 21. Forzante de Oleaje

Hs y Tp del Oleaje por Direcciones Principales (m y seg)												
Mes	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Dir °	315	315	315	315	157.5	157.5	157.5	157.5	157.5	315	315	315
1ra	0.65 4.5	0.50 4	0.65 4	0.7 4	0.3 3.5	0.4 4	0.4 4.5	0.3 5	0.3 5	0.6 4	0.7 4	0.7 4
Dir °	-	-	292.5	157.5	-	-	-	-	-	292.5	157.5	
2da	-	-	0.45 4	0.5 3.5	-	-	-	-	-	0.45 3	0.1 8.5	
Dir °	-	-	157.5	292.5	-	-	-	-	-	157.5	-	-
3ra	-	-	0.15 9	0.15 9	-	-	-	-	-	0.15 9	-	-

Análisis de Sensibilidad y Calibración

El análisis de sensibilidad es una etapa importante para obtener una buena calibración, esta comprende la realización de varias corridas con las mismas condiciones de fronteras y variando solo un parámetro a la vez para conocer su comportamiento.

En la etapa de calibración, los parámetros que nos permitirán lograr una simulación similar a la del prototipo son la RUGOSIDAD y PARÁMETRO DE TURBULENCIA y por lo tanto son los parámetros que se analizaron esta etapa.

Para esta etapa de calibración se efectuó la comparación de la medición de corrientes en el sitio de estudio entre 5 y 10 m de profundidad respecto de los datos del modelo, empleando para ello datos de mareas, vientos y oleaje de esas fechas, se ajustan los parámetros de rugosidad y turbulencia para obtener magnitudes de velocidad de flujo similares a los de campo.

Resultados

Una vez calibrado el modelo, se procedió a realizar el análisis de los diferentes escenarios por medio de estaciones de medición en la zona de estudio en tres puntos (Point1 a -2.5 m, Point2 a -5 m y Point3 a -8 m).

Para analizar la influencia de la marea, viento y oleaje, se efectuaron simulaciones con las siguientes combinaciones:

→Simulación hidrodinámica solo por marea

→Simulación hidrodinámica por marea y viento

→Simulación hidrodinámica por marea, viento y oleaje.

De acuerdo con el análisis general de la hidrodinámica en la zona de estudio, los resultados muestran que el gradiente de marea induce patrones de corrientes que tienen mayor influencia en las bocas, debido a la fuerza hidráulica que se forma en los flujos y reflujos, sin embargo; en el frente marítimo o mar abierto donde se ubica el sitio de estudio, no tiene la energía suficiente para establecer un patrón de corrientes dominante. Los resultados muestran que las mareas vivas generan una mayor variación de las magnitudes de velocidades, mientras que con mareas muertas la hidrodinámica queda dominada principalmente por el viento.

Las simulaciones muestran que el viento es la forzante principal que establece los patrones de corrientes en la zona de estudio. El viento de acuerdo a la dirección de incidencia, puede incrementar las magnitudes de velocidades hasta diez veces respecto de cuando solo se tiene como forzante la marea.

Finalmente, el oleaje en la zona de estudio es un elemento poco energético debido a que la altura es menor a 15 cm en el sitio y zona de influencia, este no tiene influencia en definir los patrones de corrientes, sin embargo; en aguas bajas (<2.5 m de profundidad), las velocidades disminuyen ligeramente, mientras que hacia aguas intermedias su influencia es mínima (ver siguientes figuras).

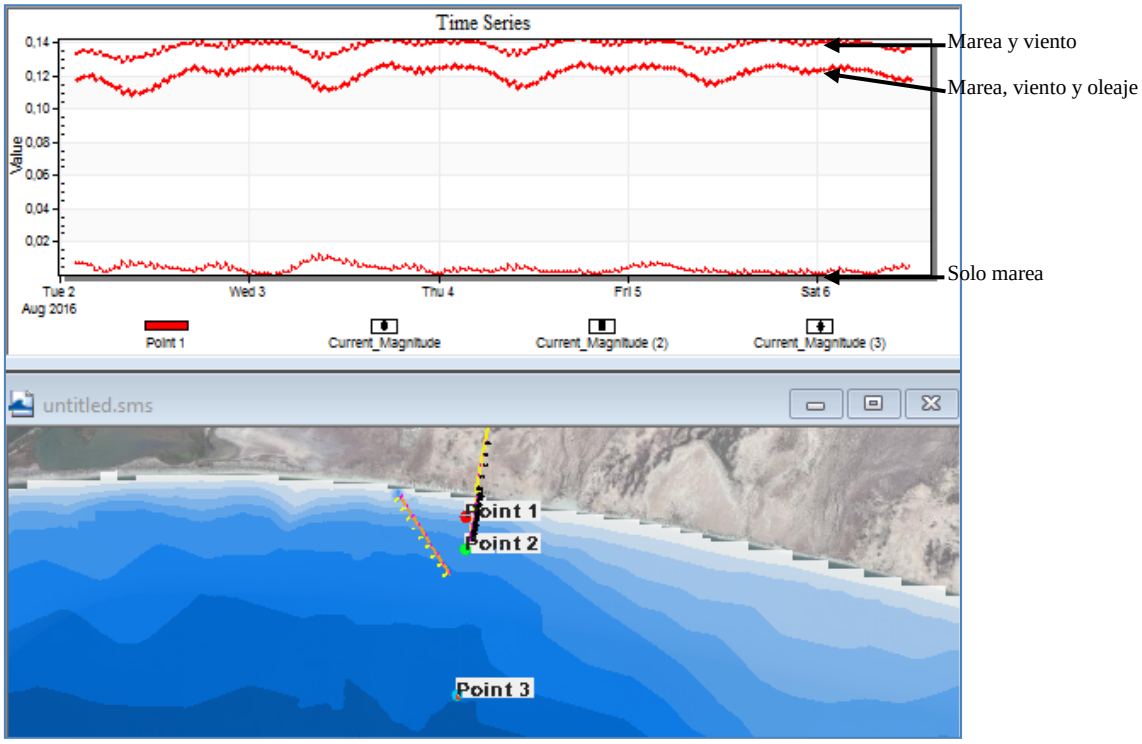


Figura 62. Serie de Magnitudes de Velocidad en el Tiempo para el Punto Point1, -2.5 m de Profundidad

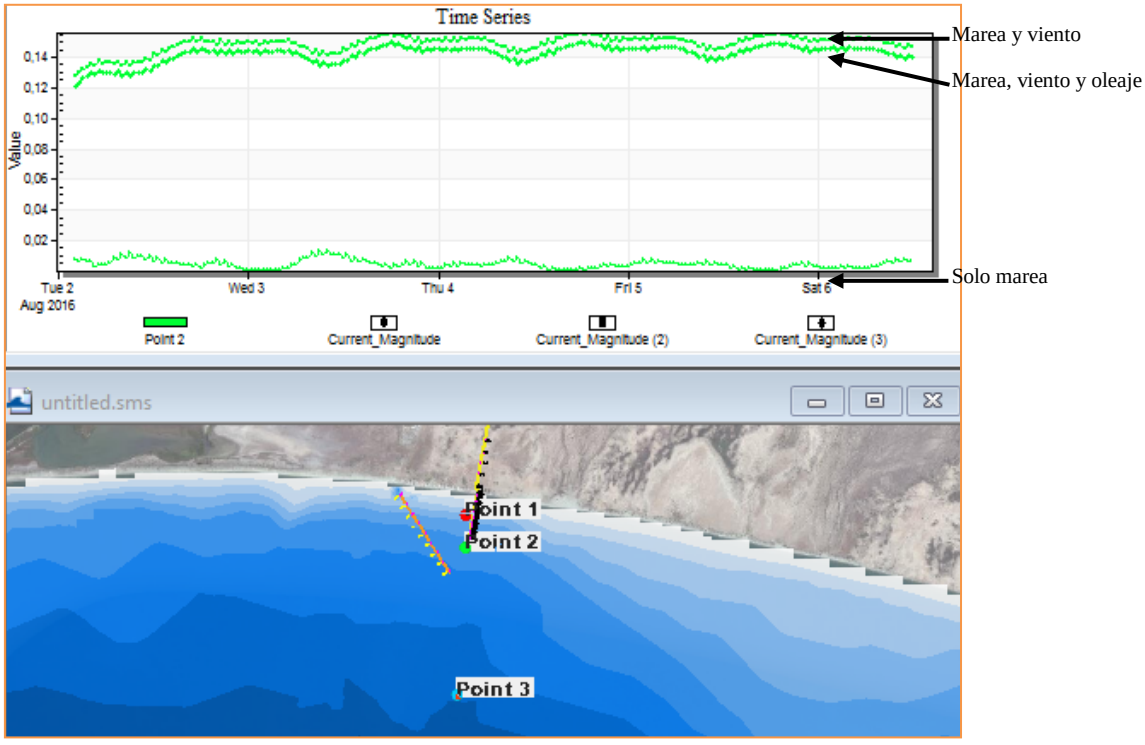


Figura 63. Serie de Magnitudes de Velocidad en el Tiempo para el Punto Point2, -5 m de Profundidad

Con base en los resultados obtenidos con las simulaciones combinando las forzantes marea, viento y oleaje; se puede establecer que el viento es la forzante principal que induce los patrones de corrientes en la zona de estudio, por lo cual; es indispensable simular las direcciones principales de incidencia mensual del viento.

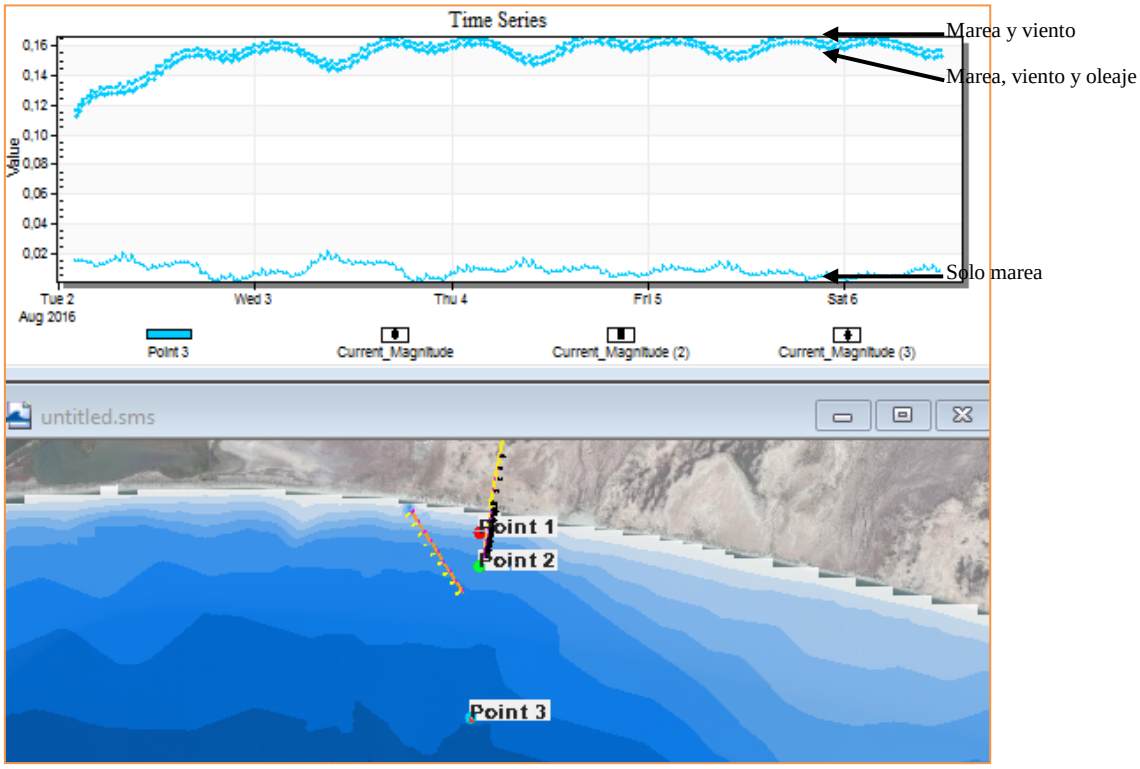


Figura 64. Serie de Magnitudes de Velocidad en el Tiempo para Aguas Intermedias el Punto Point3, -8 m de Profundidad

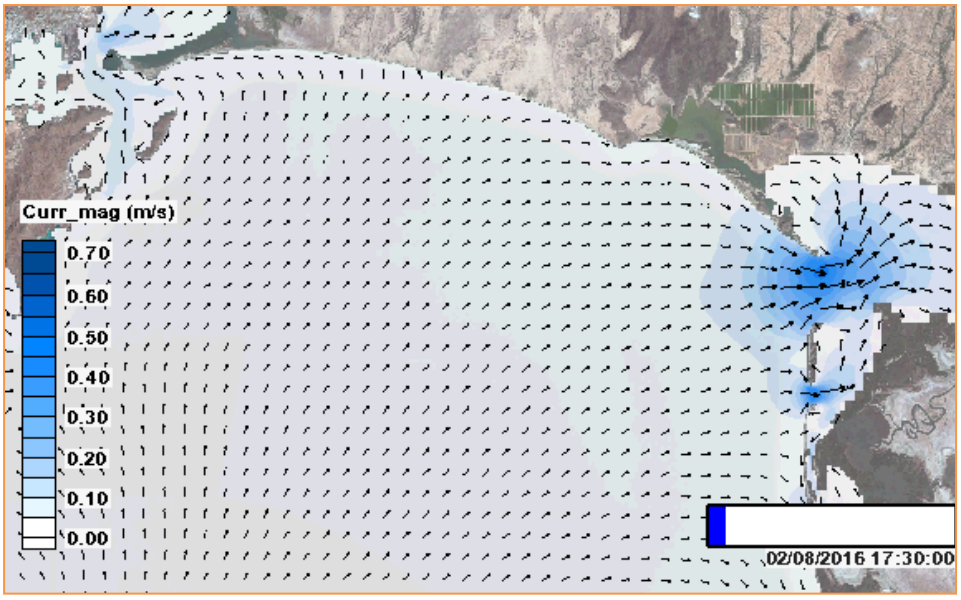


Figura 65. Patrones de Corrientes Generales en la Zona de Estudio para Forzante de Marea Solamente

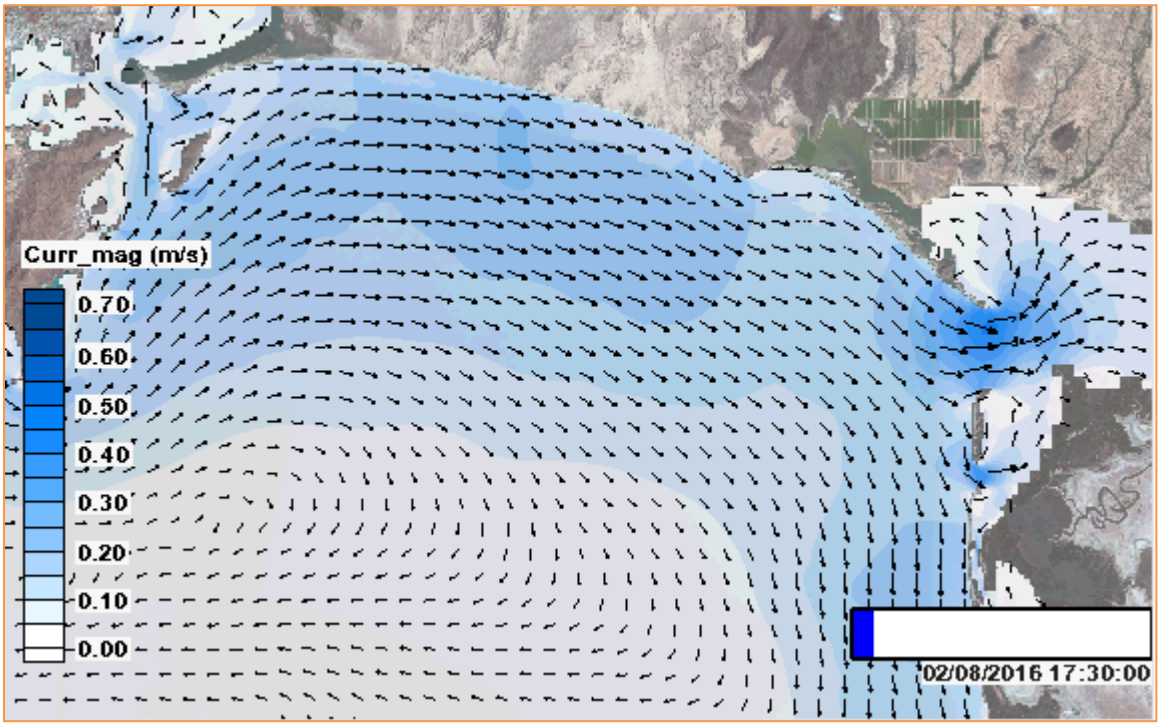


Figura 66. Patrones de Corrientes Generales en la Zona de Estudio para Forzante de Marea y Viento

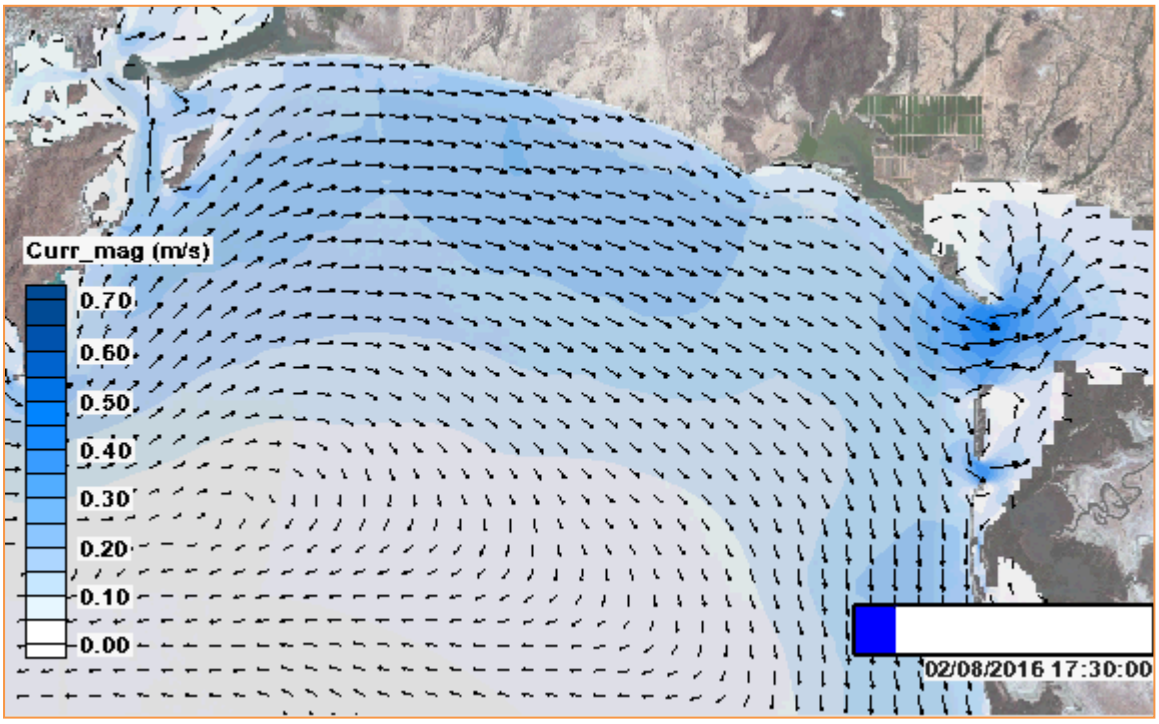


Figura 67. Patrones de Corrientes Generales en la Zona de Estudio para Forzante de Marea, Viento y Oleaje

Al analizar las magnitudes de velocidades a través de las mediciones efectuadas en las estaciones del modelo para la principal dirección de incidencia del viento (315° y 7 m/s) en los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero, las magnitudes de velocidad en la zona de estudio se ubican en promedio en 16 cm/s en aguas intermedias, 15 cm/s a una profundidad de 5 m y 14 cm/s a una profundidad de 2.5 m. La variación de la marea viva inducen variaciones de las velocidades hasta de 1 cm/s. La dirección de la corriente es paralela a la costa en dirección ESE, inclusive cuando cambia la marea de flujo a reflujo o viceversa.

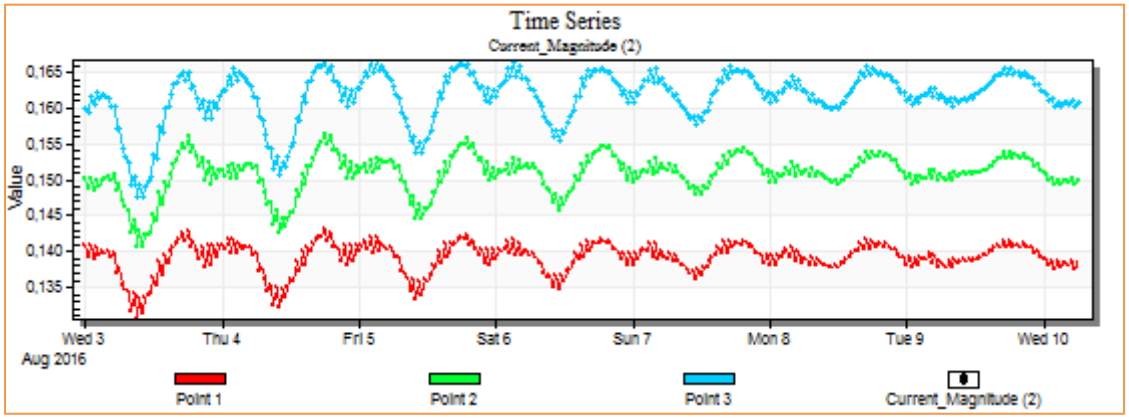


Figura 68. Magnitudes de Velocidad para la Dirección Principal del Viento (315º y 7 m/s), Noviembre a Febrero

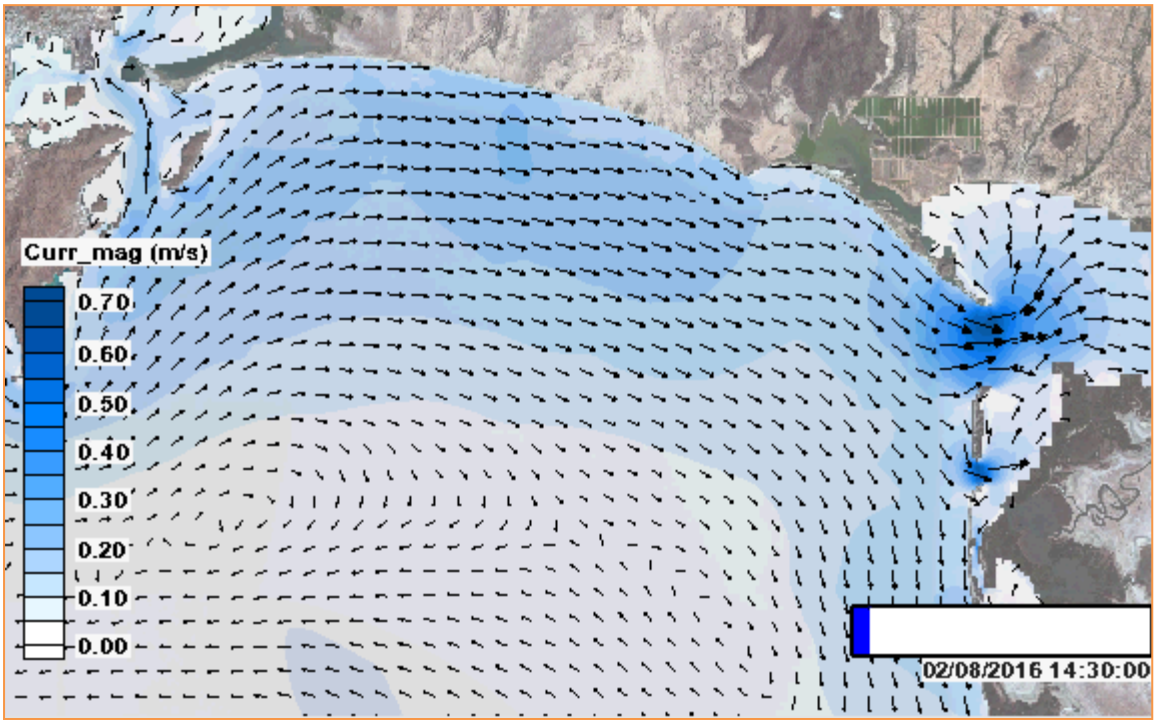


Figura 69. Patrones de Corrientes al Presentarse la Pleamar para la Principal Dirección del Viento, Noviembre a Febrero (315º y 7 m/s)

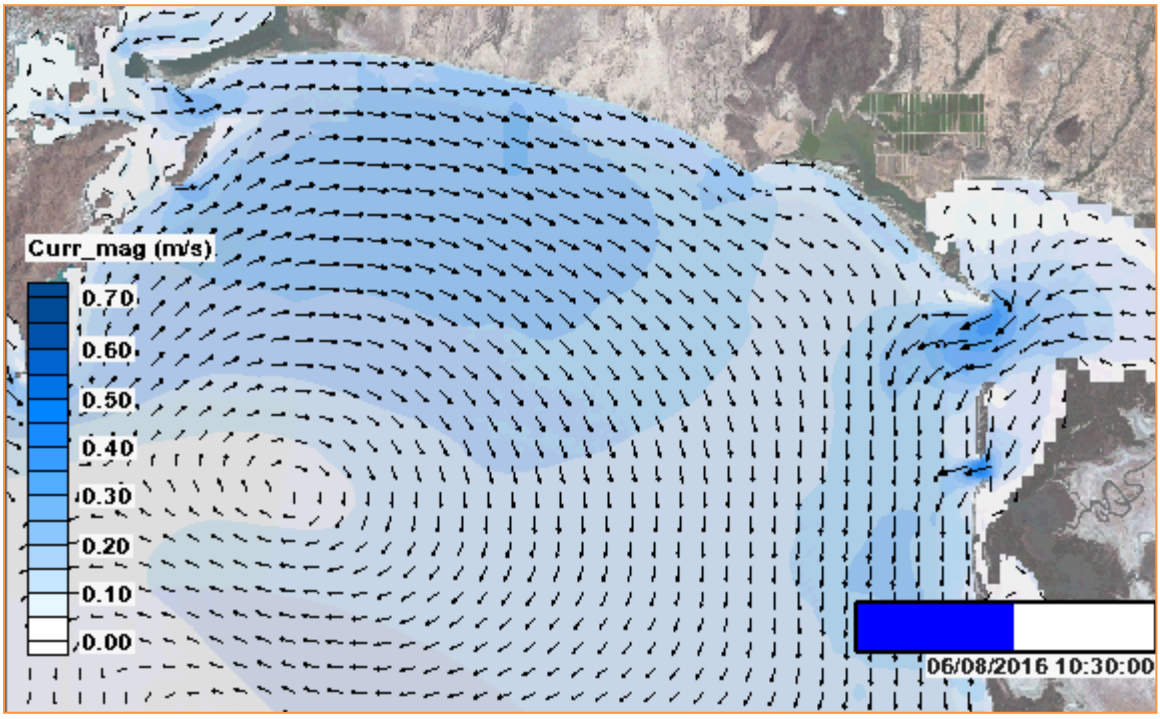


Figura 70. Patrones de Corrientes al Presentarse la Bajamar para la Principal Dirección del Viento, Noviembre a Febrero (315º y 7 m/s)

Al analizar las magnitudes de velocidades a través de las mediciones efectuadas en las estaciones del modelo para la principal dirección de incidencia del viento (315° y 6 m/s) en los meses de marzo y abril, las magnitudes de velocidad en la zona de estudio se ubican en el rango de 13.7 cm/s en aguas intermedias, 12.7 cm/s a una profundidad de 5 m y 11.7 cm/s a una profundidad de 2.5 m, lo que significa que una disminución de la velocidad de 1 m/s reduce 2.5 cm/s las corrientes. La dirección de la corriente es paralela a la costa en dirección ESE, inclusive cuando cambia la marea de flujo a reflujo o viceversa.

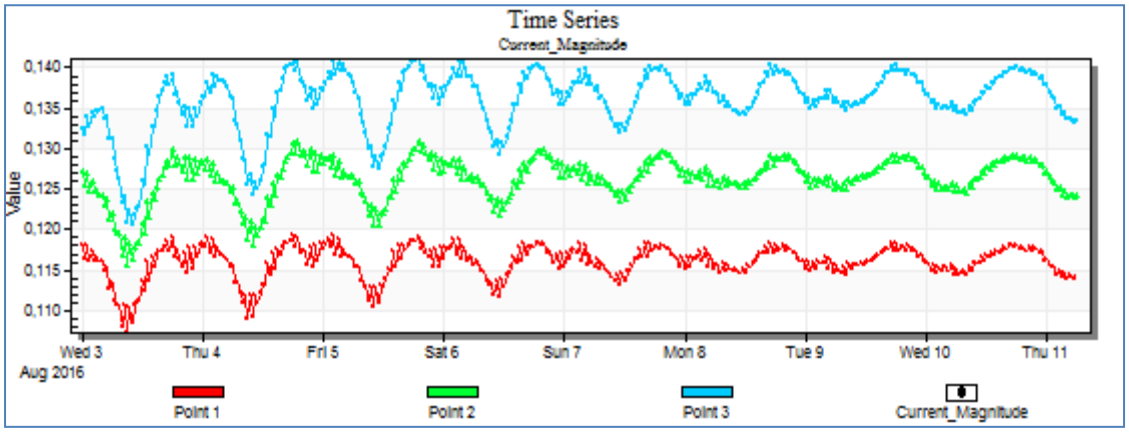


Figura 71. Magnitudes de Velocidad para la Dirección Principal del Viento (315º y 7 m/s), Marzo y Abril

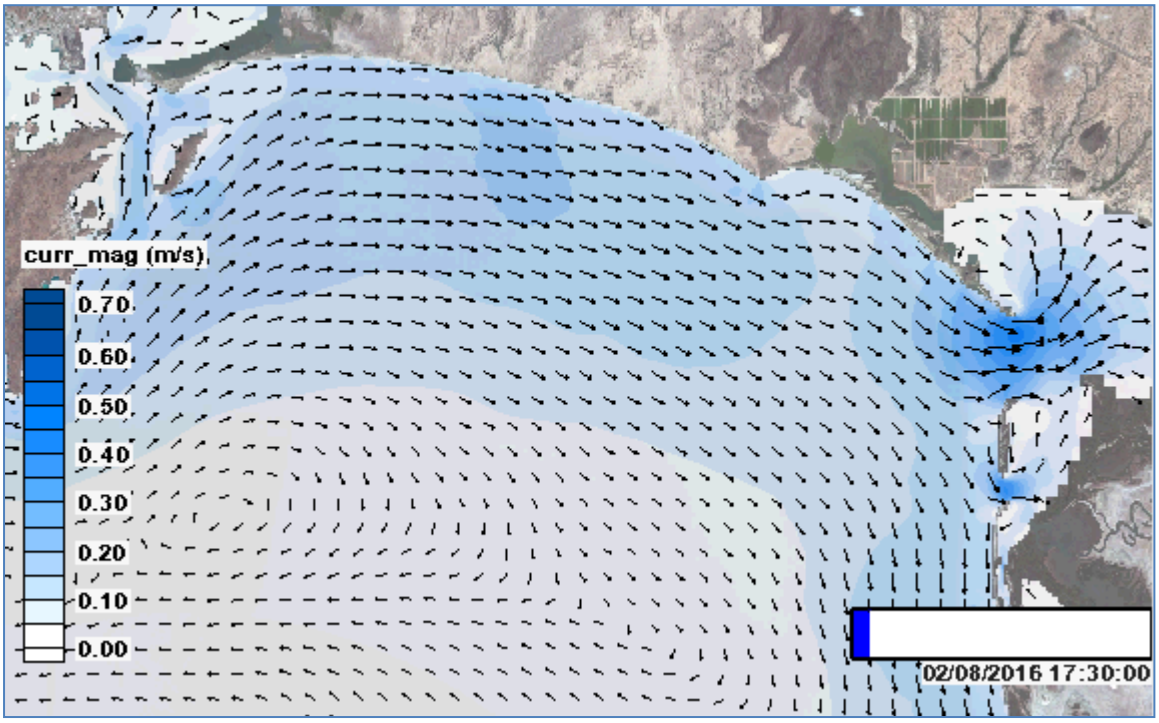


Figura 72. Patrones de Corrientes al Presentarse la Pleamar para la Principal Dirección del Viento, Marzo y Abril (315º y 7 m/s)

Al analizar las magnitudes de velocidades a través de las mediciones efectuadas en las estaciones del modelo para la principal dirección de incidencia del viento (135° y 6 m/s) en el mes de junio, las magnitudes de velocidad en la zona de estudio se ubican en el rango de 12 cm/s en aguas intermedias, 13 cm/s a una profundidad de 5 m y 12.5 cm/s a una profundidad de 2.5 m. La corriente tiene una mayor magnitud de velocidad al presentarse la bajamar, influenciada por el chorro de reflujo de la bahía Guásimas y es mayor a la profundidad de 5 m. La dirección de la corriente es paralela a la costa en dirección WNW.

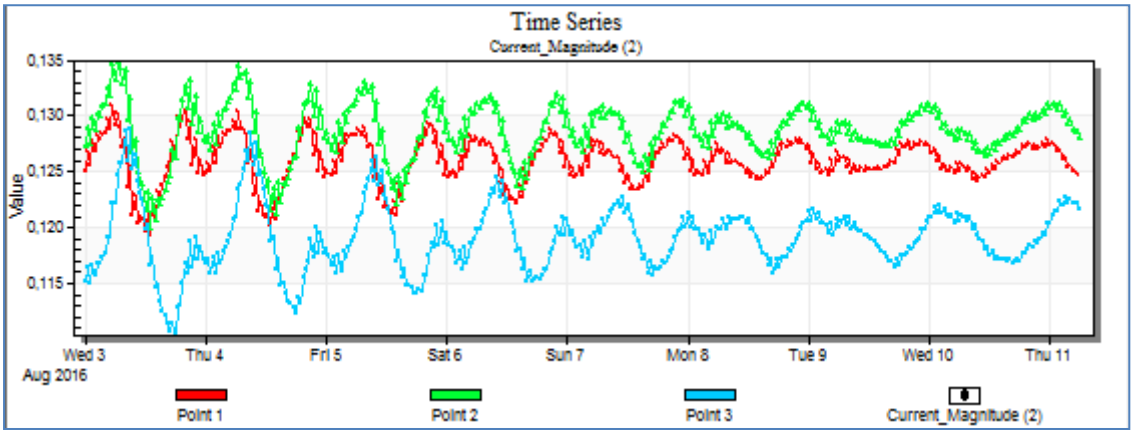


Figura 73. Magnitudes de Velocidad para la Dirección Principal del Viento (135º y 6 m/s), Junio

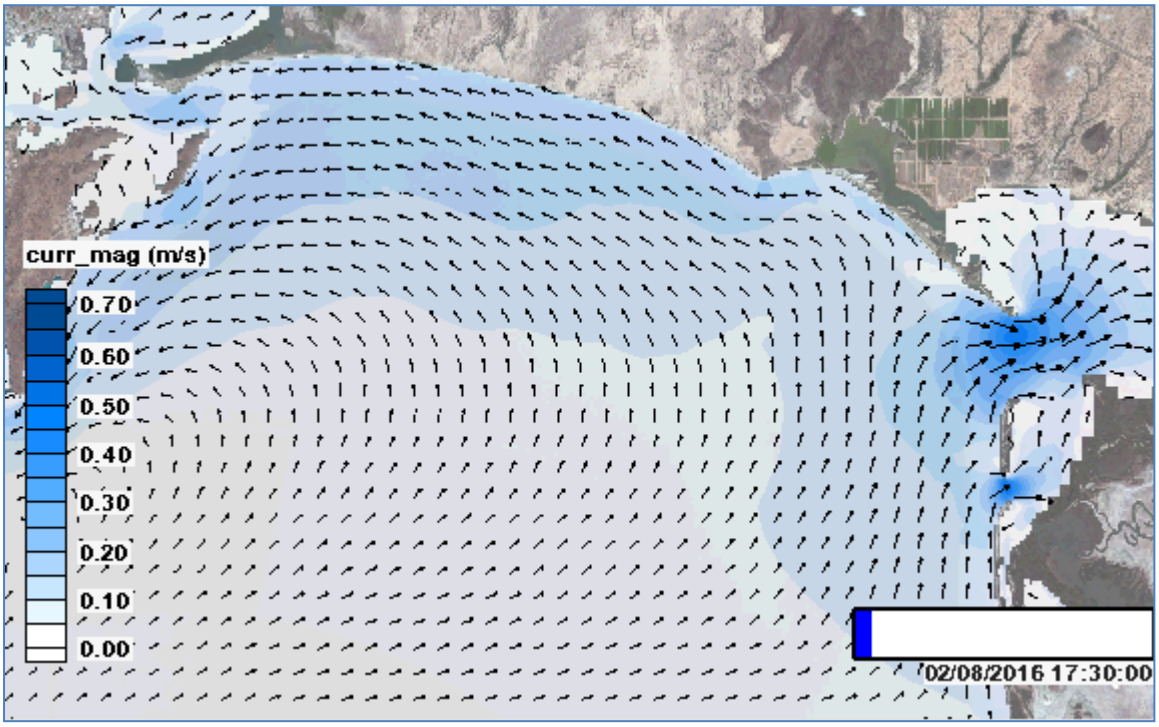


Figura 74. Patrones de Corrientes al Presentarse la Pleamar para la Principal Dirección del Viento, Junio (135º y 6 m/s)

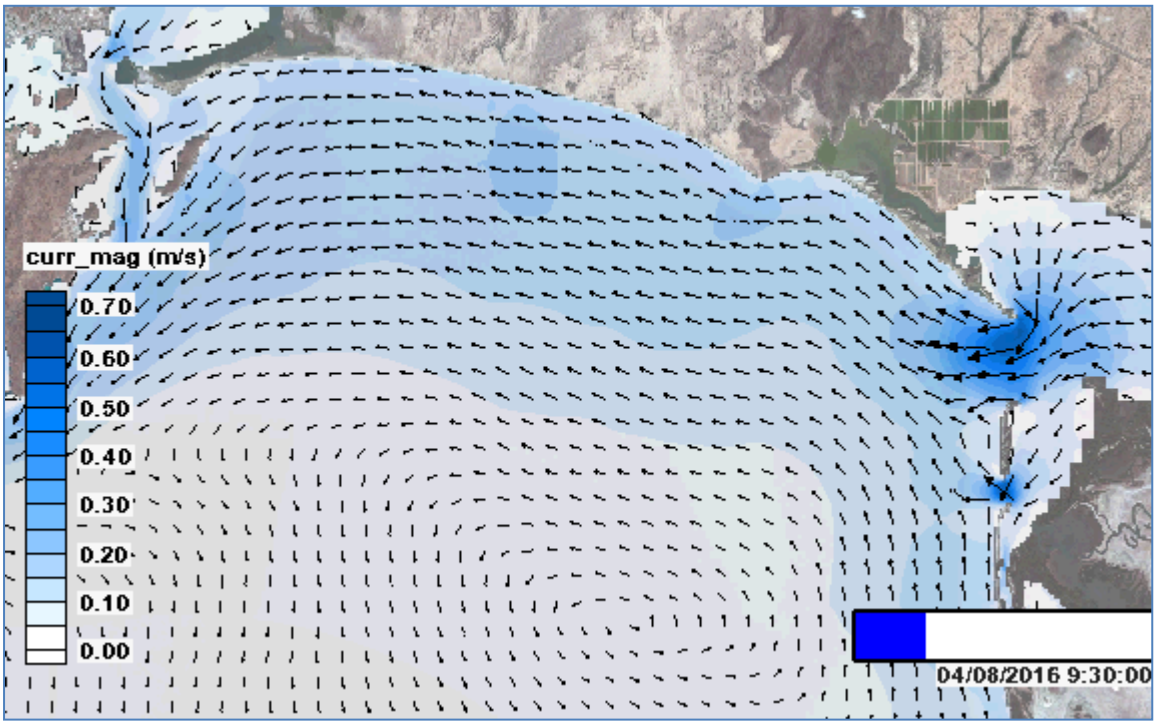


Figura 75. Patrones de Corrientes al Presentarse la Bajamar para la Principal Dirección del Viento, Junio (135º y 6 m/s)

4. Estudios de Dinámica Marina Sitio 2

4.1. Modelación Hidrodinámica de la Zona de Estudio Sitio 2

Para llevar a cabo la modelación hidrodinámica es necesario, inicialmente, efectuar el análisis de la información que compone las forzantes del modelo en el sitio de estudio: mareas, viento y oleaje.

4.1.1. Análisis del Forzante del Modelo Sitio 2

Oleaje Normal

Introducción

Uno de los principales fenómenos oceanográficos a considerar en cualquier obra proyectada en la franja costera y en el mar, es el oleaje, ya que es un parámetro que participa en forma determinante en la definición de los criterios de diseño.

Las olas superficiales generalmente obtienen su energía de los vientos. Una cantidad significante de esta energía del oleaje es disipada finalmente en la región próxima en la costa y sobre las playas.

Se considera un régimen normal de oleaje al que actúa la mayor parte del tiempo, generado bajo condiciones meteorológicas normales.

Materiales y Fuentes Empleadas.

Existen diversas fuentes de información del oleaje, como:

- Régimen de Oleaje Normal, Oficina Meteorológica y Laboratorio de Física Nacional de Inglaterra; Publicación Ocean Wave Statistics, 1967, y actualizada 1958-1997
- Régimen de Oleaje Normal, Oficina Hidrográfica de los E.U. publicación Sea and Swell Charts, 1942.
- Régimen de Oleaje Satelital, Observaciones satelitales Topex-Poseidon Geosat ER-5, Datos del 1986 a 1997, (oleaje medido CFE).
- NOAA/NWS/NCEP/ Marine Modeling basado en WAVEWATCH III es un modelo de la onda de la tercera generación desarrollado en NOAA/NCEP.
- ATLOOM, que es el Atlas del Oleaje Oceánico Mexicano elaborado por el IMT con datos de 1958 a 2001. Modelo en base al WWIII.
- GROW Fine Northeast Pacific (GROW-FINE NEPAC) de 1980 a 2015 con datos de vientos (Reanalysis).

El Ocean Wave y Sea and Swell son fuentes que se empleaban ampliamente en México hasta hace unos años debido a la falta de información de oleaje, sin embargo; la experiencia en diferentes proyectos señala que no es una fuente muy confiable para la información de esta zona de México.

Para el caso de la fuente de Oleaje Satelital, esta es información con mayor confiabilidad, sin embargo; debido a que es por regiones, para algunos proyectos solo sirve a un nivel de aproximación.

El ATLOOM y GROW-FINE NEPAC son atlas de oleaje comerciales tipo hindcast construidas a partir de modelaciones y calibrados con datos de boyas, satélite, etc.

Para este proyecto se empleó se caracterizó el oleaje para la zona de aguas profundas (donde el oleaje no ha sido afectado) frente al sitio de estudio empleando información del WAVEWATCH III de 2005 a 2015. Se trata de un modelo de la NOAA/NCEP que se alimenta con información de medición de viento y oleaje y corre en modo predictivo (forecast), posteriormente los datos históricos se vuelven a correr en modo retrospectivo (hindcast) incluyendo huracanes y a la base se le identifica como reanalysis.

Metodología

Los datos que se procesan para este estudio corresponden a las coordenadas 27.5° Longitud y -111° Latitud, ubicada frente al sitio de estudio y que se compone de una serie histórica con datos de oleaje (periodo pico, dirección, altura significante) con registros cada 3 horas de 2005 a 2015.

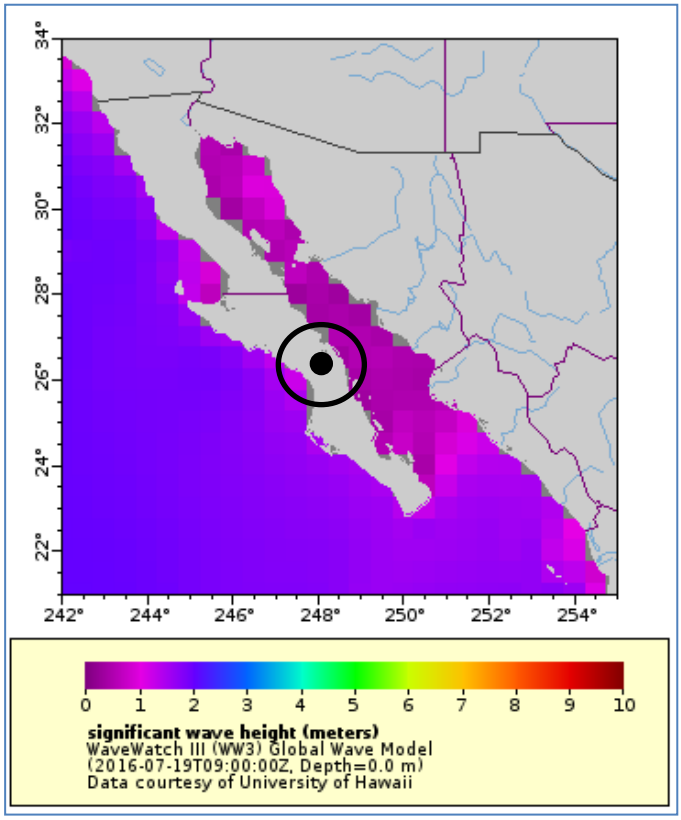


Figura 76. Malla del Modelo WaveWatch III para la Zona del Golfo de California, Sitio 2

Con los registros de la serie histórica se realizó un análisis estadístico, en el cual se obtuvo el **régimen medio anual del oleaje,** así como el **régimen medio estacional del oleaje**, obteniendo tabla de probabilidades direccionales de ocurrencia de Hs (Altura significante) y Tp (Periodo Pico), histograma de frecuencias para la magnitud de Hs y Tp, rosa dirección de oleaje y función de distribución de la magnitud de Hs y Tp.

Para el análisis y presentación de resultados se empleó el software AMEVA®, CAROL®, desarrollado por (IH-Cantabria, 2010).) y MATLAB®.

Resultados

A continuación se presenta la serie histórica empleada para el análisis del oleaje normal significante, datos de Hs y Tp.

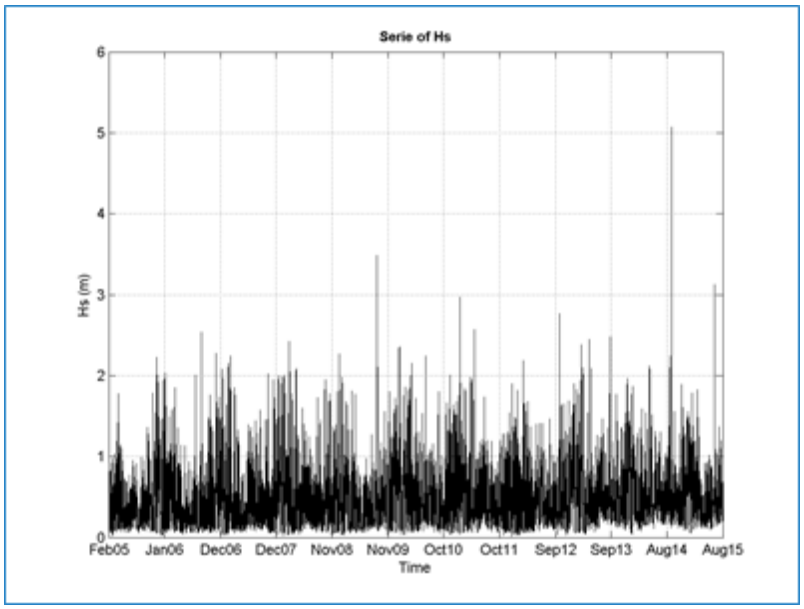


Figura 77. Serie Histórica de Hs. Fuente WaveWatch III (Aguas Profundas). Análisis con AMEVA®, CAROL® y MATLAB®, Sitio 2

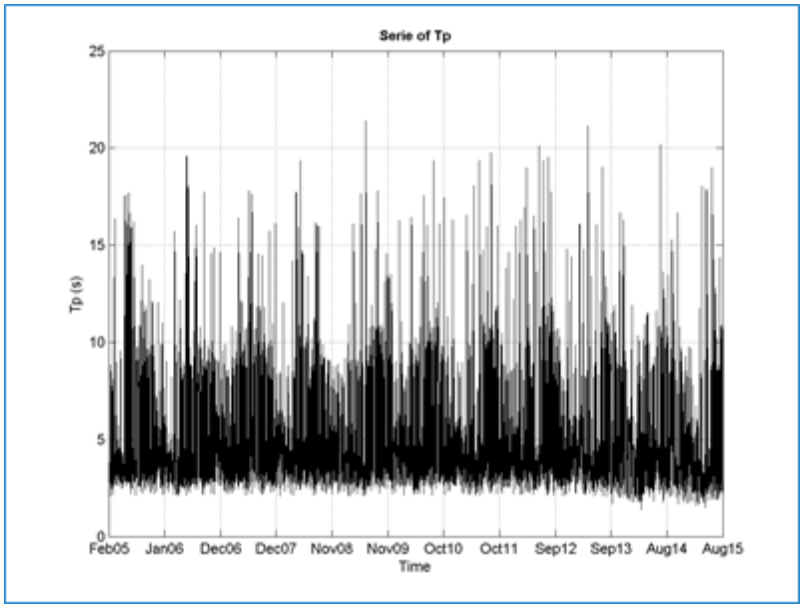


Figura 78. Serie Histórica de Tp. Fuente WaveWatch III (Aguas Profundas). Análisis con AMEVA®, CAROL® y MATLAB®, Sitio 2

En la siguiente figura se puede apreciar los meses de mayor energía, noviembre a marzo, mientras que los de menor energía son de abril a octubre.

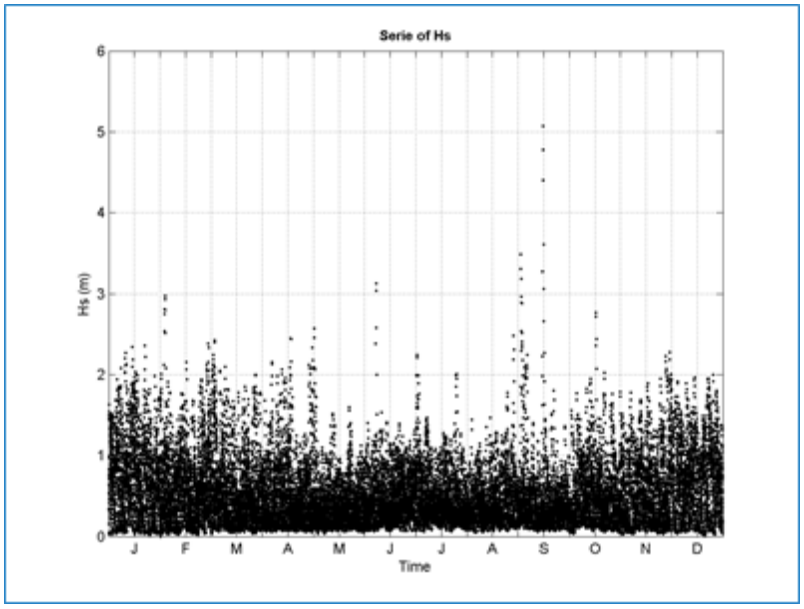


Figura 79. Serie Anual de Hs. Fuente WaveWatch III (Aguas Profundas). Análisis con AMEVA®, CAROL® y MATLAB®, Sitio 2

Con base en el análisis estadístico anual de la información de oleaje, la dirección de mayor frecuencia de ocurrencia corresponde a la SSE (41%), con una Hs media de 0.24 m y un Tp de 8 seg, seguida de la dirección NW (33.5%) con Hs media de 0.7 m y un Tp de 4.5 seg, y WNW (15.5%) con Hs media de 0.42 m y Tp de 3.5 seg. La frecuencia acumulada para las tres direcciones es del 90%.

Tabla 22. Análisis Estadístico de Frecuencia de Ocurrencia por Dirección de Hs, Empleando Umbrales. Fuente WaveWatch III (Aguas Profundas). Análisis con AMEVA®, CAROL® y MATLAB®, Sitio 2

TABLA ESTADISTICOS BASICOS

Variable medida:Hs

direcciones(°)	prob.direccion	$Hs_{50\%}$	$Hs_{90\%}$	$Hs_{99\%}$	Hs_{12}
N	0.0003	0.3450	0.8910	1.0200	1.0200
NNE	0.0003	0.3200	0.6340	0.8100	0.8100
NE	0.0005	0.2900	0.7400	1.0000	1.0000
ENE	0.0002	0.4700	0.9960	1.0500	1.0500
E	0.0006	0.5000	0.7400	0.8400	0.8400
ESE	0.0008	0.3900	0.7320	0.8900	0.8900
SE	0.0147	0.5700	1.0000	1.7328	1.9745
SSE	0.4129	0.2400	0.7600	1.3608	2.6055
S	0.0300	0.3500	0.7630	1.5238	2.2551
SSW	0.0103	0.3150	0.8500	1.4284	1.6000
SW	0.0087	0.3100	0.7000	1.0470	1.0800
WSW	0.0096	0.2800	0.6220	1.0418	1.1400
W	0.0176	0.3000	0.6290	1.0570	1.4406
WNW	0.1546	0.4200	0.8600	1.6253	2.1013
NW	0.3348	0.7000	1.3500	1.9200	2.2571
NNW	0.0040	0.5400	1.0620	1.3908	1.4200

Tabla 23. Análisis Estadístico de Frecuencia de Ocurrencia por Dirección de Tp, Empleando Umbrales. Fuente WaveWatch III (Aguas Profundas). Análisis con AMEVA®, CAROL® y MATLAB®, Sitio 2.

TABLA ESTADISTICOS BASICOS

Variable medida:Tp

direcciones(º)	prob.direccion	$Tp_{50\%}$	$Tp_{90\%}$	$Tp_{99\%}$	Tp_{12}
N	0.0003	2.8150	3.7280	4.0700	4.0700
NNE	0.0003	2.5100	3.5340	3.9900	3.9900
NE	0.0005	2.7450	3.5140	3.5600	3.5600
ENE	0.0002	2.9800	3.9840	4.0000	4.0000
E	0.0006	3.1400	3.5660	3.8400	3.8400
ESE	0.0008	2.9900	3.9980	5.5000	5.5000
SE	0.0147	3.4400	4.6760	6.7304	7.4456
SSE	0.4129	8.1000	11.5200	17.4500	19.4932
S	0.0300	3.3250	4.0230	5.2412	6.1175
SSW	0.0103	3.4200	4.1260	5.0256	5.1300
SW	0.0087	3.4000	3.8600	4.2385	4.3300
WSW	0.0096	3.4100	3.8200	4.2500	4.7600
W	0.0176	3.3000	3.7000	4.9142	5.0253
WNW	0.1546	3.3600	4.1400	5.2300	6.2339
NW	0.3348	4.1600	5.5900	6.3500	6.7957
NNW	0.0040	3.2500	4.4200	5.1162	5.1600

La probabilidad media de que ocurra Hs con mejor ajuste Weibull Mínimos en aguas profundas es de 0.45 m, por lo cual se trata de una zona costera de baja energía del oleaje.

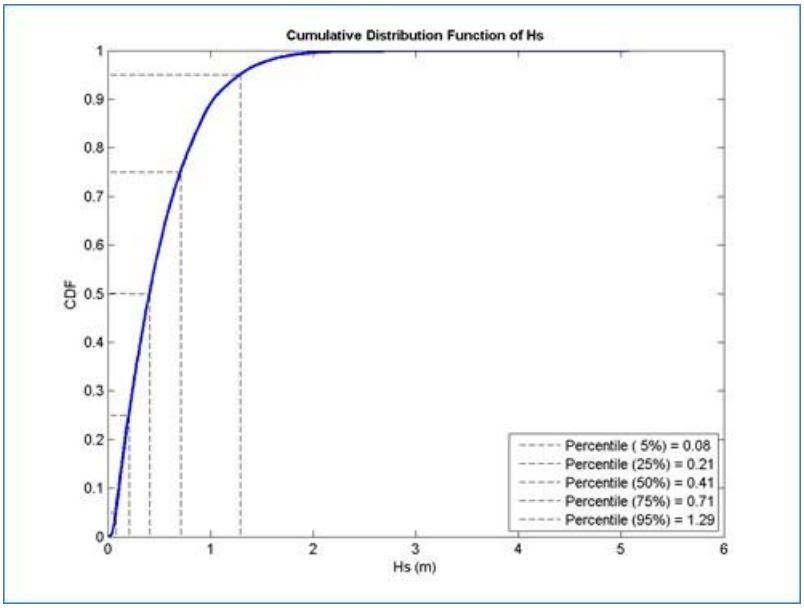


Figura 80. Función de Distribución Hs. Fuente WaveWatch III (Aguas Profundas). Análisis con AMEVA®, CAROL® y MATLAB®, Sitio 2

Con base en el análisis de régimen medio y mejor ajuste con Gumbel Máximos, se puede establecer que las ondas son cortas pues tienen un periodo (Tp) de 4 seg.

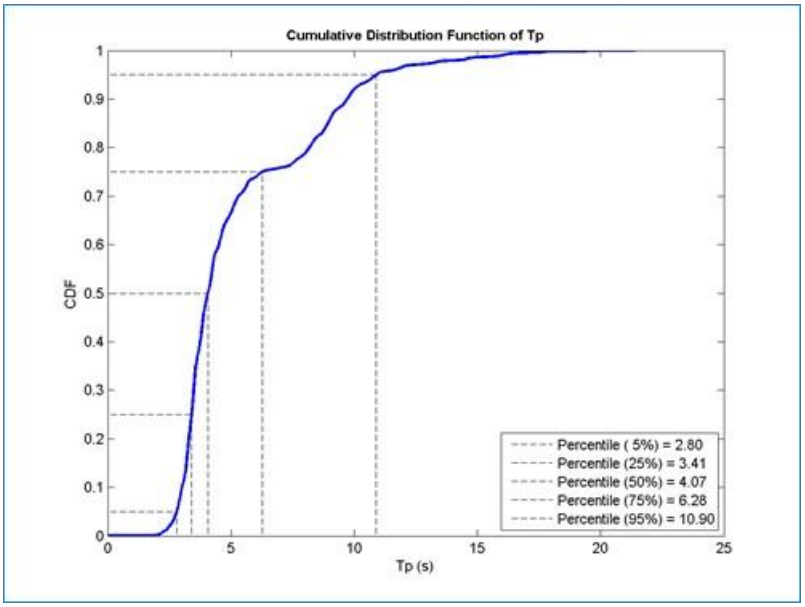


Figura 81. Función de Distribución Hs. Fuente WaveWatch III (Aguas Profundas). Análisis con AMEVA®, CAROL® y MATLAB®, Sitio 2

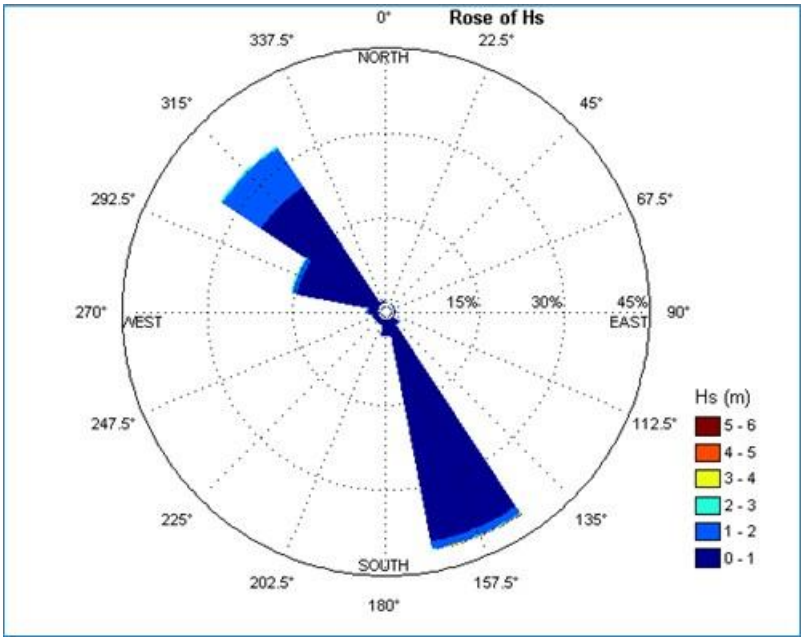


Figura 82. Rosa Direccional del Análisis Anual del Oleaje. Fuente WaveWatch III (Aguas Profundas). Análisis con AMEVA®, CAROL® y MATLAB®, Sitio 2.

Al realizar el análisis estacional del oleaje, durante la primavera, el oleaje incide principalmente del NW (32%) y SSE (31%), seguido del WNW (24%) con una Hs de 0.17 a 0.64 m, correspondiendo una Hs media de 0.35 m (Weibull de mínimos).

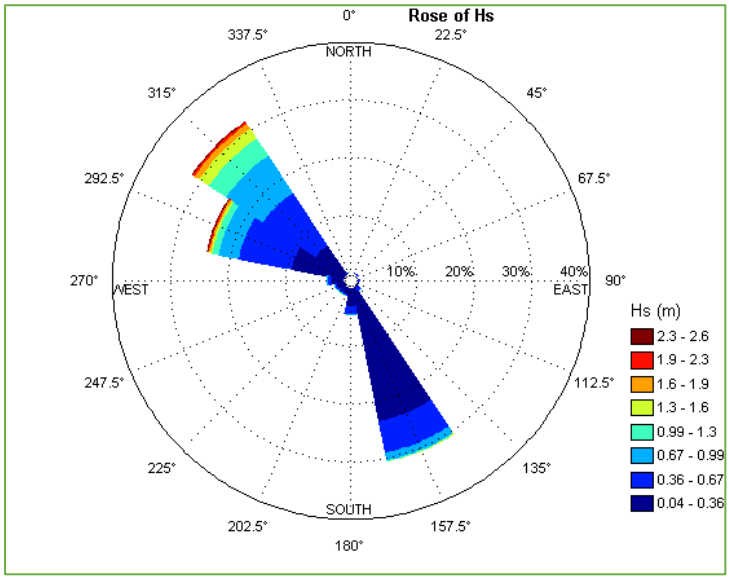


TABLA ESTADISTICOS BASICOS

Variable medida:Hs

direcciones(º)	prob.direccion	$Hs_{50\%}$
N	0.0001	0.3200
NNE	0.0002	0.2600
NE	0.0007	0.3700
ENE	0.0000	0.0000
E	0.0006	0.3600
ESE	0.0001	0.3200
SE	0.0095	0.4150
SSE	0.3060	0.1700
S	0.0470	0.2900
SSW	0.0152	0.2700
SW	0.0150	0.2950
WSW	0.0165	0.2400
W	0.0281	0.2400
WNW	0.2410	0.4300
NW	0.3178	0.6400
NNW	0.0020	0.3800

Figura 83. Análisis Estadístico de Frecuencia de Ocurrencia por Dirección y Rosa Direccional del Análisis del Oleaje de PRIMAVERA. Fuente WaveWatch III (Aguas Profundas). Análisis con AMEVA®, CAROL® y MATLAB®, Sitio 2

Durante el verano, el oleaje incide principalmente del SSE (79%), con una Hs de 0.35 m (Weibull de mínimos). El oleaje viene principalmente del cuadrante Sur.

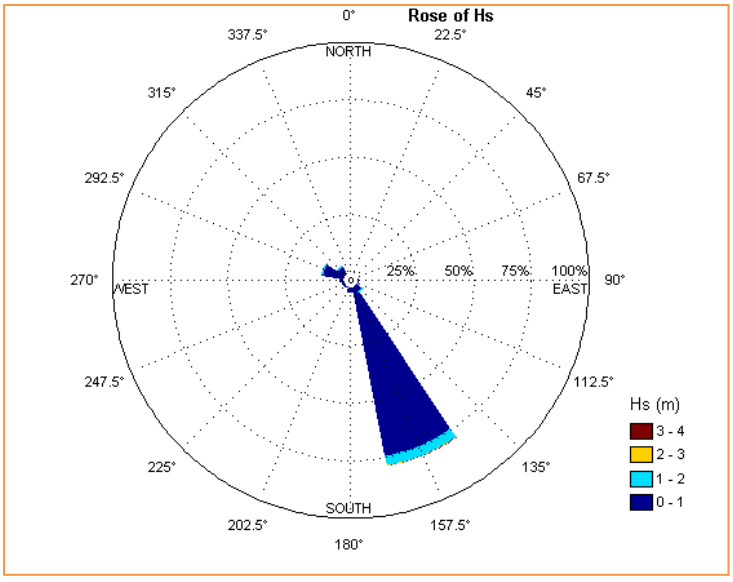


TABLA ESTADISTICOS BASICOS

Variable medida:Hs

direcciones(º)	prob.direccion	$Hs_{50\%}$
N	0.0001	0.2700
NNE	0.0004	0.3200
NE	0.0000	0.0000
ENE	0.0000	0.0000
E	0.0001	0.5000
ESE	0.0004	0.6400
SE	0.0314	0.6400
SSE	0.7877	0.3400
S	0.0219	0.3400
SSW	0.0041	0.2400
SW	0.0044	0.2800
WSW	0.0036	0.2850
W	0.0146	0.3400
WNW	0.0936	0.4000
NW	0.0377	0.5250
NNW	0.0000	0.0000

Figura 84. Análisis Estadístico de Frecuencia de Ocurrencia por Dirección y Rosa Direccional del Análisis del Oleaje de VERANO. Fuente WaveWatch III (Aguas Profundas). Análisis con AMEVA®, CAROL® y MATLAB®, Sitio 2

Durante el otoño, al realizar el análisis estacional del oleaje, el oleaje incide principalmente del SSE (42%), seguido del NW (34%) con una Hs de 0.19 a 0.64 m, correspondiendo una Hs media de 0.38 m (Weibull de mínimos).

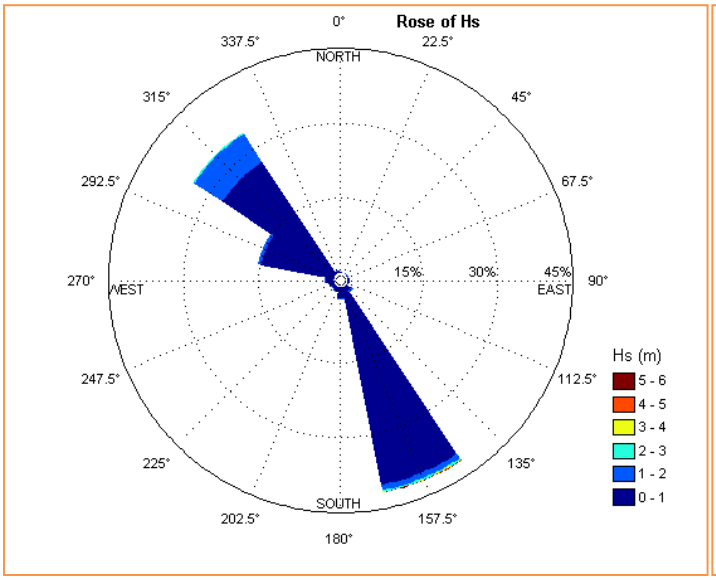


TABLA ESTADISTICOS BASICOS

Variable medida:Hs

direcciones(º)	prob.direccion	$Hs_{50\%}$
N	0.0003	0.5350
NNE	0.0000	0.0000
NE	0.0007	0.7400
ENE	0.0010	0.4700
E	0.0015	0.6000
ESE	0.0019	0.3900
SE	0.0141	0.5700
SSE	0.4179	0.1900
S	0.0244	0.4300
SSW	0.0098	0.4100
SW	0.0071	0.3500
WSW	0.0089	0.3400
W	0.0158	0.3700
WNW	0.1524	0.4300
NW	0.3399	0.6400
NNW	0.0043	0.4400

Figura 85. Análisis Estadístico de Frecuencia de Ocurrencia por Dirección y Rosa Direccional del Análisis del Oleaje de OTOÑO. Fuente WaveWatch III (Aguas Profundas). Análisis con AMEVA®, CAROL® y MATLAB®, Sitio 2

Durante el invierno, el oleaje incide principalmente del NW (66%), con una Hs de 0.65 m (ajuste Normal). El oleaje es el de mayor energía en aguas profundas.

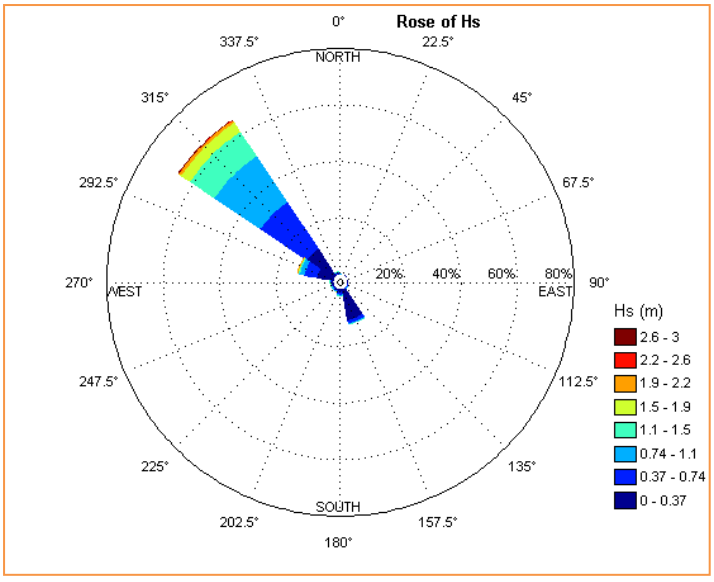


TABLA ESTADISTICOS BASICOS

Variable medida:Hs

direcciones(º)	prob.direccion	$Hs_{50\%}$
N	0.0005	0.3400
NNE	0.0005	0.3500
NE	0.0007	0.2300
ENE	0.0000	0.0000
E	0.0003	0.3150
ESE	0.0007	0.3000
SE	0.0031	0.4300
SSE	0.1264	0.0900
S	0.0257	0.5100
SSW	0.0118	0.3800
SW	0.0082	0.3750
WSW	0.0091	0.2600
W	0.0113	0.3800
WNW	0.1276	0.4100
NW	0.6637	0.7700
NNW	0.0103	0.5800

Figura 86. Análisis Estadístico de Frecuencia de Ocurrencia por Dirección y Rosa Direccional del Análisis del Oleaje de INVIERNO. Fuente WaveWatch III (Aguas Profundas). Análisis con AMEVA®, CAROL® y MATLAB®, Sitio 2

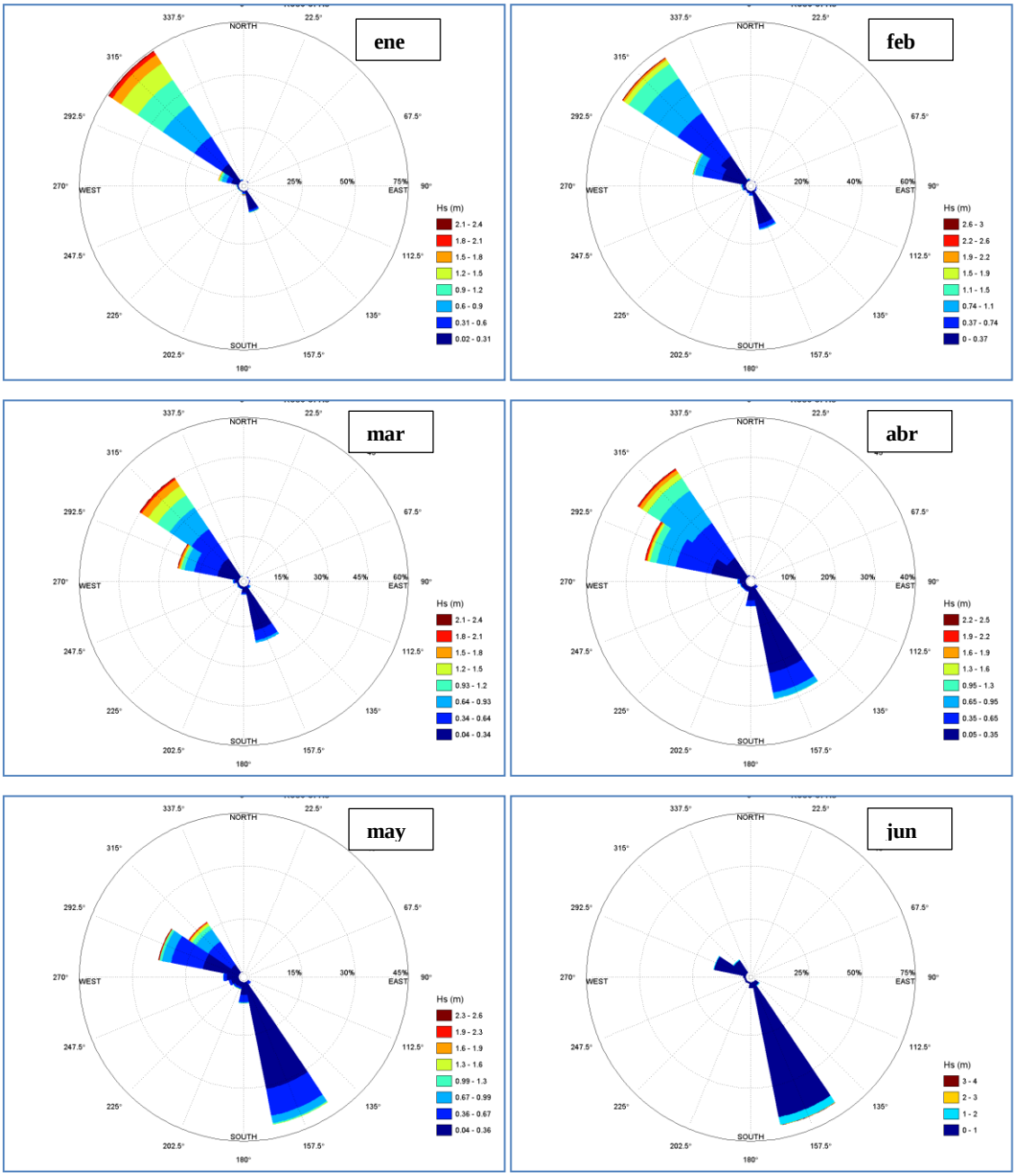


Figura 87. Rosas de Oleaje de Información Separada de Forma Mensual para Modelación. Enero a Junio, Sitio 2

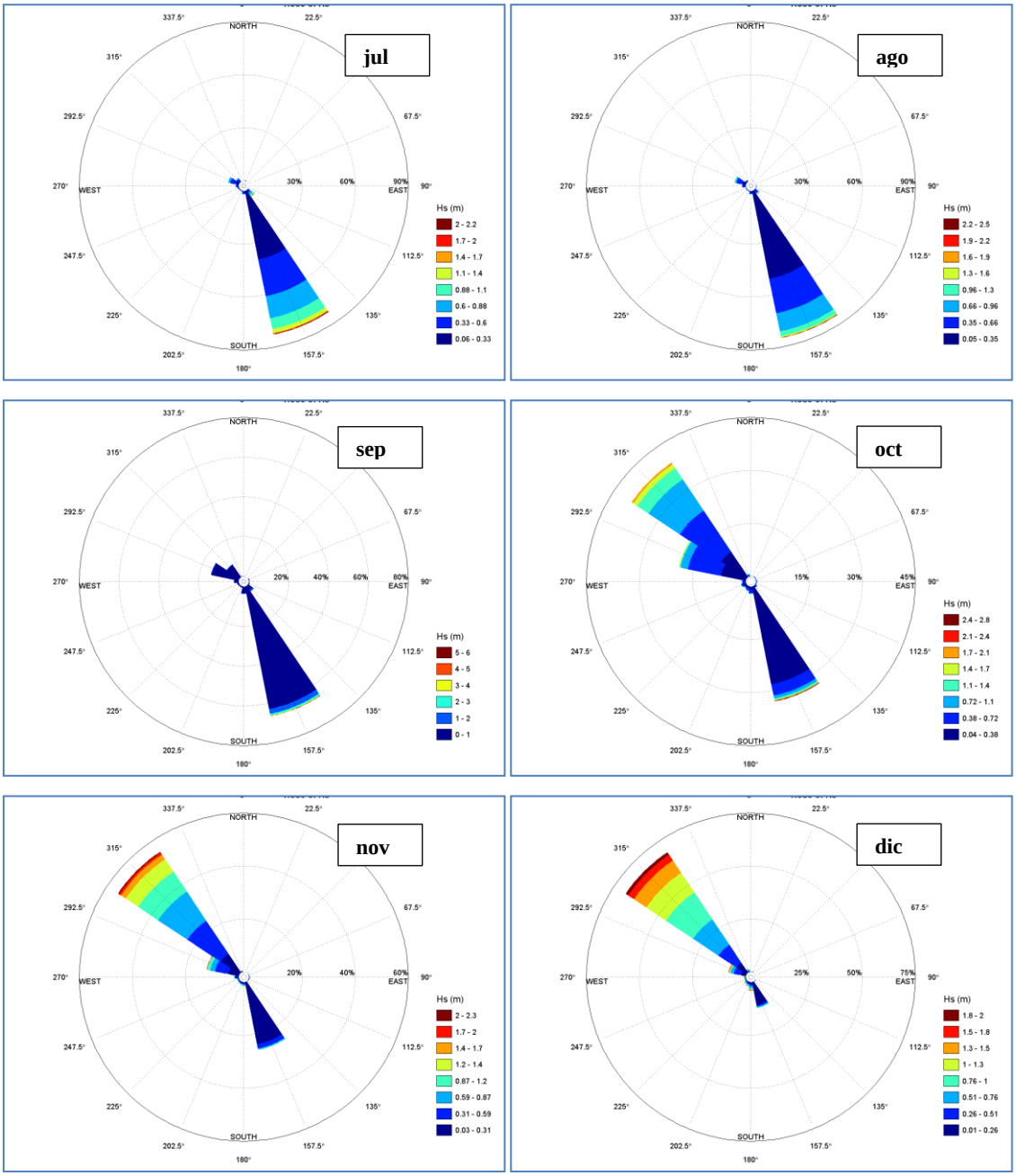


Figura 88. Rosas de Oleaje de Información Separada de Forma Mensual para Emplear en Modelación. Julio a Diciembre, Sitio 2

En la siguiente figura se puede observar que el oleaje invernal es el más energético, mientras que el verano y otoño se presenta el oleaje de menor energía. El oleaje de mayor altura y periodo corresponde con la temporada de tormentas.

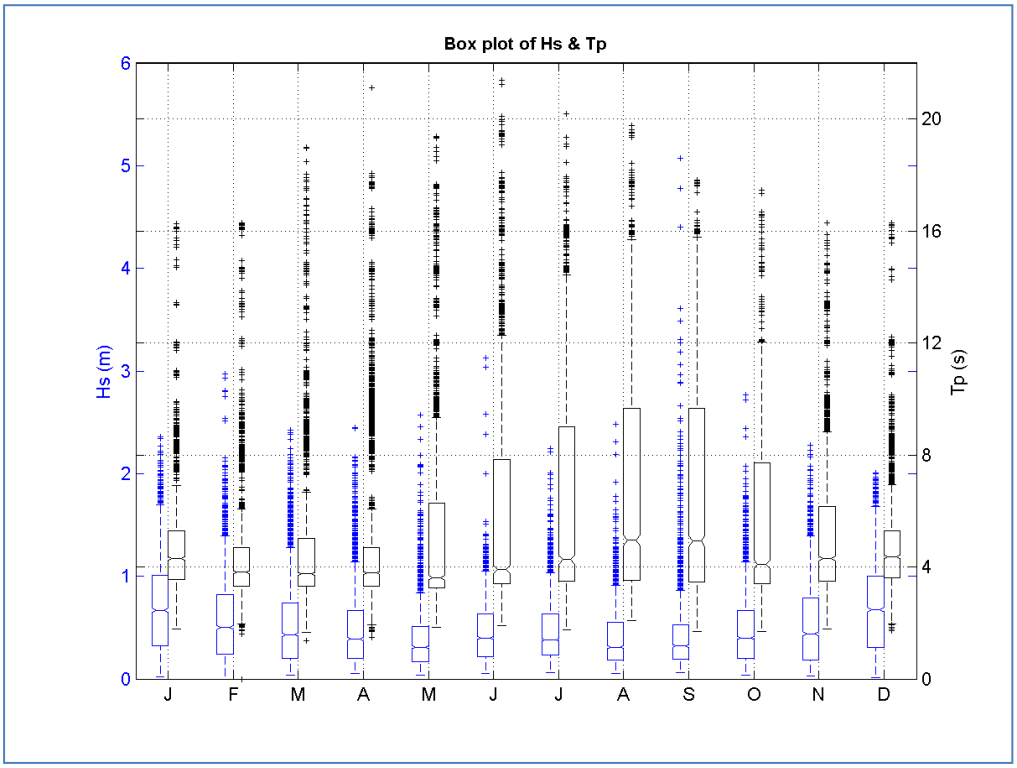


Figura 89. Análisis Estadístico del Oleaje Mensual

Con base en el análisis estadístico por dirección, las velocidades para las principales direcciones de incidencia por mes son las siguientes, variando entre 0.1 y 0.7 m la altura y 3 a 9 el periodo.

Tabla 24. Altura Media Mensual del Oleaje por Dirección

Hs y Tp del Oleaje por Direcciones Principales (m/s)												
Mes	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Dir °	315	315	315	315	157.5	157.5	157.5	157.5	157.5	315	315	315
1ra	0.65 4.5	0.50 4	0.65 4	0.7 4	0.3 3.5	0.4 4	0.4 4.5	0.3 5	0.3 5	0.6 4	0.7 4	0.7 4
Dir °	-	-	292.5	157.5	-	-	-	-	-	292.5	157.5	
2da	-	-	0.45 4	0.5 3.5	-	-	-	-	-	0.45 3	0.1 8.5	
Dir °	-	-	157.5	292.5	-	-	-	-	-	157.5	-	-
3ra	-	-	0.15 9	0.15 9	-	-	-	-	-	0.15 9	-	-

Oleaje Extraorinario

Introducción

El oleaje ciclónico también llamado huracanado, es un oleaje extraordinario generado por la formación de centros de baja presión y vientos de fuerte intensidad.

El interés de analizar este tipo de oleaje es determinar la altura y período de ola que se presenta durante una condición meteorológica extrema en la zona de estudio para establecer la respuesta de la costa y zona marítima de estudio, estableciendo criterios de diseño y/o revisión de estabilidad de la infraestructura proyectada.

Materiales y Fuentes Empleadas

Los huracanes se tomaron de la información desplegada en la página de Internet de Sistema Meteorológico Nacional, [SMN]; del Unisys Weather [UNISYS] y del National Oceanic and Atmospheric Administration [NOAA].

Para definir los huracanes que tienen influencia en la zona de estudio se trazó un semicírculo con centro en cada zona de estudio y radio de 90 km, que corresponde con el radio de impacto de un huracán (Strike Circle 75 nm) y se analizaron todos los huracanes históricos cuya trayectoria se ubica en el interior del semicírculo.

Considerando que los datos de oleaje del NOAA/NWS/NCEP/ Marine Modeling basado en WAVEWATCH III, proyecto Reanalysis ya incluye datos de oleaje asociados a huracanes, se tomaron directamente dichos datos para el periodo comprendido entre 2005 y 2015.

Metodología

Para obtener las características del oleaje huracanado comúnmente se utiliza el método de Huracán Estándar, publicado en el Shore Protection Manual, (1984), que permite determinar el incremento del nivel del mar, debido a la presencia de huracanes. Este método se especifica en las normas técnicas mexicanas de puertos M-PROY-PUE-1-04-005/09.

Las ecuaciones que permiten estimar la altura de ola y período significante del oleaje, son las siguientes:

$$H_m = 5.03e^{\frac{R\Delta_p}{6270}}\left[1+\frac{0.153\alpha V_f}{\sqrt{U_R}}\right]$$

$$T_m = 8.6e^{\frac{R\Delta_p}{12541}}\left[1+\frac{0.076\alpha V_f}{\sqrt{U_R}}\right]$$

Donde:

H_m = Altura de ola significante en aguas profundas, m.

T_m = Período de ola significante correspondiente, s.

R = Radio del viento máximo, Km.

$\Delta p = p_n - p_o$, donde p_n es la presión normal de 760 mmHg (1013.3 mb), y p_o es la presión central del huracán, en mmHg.

V_f = Velocidad de desplazamiento del huracán, m/s.

U_R = Velocidad del viento máxima sostenida, m/s,

Calculada para 10 m sobre la superficie media del mar en un radio R,

Donde:

$U_R = 0.865U_{máx} + 0.5\ V_f$ (para un huracán en movimiento)

$U_{máx}$ = Gradiente máximo de la velocidad del viento, 10 metros sobre la superficie del agua.

$U_{máx} = 0.447[14.5(p_n-p_o)^{1/2} - R(0.31f)]$

f = Parámetro de Coriolis = 2 ω seno ϕ, donde w es la velocidad angular de la tierra = $2\pi/24$, rad/h.

α = Coeficiente que depende la velocidad de desplazamiento del huracán y del incremento efectivo de la longitud del fetch por el movimiento del huracán. Cuando el huracán se mueve lentamente se supone α= 1.

Con los datos extraídos se realizó el cálculo del oleaje asociado a cada huracán, para lo cual se emplearon herramientas computacionales.

Posteriormente, se realiza la asociación de los eventos a periodos de retorno. Para ello se emplea el Método de Valores Extremos de Gumbel (Salinas, 1993), el cual consiste en determinar la curva de valores extremos contra períodos de retorno, definida por la siguiente ecuación:

$$H_e = H_m + 0.77996 * \sigma * [y - E(y)]$$

Donde:

H_e = Altura extrema, en función del período de retorno, m.

H_m = Altura promedio de las alturas máximas anuales, m.

σ = Desviación estándar de los datos de las alturas.

y = Variable reducida = -ln(-ln(p)).

p = Probabilidad de ocurrencia del evento.

E(y) = Número de Euler = 0.5722

Por otra parte, con los registros de la serie histórica del Wave Watch III de 2005 a 2015 (10 años); se realizó el análisis del **régimen extremal del oleaje** de Hs (Altura significante) y Tp (Periodo Pico), empleando las funciones de distribución 1) Valores Extremos = Máximos Anuales (Valores Extremos Generalizada GEV y Gumbel de Máximos), y 2) Valores Extremos = Excedencias Sobre un Umbral (Peak Over Threshold POT).

Para el análisis de los datos del Wave Watch III, y presentación de mismos, se empleó el software AMEVA®, CAROL®, desarrollado por (IH-Cantabria, 2010).) y MATLAB®.

Resultados

Con base en el análisis de huracanes, se identificaron 16 huracanes que tuvieron influencia dentro de un radio menor a 150 Km.

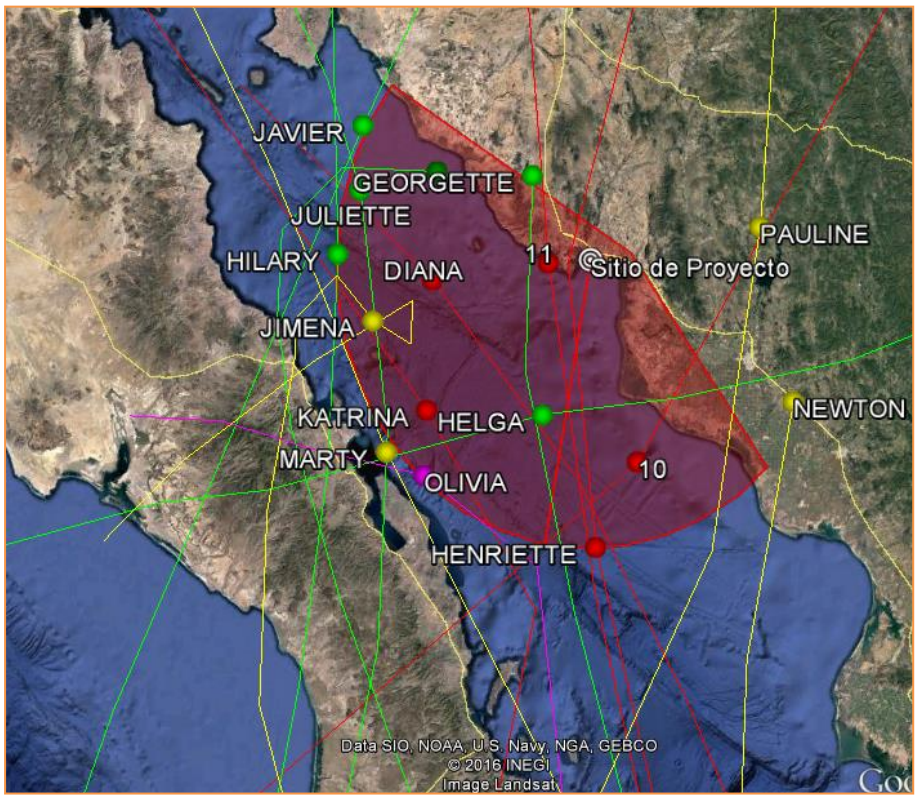


Figura 90. Trayectoria de Huracanes Analizados con Influencia en la Zona de Estudio entre 1900 y 2015. Fuente NOAA, Sitio 2

Tabla 25. Listado de Huracanes Analizados con Influencia en la Zona de Estudio entre 1900 y 2015. Fuente NOAA, Sitio 2

HURACAN	FECHA
GEORGETTE	20-23 SEP 2010
10	1-6 OCT 1957
11	30 SEP-6 OCT 1958
DIANA	17-20 AUG 1960
HELGA	9-17 SEP 1966
OLIVIA	6-15 OCT 1967
KATRINA	30 AUG-3 SEP 1967
PAULINE	26 SEP-3 OCT 1968
NEWTON	18-24 SEP 1986
HILARY	17-27 AUG 1993
JULIETTE	21 SEP-3 OCT 2001
MARTY	18-26 SEP 2003
JAVIER	10-20 SEP 2004

HURACAN	FECHA
HENRIETTE	30 AUG-6 SEP 2007
JULIO	23-27 AUG 2008
JIMENA	28 AUG-5 SEP 2009

De la lista de huracanes que inducen oleaje huracanado con posible influencia en la zona de estudio, en aguas profundas desarrollan alturas de oleaje He de 7 a 9 m.

El huracán que desarrolla mayor altura de oleaje es Javier en 2004, con una He de 8.9 m.

Tabla 26. Altura de Oleaje Extremo Estimada para Huracanes Dentro de un Radio de 150 Km Normatividad M-PROY-PUE-1-04-005/09, Sitio 2

HURACAN	FECHA	H_e m	T_p s
GEORGETTE	20-23 SEP 2010	7.2	10.41
10	1-6 OCT 1957	8.1	11.04
11	30 SEP-6 OCT 1958	8.0	10.90
DIANA	17-20 AUG 1960	8.3	11.19
HELGA	9-17 SEP 1966	7.4	10.57
OLIVIA	6-15 OCT 1967	7.8	10.76
KATRINA	30 AUG-3 SEP 1967	8.3	11.18
PAULINE	26 SEP-3 OCT 1968	7.1	10.29
NEWTON	18-24 SEP 1986	7.5	10.59
HILARY	17-27 AUG 1993	8.2	11.00
JULIETTE	21 SEP-3 OCT 2001	8.7	11.35
MARTY	18-26 SEP 2003	7.6	10.58
JAVIER	10-20 SEP 2004	8.9	11.49
HENRIETTE	30 AUG-6 SEP 2007	7.8	10.79
JULIO	23-27 AUG 2008	7.1	10.27
JIMENA	28 AUG-5 SEP 2009	8.7	11.31

Al asociar los huracanes a periodos de retorno, se obtiene para un Tr=50 años una He de 9.44 m.

Tabla 27. Altura de Oleaje Extremo de Huracanes Asociada a Periodos de Retorno, Sitio 2

D A T O S		Hm=	7.918	
m	Hm	s =	0.587	
GEORGETTE	7.2	E (y) =	0.577	
10	8.1		0.458	
11	8.0	PERIDO DE RETORNO & ALTURA DE OLA		
DIANA	8.3	Tr	y	He

HELGA	7.4	**(años)**	**ln (Tr-0.5)**	**(m)**
OLIVIA	7.8	5	1.50	8.34
KATRINA	8.3	10	2.25	8.68
PAULINE	7.1	15	2.67	8.88
NEWTON	7.5	20	2.97	9.01
HILARY	8.2	25	3.20	9.12
JULIETTE	8.7	**50**	**3.90**	**9.44**
MARTY	7.6	100	4.60	9.76
JAVIER	8.9	200	5.30	10.08
HENRIETTE	7.8	500	6.21	10.50
JULIO	7.1			
JIMENA	8.7			

Por otro lado, con el análisis del régimen extremal del oleaje de la serie histórica del Wave Watch III de 2005 a 2015 (10 años), se obtuvo una He de 8 m.

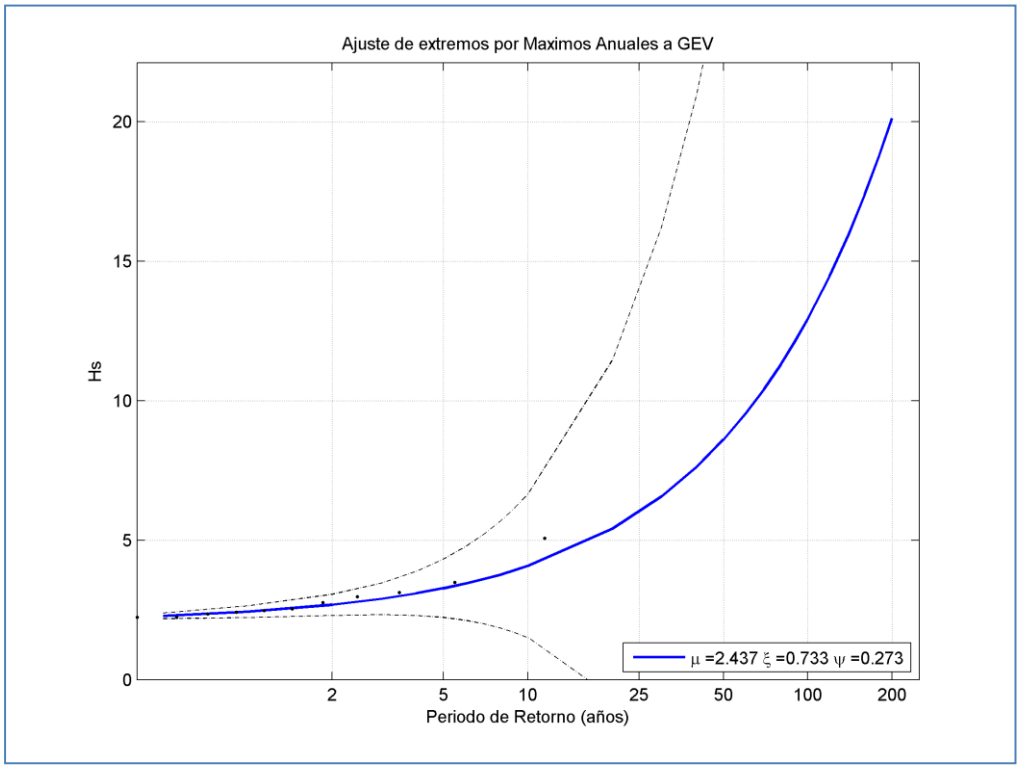


Figura 91. He Asociada a Periodos de Retorno GEV. (Datos con Registros de Oleaje de Últimos 10 años), Sitio 2

Considerando que para un registro de solo 10 años se asocia una He de 8 m a un Tr = 50 años., se toma como criterio emplear la He obtenida con modelos empíricos de 9,4 m, ya que el análisis abarca un periodo mayor a 100 años de trayectorias de huracanes.

He = 9.4 m.

Respecto al periodo pico de diseño, por Gumbel y GEV se obtiene un Tp de 23 seg; en este caso se emplea el correspondiente a los registros del Wave Watch III-

Tp = 23 seg.

Viento

Introducción

Uno de los parámetros a considerar en el estudio es el viento. Los vientos inciden directamente sobre la superficie del agua, induciendo oleaje local y corrientes, siendo más representativo su efecto en zonas con poca profundidad.

En este estudio, el viento se incluirá dentro de la modelación hidrodinámica que determinará el patrón de corrientes en la zona de estudio.

Existen diversas fuentes de información, como el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) que tiene una red nacional de estaciones de medición operando desde 1951, actualmente cuenta con varias estaciones automáticas con mediciones en tiempo real que se pueden consultar en su página de internet (red EMA´s). Otra fuente es la Comisión Federal de Electricidad (CFE) que tiene registros de mediciones satelitales desde 1986 en todo el país. También se cuenta con una fuente de información cuyo origen es local, como la Red de Estaciones Medio Ambientales de Sonora. También existe un proyecto de un modelo de pronóstico del clima denominado NCEP/NCAR Reanalysis con datos de varios año. Este modelo que también realiza pronósticos se alimenta con mediciones satelitales que lo hacen cada vez más confiable.

Materiales y Fuentes Empleadas

Para la caracterización del viento en la zona de estudio se consultaron tres fuentes de información distintas, la primera de ellas corresponde a datos de mediciones denominada “Campo Selza” y se ubica en el municipio de Empalme y presenta datos de 3 años, también se revisó una caracterización de vientos de la estación de Guaymas de la CNA del estudio *“Estudio oceanográfico del área de Cochórit – Guásimas”*, sin embargo; esta fuente se descartó por que al estar rodeada de cerros, pueden existir variaciones importantes respecto de lo que se puede registrar en la zona pegada a la costa.

Considerando la disponibilidad de la información y el uso de los mismos, se realizó también la caracterización del viento en la zona de estudio empleando los datos obtenidos del modelo atmosférico global NOAA/NCEP Global Forecast System (GFS) para 4 zonas del sitio correspondiente a la zona de estudio. Los vientos son presentados en magnitud vectorial u y v, en m/s a 10 m de la superficie a cada 3 hrs y se obtuvieron 5 años de registros.

Metodología

Inicialmente se efectuó un procesamiento con herramientas computacionales para depurar las series históricas de datos.

A las series de datos de mediciones de “Estación Ortiz (La Campana)” se les efectuó un análisis de forma anual únicamente para comparar contra los datos del GFS, mientras que a los datos del NOAA/NCEP Global Forecast System (GFS) se les caracterizó de forma anual y mensual.

Para ambas fuentes de información se obtuvieron la frecuencia de ocurrencia por dirección del viento, se elaboraron diagramas de dispersión, regresiones aplicando diferentes modelos para obtener el régimen medio, se construyeron rosas de viento, etc., empleando para ello diferentes herramientas estadísticas.

Para el análisis y presentación de resultados se empleó el software AMEVA®, CAROL®, desarrollado por (IH-Cantabria, 2010).) y MATLAB®.

Resultados

Datos de mediciones “Campo Selza”.

Los datos corresponden a 3 años de datos medidos entre 2013 y 2016 en una estación ubicada en el municipio de Empalme. Es la fuente más cercana de datos continuos medidos.

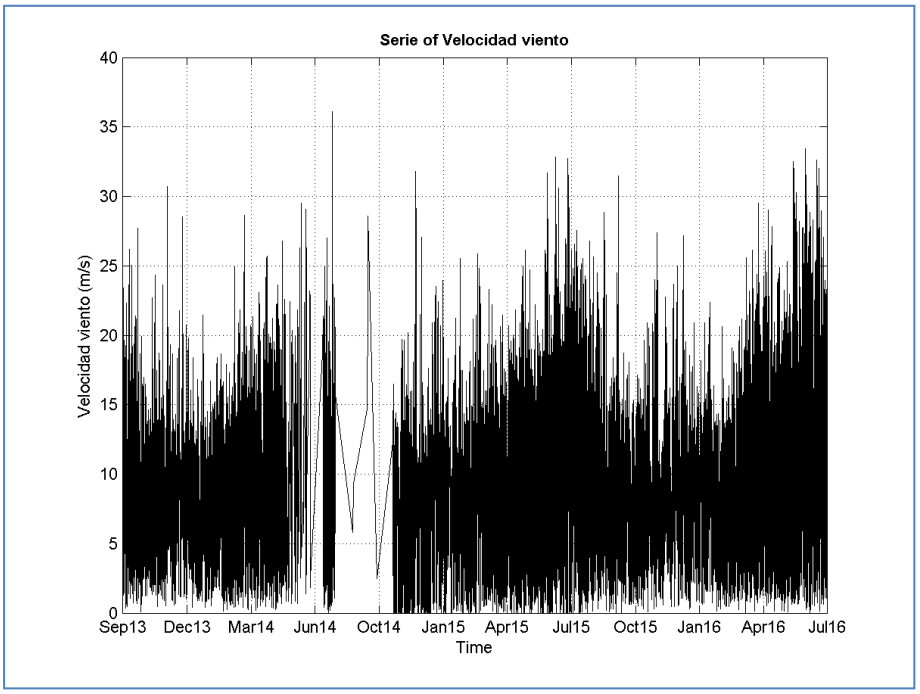


Figura 92. Serie Histórica de Datos Medidos en la Zona Cercana a la de Estudio. Registros de la Estación Campo Selza de la REMAS, Sitio 2

Con base en los datos de mediciones, se puede establecer que no existe una dirección reinante, el viento igual va al S, N, SSW, E, W, NNE, las frecuencias de ocurrencia mayores son entre 8 y 12%.

La velocidad media del viento es de 7 m/s y de acuerdo con la dirección de incidencia se ubican entre 4 y 13.7 m/s.

El viento dominante proviene del NE, con una velocidad media de 13.7 m/s y una frecuencia de ocurrencia del 9%, mientras que el registro máximo del viento es de 37 m/s, (133 Km/hr) presentado en julio.

Tabla 28. Datos Estadísticos del Viento Asociados a Diección y Frecuencias de Ocurrencia. Registros de la Estación Campo Selza de la REMAS, Sitio 2

TABLA ESTADISTICOS BASICOS

Variable medida:Velocidad del viento

direcciones(°)	prob.direccion	Velocidad del viento$_{50\%}$	Velocidad del viento$_{90\%}$	Velocidad del viento$_{95\%}$	Velocidad del viento$_{n}$
N	0.0618	6.9950	14.4470	21.8932	26.5234
NNE	0.0555	9.4800	16.9980	24.2458	33.0187
NE	0.0924	13.6500	21.2180	27.7902	31.8271
ENE	0.0650	9.0050	16.9740	22.5800	26.8570
E	0.0922	6.9000	14.5090	21.8008	28.0934
ESE	0.0709	6.3200	13.2920	22.3021	27.2595
SE	0.0382	4.7400	10.5510	20.9874	25.8016
SSE	0.0287	4.4750	10.8620	17.7668	20.7439
S	0.0914	6.7300	14.4680	21.9720	27.3879
SSW	0.0755	5.6700	12.4520	24.0022	28.6300
SW	0.0711	8.1500	22.0780	29.0345	32.7100
WSW	0.0826	8.3700	18.6470	25.3572	31.3278
W	0.0689	7.0600	16.1580	25.5277	29.0807
WNW	0.0456	5.6300	12.9180	23.7838	30.5652
NW	0.0238	4.0400	10.4190	22.2804	30.9444
NNW	0.0366	5.5350	11.0930	22.7204	27.4709

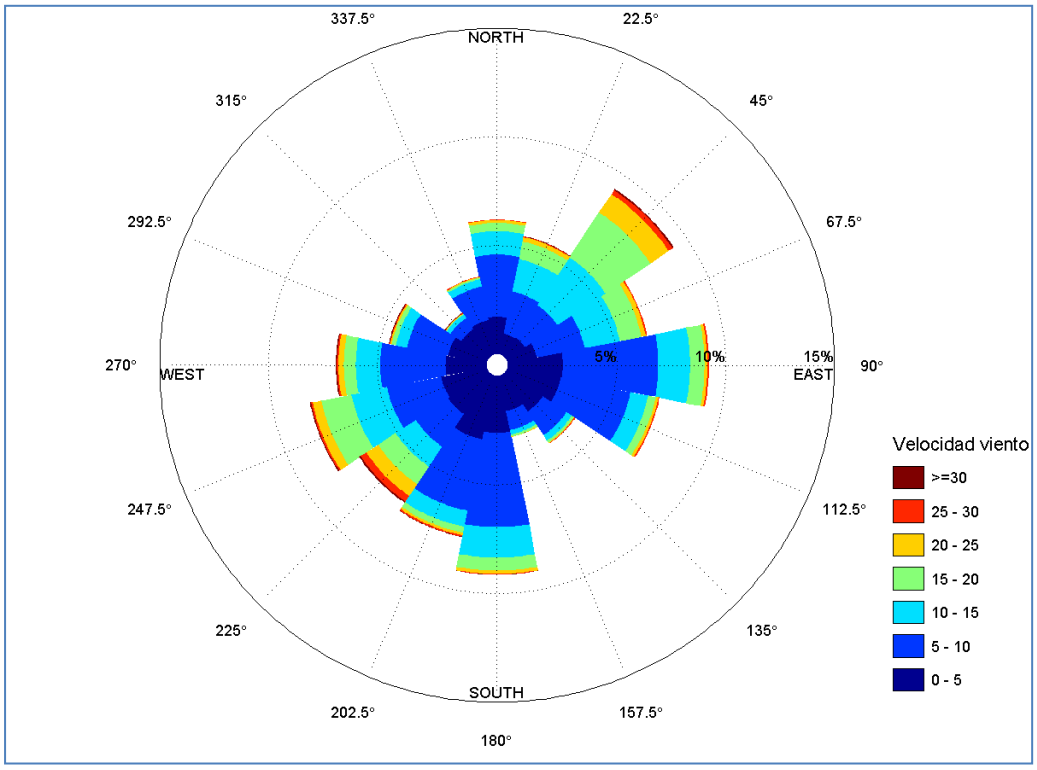


Figura 93. Rosa de Vientos. Registros de la Estación Campo Celza de la REMAS, Sitio 2

Global Forecast System (GFS).

Para las modelaciones hidrodinámicas se requiere la información de viento en la zona marina y considerando que el dominio del modelo cubre una zona de estudio amplia, se efectuó un análisis para 4 puntos de datos.

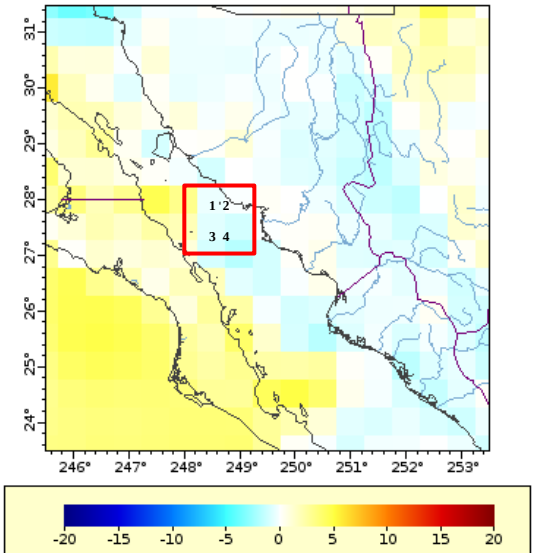
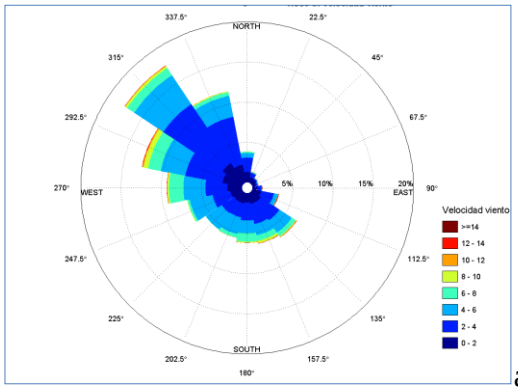
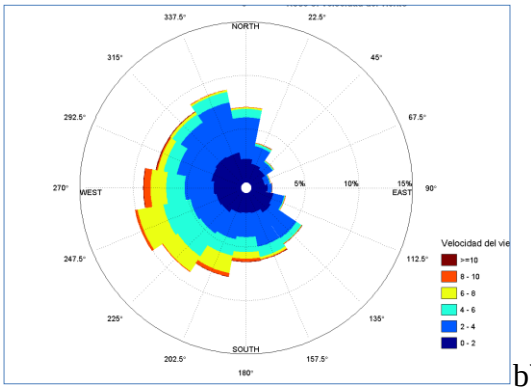


Figura 94. Mapa de Datos de Oleaje NOAA/NCEP Global Forecast System (GFS), Sitio 2

De la comparativa de rosas de oleaje de los 4 puntos, se puede observar que la zona costera entre Cochorit y Guasima presenta una dispersión mayor del viento, respecto a la que se presente en las demás zonas, esto debido a la barrera montañosa ubicada al Este.

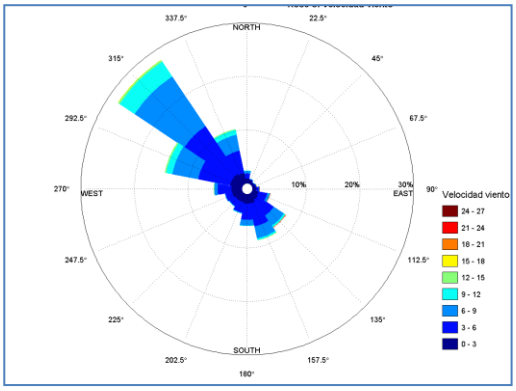


a)

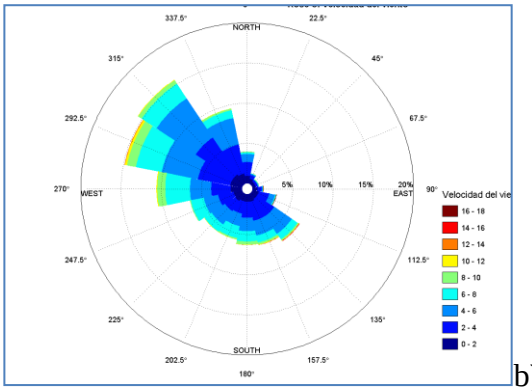


b)

Figura 95. Rosa de Vientos de a) Zona Costera y Terrestre de Guaymas y b) Zona Costera y Terrestre Entre Cochorit a Guasima, Sitio 2



a)

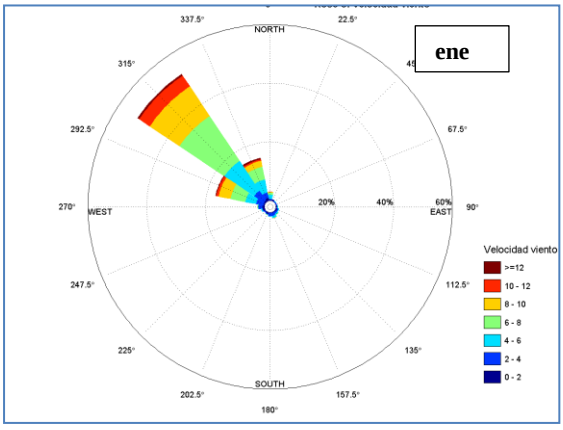


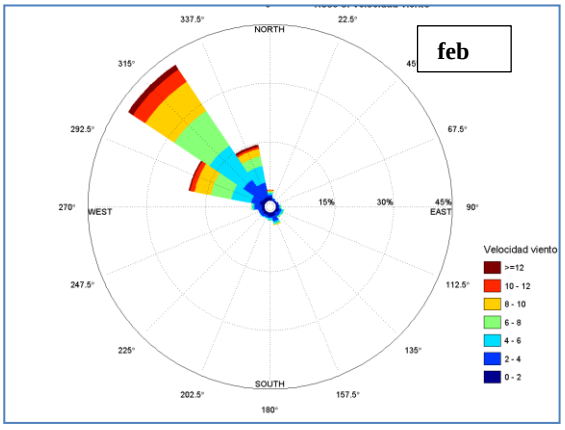
b)

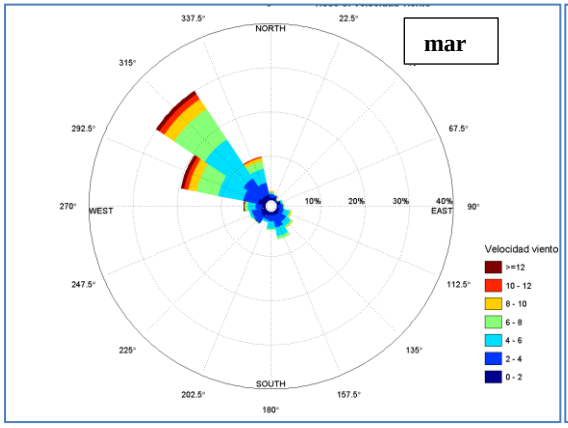
Figura 96. Rosa de Vientos de a) Zona Marina Bahía y b) Zona Costera y Terrestre Isla Lobos, Sitio 2

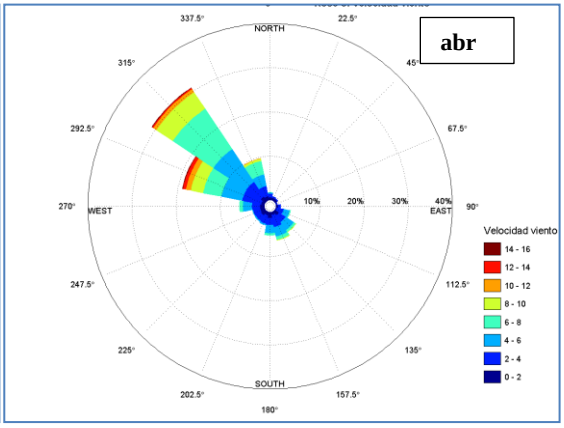
Considerando que la zona que presenta un viento más puro por falta de barreras laterales es la zona marina Bahía, se consideró esta zona para caracterizar el oleaje de forma mensual, que será empleado en los modelos.

Con base en la información procesada, entre enero y mayo se presentan dos direcciones de incidencia principales del mismo cuadrante NW. En junio de forma particular se tiene un viento que incide de dos cuadrantes, SE y NW.









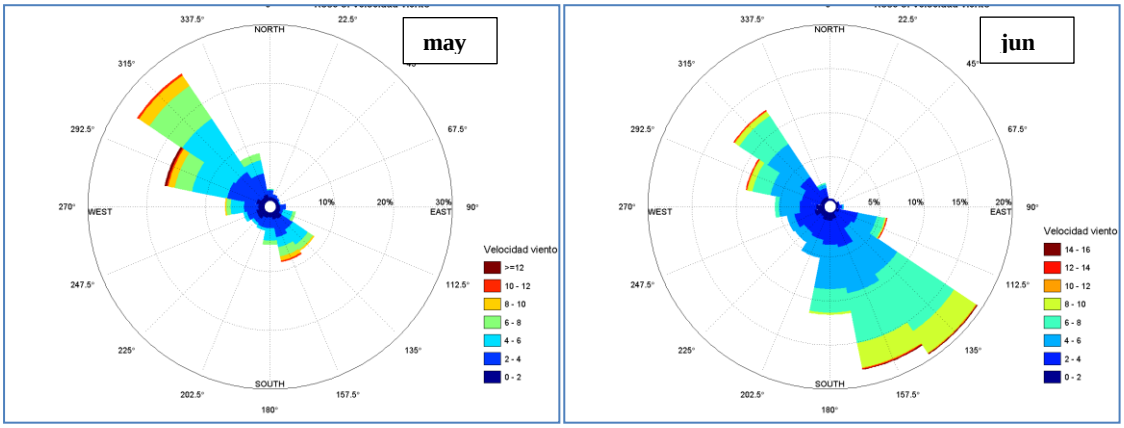
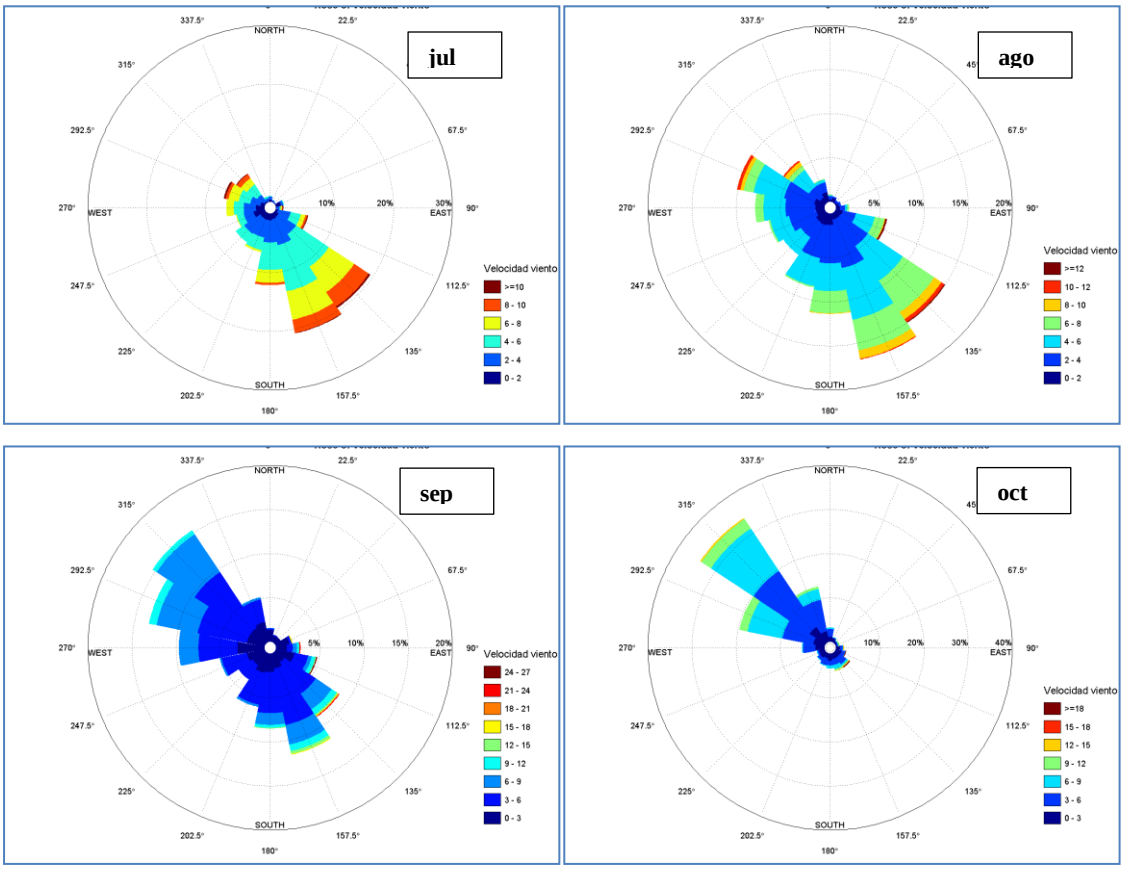


Figura 97. Rosas de Vientos de Información Separada de Forma Mensual para Emplear en Modelación. Enero a Junio, Sitio 2

Para julio el viento proviene principalmente del cuadrante SE. Para agosto y septiembre el viento incide de los cuadrantes SE, SW y NW.



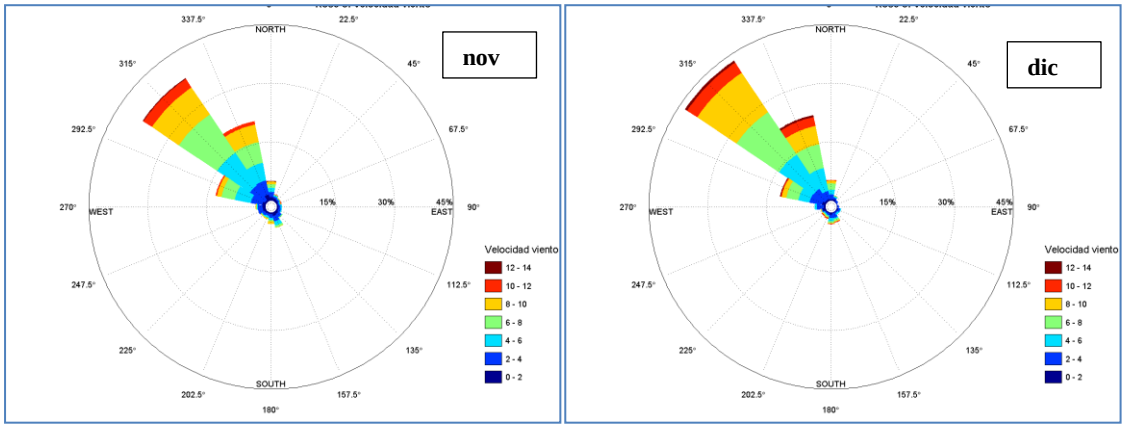


Figura 98. Rosas de Vientos de Información Separada de Forma Mensual para Emplear en Modelación. Julio a Diciembre, Sitio 2

En la siguiente figura se puede observar que los vientos invernales son los de mayor intensidad, mientras que la primavera y verano se presentan los vientos de menor intensidad. Los meses de septiembre y octubre presentan los registros de vientos máximos, correspondiendo con la temporada de tormentas.

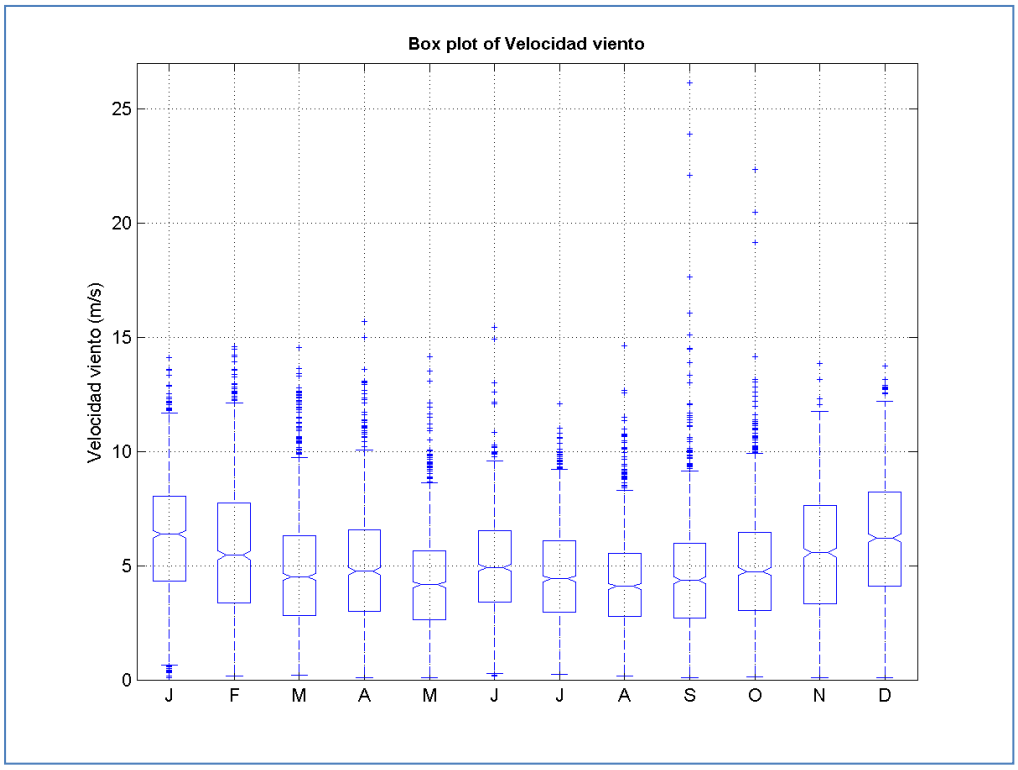


Figura 99. Análisis Estadístico de los Vientos Mensuales, Sitio 2

Con base en el análisis estadístico por dirección, las velocidades para las principales direcciones de incidencia por mes son las siguientes, variando entre 4 y 7 m/s.

Tabla 29. Velocidades Medias del Viento por Direcciones Principales y Meses del Año, Sitio 2

Velocidades Medias del Viento por Direcciones Principales (m/s)												
Mes	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Dir °	315	315	315	315	315	135	157.5	157.5	315	315	315	315
1ra	7	6.7	5.7	6.2	5	6.2	5.5	5.2	5.4	5.5	6.7	7
Dir °		292.5	292.5	292.5	292.5	157.5	135	135	292.5	292.5	337.5	337.5
2da		6.5	5.5	5.8	4.5	6	4.8	4.5	5.5	6.5	6.2	6.7
Dir °	-	-	-	-	-	315	180	180	157.5	-	-	-
3ra	-	-	-	-	-	5.2	4.5	4.2	5	-	-	-

Caracterización de las Mareas

Introducción

Las mareas son movimientos periódicos y alternativos de ascenso (flujo) y descenso (reflujo) de las aguas del mar. Están motivadas por las atracciones combinadas de la Luna y el Sol sobre las masas oceánicas, aunque es la Luna la que ejerce mayor influencia por su proximidad a la Tierra, pero de forma irregular por razón de los continuos cambios de posición con respecto al planeta, así como sus desplazamientos relativos con relación al Sol. La combinación de estas fuerzas puede dar lugar a sumas de ellas, manifestándose en forma de las llamadas mareas vivas, o restarse entre ellas produciendo las llamadas mareas muertas.

La importancia de las mareas en los estudios costeros se debe a que 1) el cambio periódico de los niveles del agua permite al oleaje alcanzar diferentes niveles de la playa a través de los días, por lo cual traslada continuamente la zonas donde rompe el oleaje, que son puntos de alta turbulencia que favorecen los procesos de mezcla del agua., 2) las corrientes que se generan por el gradiente de marea pueden ser importantes según la configuración de la costa, estas corrientes regularmente son más fuertes cercanas a la costa en la zona de bocas de esteros, lagunas y desembocaduras de los ríos.

Al punto de altura máxima de la marea se le llama pleamar, y al punto mínimo bajamar. Por su parte, la diferencia de nivel entre la pleamar y la bajamar se le denomina amplitud o carrera de marea. Ésta varía de forma periódica para un mismo lugar, y es diferente entre una costa y otra. Normalmente en los océanos, en que las aguas son abiertas, o los mares cerrados (como el Mediterráneo), las amplitudes de marea son mínimas; sin embargo en las bahías estrechas como el Golfo de California se manifiestan las amplitudes máximas.

Al propagarse al interior de un cuerpo de agua, la onda progresiva de la marea incidente se transforma parcial o totalmente en onda estacionaria al reflejarse parcial o totalmente en la cabeza, paredes y fondo, y su amplitud se amplifica o amortigua, y su avance se retarda, debido a la fricción y el asomeramiento del fondo. De hecho, la marea en el Golfo de California que se propaga hasta la zona de estudio se produce básicamente por oscilación con la marea del Océano Pacífico. Esto quiere decir que las variaciones del nivel del mar dentro del Golfo se deben principalmente a las variaciones del nivel del mar

a la entrada del golfo y no a la atracción gravitatoria del sol y la luna sobre las aguas del golfo (Ripa y Velázquez, 1993).

Materiales y Fuentes Empleadas

En México, la Secretaría de Marina (SEMAR) y la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) llevan varios años realizando registros de los niveles de mareas en diferentes puertos del país. Actualmente se han sumado más instituciones, como el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) y Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), aunque su red aún es limitada. Actualmente las cuatro instituciones señaladas presentan registros de mediciones en tiempo real que pueden ser consultadas en sus páginas de internet. La SEMAR y el CICESE también proporcionan pronósticos de los niveles de marea.

Para el caso de la zona de estudio, la SEMAR es la institución que mayor número de sitios de medición tiene, contando con registros de Guaymas desde 1999. Los datos de predicción de mareas de la SEMAR tienen un nivel de confianza muy bueno por el tiempo que lleva midiendo y actualiza las armónicas de marea con los cuales se construyen los pronósticos.

Metodología

Los planos de marea que caracterizan la zona de estudio se obtuvieron de las tablas de marea de la SEMAR 2016 que están referidos al N.B.M.I.

Para las modelaciones se efectuó un análisis de las curvas de marea de un año completo (2016) para identificar un periodo de al menos 15 días donde se tengan mareas vivas y muertas que sea representativo de los ciclos diarios y mensuales de las mareas en la zona de estudio.

Resultados.

De acuerdo con la estación Mareográfica de la UNAM ubicada en Guaymas los planos de marea característicos en la zona de estudio son los siguientes:

- Pleamar Máxima Registrada: 1.410
- Nivel de Pleamar Media Superior: 0.773
- Nivel de Pleamar Media: 0.728
- Nivel Medio del Mar: 0.454
- Nivel de Bajamar Media: 0.214
- Nivel de Bajamar Media Inferior: 0.00
- Bajamar Mínima Registrada: -0.73

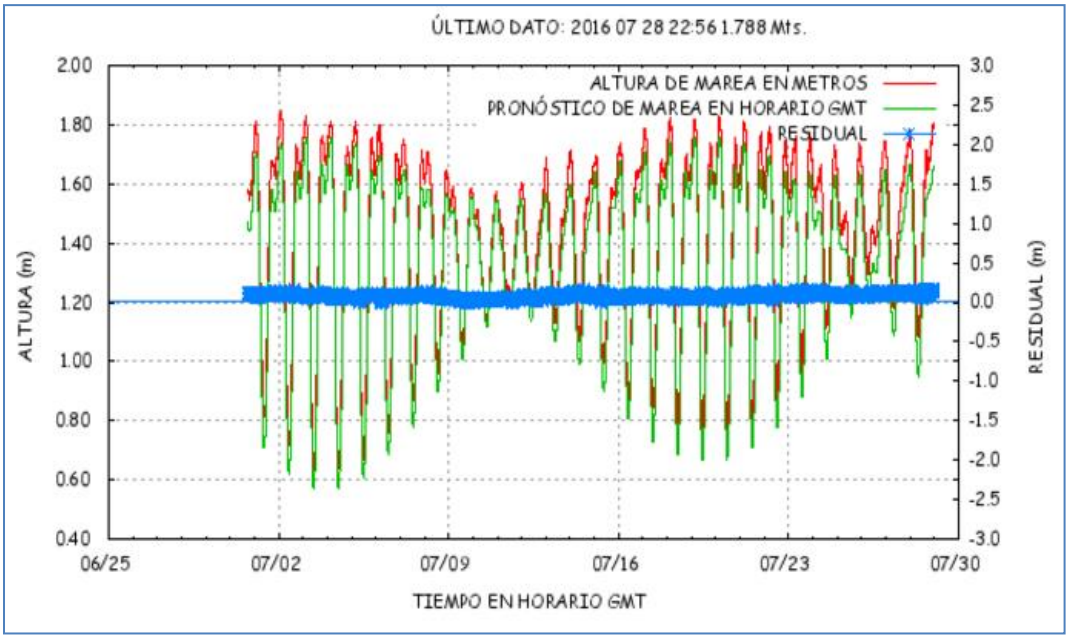
De los registros anteriores se puede establecer que la amplitud de marea media es de 51 cm aproximadamente.

Las principales componentes armónicas que describen la marea en la zona de estudios son:

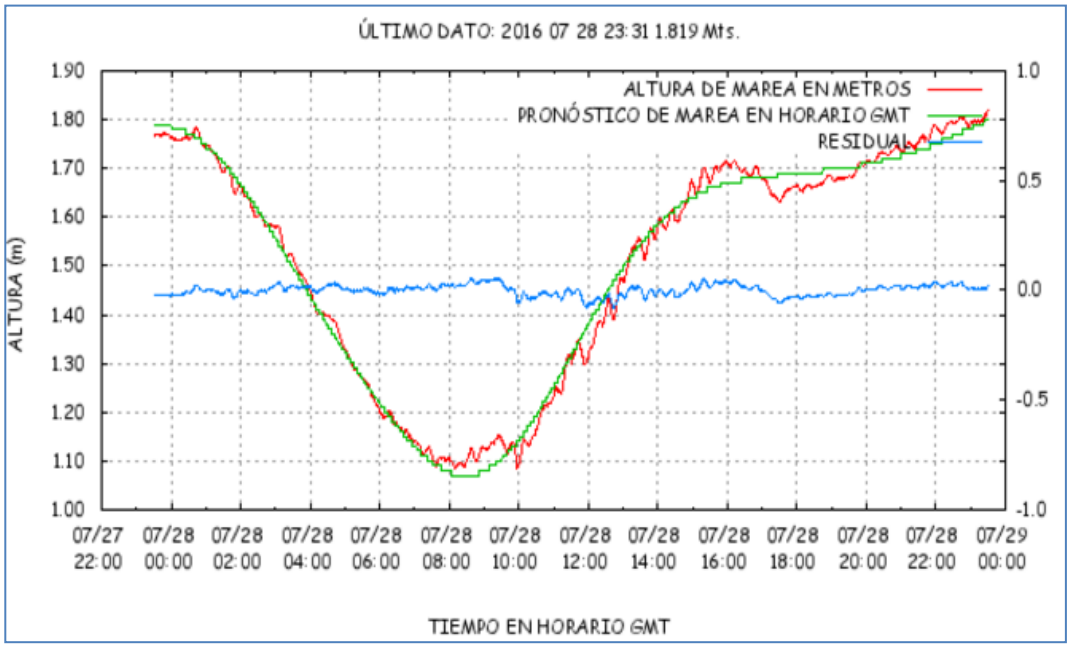
Tabla 30. Componentes de Marea para la Zona de Guaymas, Sitio 2

M_2	S_2	N_2	K_2	K_1	O_1	P_1
0.143	0.110	0.040	0.033	0.287	0.193	0.091

De un estudio de observaciones de nivel del mar en la Boca de la Bahía de Guaymas, en diferentes épocas, se indica que la marea es mixta predominante diurna (Pugh, 1987).



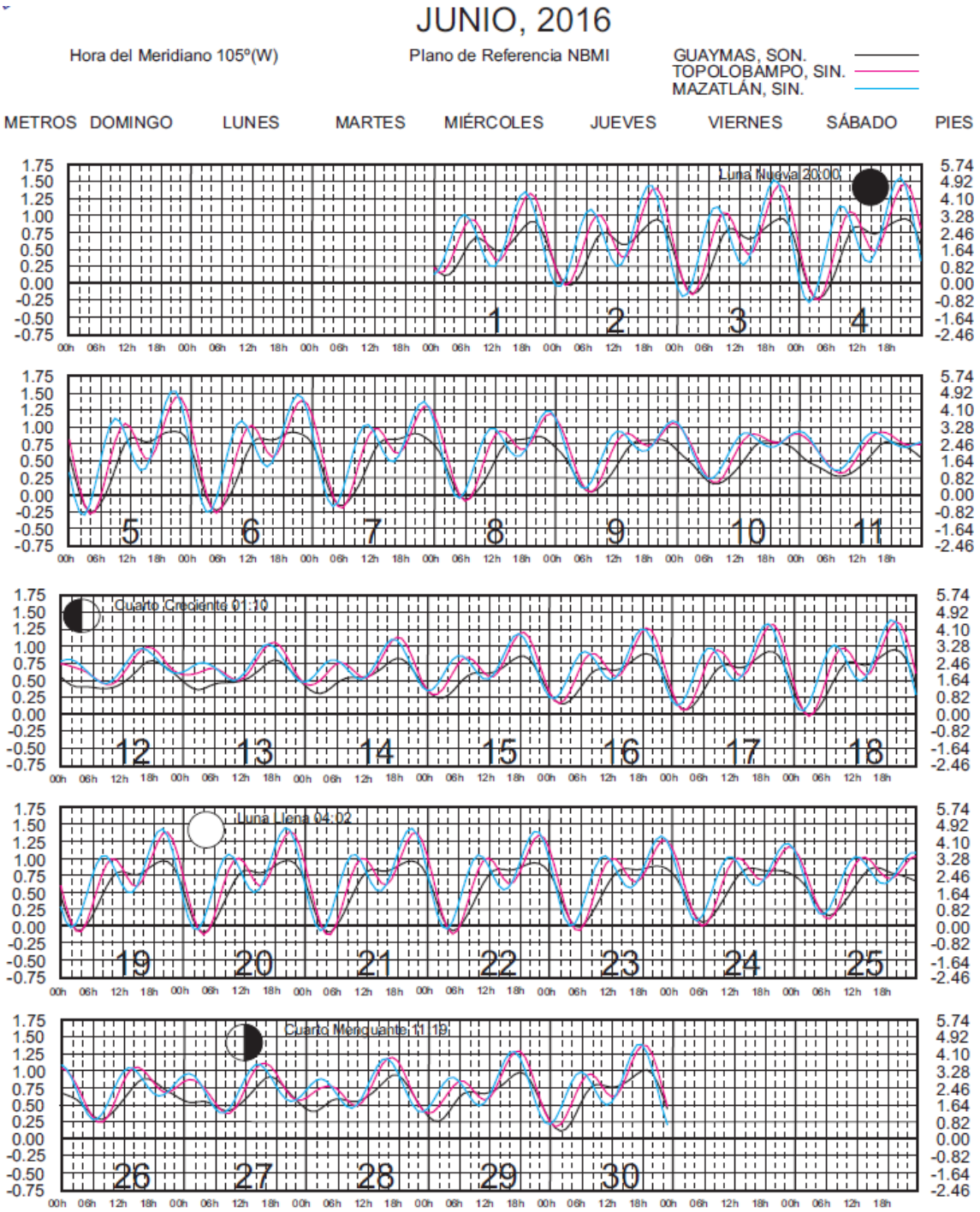
a)



b)

Figura 100. Comparativa de Mediciones y Pronósticos de Marea en la Estación de Guaymas a) Gráfica Mensual y b) Gráfica Semanal. SEMAR, Sitio 2

Tabla 31. Pronósticos Gráficos de Marea para Guaymas, Topolobampo y Mazatlán, 2016. SEMAR, Sitio 2



Caracterización de las Corrientes Marinas

Introducción

Las corrientes se producen en el mar como una consecuencia del actuar de otros agentes sobre las masas líquidas. En las proximidades de la costa van asociadas a los agentes que las producen y por lo tanto no se analizan necesariamente como corrientes.

Las corrientes que actúan un poco alejadas de las costas se estudian como agentes principales, estas se caracterizan por no tener una periodicidad muy definida y son muy sensibles a los cambios de otros agentes climáticos, pudiendo variar rápidamente su dirección y rapidez.

Las corrientes marinas o generales se generan por la acción continua del viento, las distintas densidades de las masas de agua y el movimiento de rotación terrestre, así como el efecto Coriolis. Estas corrientes dan un gran recorrido y gran masa de agua discurren sobre los océanos. Estas tienen nombres generales e inclusive sus derivaciones, por otro lado, las corrientes locales inducidas por el viento o de corriente costera se generan en la zona donde sopla el viento.

En este estudio es importante caracterizar las corrientes alejadas de la costa para identificar su comportamiento y cómo pueden influenciar a las corrientes en la zona de estudio.

Materiales y Fuentes Empleadas

En la actualidad existen diversas fuentes de información de corrientes oceánicas, tanto en formato de cartas, estudios locales y modelos tipo análisis retrospectivo o hindcast.

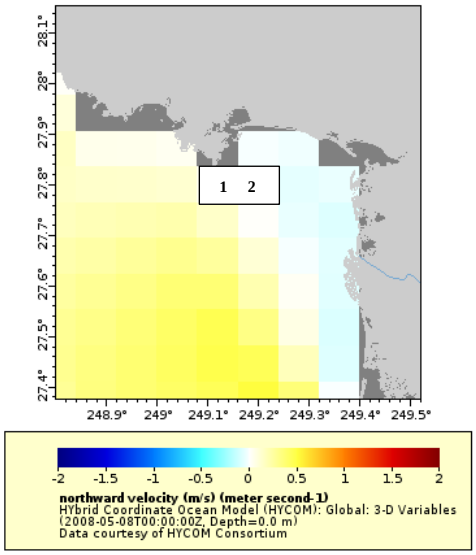
Por la disponibilidad de información y robustez de la misma, los análisis fueron realizados a través de las salidas del modelo operacional HYCOM, que emplea para sus condiciones de fronteras e iniciales mediciones in situ e imágenes de satélites meteorológicos de alta resolución. La rejilla que utiliza tiene celdas de 1/12º (esta relación está cercana a los 7 km en latitudes medias).

Metodología

Los datos que se procesan para este estudio corresponden a las coordenadas 27.8° Longitud y -110.7 a -110.8° Latitud, ubicada frente al sitio de estudio y que se compone de una serie histórica con datos de corrientes (vector_u y vector_v) con registros cada 3 horas de 1995 a 2012 (17 años) en superficie y fondo.

Con los registros de la serie histórica se realizó un análisis estadístico, en el cual se obtuvo el régimen anual de las corrientes, rosas direccionales de corrientes, función de distribución de la rapidez e histograma de densidades.

Para el análisis y presentación de resultados se empleó el software AMEVA®, CAROL®, desarrollado por (IH-Cantabria, 2010).) y MATLAB®.



Resultados

En las siguientes figuras se muestran las series históricas y organizadas en forma mensual de la rapidez de la corriente en el punto 1, que se ubica frente a la barra de la bahía de Guaymas.

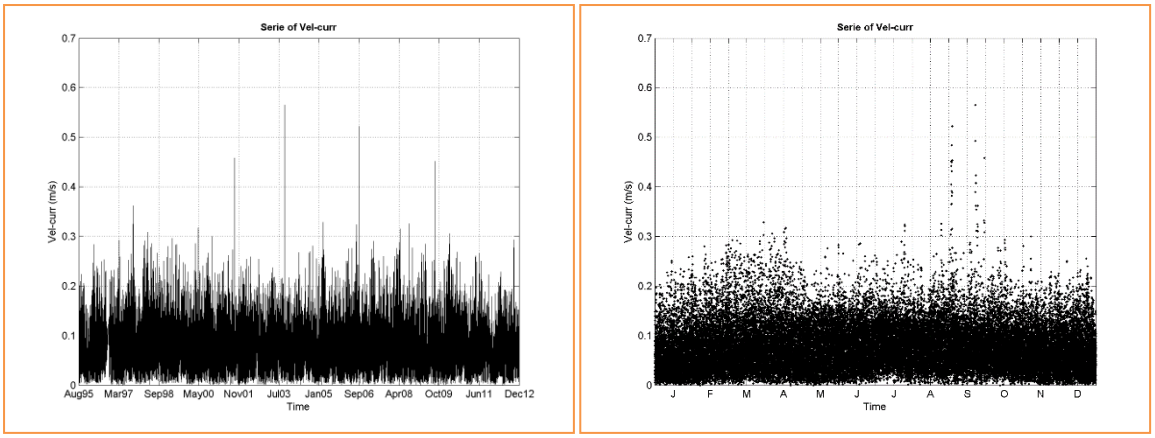


Figura 101. Serie Histórica y Mensual de la Rapidez de la Corriente en la Zona de Estudio, Punto 1 en Superficie. Datos de HYCOM 1995-2012, Sitio 2

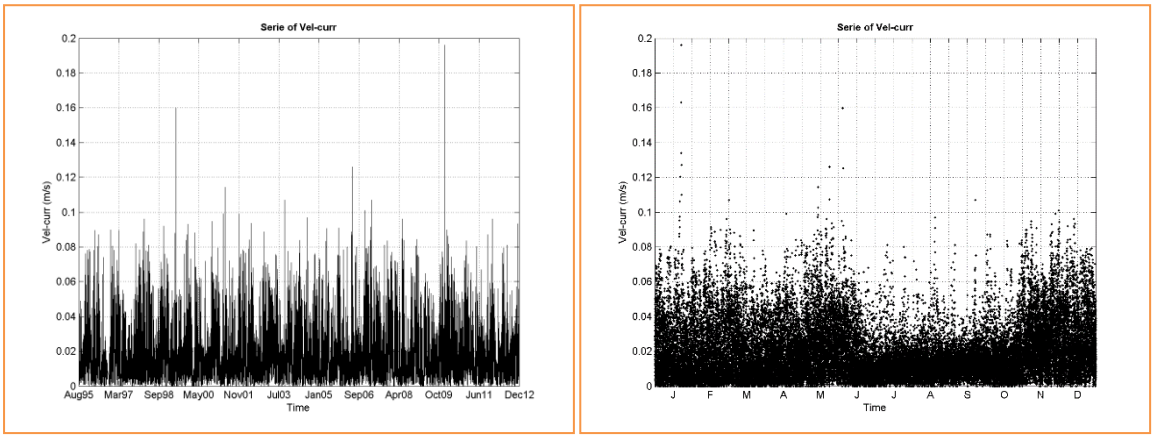


Figura 102. Serie Histórica y Mensual de la Rapidez de la Corriente en la Zona de Estudio, Punto 1 en Fondo. Datos de HYCOM 1995-2012, Sitio 2

En las siguientes figuras se muestran las series históricas y organizadas en forma mensual de la rapidez de la corriente en el punto 2, que se ubica frente a la playa Cochorit.

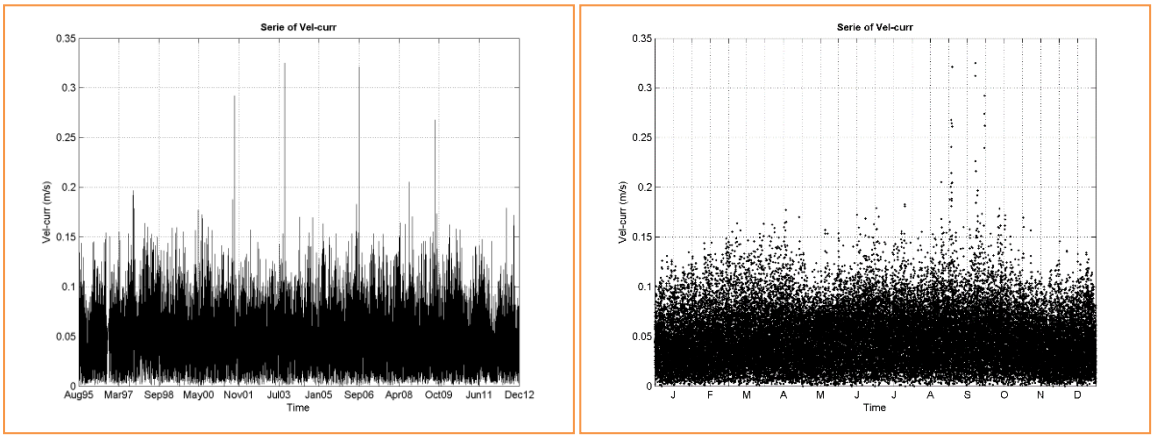


Figura 103. Serie Histórica y Mensual de la Rapidez de la Corriente en la Zona de Estudio, Punto 2 en Superficie. Datos de HYCOM 1995-2012, Sitio 2

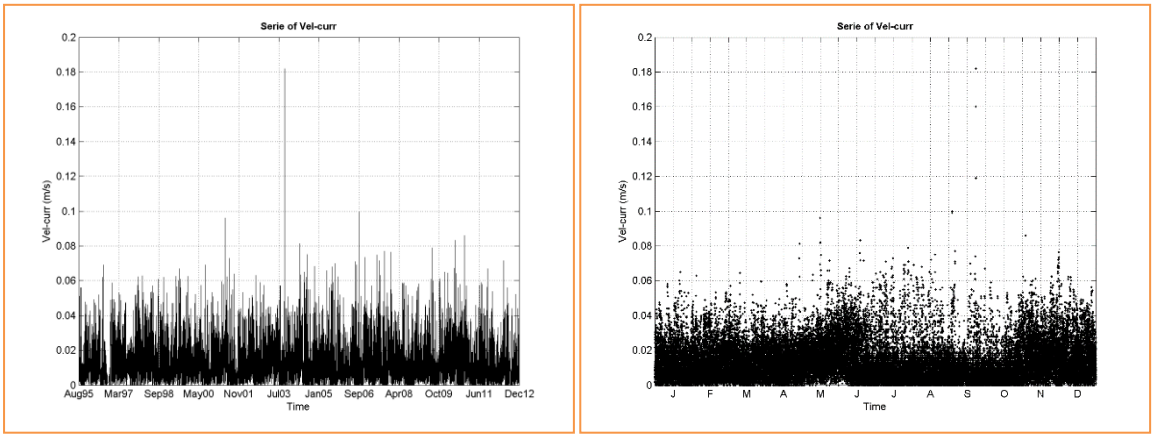


Figura 104. Serie Histórica y Mensual de la Rapidez de la Corriente en la Zona de Estudio, Punto 2 en Superficie. Datos de HYCOM 1995-2012, Sitio 2

En la siguiente figura se pueden observar el diagrama de densidades de la rapidez de la corriente en el punto 1 ubicado frente a la barra de la bahía de Guaymas. Se aprecia en el diagrama de superficie que la zona de mayor densidad corresponde con rapidez de la corriente de 0.05 a 0.1 m/s y dirección hacia el ESE (112.5°), para el caso de las corrientes de fondo (~20 m), se tienen la mayor densidad en rapidez de corriente de 0.01 m/s y las corrientes van hacia las direcciones E (90°) y W (270°).

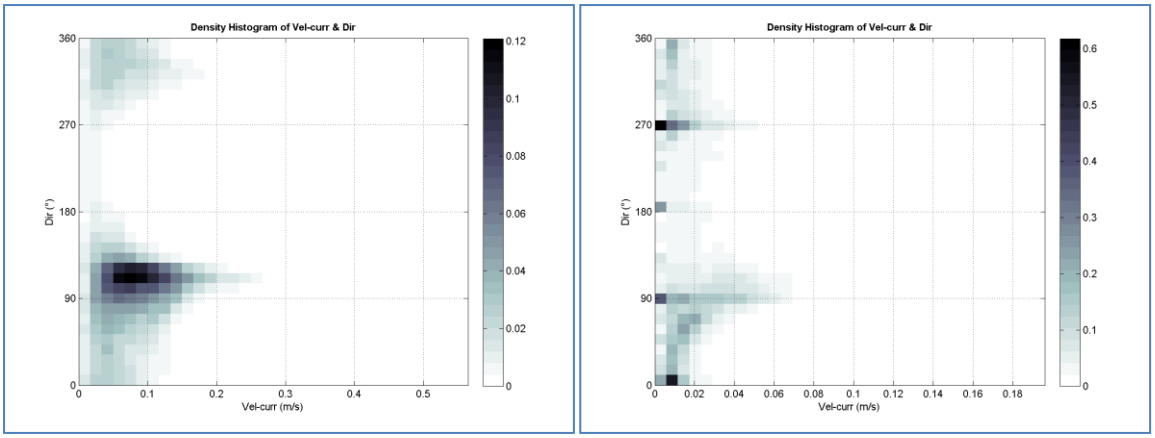


Figura 105. Diagrama de Densidades Rapidez de la Corriente Respecto a la Dirección en la Zona de Estudio, Punto 1 en Superficie (izquierda) y Fondo (derecha). Datos de HYCOM 1995-2012, Sitio 2

En la siguiente figura se pueden observar el diagrama de densidades de la rapidez de la corriente en el punto 2 ubicado frente a la playa Cochorit. Se aprecia en el diagrama de superficie que la zona de mayor densidad corresponde con rapidez de la corriente de 0.05 m/s y dirección hacia el ESE (112.5° y SE (135°), para el caso de las corrientes de fondo (~20 m), se tienen la mayor densidad en rapidez de corriente de 0.01 m/s y las corrientes van hacia las direcciones E (90°) y W (270°).

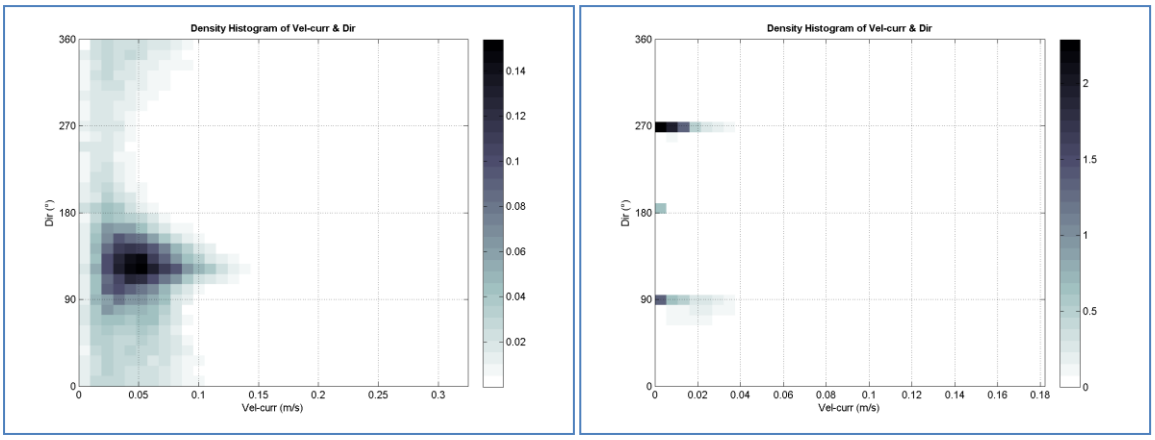


Figura 106. Diagrama de Densidades Rapidez de la Corriente Respecto a la Dirección en la Zona de Estudio, Punto 2 en Superficie (izquierda) y Fondo (derecha). Datos de HYCOM 1995-2012, Sitio 2

En la siguiente figura se pueden observar la rosa de corrientes superficial y de fondo (~20 m) en el Punto 1 ubicado frente a la barra de la Bahía de Guaymas.

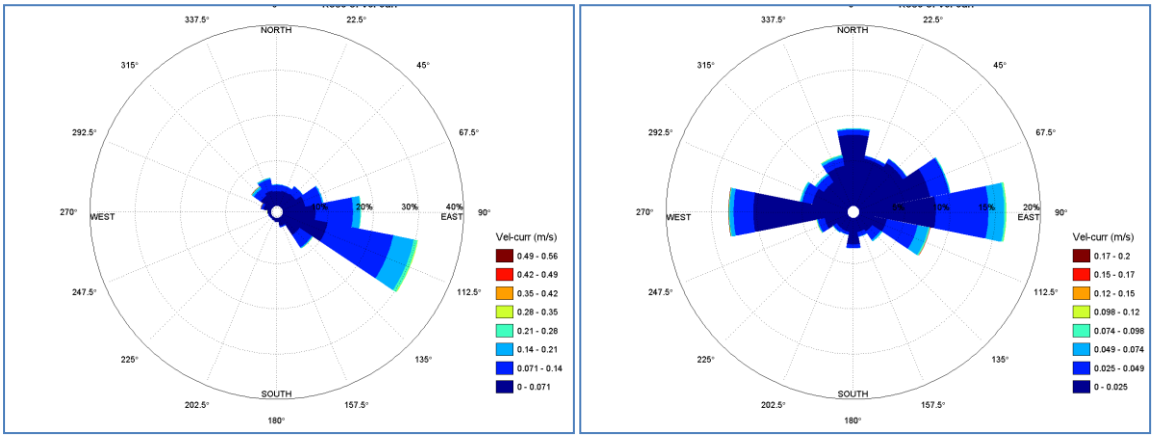


Figura 107. Rosas de Corrientes Generales en el Punto 1 en Superficie (izquierda) y Fondo (derecha). Datos de HYCOM 1995-2012, Sitio 2

En la siguiente figura se pueden observar la rosa de corrientes superficial y de fondo (~20 m) en el punto 2 ubicado frente a la playa Cochorit.

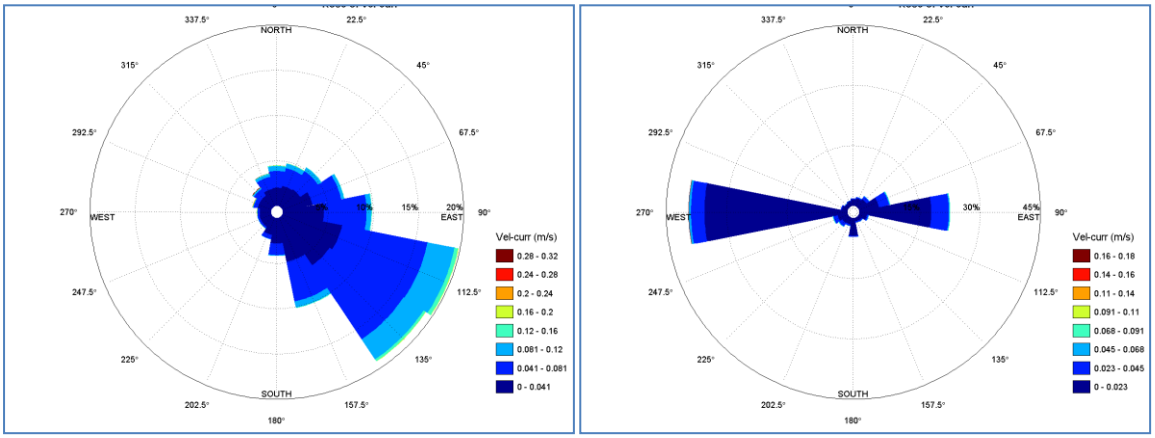


Figura 108. Rosas de Corrientes Generales en el Punto 1 en Superficie (izquierda) y Fondo (derecha). Datos de HYCOM 1995-2012, Sitio 2

Las corrientes de superficie se ubican en promedio entre 4 y 7 cm/s, mientras que las corrientes de fondo son mínimas, apenas alcanzan 1 mc/s. En ambos casos son corrientes relativamente pequeñas. El registro máximo de corriente de superficie es de 55 cm/s y el de fondo de 20 cm/s.

Tabla 32. Rapidez de la Corriente de Función de Distribución, en Porcentiles, Sitio 2

Rapidez de la Corriente (cm/s), Porcentiles					
Punto	**Zona**	**25%**	**50%**	**75%**	**95%**
Punto 1	Sup.	4	**7**	10	16
	Fondo	1	**1**	3	5
Punto 2	Sup.	3	**4**	6	9
	Fondo	1	**1**	2	3

4.1.2. Análisis de Propagación y Transformación del Oleaje Sitio 2

Introducción

Uno de los principales fenómenos oceanográficos a considerar en el diseño y planeación de cualquier obra en el la zona costera y en el mar, es el oleaje, ya que es un parámetro que participa en forma determinante.

Los efectos de las ondas de agua son de gran importancia en el campo de la ingeniería de costas. Las olas son el principal factor en la determinación de la geometría y composición de las playas y tienen gran influencia en la planeación y diseño de puertos, vías navegables, medidas de protección costera, estructuras cerca de la costa, apertura o cierres de bocas y otras obras marítimas. Las olas superficiales generalmente obtienen su energía de los vientos.

Para caracterizar el clima del oleaje en una zona específica de la costa regularmente se emplean modelos de propagación, ya que no existe regularmente información en la zona cercana, por lo cual se toman datos de aguas profundas y se propagan hacia la costa.

El propósito de aplicar la propagación del oleaje hacia la costa es para describir los cambios cuantitativos en los parámetros del oleaje (altura de la ola, periodo, dirección y forma del espectro) fuera de la costa y cercano a la costa. En aguas relativamente profundas, los campos de oleaje son relativamente homogéneos en la escala de kilómetros; pero en aguas cercanas a la costa, donde las olas son fuertemente influenciadas por la variación de la batimetría (profundidad y presencia de un importante número de islas), los parámetros del oleaje

Materiales y Fuentes Empleadas

Para la caracterización del oleaje en la zona de estudio se empleó un modelo de propagación de oleaje denominado CMS-WAVE, que permite la creación de un modelo de transformación de espectro de oleaje que resuelve en estado estático las ecuaciones de balance de acción del oleaje en una malla no uniforme cartesiana, simula la difracción, reflexión, zonas de generación del oleaje, disipación por fricción de fondo, rompiente, interacción de corrientes con oleaje, ascenso de la ola, rebase, y transmisión en estructuras.

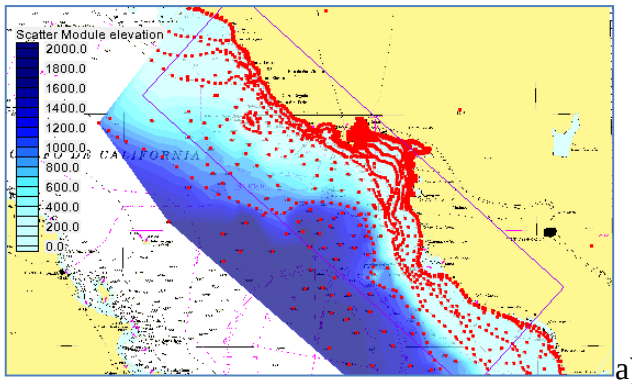
CMS-Wave es un componente del Sistema de Modelado Costero (CMS) (Coastal and Hydraulics Laboratory, U.S. Army Engineer Research and Development Center, 2014). Es un motor numérico de volumen-finito que incluye actualmente diversas capacidades de modelación bidimensional y que se operan con la interface Surface water Modelling System (SMS). El modelo fue desarrollado por CIRP (Coastal Inlets Research Program) que administra el ejército de los Estados Unidos a través del CHL (Coastal and Hydraulics Laboratory). La misión del desarrollo del software es tener una herramienta que permita predecir cuantitativamente para realizar el manejo de proyectos de navegación en bocas, el diseño principalmente, operación y mantenimiento de canales y estructuras costeras en el frente marítimo, reducir los costos de dragado y preservar las playas en un sistema que trata la boca y las playas como un solo elemento.

El modelo digital de terreno empleado en el modelo se construyó con base en un ensamble de cartas náuticas S.M. 233.3, S-M. 233.5 y S.M. 200 y con los datos del levantamiento batimétrico.

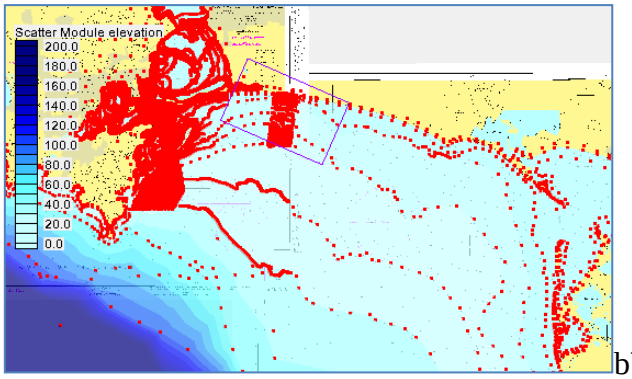
Para la propagación del oleaje se tomaron los datos procesados de oleaje en régimen anual para las direcciones con una frecuencia de ocurrencia mayor a 5%, también se consideraron los datos de oleaje extremal para las direcciones más desfavorables.

Metodología

Inicialmente con las cartas náuticas y batimetría del sitio de estudio se formó un ensamble de un modelo digital de terreno.



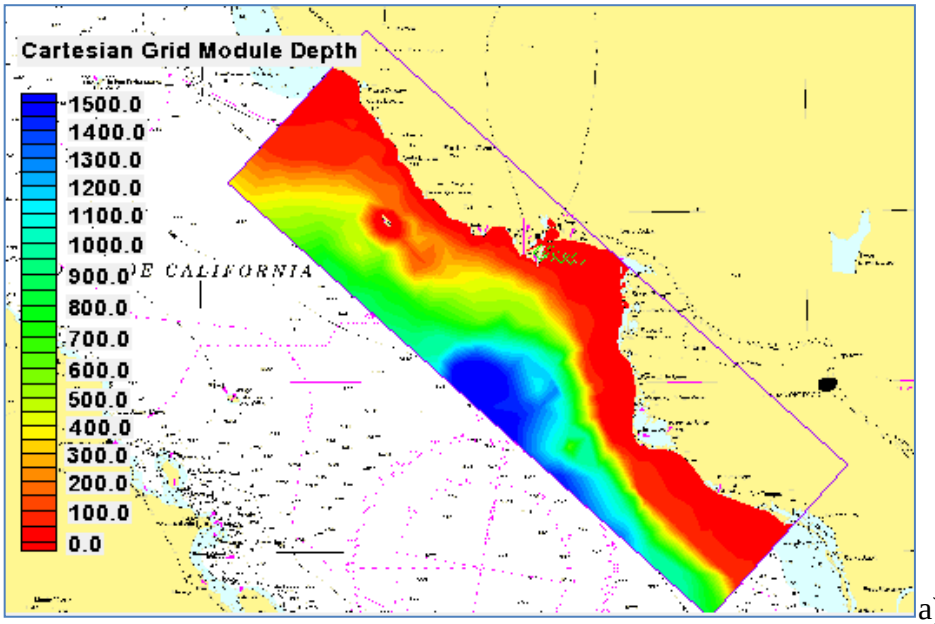
a)



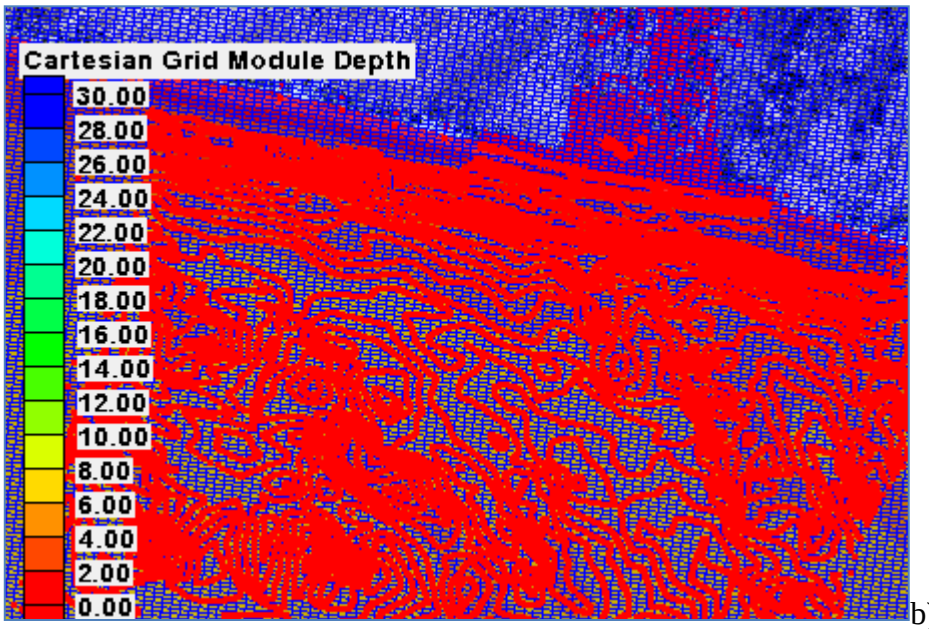
b)

Figura 109. Construcción del Modelo Digital de Terreno con Base en Cartas Náuticas y Batimetrías Disponibles, a) Zona de Aguas Profundas y b) Aguas Intermedias y Bajas, Sitio 2

Para la propagación del oleaje se elaboraron dos mallas con diferente resolución encadenadas entre sí, siendo la primera malla en aguas profundas de menor resolución (celdas cuadradas de 200 m) y la segunda malla en la zona cercana al sitio de estudio con mayor resolución (celdas cuadradas de 30 m). Las mallas encadenadas facilitan la transferencia de datos, respetando los resultados de forma individual por celda.



a)



b)

Figura 110. Representación de la Malla del Modelo a) Aguas Profundas y b) Aguas Bajas, Sitio 2

Posteriormente con los datos de altura, periodo y dirección se construyeron espectros de oleaje tipo Jonswap para emplear como condición de frontera.

Finalmente se efectuó un encadenamiento de mallas para que los datos espectrales de propagación de la malla gruesa se trasladaran a la malla fina con base en información de 4 puntos distribuidos en la longitud de la frontera.

Resultados.

Para la medición de los datos en la zona de estudio se colocaron ocho (12) estaciones de medición distribuidas frente al sitio de estudio, a 4, 7 y 8 m de profundidad.

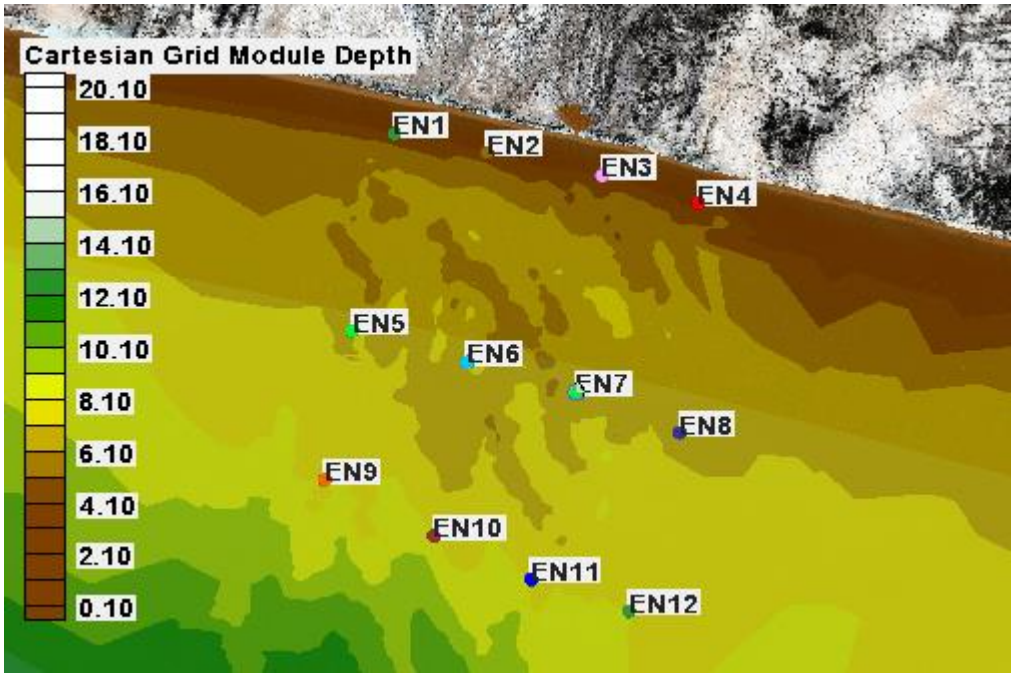


Figura 111. Estaciones de Medición de Oleaje Distribuidas en la Zona de Estudio, Sitio 2

En las siguientes figuras se muestran algunos de los resultados gráficos de la propagación del oleaje normal desde aguas profundas para las diferentes direcciones de incidencia.

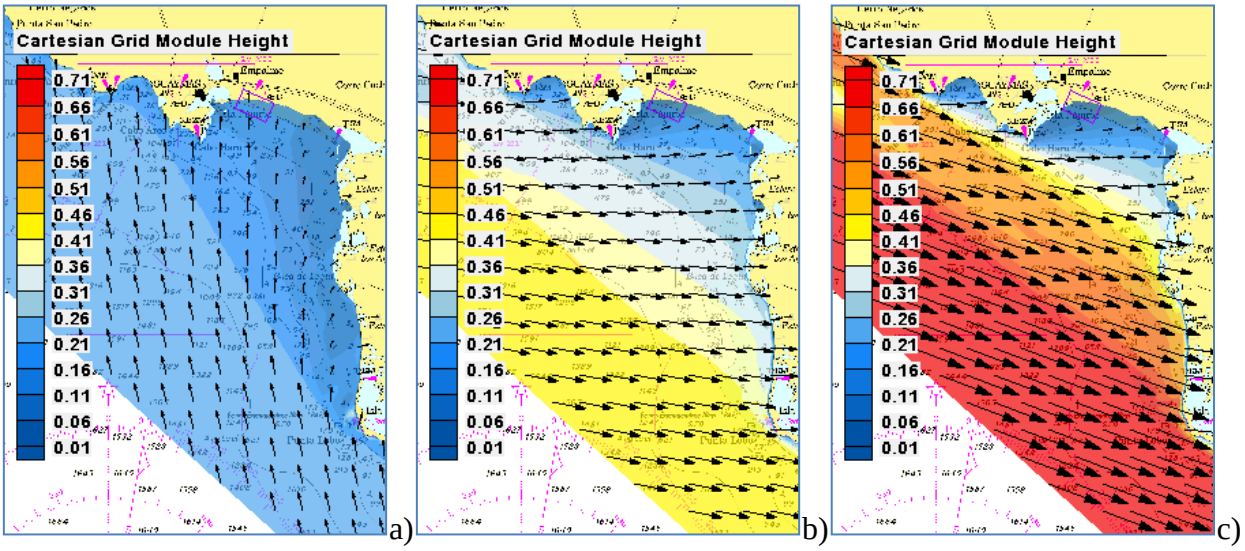


Figura 112. Representación de la Propagación del Oleaje de Aguas Profundas de a) SSE, b) WNW y c) NW para Oleaje en Régimen Medio, Sitio 2

Oleaje Normal

De los resultados observados se puede establecer que bajo condiciones de régimen medio del oleaje, el oleaje que viene de una zona de generación lejana u oleaje tipo “swell” es de muy baja energía, se presenta en la zona con alturas menores a 15 cm para todas las direcciones.

El oleaje para la dirección principal, la de mayor energía en la zona de estudio llega normal a la costa, por lo cual la playa tiende a tener una forma de playa rítmica, aunque por la baja energía del oleaje, presenta cambios lentos respecto a la dinámica sedimentaria "por oleaje".

Tabla 33. Resultados de Propagación del Oleaje en Régimen Medio para las Tres Direcciones Principales de Incidencia, Medidos en el Modelo y Distribuidos entre la cota -4 a -8 m, Sitio 2

		Hs (m)												
Dir.	Ocurr. (%)	H_0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SSE	41	0.24	0.15	0.15	0.15	0.15	0.14	0.14	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.14
WNW	15.5	0.42	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
NW	33.5	0.70	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

Con base en lo anterior se puede establecer que el oleaje local o "sea" puede ser un oleaje que tenga importancia en la respuesta de la dinámica costera, al ser el oleaje distante de baja energía.

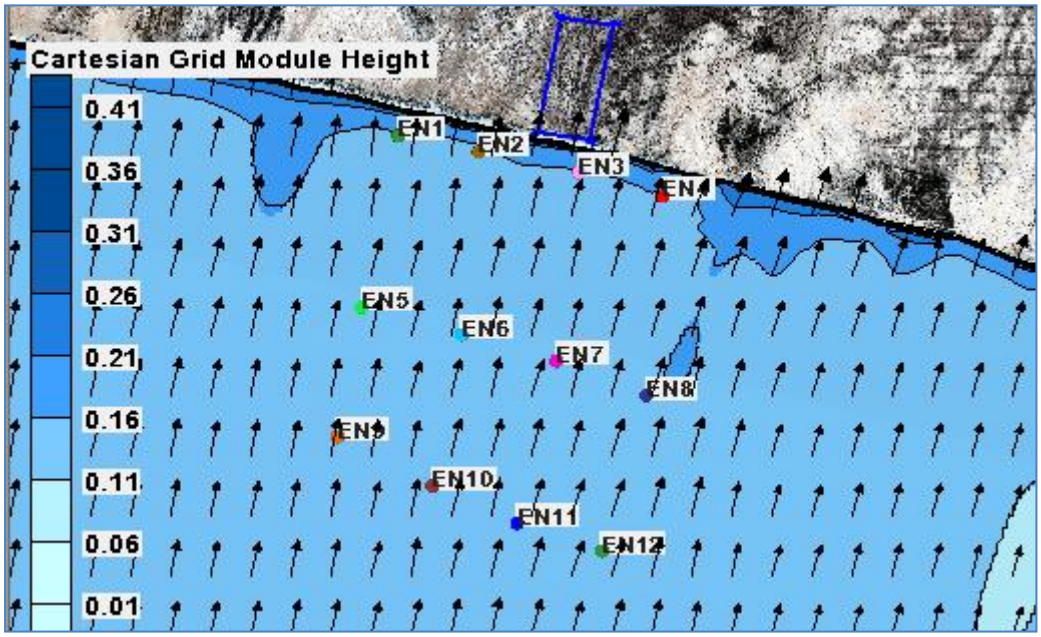


Figura 113. Representación Esquemática de la Propagación del Oleaje en Régimen Medio en Aguas Bajas para la Dirección SSE, que Tiene una Frecuencia de Ocurrencia de 41%, Sitio 2

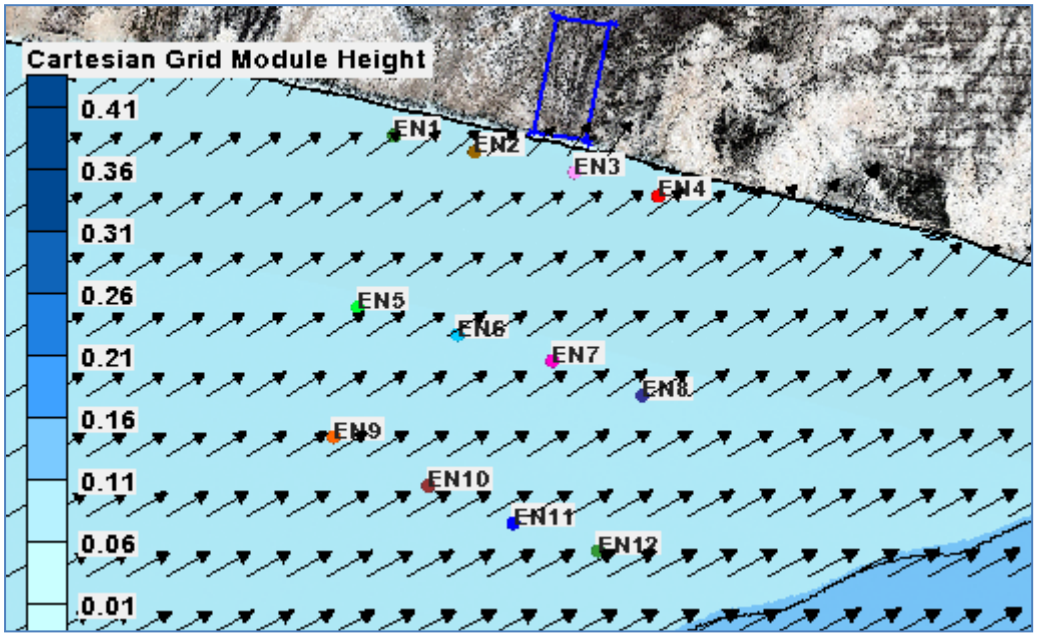


Figura 114. Representación Esquemática de la Propagación del Oleaje en Régimen Medio en Aguas Bajas para la Dirección WNW, que Tiene una Frecuencia de Ocurrencia de 15.5%, Sitio 2

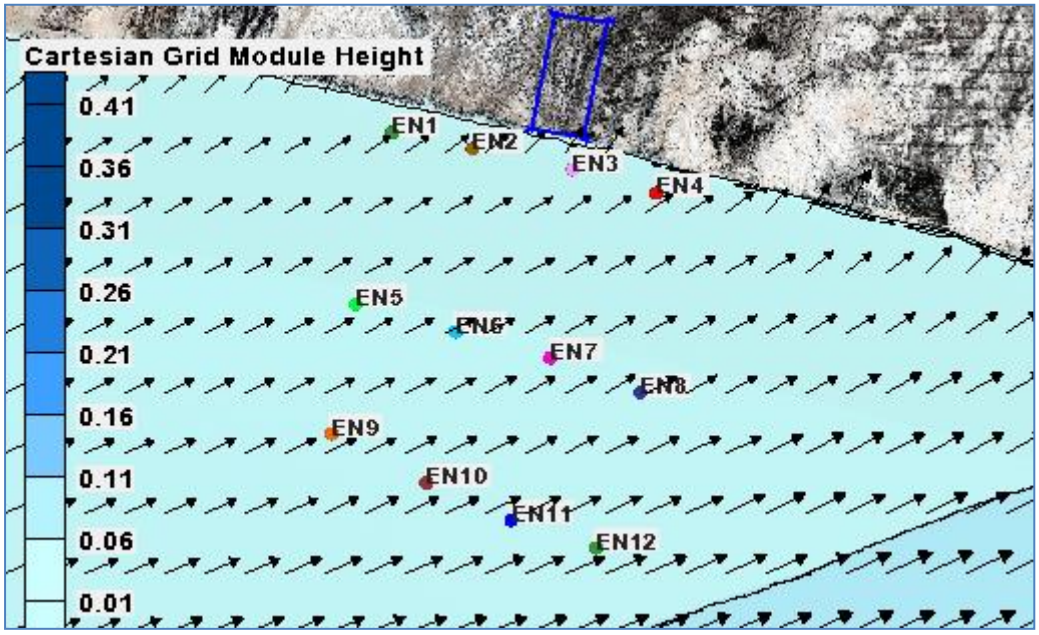


Figura 115. Representación Esquemática de la Propagación del Oleaje en Régimen Medio en Aguas Bajas para la Dirección NW, que Tiene una Frecuencia de Ocurrencia de 35.5%, Sitio 2

Oleaje extremo

En las siguientes figuras se muestran algunos de los resultados gráficos de la propagación del oleaje extremal desde aguas profundas para las diferentes direcciones de incidencia considerando una marea de tormenta de 1.4 m.

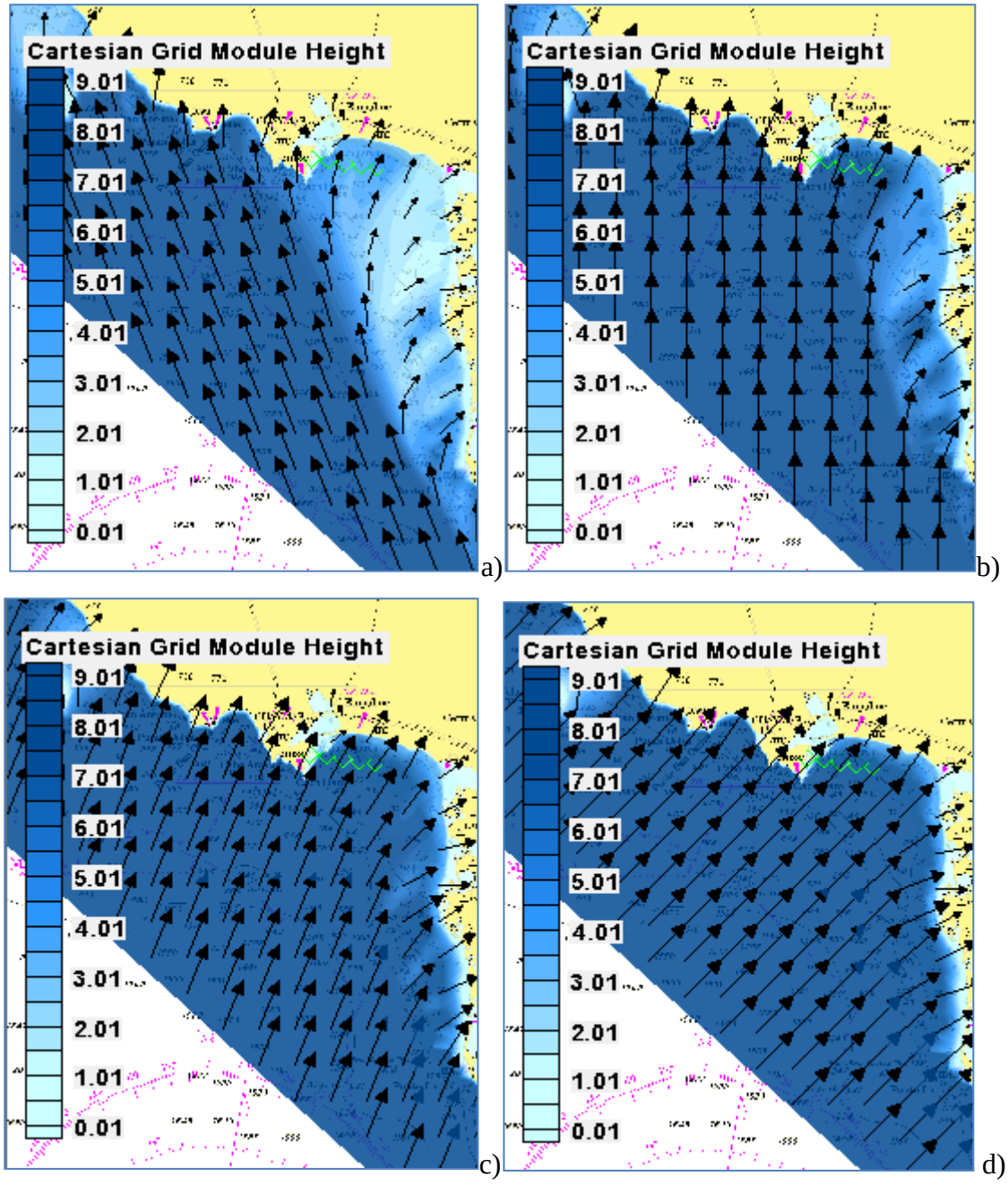
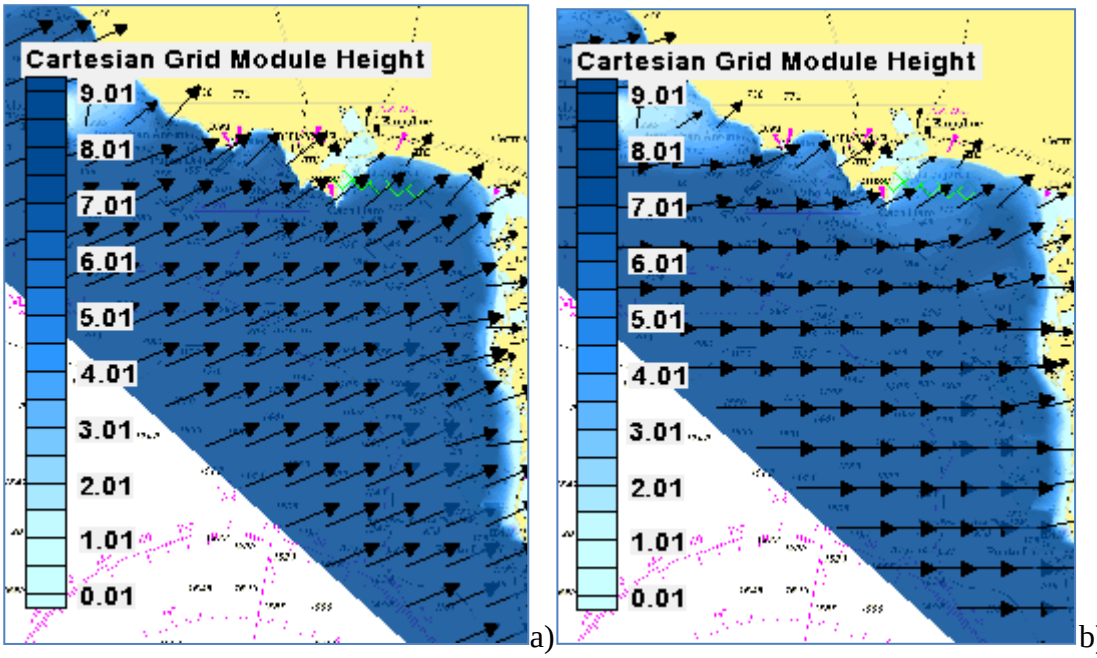


Figura 116. Representación de la Propagación del Oleaje de Aguas Profundas de a) SSE, b) S, c) SSW, d) SW Para Oleaje en Régimen Extremal, Sitio 2



a) b)

Figura 117. Representación de la Propagación del Oleaje de Aguas Profundas de a) WSW y b) W, Para Oleaje en Régimen Extremal, Sitio 2

De los resultados observados se puede establecer que bajo condiciones de régimen extremo, el oleaje que viene de las direcciones S a SW es el de mayor energía con alturas de oleaje de hasta 3 m a una profundidad de 4, 5 m a una profundidad de 7 y 6.5 m a la profundidad de 8 m.

Para todas las direcciones de incidencia de oleaje extremo, este llega oblicuo, con una inclinación de unos 20° respecto a la normal de la playa.

Tabla 34. Resultados de Propagación del Oleaje en Régimen Extremo Para las Todas las Direcciones Más Desfavorables, Medidos en el Modelo y Distribuidos Entre la Cota -4 y -8 m, Sitio 2

		He (m)												
Dir .	**Ocurr. (%)**	**H_0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
SSE	-	9.4	3.0	3.0	3.0	3.0	4.1	4.0	4.0	4.2	4.4	4	4.4	4.7
S	-	**9.4**	**3.0**	**3.1**	**3.0**	**3.2**	**5.0**	**5.0**	**4.6**	**5.0**	**6.2**	**5.5**	**5.9**	**6.3**
SSW	-	**9.4**	**3.0**	**3.1**	**3.1**	**3.2**	**5.4**	**5.6**	**4.6**	**4.8**	**6.3**	**5.5**	**5.9**	**6.4**
SW	-	**9.4**	**2.9**	**3.2**	**3.0**	**3.1**	**5.4**	**5.0**	**4.4**	**4.5**	**6.3**	**5.3**	**5.6**	**6.2**
WSW	-	9.4	3.0	3.2	3.0	3.1	5.2	4.9	4.3	4.3	5.9	5.2	5.4	5.9
W	-	9.4	2.8	3.0	3.0	3.0	4.3	4.3	4.0	4.0	4.9	4.5	4.7	5.2

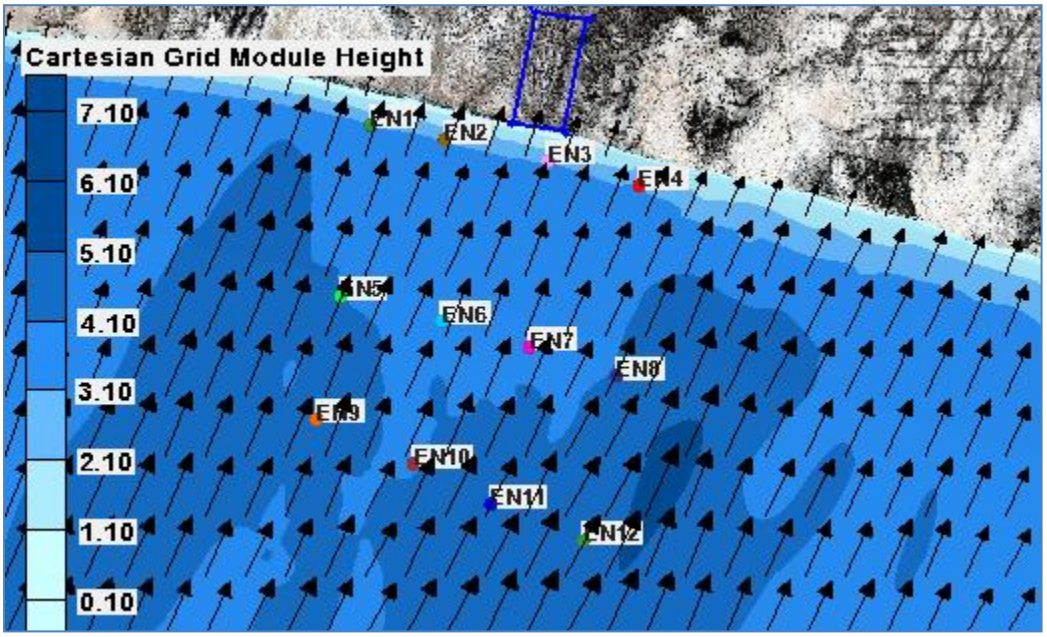


Figura 118. Representación de la Propagación del Oleaje Extremal en Aguas Bajas para a Dirección SSE, Sitio 2

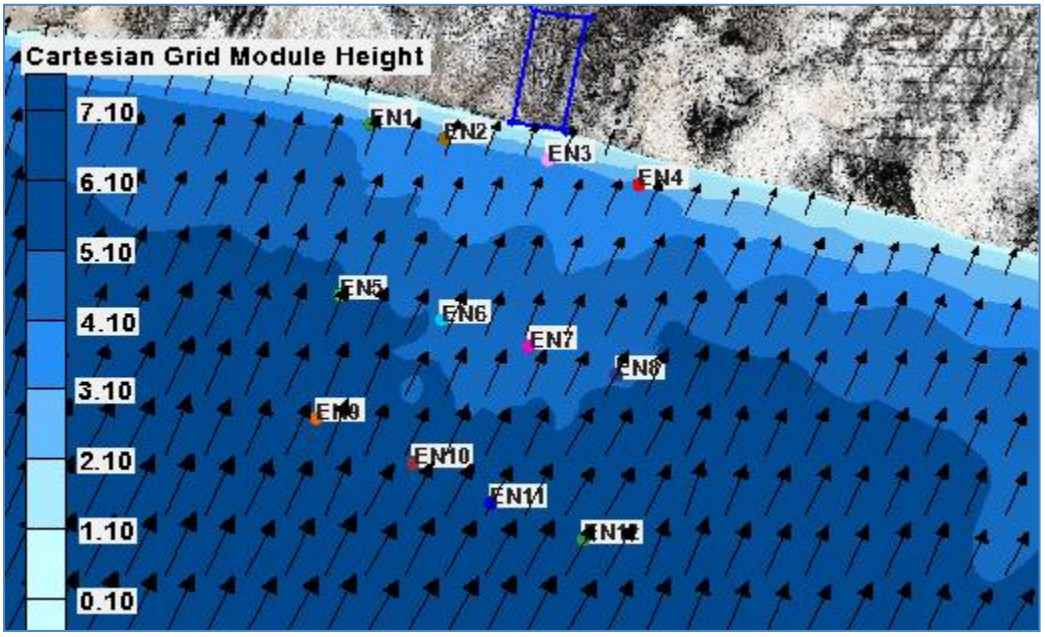


Figura 119. Representación de la Propagación del Oleaje Extremal en Aguas Bajas Para la Dirección S, Sitio 2

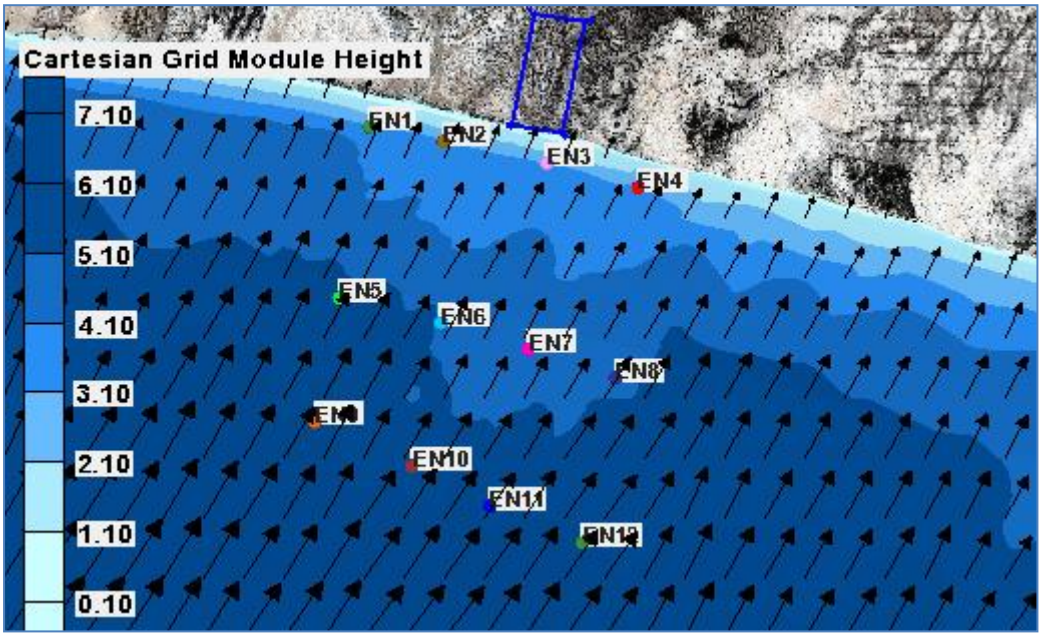


Figura 120. Representación de la Propagación del Oleaje Extremal en Aguas Bajas Para la Dirección SSW, Sitio 2

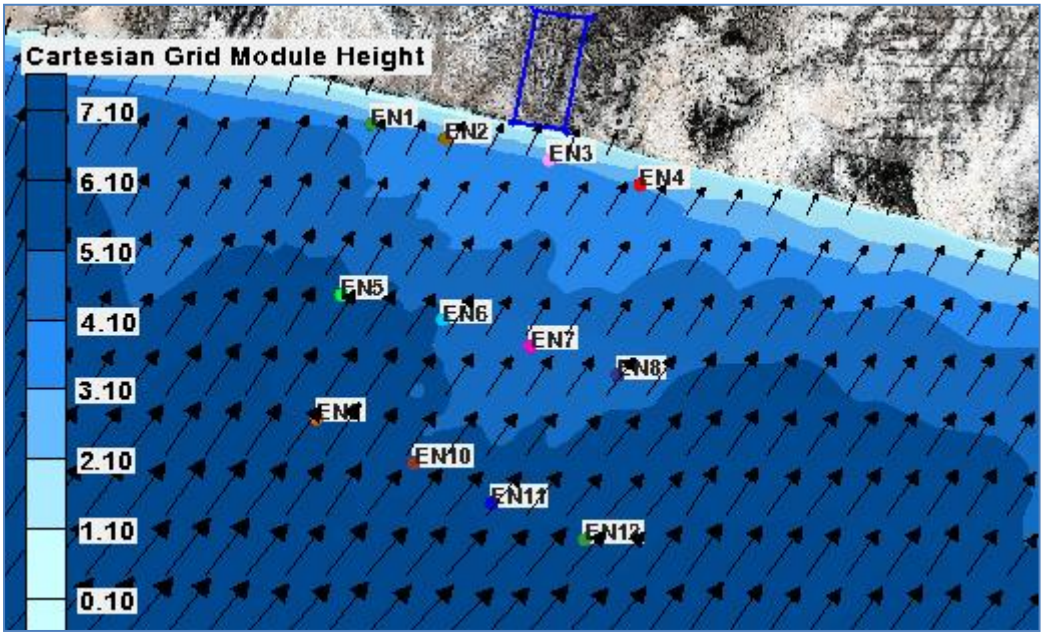


Figura 121. Representación de la Propagación del Oleaje Extremal en Aguas Bajas Para la Dirección SW, Sitio 2

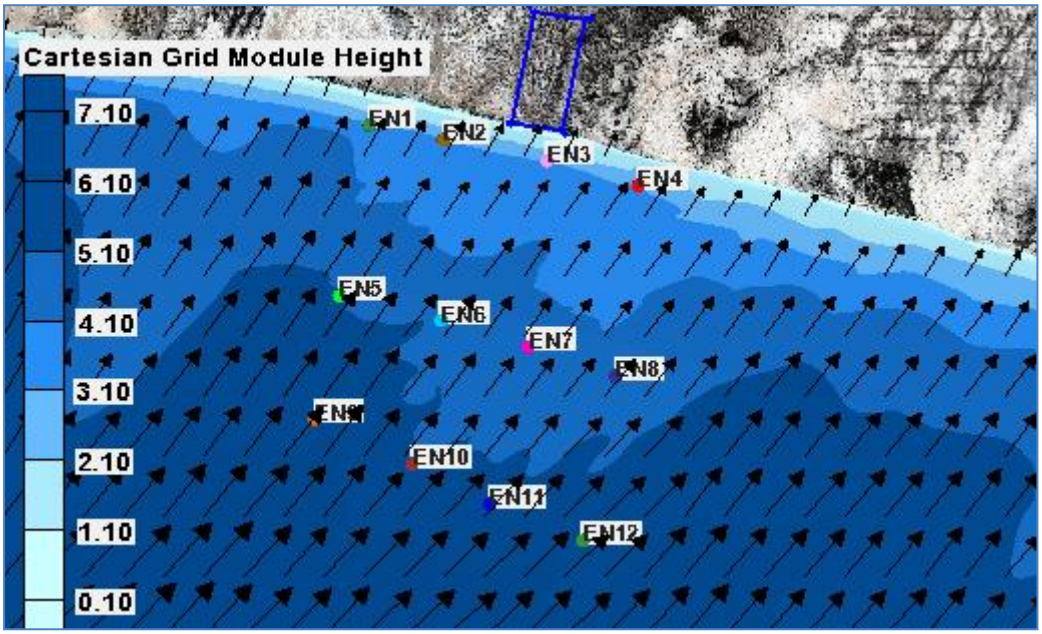


Figura 122. Representación de la Propagación del Oleaje Extremal en Aguas Bajas Para la Dirección WSW, Sitio 2

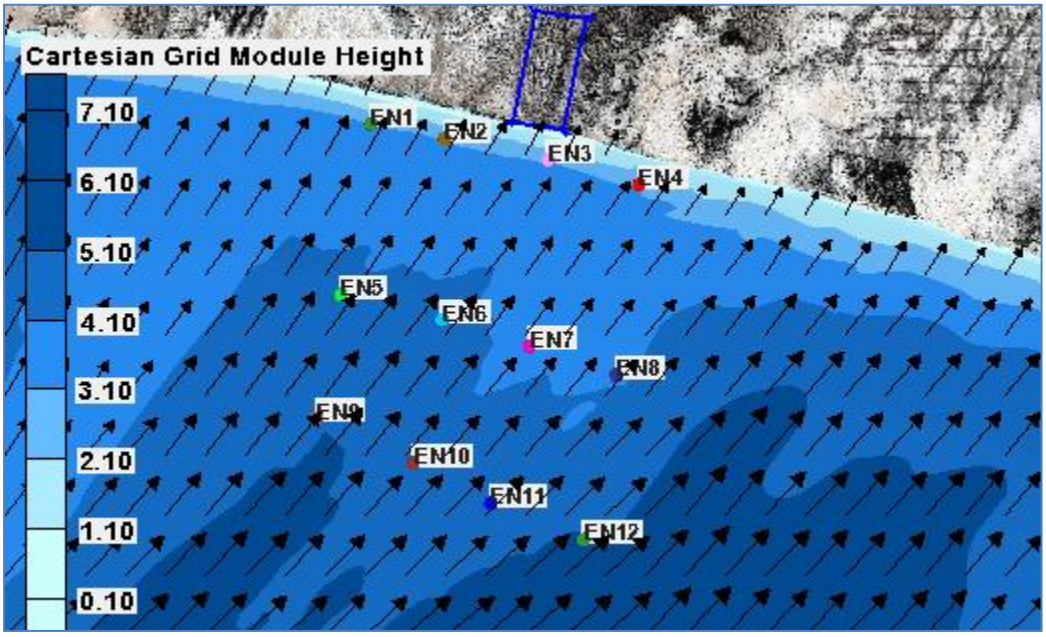


Figura 123. Representación de la Propagación del Oleaje Extremal en Aguas Bajas Para la Dirección W, Sitio 2

Modelación

Introducción

Con la información de mareas del sitio de interés, de vientos y oleaje y con el levantamiento batimétrico, se construyó la malla de cálculo para la modelación hidrodinámica. Con información de campo, específicamente la medición de corrientes se calibró el modelo en condiciones normales.

Los resultados del modelo hidrodinámico permitirán establecer criterios de diseño para definir el área de dilución de la descarga del emisor submarino.

Para el análisis se empleó un modelo acoplado CMS-WAVE y CMS-FLOW ideal para caracterizar la hidrodinámica en zonas cercanas a la costa, aguas intermedias y bajas, así como con influencia cercana de bocas litorales como la del sistema Guaymas-Empalme y bahía de Guásimas.

Descripción del Modelo

CMS-Flow y CMS-Wave son un componente del Sistema de Modelado Costero (CMS). Es un motor numérico de volumen-finito que incluye actualmente diversas capacidades de modelación bidimensional y que se operan con la interface Surface water Modelling System (SMS).

El modelo fue desarrollado por CIRP (Coastal Inlets Research Program) que administra el ejército de los Estados Unidos a través del CHL (Coastal and Hydraulics Laboratory).

Las características del modelo son:

CMS-FLOW - Simula los niveles de agua flujo bajo cualquier condición de marea, viento, oleaje y flujo de los ríos. El modelo resuelve la forma conservativa de las ecuaciones de aguas bajas e incluye los términos de coriolis, cortante del viento, energía del oleaje, fricción de fondo y difusión turbulenta.

Todas las ecuaciones se resuelven utilizando el método de volumen finito en una malla cartesiana no uniforme.

CMS-WAVE - Modelo de transformación de espectro de oleaje que resuelve en estado estático las ecuaciones de balance de acción del oleaje en una malla no uniforme cartesiana, simula la difracción, reflexión, zonas de generación del oleaje, disipación por fricción de fondo, rompiente, interacción de corrientes con oleaje, ascenso de la ola, rebase, y transmisión en estructuras.

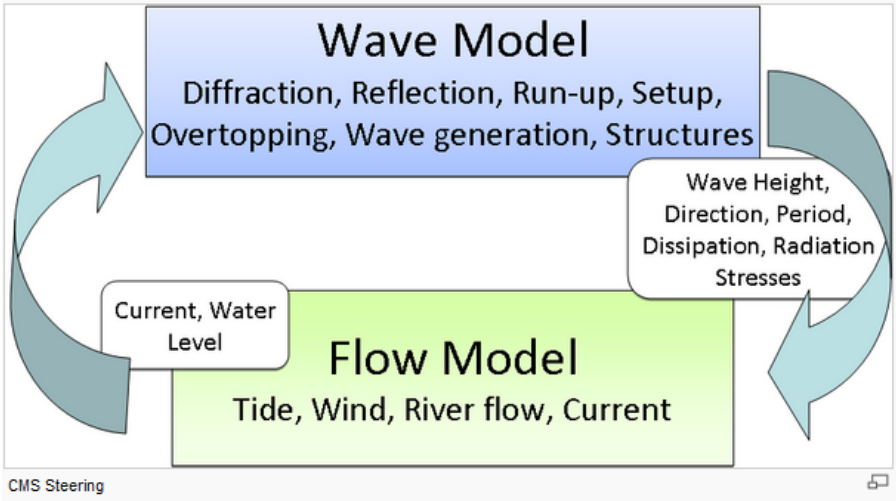


Figura 124. Diagrama de Acoplamiento de Modelos, Sitio 2

El dominio espacial se construyó con el Modelo Digital del Fondo Marino a partir de:

a) Batimetría del sitio de estudio de levantamiento 2016 (ambos sitios).

b) Batimetrías cercanas (Zona de Guaymas Empalme)

c) Cartas náuticas S.M. 233.3, S-M. 233.5 y S.M. 200.

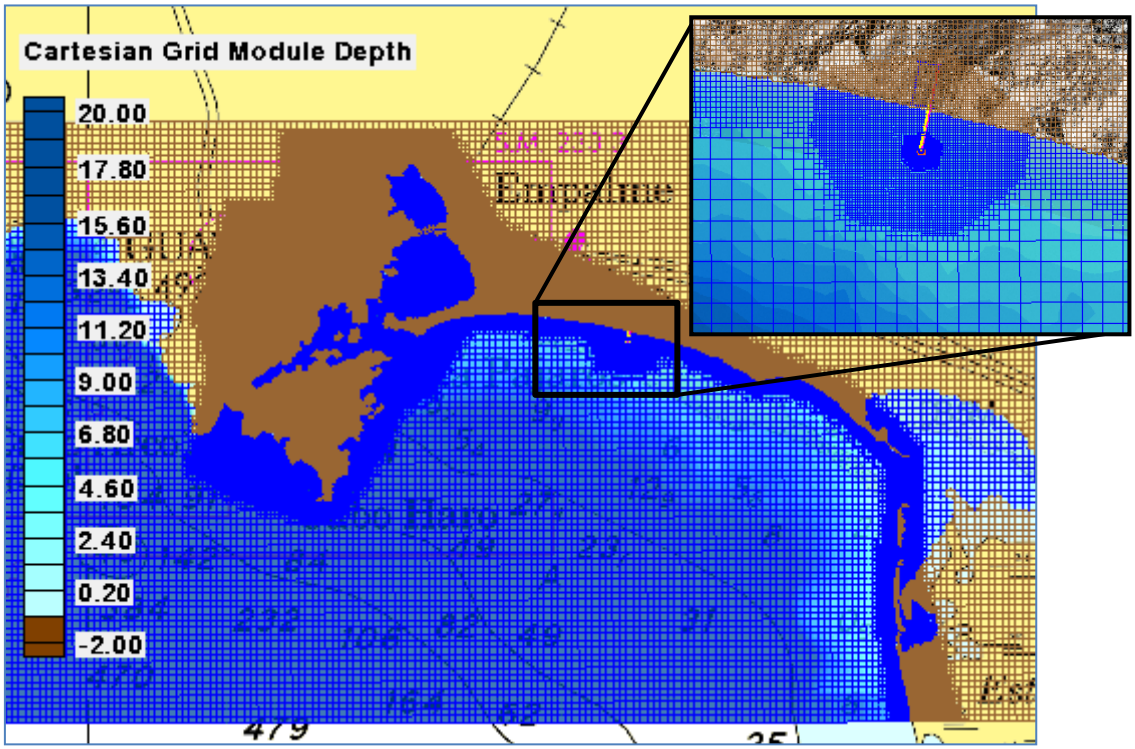


Figura 125. Dominio del Modelo Hidrodinámico, Sitio 2

Para facilitar su calibración se alejaron las fronteras de oleaje y marea varios kilómetros, también se construyó un dominio extenso para identificar si existe influencia de los chorros de flujo y reflujo de las bocas.

Se construyó una malla telescópica con 66,315 celdas de 320 x 320 m en zonas generales 40 x 40 m en zona de influencia y 2.50 x 2.50 m en la zona de estudio.

Forzantes del Modelo

Marea.

La forzante de marea se ingresó como una serie de tiempo de 240 horas representativa de los ciclos mensuales del sitio de estudio (marea viva y muerta).

	time(hrs)	wse(m)
1	0.0	0.19349
2	1.0	0.37971
3	2.0	0.58965
4	3.0	0.7879
5	4.0	0.92954
6	5.0	0.98729
7	6.0	0.9697
8	7.0	0.91317
9	8.0	0.86027
10	9.0	0.84089
11	10.0	0.8611
12	11.0	0.90473
13	12.0	0.95121
14	13.0	0.99293
15	14.0	1.02812

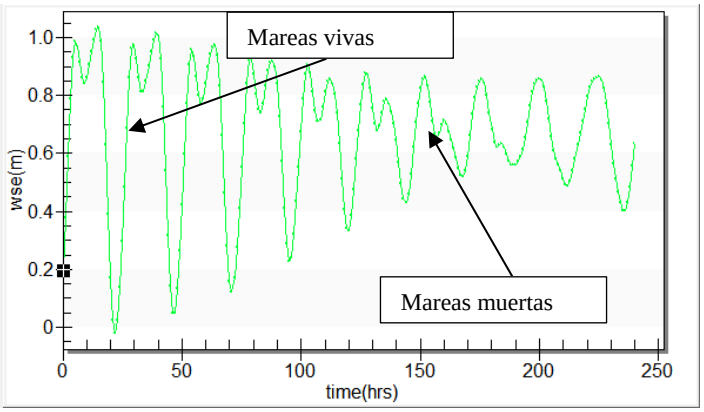


Figura 126. Forzante de Marea, Sitio 2

Forzante de Viento

El viento se ingresó como una constante en la malla para las 2 principales direcciones mensuales.

Tabla 35. Forzante de Viento, Sitio 2

Velocidades Medias del Viento por Direcciones Principales (m/s)												
Mes	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Dir °	315	315	315	315	315	135	157.5	157.5	315	315	315	315
1ra	7	6.7	5.7	6.2	5	6.2	5.5	5.2	5.4	5.5	6.7	7
Dir °	292.5	292.5	292.5	292.5	292.5	157.5	135	135	292.5	292.5	337.5	337.5
2da		6.5	5.5	5.8	4.5	6	4.8	4.5	5.5	6.5	6.2	6.7
Dir °	-	-	-	-	-	315	180	180	157.5	-	-	-
3ra	-	-	-	-	-	5.2	4.5	4.2	5	-	-	-

Forzante de Oleaje

El oleaje se ingresó como una constante mensual para las principales direcciones de incidencia, propagado desde aguas profundas empleando una malla anidada o encadenada.

Tabla 36. Altura Media Mensual del Oleaje por Dirección, Sitio 2

Hs y Tp del Oleaje por Direcciones Principales (m/s)												
Mes	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Dir °	315	315	315	315	157.5	157.5	157.5	157.5	157.5	315	315	315
1ra	0.65 4.5	0.50 4	0.65 4	0.7 4	0.3 3.5	0.4 4	0.4 4.5	0.3 5	0.3 5	0.6 4	0.7 4	0.7 4
Dir °	-	-	292.5	157.5	-	-	-	-	-	292.5	157.5	
2da	-	-	0.45	0.5	-	-	-	-	-	0.45	0.1	

			4	3.5						3	8.5	
Dir °	-	-	157.5	292.5	-	-	-	-	-	157.5	-	-
3ra	-	-	0.159	0.159	-	-	-	-	-	0.159	-	-

Análisis de Sensibilidad y Calibración

El análisis de sensibilidad es una etapa importante para obtener una buena calibración, esta comprende la realización de varias corridas con las mismas condiciones de fronteras y variando solo un parámetro a la vez para conocer su comportamiento.

En la etapa de calibración, los parámetros que nos permitirán lograr una simulación similar a la del prototipo son la RUGOSIDAD y PARÁMETRO DE TURBULENCIA y por lo tanto son los parámetros que se analizaron esta etapa.

Para esta etapa de calibración se efectuó la comparación de la medición de corrientes en el sitio de estudio entre 5 y 10 m de profundidad respecto de los datos del modelo, empleando para ello datos de mareas, vientos y oleaje de esas fechas, se ajustan los parámetros de rugosidad y turbulencia para obtener magnitudes de velocidad de flujo similares a los de campo.

Resultados

Una vez calibrado el modelo, se procedió a realizar el análisis de los diferentes escenarios por medio de estaciones de medición en la zona de estudio en tres puntos (Point1 a -2.5 m, Point2 a -5 m y Point3 a -8 m).

Para analizar la influencia de la marea, viento y oleaje, se efectuaron inicialmente simulaciones con las siguientes combinaciones:

→Simulación hidrodinámica solo por marea

→Simulación hidrodinámica por marea y viento

→Simulación hidrodinámica por marea, viento y oleaje.

De acuerdo con el análisis general de la hidrodinámica en la zona de estudio, los resultados muestran que el gradiente de marea induce patrones de corrientes que tienen mayor influencia en las bocas, debido a la fuerza hidráulica que se forma en los flujos y reflujos, sin embargo; en el frente marítimo o mar abierto donde se ubica el sitio de estudio, no tiene la energía suficiente para establecer un patrón de corrientes dominante. Los resultados muestran que las mareas vivas generan una mayor variación de las magnitudes de velocidades, mientras que con mareas muertas la hidrodinámica queda dominada principalmente por el viento.

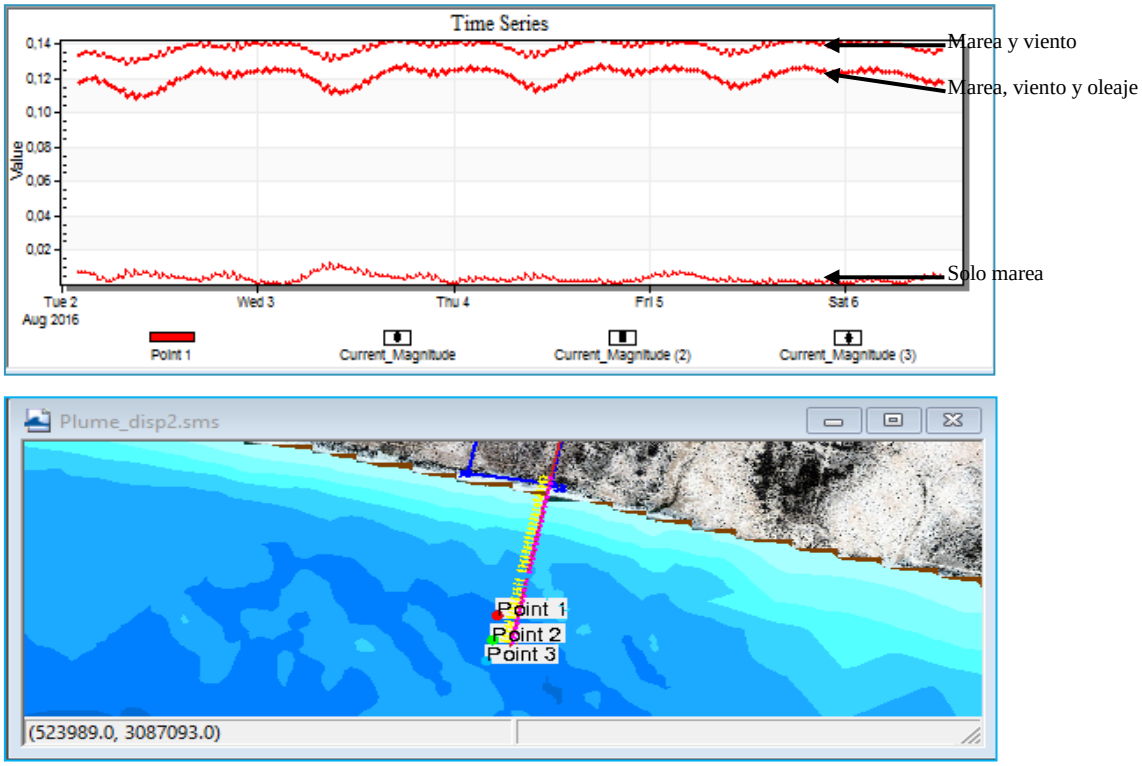


Figura 127. Serie de Magnitudes de Velocidad en el Tiempo para el Punto Cercano a la Costa (Point1) -2.5 m de Profundidad, Sitio 2

Las simulaciones muestran que el viento es la forzante principal que establece los patrones de corrientes en la zona de estudio. El viento de acuerdo a la dirección de incidencia, puede incrementar las magnitudes de velocidades hasta diez veces respecto de cuando solo se tiene como forzante la marea.

Finalmente, el oleaje en la zona de estudio es un elemento poco energético debido a que la altura es menor a 15 cm en el sitio y zona de influencia, este no tiene influencia en definir los patrones de corrientes, sin embargo; en aguas bajas (<2.5 m de profundidad), las velocidades disminuyen ligeramente, mientras que hacia aguas intermedias su influencia es mínima.

Con base en los resultados obtenidos con las simulaciones combinando las forzantes marea, viento y oleaje; se puede establecer que el viento es la forzante principal que induce los patrones de corrientes en la zona de estudio, por lo cual; es indispensable simular las direcciones principales de incidencia mensual del viento.

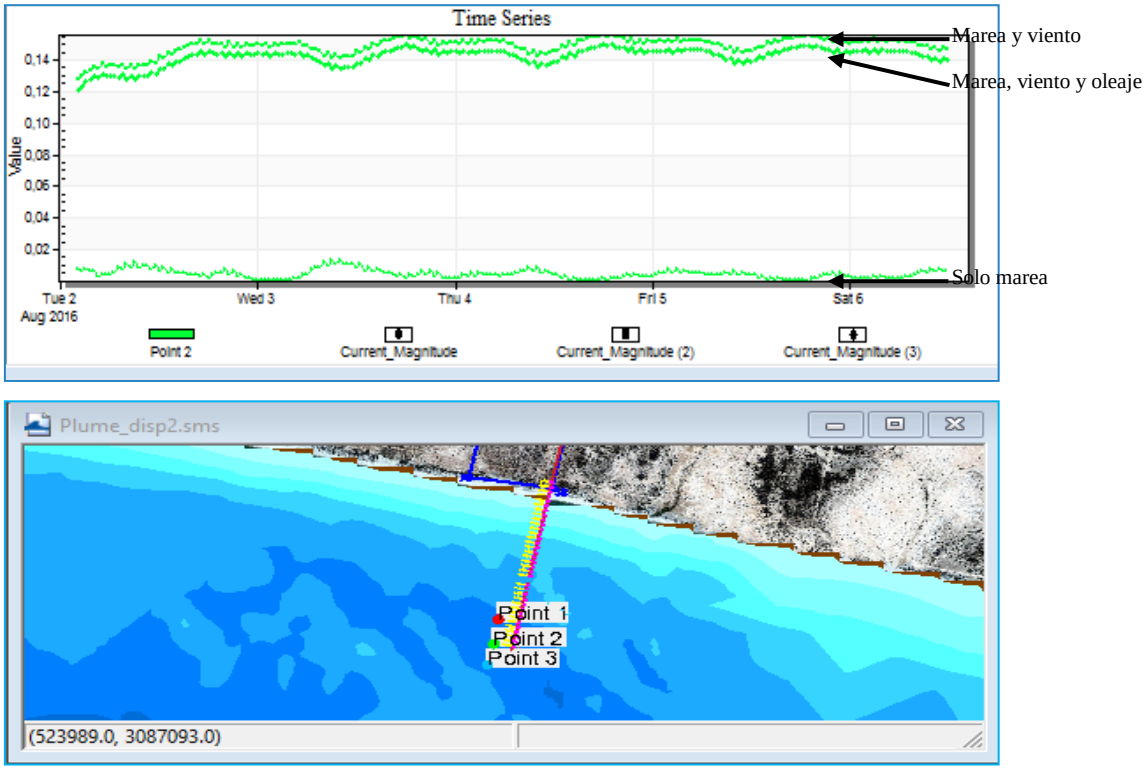


Figura 128. Serie de Magnitudes de Velocidad en el Tiempo Cercano a la Costa (Point2) -5 m de Profundidad, Sitio 2

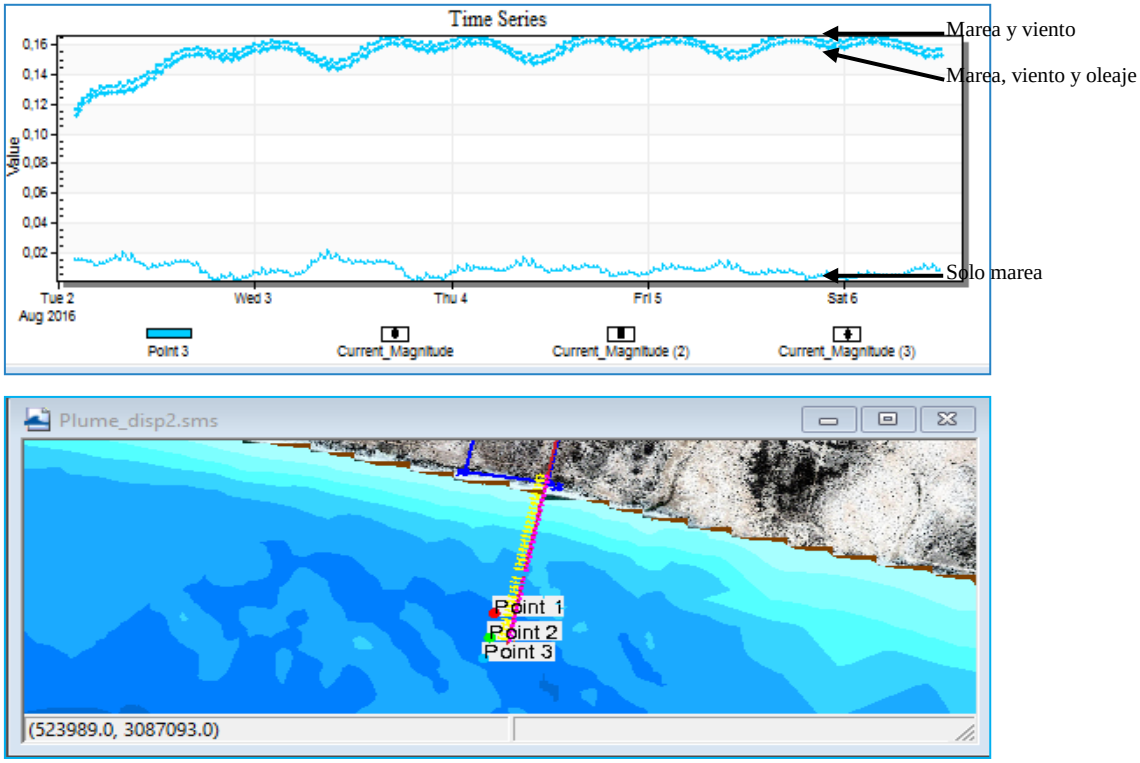


Figura 129. Serie de Magnitudes de Velocidad en el Tiempo para Aguas Intermedias (Point3) -8 m de Profundidad, Sitio 2

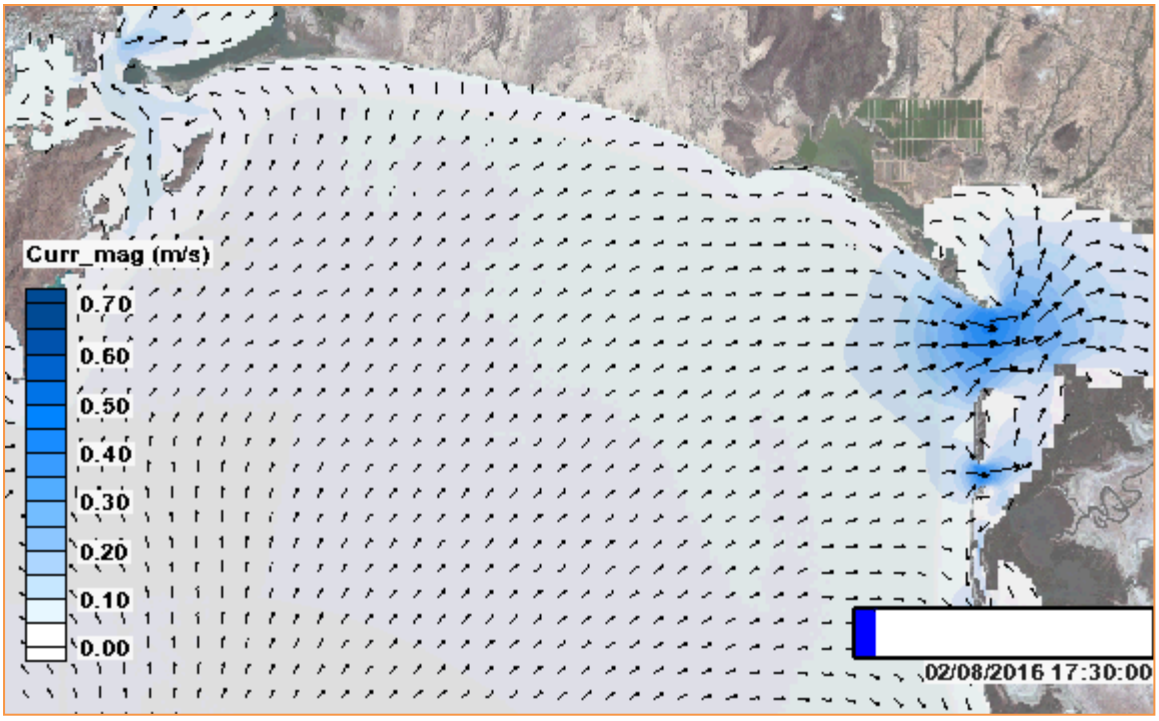


Figura 130. Patrones de Corrientes Generales en la Zona de Estudio para Forzante de Marea Solamente, Sitio 2

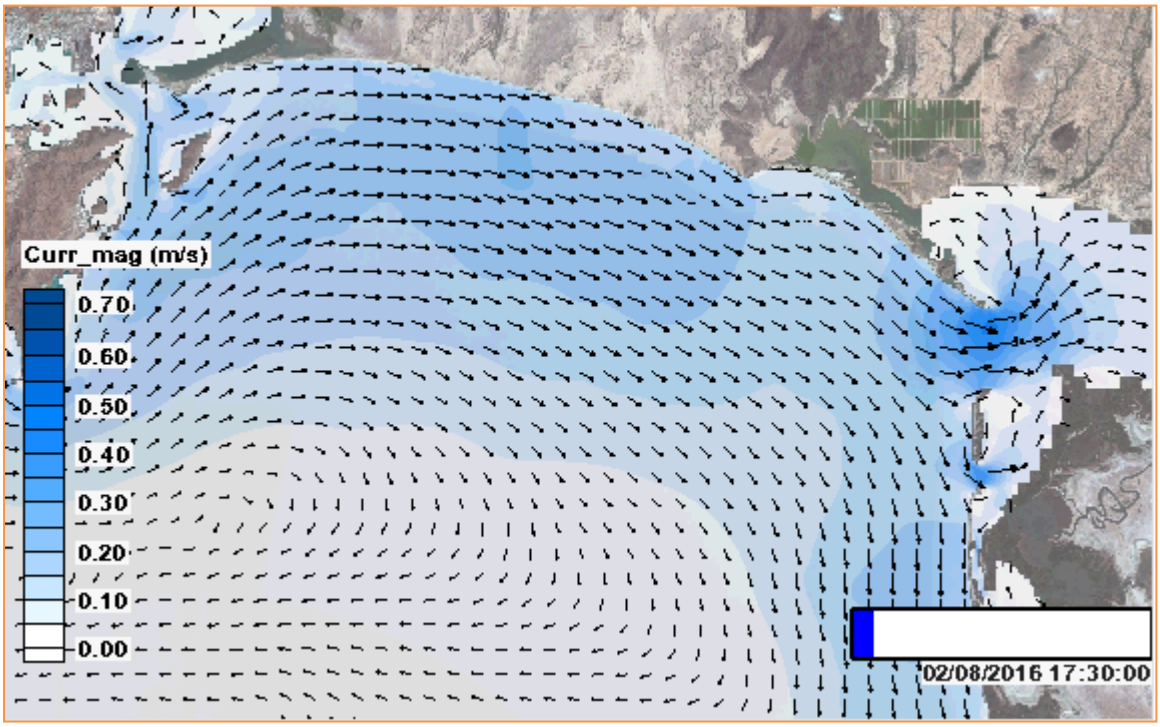


Figura 131. Patrones de Corrientes Generales en la Zona de Estudio para Forzante de Marea y Viento, Sitio 2

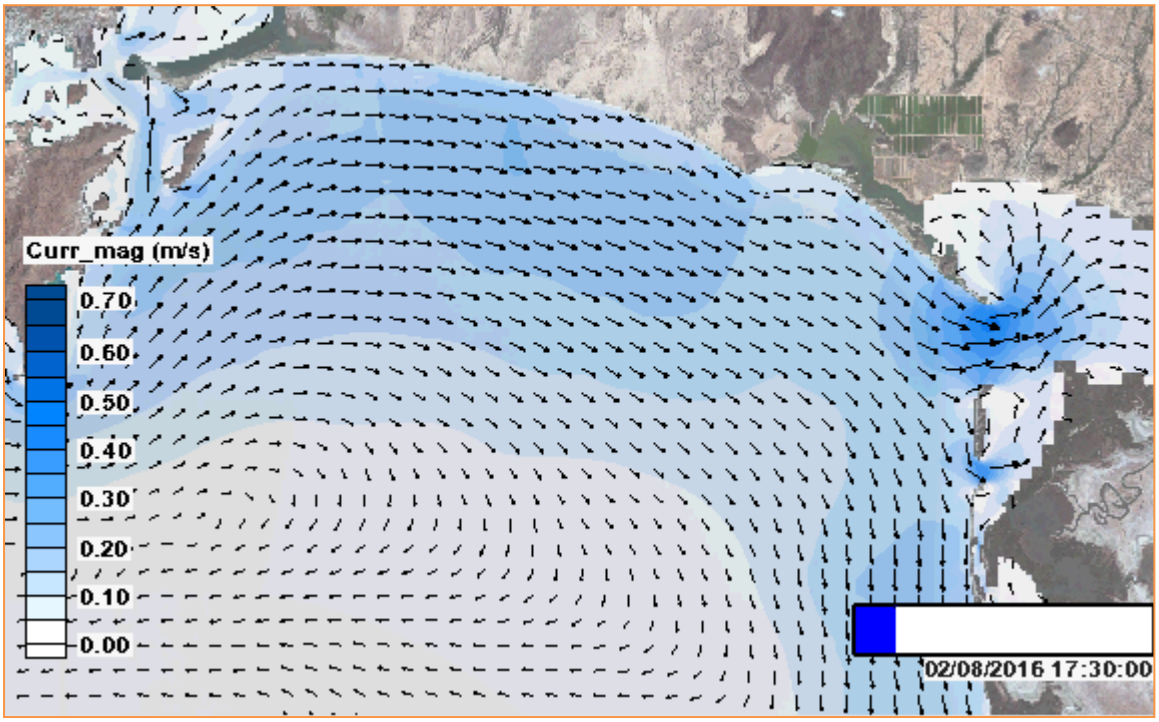


Figura 132. Patrones de Corrientes Generales en la Zona de Estudio para Forzante de Marea, Viento y Oleaje, Sitio 2

Al analizar las magnitudes de velocidades a través de las mediciones efectuadas en las **estaciones del modelo cercanas a la descarga Point 1 (1+200), Point 2 (1+300) y point 3 (1+400)**, para la principal dirección de incidencia del viento (315° y 7 m/s) en los meses de **diciembre y enero**, las magnitudes de velocidad en la zona de estudio se ubican en promedio en 16 cm/s. La variación de la marea viva inducen variaciones de las velocidades hasta de 1 cm/s. La dirección de la corriente es paralela a la costa en dirección ESE, inclusive cuando cambia la marea de flujo a reflujo o viceversa.

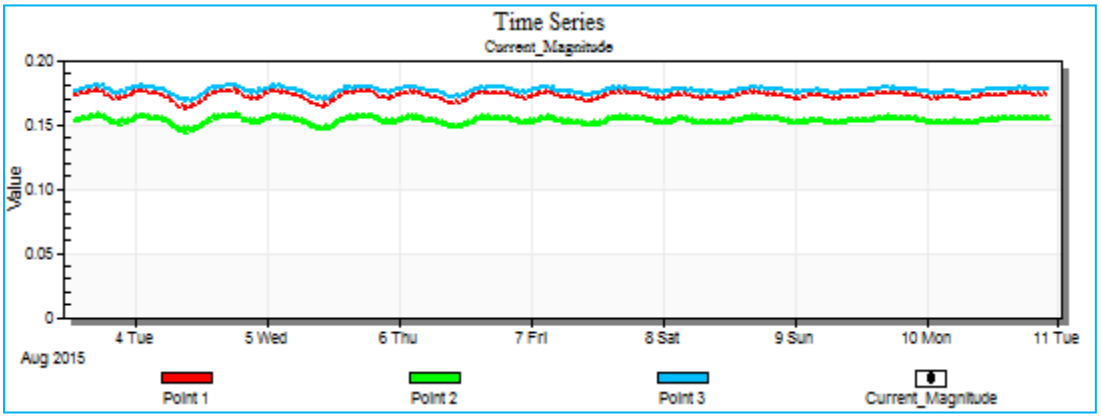


Figura 133. Magnitudes de Velocidad para la Dirección Principal del Viento (315° y 7 m/s) Que Se Presenta de Diciembre y Enero, Sitio 2

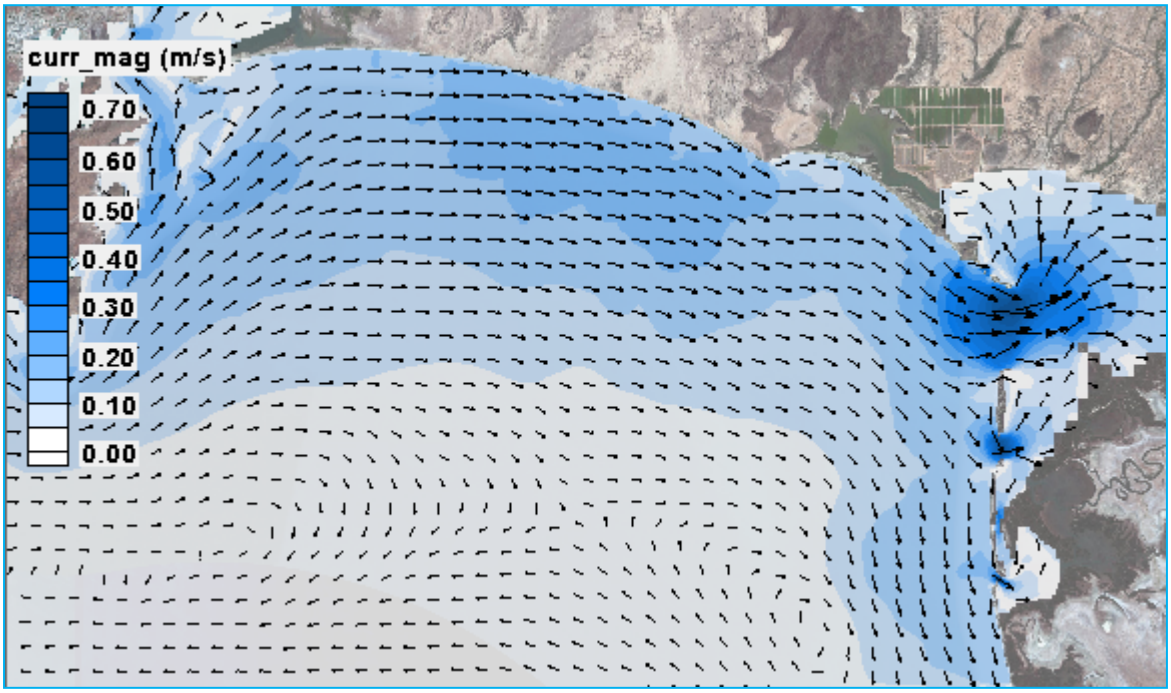


Figura 134. Patrón de Corrientes al Presentarse la Pleamar para la Principal Dirección del Viento de Diciembre y Enero (315° y 7m/s), Sitio 2

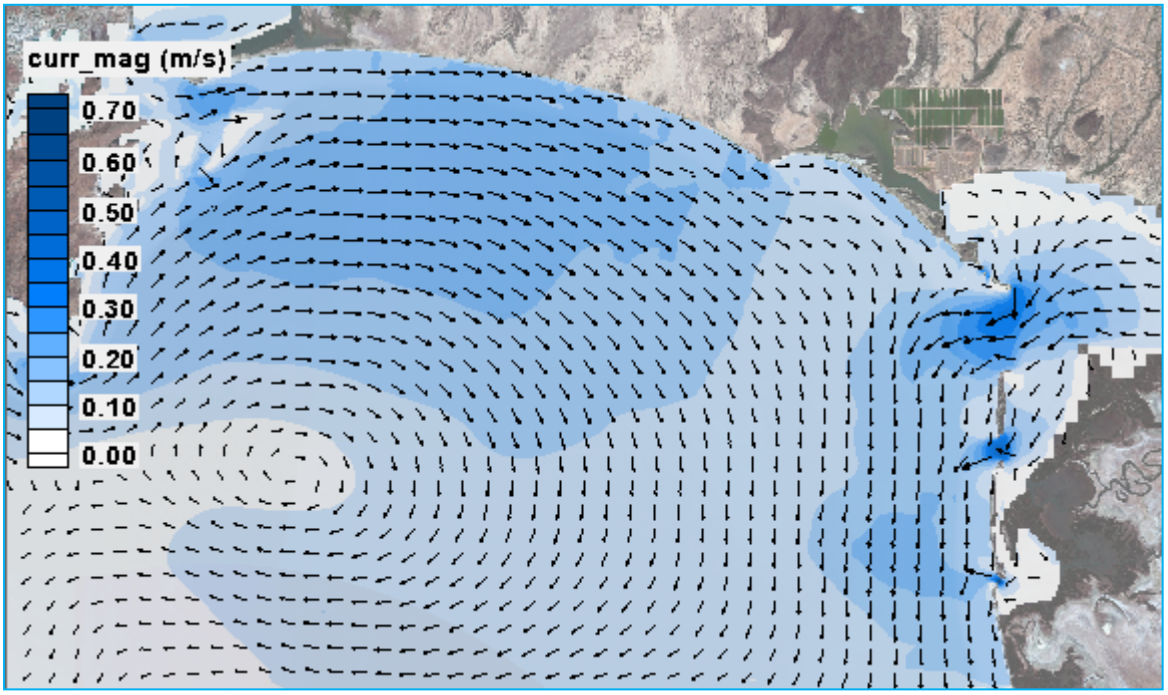


Figura 135. Patrón de Corrientes al Presentarse la Bajamar para la Principal Dirección del Viento de Diciembre y Enero (315° y 7m/s), Sitio 2

Al analizar las magnitudes de velocidades a través de las mediciones efectuadas en las estaciones del modelo para la principal dirección de incidencia del viento (315° y 6.5 m/s) en el mes de **febrero**, **abril** y **noviembre**, las magnitudes de velocidad en la zona de estudio se ubican en el rango de 15 cm/s, lo que significa que una disminución de la

velocidad de 0.5 m/s en el viento reduce ~1 cm/s las corrientes. La dirección de la corriente es paralela a la costa en dirección ESE, inclusive cuando cambia la marea de flujo a reflujo o viceversa.

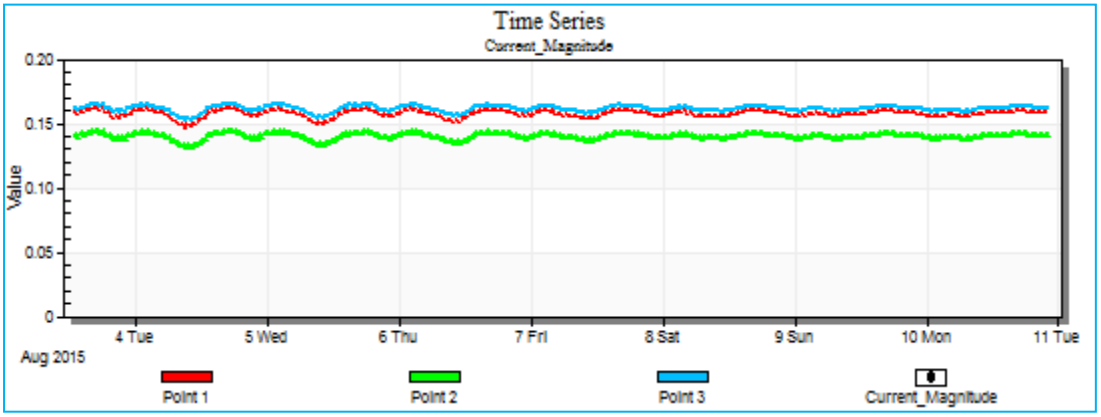


Figura 136. Magnitudes de Velocidad para la Dirección Principal del Viento (315° y 6.5 m/s) que se Presenta en Febrero, Abril y Noviembre, Sitio 2

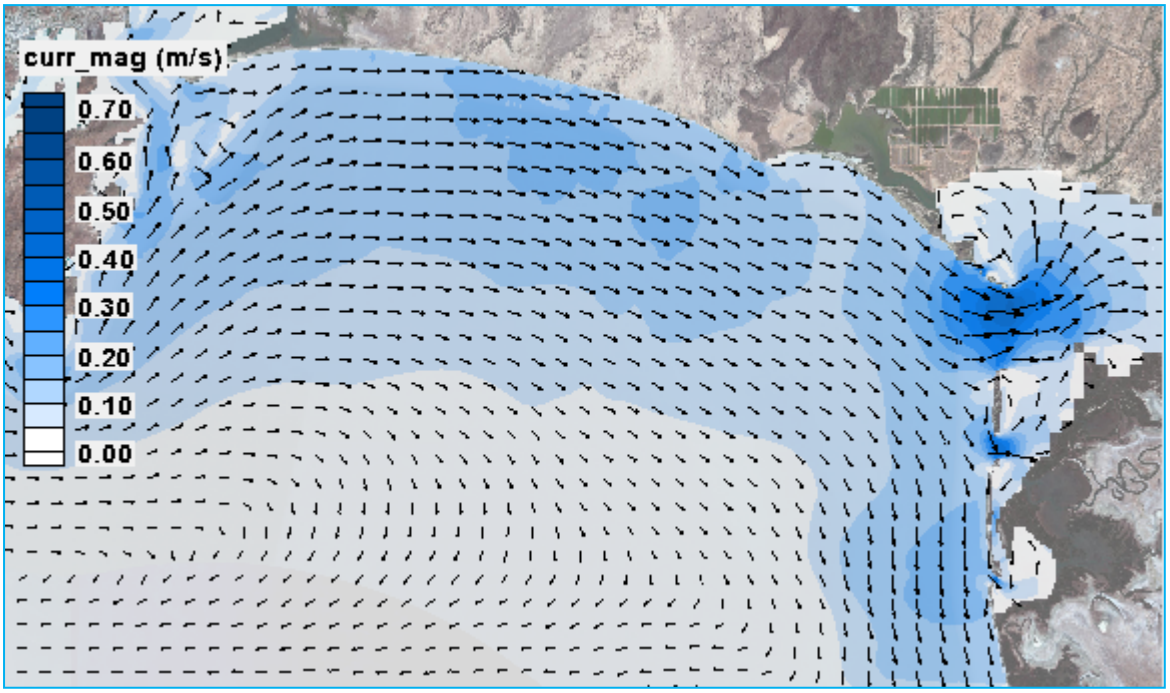


Figura 137. Patrón de Corrientes al Presentarse la Pleamar para la Principal Dirección del Viento en el Mes de Febrero, Abril y Noviembre (315° y 6.5 m/s), Sitio 2

Al analizar las magnitudes de velocidades a través de las mediciones efectuadas en las estaciones del modelo para la principal dirección de incidencia del viento (315° y 5.5 m/s) en los meses de **marzo, septiembre y octubre**, las magnitudes de velocidad en la zona de estudio se ubican en promedio en 13 cm/s. La variación de la marea viva inducen variaciones de las velocidades hasta de 1 cm/s. La dirección de la corriente es paralela a la costa en dirección ESE, inclusive cuando cambia la marea de flujo a reflujo o viceversa.

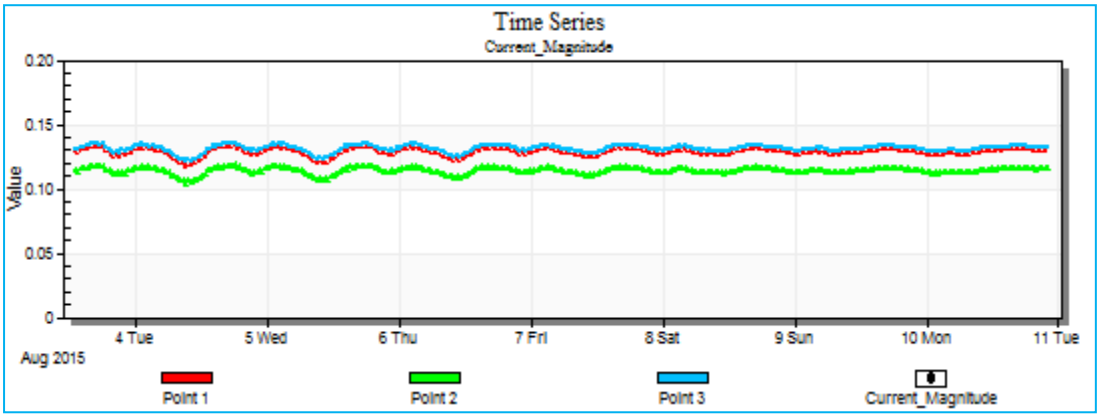


Figura 138. Magnitudes de Velocidad para la Dirección Principal del Viento (315° y 5.5 m/s) que se Presenta de Marzo, Septiembre y Octubre, Sitio 2

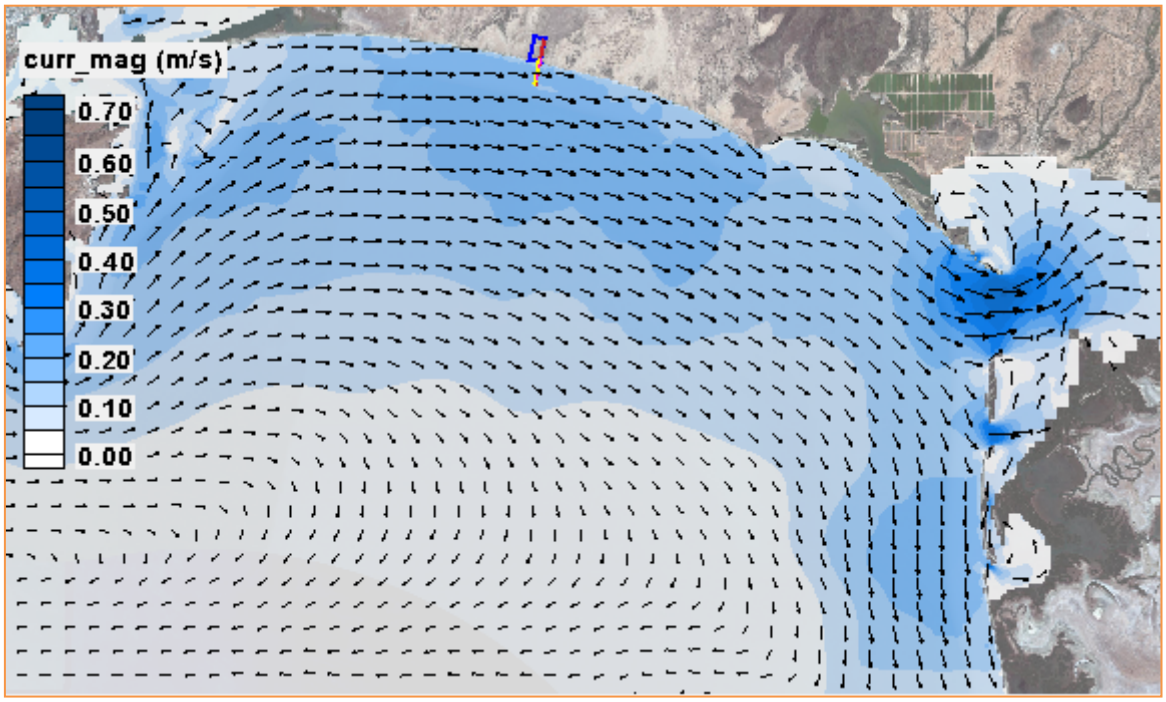


Figura 139. Patrón de Corrientes al Presentarse la Pleamar para la Principal Dirección del Viento de Marzo, Septiembre y Octubre (315° y 5.5 m/s), Sitio 2

Al analizar las magnitudes de velocidades a través de las mediciones efectuadas en las estaciones del modelo para la principal dirección de incidencia del viento (315° y 5 m/s) en el mes de **mayo**, las magnitudes de velocidad en la zona de estudio se ubican en promedio en 11 cm/s. La dirección de la corriente es paralela a la costa en dirección ESE, inclusive cuando cambia la marea de flujo a reflujo o viceversa.

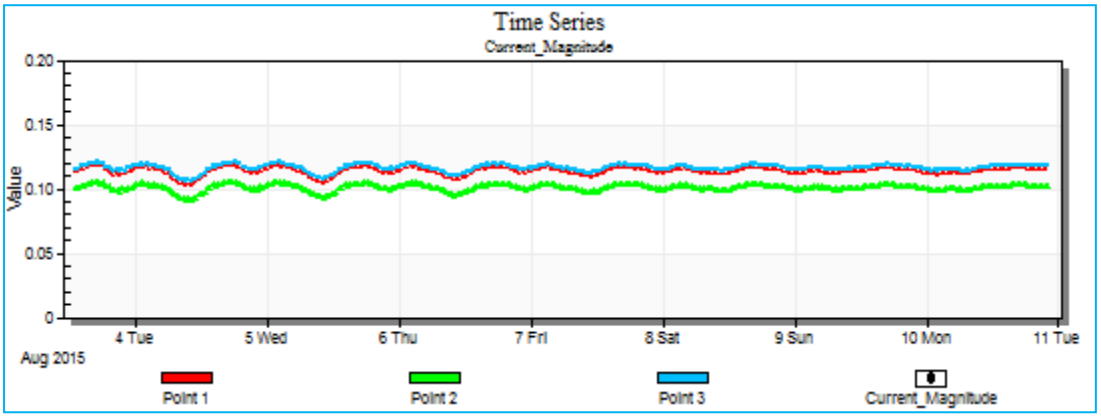


Figura 140. Magnitudes de Velocidad para la Dirección Principal del Viento (315° y 5 m/s) que se Presenta en Mayo, Sitio 2

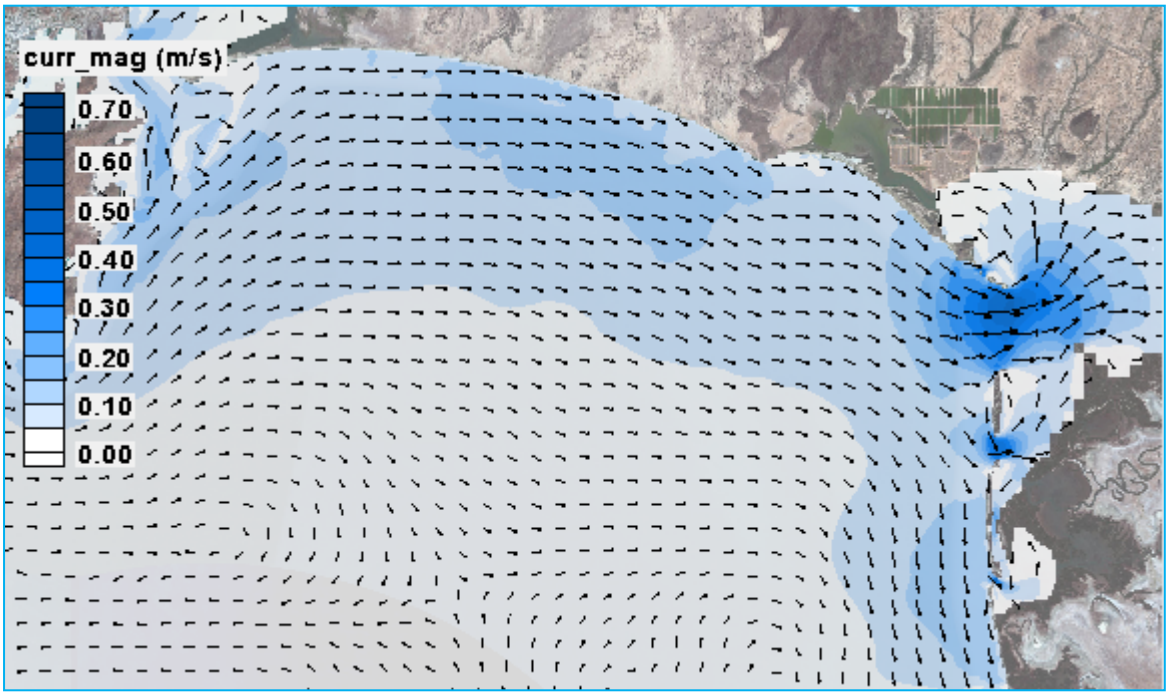


Figura 141. Patrón de Corrientes al Presentarse la Pleamar para la Principal Dirección del Viento de Mayo (315° y 5 m/s), Sitio 2

Al analizar las magnitudes de velocidades a través de las mediciones efectuadas en las estaciones del modelo para la principal dirección de incidencia del viento (135° y 6.2 m/s) en el mes de **junio**, las magnitudes de velocidad en la zona de estudio se ubican en el rango de 12 cm/s. La corriente tiene una mayor magnitud de velocidad al presentarse la bajamar, influenciada por el chorro de reflujo de la bahía Guásimas. La dirección de la corriente es paralela a la costa en dirección WNW.

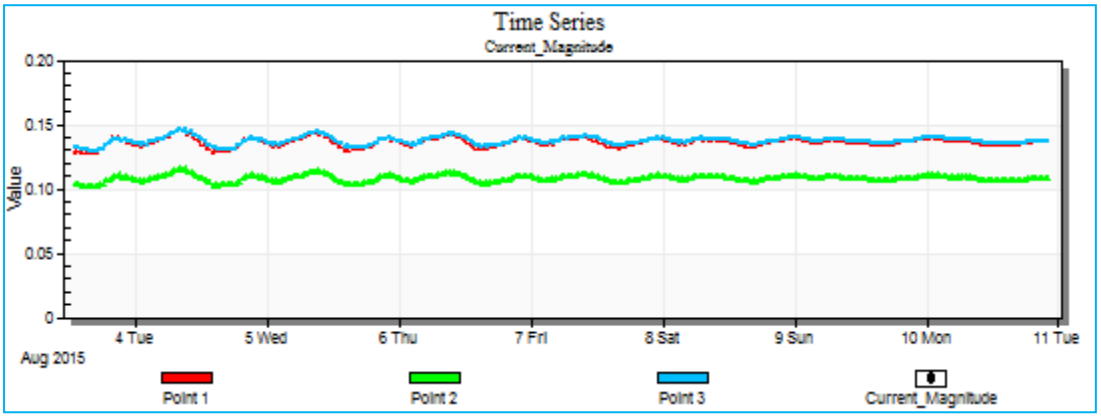


Figura 142. Magnitudes de Velocidad para la Dirección Principal del Viento (135° y 6.2 m/s) que se Presenta en Junio, Sitio 2

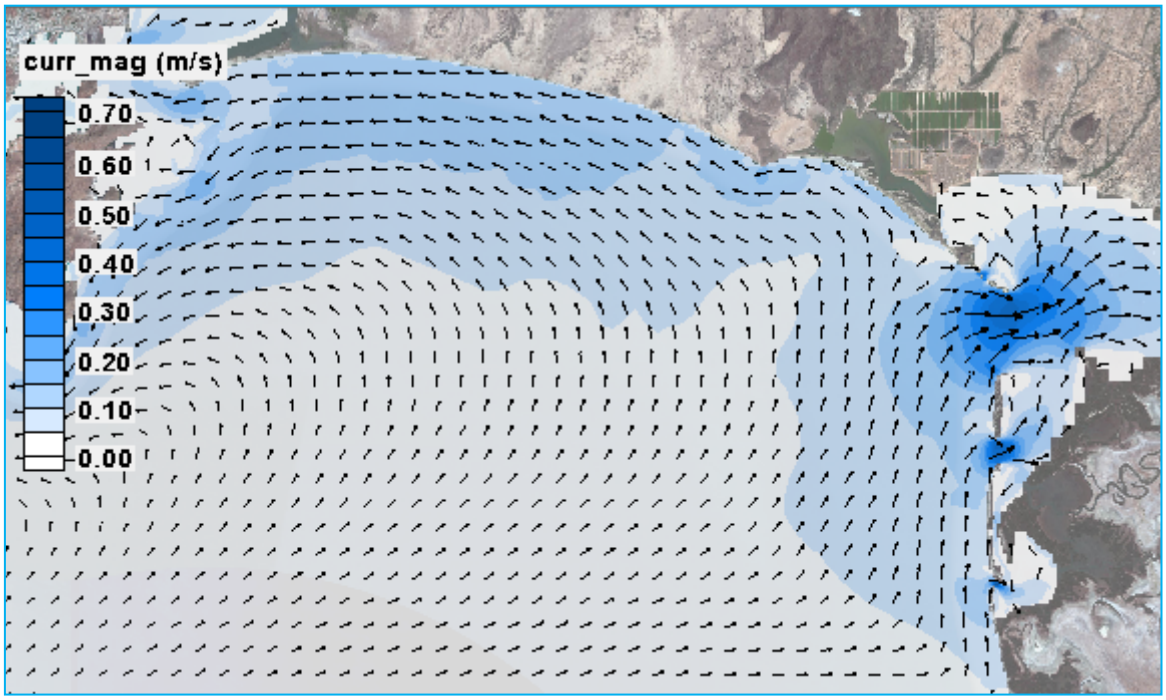


Figura 143. Patrón de Corrientes al Presentarse la Pleamar para la Principal Dirección del Viento en el Mes de Junio (135° y 6 m/s), Sitio 2

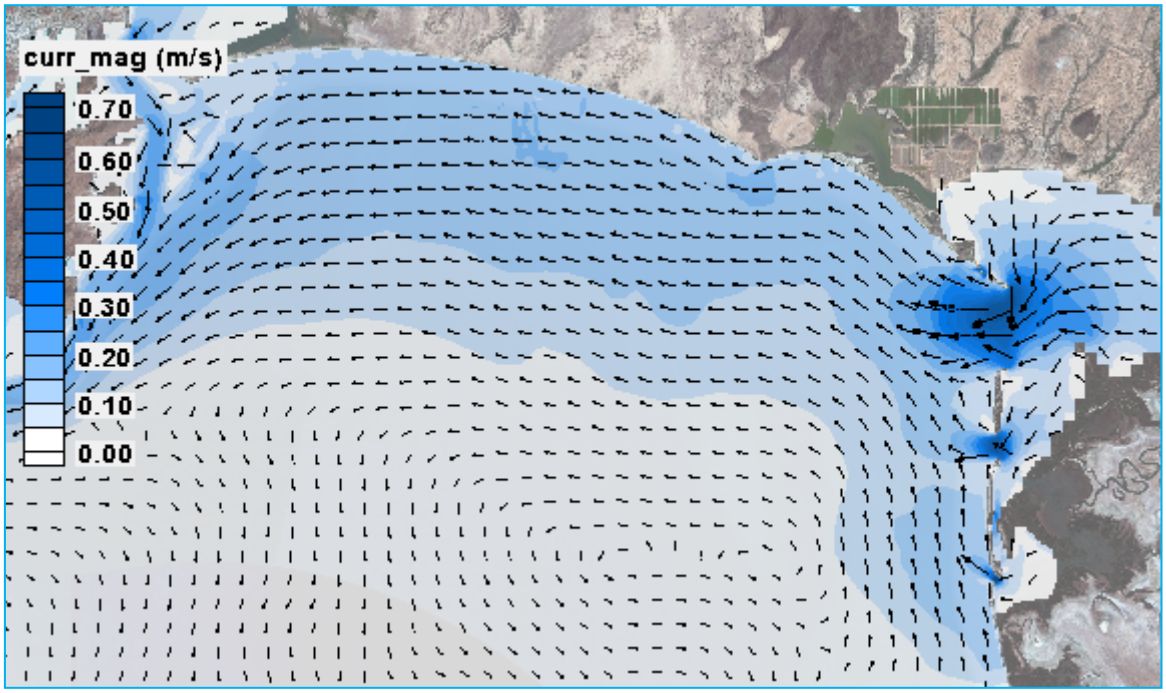


Figura 144. Patrón de Corrientes al Presentarse la Bajamar para la Principal Dirección del Viento en el Mes de Junio (135° y 6 m/s), Sitio 2

Al analizar las magnitudes de velocidades a través de las mediciones efectuadas en las estaciones del modelo para la principal dirección de incidencia del viento (157.5° y 5.5 m/s) en los meses de **julio y agosto**, además de la tercera dirección de septiembre, las magnitudes de velocidad se ubican en el rango de 9 cm/s. La corriente tiene una mayor magnitud de velocidad al presentarse la bajamar, influenciada por el chorro de reflujo de la bahía Guásimas. La dirección de la corriente es paralela a la costa en dirección WNW.

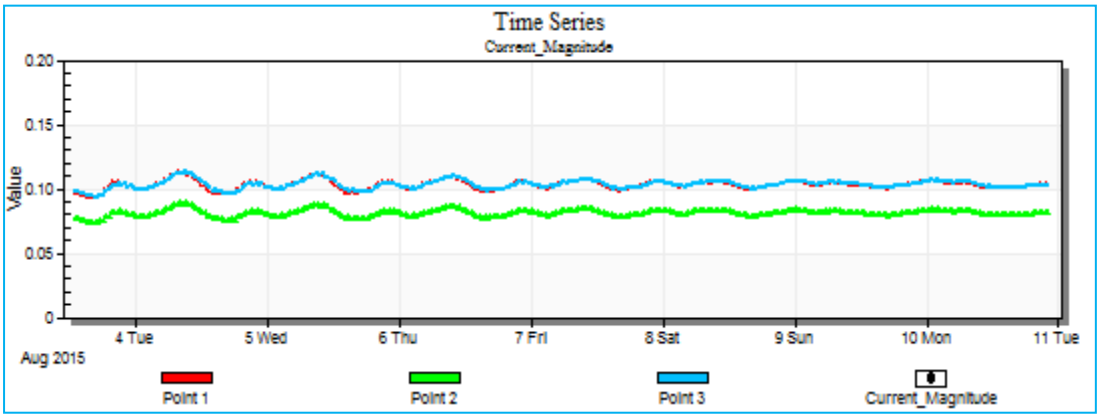


Figura 145. Magnitudes de Velocidad para la Dirección del Viento (157.5° y 5.5 m/s) que se Presenta en Julio, Agosto y es la Tercera Dirección que Incide en Septiembre, Sitio 2

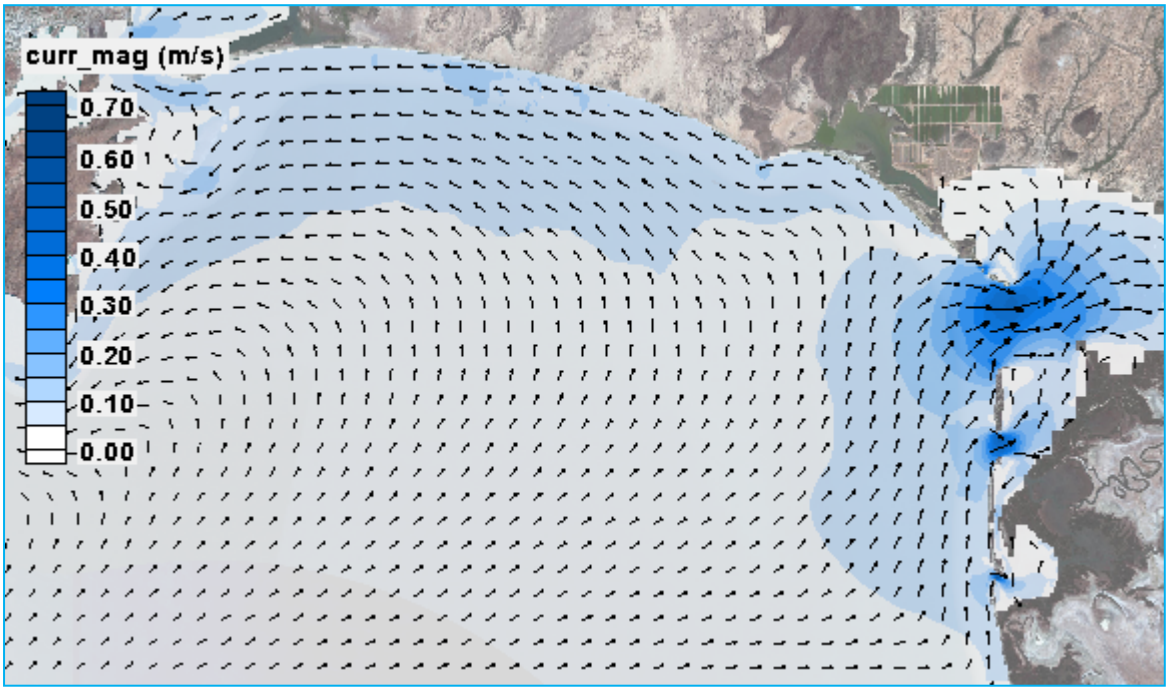


Figura 146. Patrón de Corrientes al Presentarse la Pleamar para la Principal Dirección del Viento en los Meses de Julio y Agosto, así como Tercera Dirección en Septiembre. (157.5° y 5.5 m/s), Sitio 2

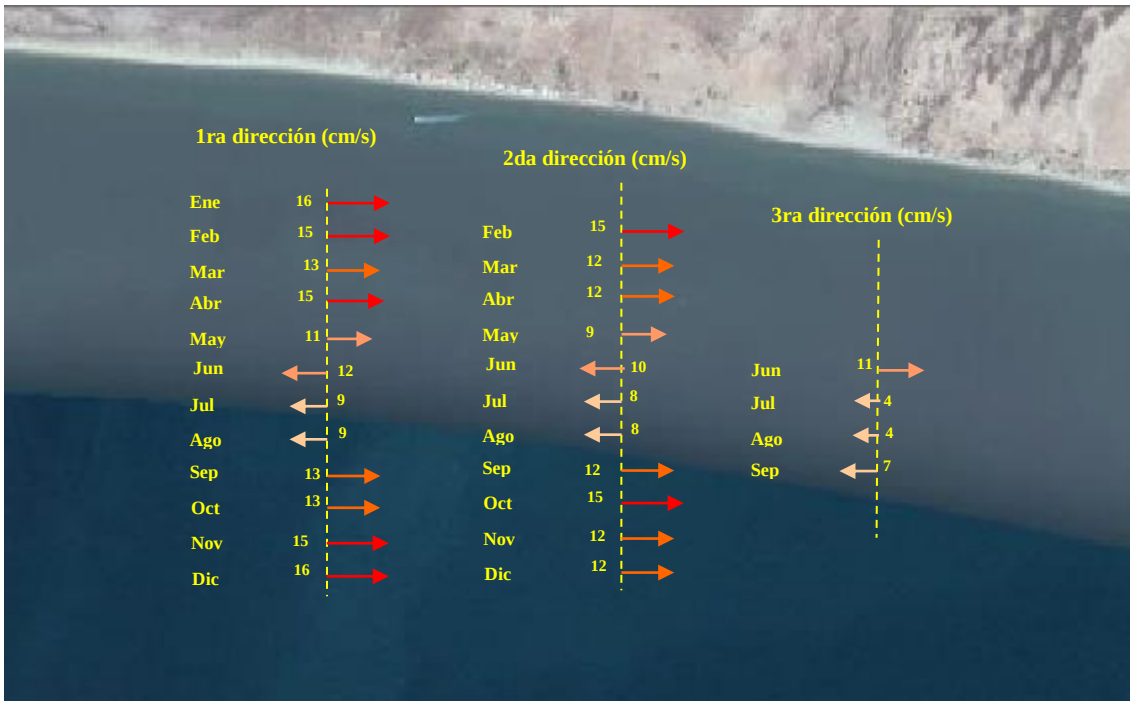


Figura 147. Esquema Resumen de las Corrientes en la Zona de Estudio por Mes y Dirección de la Costa, Sitio 2

4.2. Determinación de la Profundidad de Cierre Sitio 2

Es importante señalar que debido al cambio de sitio para la ubicación de la Planta Desaladora, determinado tanto por la CNA así como por la CEAS, para los trabajos que se describen en este capítulo, en lo correspondiente, se utilizó el levantamiento batimétrico efectuado y proporcionado por la CEAS (el cual se incluye como anexo). Este nuevo sitio se denominó como Sitio 2.

Cuando se utiliza información generada para el Sitio así se señala.

Introducción

La profundidad denominada de cierre, o “shoal”, es aquella a partir de la cual no hay ningún tipo de transporte, bien sea paralelo o perpendicular a la costa (d_s).

El tramo existente entre la profundidad activa y la de cierre se denomina “shoal zone”, y en dicha zona solo actúan fenómenos de transporte perpendiculares a la costa.

Materiales y Fuentes Empleadas

Para calcular dichas profundidades se utiliza el concepto de H_{12}, que es la altura de ola significante que solamente es superada o excedida doce horas al año en régimen medio (probabilidad del 0,9987).

Los datos se obtuvieron de propagación de oleaje de aguas profundas hacia el sitio de proyecto.

Tabla 37. H_{12} Para la Zona de Estudio a Partir de Oleaje Propagado Hasta el Sitio de Estudio Con Base en Datos Históricos de 2005-2010 WWIII. Apartado: Estudios del Clima Marítimo, Sitio 2

Dirección Frecuencia de Ocurrencia	Aguas Profundas		Frente a zona de estudio (nueva ubicación)	
	H_{12} (m)	T_{12} (s)	H_{12b} (m)	T_{12b} (s)
SSE (41%)	2.6	20	1.4	20
WNW (15.5%)	2.1	6	0.4	5.9
NW (33.5%)	2.3	7	0.15	7.1

Metodología

La clasificación tradicional fue realizada por Hallermeier (1978 y 1985), si bien, la formulación sencilla y aplicable será la de Birkemeier en 1985, que define:

- H_{12}: Altura de ola significante o promedio del tercio de olas más altas, excedida doce horas al año en régimen medio, m.

- d_l: Profundidad litoral, es decir, aquella donde existe transporte de sedimentos en sentido longitudinal (Longshore) y transversal (onshore – offshore), m.

- d_s: Profundidad shoal o de asomeramiento, es decir, aquella hasta donde se puede cuantificar el transporte transversal, m.

- d_{off}: Profundidad offshore, donde no existe actividad por efecto ondulatorio, zona neutral.

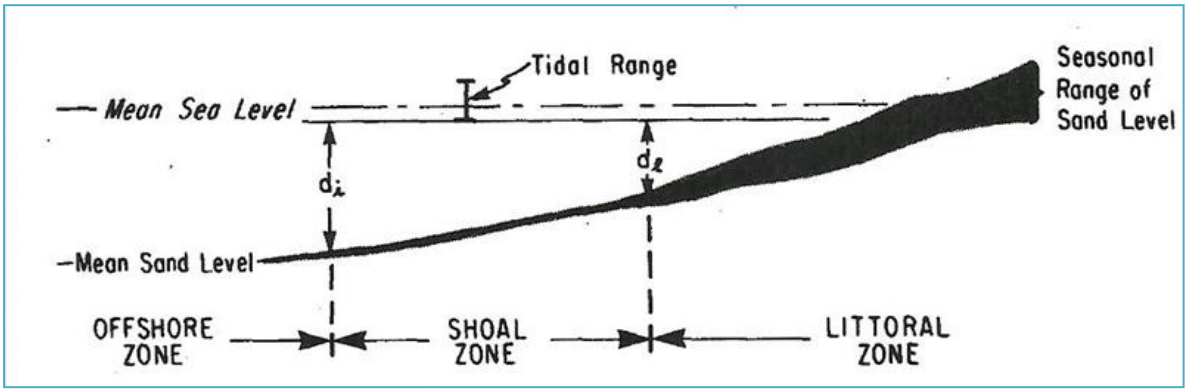


Figura 148. Zonificación de Perfil Estacional, Hallermeirer (1978), Sitio 2

Tal como se describía anteriormente, la formulación clásica Hallemeier (1978 y 1985):

$$d_l = 2.28H_{12} - 68.5\left(\frac{H_{12}^2}{gT_z^2}\right)$$

Donde:

- d_l Profundidad litoral en metros
- H_{12} Altura de ola significante excedida doce horas en régimen medio en metros
- g Aceleración de la gravedad, m/s2
- T_z Período del oleaje correlacionado con H12, s

Empleando datos de campo, Birkemeier corrige la fórmula de Hallermeier, obteniendo:

$$d_l = 1.75H_{12} - 57.9\left(\frac{H_{12}^2}{gT_z^2}\right)$$

Corrigiendo para un espectro Jonswap, en lugar de Pierson Moskowitz, y como fórmula simplificada se obtiene:

$$d_l = 1.75H_{12}$$

Resultados

Por lo tanto, con base en lo anterior para las diferentes direcciones se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 38. Estimación de Profundidad Litoral (dl) para Diferentes Criterios Empleando Modelos Empíricos, Sitio 2

Dirección Frecuencia de Ocurrencia	Frente a nueva zona de estudio		d_l (m)	d_l (m)	d_l (m)
	H_{12} (m)	T_{12} (s)	Hallemeier (1981)	Birkemeier (1985)	Cur (1987)
SSE (41%)	1.4	20	**3.2**	2.4	2.5
WNW (15.5%)	0.4	5.9	**0.9**	0.7	0.7
NW (33.5%)	0.15	7.1	**0.3**	0.3	0.3

A su vez, la profundidad máxima, se calcula en función de la de fondos activos con la expresión de Cur (1987):

$$d_i = 2d_l = 3.5H_{12}$$

Empleando el criterio de mayor profundidad entre formulación clásica y simplificada, para las diferentes direcciones se obtienen las siguientes profundidades.

Tabla 39. Estimación de Profundidad Máxima de Actividad Sedimentaria Empleando la Expresión de Cur (1987), Sitio 2

Dirección (°)	Datos de Oleaje		d_{lprom} (m)	d_i (m)
	H_{12} (m)	T_{12} (s)		
SSE (41%)	1.4	20	**2.7**	**5.4**
WNW (15.5%)	0.4	5.9	**0.8**	**1.5**
NW (33.5%)	0.15	7.1	**0.3**	**0.6**

Con base en lo anterior, **LA MAYORÍA DE LOS CAMBIOS morfodinámicos de la playa se producirán entre la línea de orilla y la zona bañada por el estrán (zona intermareal) y la batimétrica -3 m (2.7 de cálculo) aproximadamente, PARA DEJAR DE PRODUCIRSE MODIFICACIONES paulatinamente en los fondos hasta alcanzar la batimétrica -5.5 m,** donde a partir de la cual no se esperan modificaciones. Estos valores son respecto al Nivel de Bajamar Media Inferior.

B.13 MODELACIÓN DE LA DIFUSIÓN DEL AGUA DE RECHAZO DE LA PLANTA DESALADORA.

4.3. Modelación de Dispersión de Salmuera Sitio 2

Datos de Proyecto

Los datos del proyecto del Emisor Submarino de Salmuera que se mencionan a continuación fueron proporcionados, en su gran mayoría, por el encargado de su realización.

En ambos casos se propone una línea de 1,080 m (llevada hasta la cota -5), con las siguientes características:

- Gasto de operación: 200 l/s
- Concentración = 70 g/L
- Diámetro de la línea: 24 pulgadas
- Material de la línea: HDPE (polietileno de alta densidad, RD-32.5)
- Velocidad de operación: 0.78 m/s
- Pérdida de carga total en la trayectoria propuesta (longitud + pzas. especiales) = 0.93 mca (93 cm)

En lo que respecto a la selección de los eductores, la primera alternativa, arroja los siguientes valores:

- Diámetro del eductor: 250 mm (12 pulg)
- Cantidad: 1 pieza
- Gasto de operación: 212.2 L/s
- Tamaño de la pluma de dispersión: 78 m
- Pérdida de carga en el eductor: 21,10 mca
- Pérdida de carga total: línea + eductor = 22.00 mca

Para la segunda opción, empleo dos eductores, a fin de reducir el gasto en cada uno de ellos y por consiguiente tener menos requerimientos de presión diferencial para efectuar la dilución en la siguiente figura se presenta el esquema de la descarga.

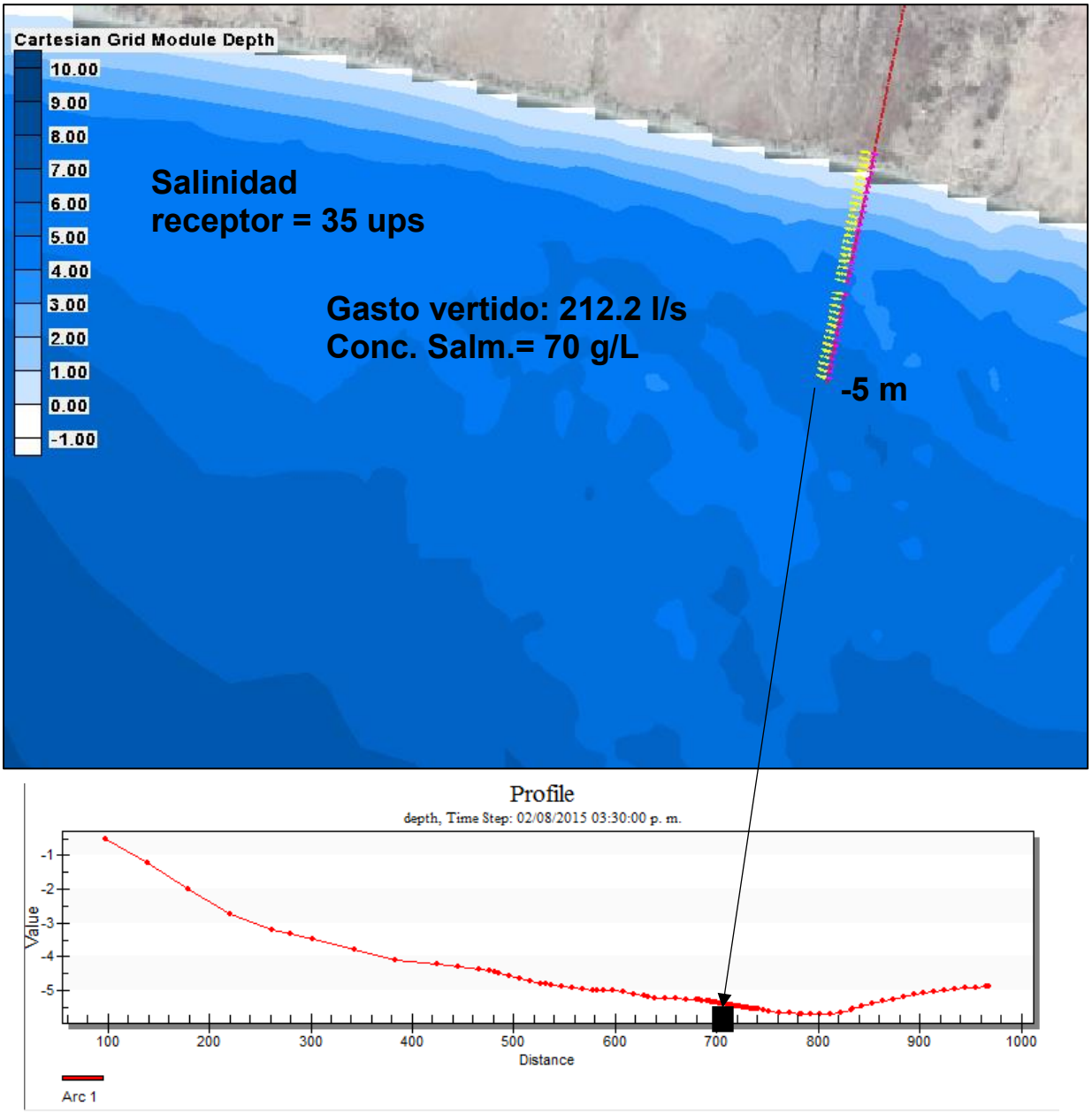


Figura 149. Esquema del Emisor Submarino de Descarga de Salmuera, Sitio 2

Para predecir el comportamiento de la dispersión de salmuera en el mar, inyectada por un emisor submarino proveniente de una Planta Desalinizadora; se hace necesario aplicar un modelo matemático computacional.

La modelación de la dispersión contempla el análisis de la pluma de dilución de la salmuera vertida al mar por un emisor submarino a la batimétrica ~5 m, respecto al N.B.M.I.

En este capítulo se describe la metodología empleada para la modelación de la dispersión de la salmuera, resultados, análisis de los mismos y conclusiones.

Los resultados del modelo de dispersión permitieron definir la pluma de dispersión con base en la hidrodinámica de la zona y el área que se verá afectada al realizarse la dilución.

Descripción del Modelo

Uno de los componentes de CMS es capaz de efectuar la modelación del vertido y dilución de la pluma. La simulación de la salinidad a menudo puede requerir una solución 3D debido a la presencia de gradientes de salinidad verticales que pueden influir significativamente el flujo. La mezcla lateral de la salinidad en el modelo de CMS de flujo es la misma que la mezcla lateral en las ecuaciones de momento.

$$\frac{\partial(Sd)}{\partial t} + \frac{\partial(Sq_x)}{\partial x} + \frac{\partial(Sq_y)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x}\left[K_x d\frac{\partial S}{\partial x}\right] + \frac{\partial}{\partial y}\left[K_y d\frac{\partial S}{\partial y}\right] + (P-E)S$$

Donde S es la salinidad; d es total profundidad del agua, qx y qy son de flujo por unidad de anchura en las direcciones x y la dirección del eje Y, respectivamente; Kx y Ky son los coeficientes de difusión de sal en las correspondientes direcciones x y el eje y, y P y E son la precipitación y evaporación en m/año, respectivamente. La ecuación representa los flujos horizontales de sal en los cuerpos de agua y se equilibra con los intercambios de sal a través de flujos difusivos. Los procesos principales que contribuyen a la modificación de la salinidad se pueden especificar en las condiciones de frontera.

La condición inicial se especifica ya sea como un valor constante en el espacio, un conjunto de datos especificados por el usuario o una solución de Laplace aplicada a puntos especificados por el usuario. La ecuación de Laplace está dada por

$$\frac{\partial^2 S}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 S}{\partial y^2} = 0$$

El valor de condición de frontera de entrada se debe especificar en todas todas las fronteras abiertas. Para las condiciones de flujo de salida, un gradiente cero se aplica.

Dominio Espacial

El dominio espacial es el mismo que se empleó en la modelación hidrodinámica, que se construyó con el Modelo Digital del Fondo Marino:

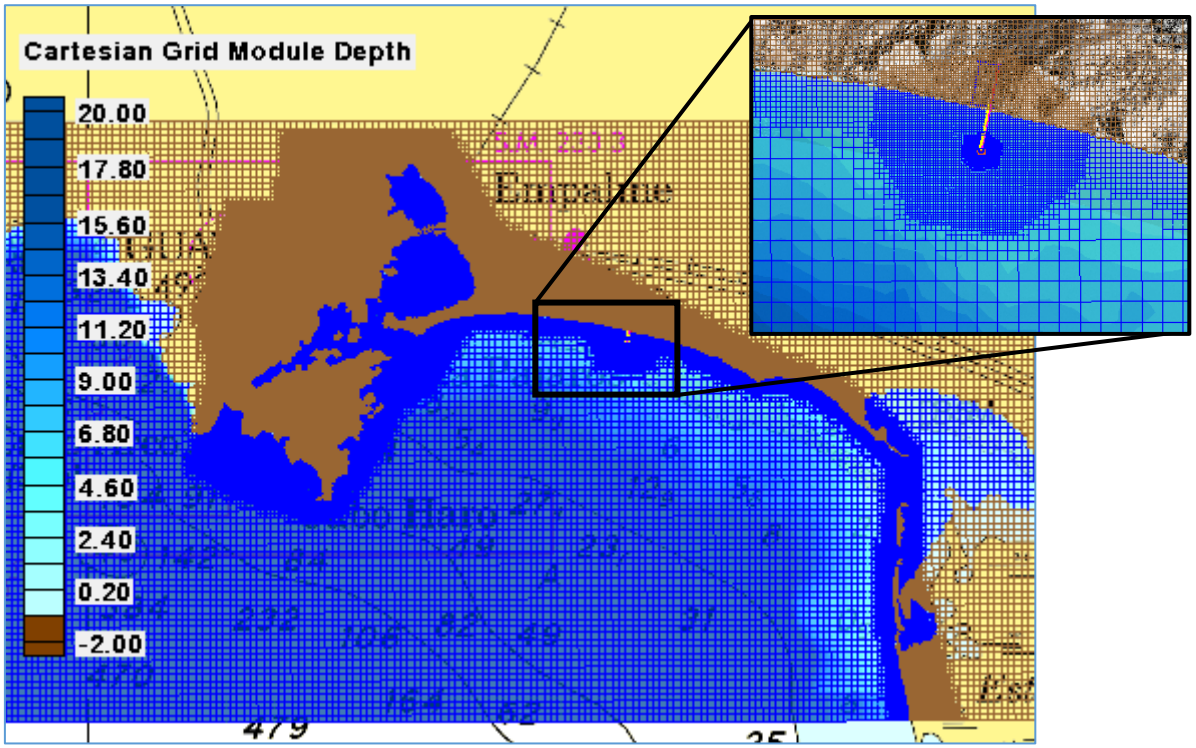


Figura 150. Dominio del Modelo.

El dominio se compone de una malla telescópica con 64,757 celdas de 320 x 320 m en zonas generales 40 x 40 m en zona de influencia y 2.50 x 2.50 m en la zona de estudio.

Forzantes

Hidrodinámica.

La principal forzante son las corrientes combinadas de viento, marea y oleaje.

Forzante de flujo.

Se ingresó un flujo en la descarga del emisor de 212 l/s

Forzante de Salinidad.

La salinidad se consideró constante en la frontera oceánica de 35 ppm

La salinidad se consideró constante en la frontera fuente del emisor con 71 ppm.

La salinidad inicial del receptor se consideró como 35 ppm

Resultados

Debido a que el viento es la principal forzante que induce la hidrodinámica y mezcla de las masas de agua del cuerpo receptor, las modelaciones de la pluma se efectuaron para las tres principales direcciones del viento de forma mensual.

Tabla 40. Forzantes del viento y escenarios simulados para definir el comportamiento de la pluma salina.

Velocidades Medias del Viento por Direcciones Principales (m/s)												
Mes	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Dir °	315	315	315	315	315	135	157.5	157.5	315	315	315	315
1ra	7	6.7	5.7	6.2	5	6.2	5.5	5.2	5.4	5.5	6.7	7
Dir °	292.5	292.5	292.5	292.5	292.5	157.5	135	135	292.5	292.5	337.5	337.5
2da		6.5	5.5	5.8	4.5	6	4.8	4.5	5.5	6.5	6.2	6.7
Dir °	-	-	-	-	-	315	180	180	157.5	-	-	-
3ra	-	-	-	-	-	5.2	4.5	4.2	5	-	-	-

Dilución en Enero

Primera dirección: viento de dirección 315 y 7 m/s

La pluma se desplaza en dirección de la corriente, es decir; hacia el este, con un patrón muy homogéneo durante toda la simulación (240 horas). La pluma tiene una forma alargada y se delimita dentro de las líneas de corrientes que cruzan el punto de descarga. El ancho promedio de la pluma es de 450 m.

Al realizar la medición a diferentes distancias del punto de vertido, se puede establecer que cuando el viento sopla de la dirección 315, la pluma se comportará de la siguiente forma:

- En los primeros 100 m se efectuará el mayor proceso de mezcla con salinidades mayores a 40 ppm,
- A 250 m será de ~39 ppm,
- A 1 Km de ~37 ppm,
- A 3 Km de ~36 ppm,
- Y hasta 6 Km la pluma tiene una salinidad menor a 35.5 ppm.

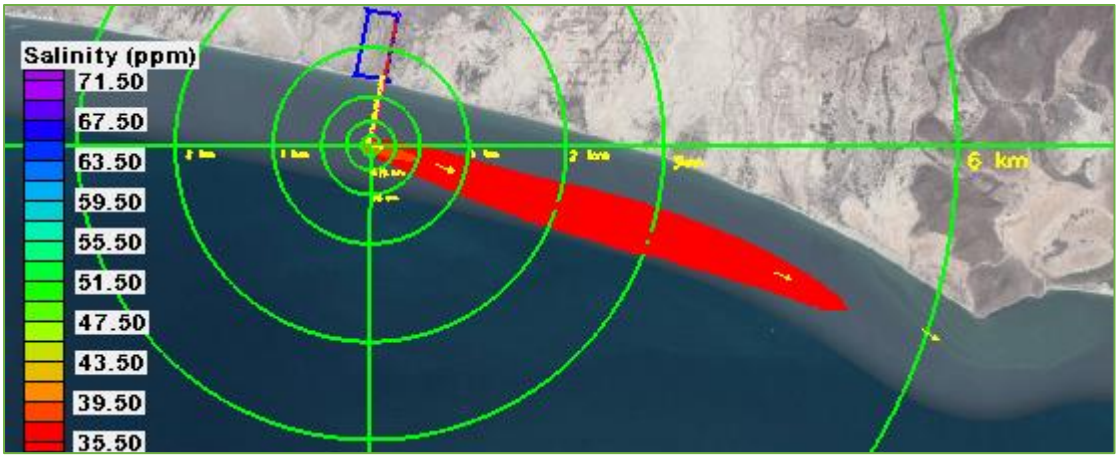


Figura 151. Representación Espacial de la Pluma. Enero (315 y 7 m/s)

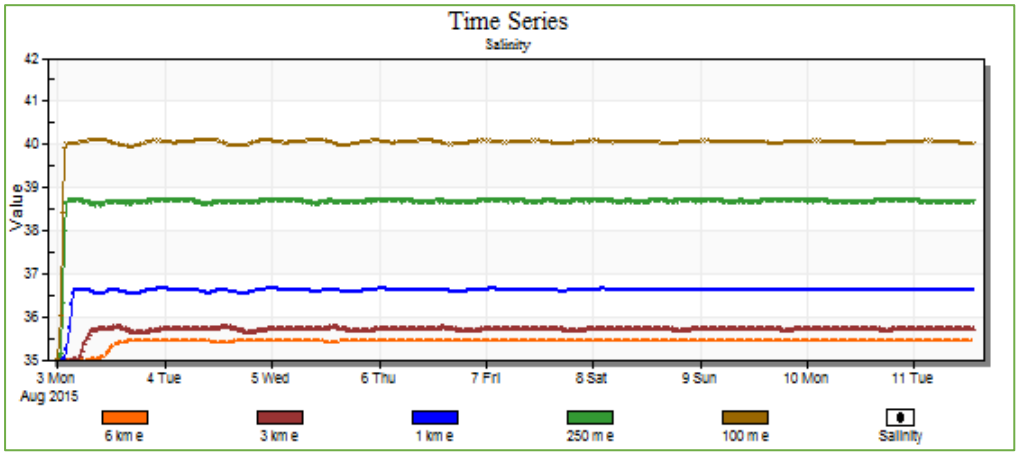


Figura 152. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Primera Dirección. Enero (315 y 7 m/s)

Segunda dirección: viento de dirección 292.5 y 6.5 m/s

El comportamiento de la pluma es igual al que se presenta con la primera dirección tanto en la dirección y dilución, por lo cual; para la mayor parte del tiempo en el mes de enero la pluma se desplazará hacia el este; con el siguiente comportamiento.

- En los primeros 100 m se efectuará el mayor proceso de mezcla con salinidades mayores a 40 ppm,
- A 250 m será de ~39 ppm,
- A 1 Km de ~37 ppm,
- A 3 Km de ~36 ppm,
- Y hasta 6 Km la pluma tiene una salinidad menor a 35.5 ppm.

Es importante hacer notar que la condición inicial de salinidad del receptor se estableció en 35 ppm y que las mediciones de salinidad en campo registraron variación de 34 a 35.5 ppm, asumiendo entonces que una variación de +-1 ppm es aceptable y por lo cual se considera que la pluma logra la dilución a 3 Km.

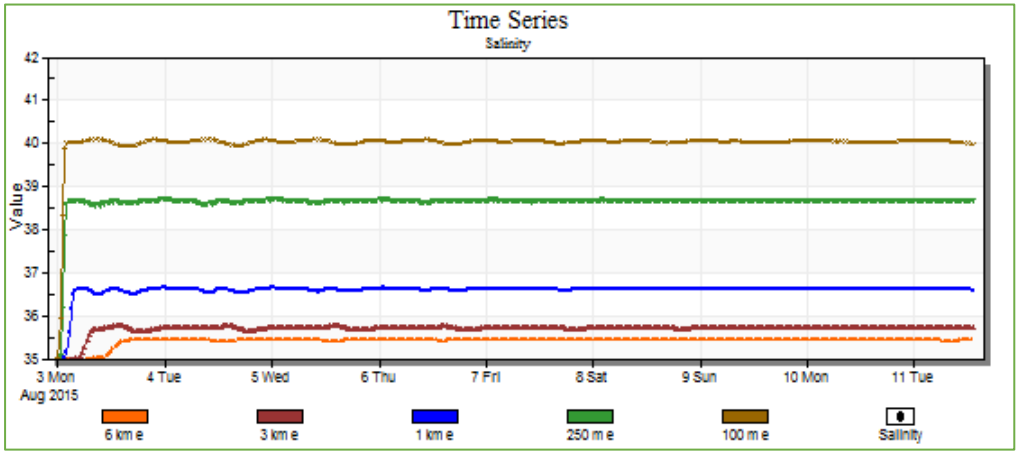


Figura 153. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Segunda Dirección. Enero (292.5 y 6.5 m/s)

Dilución en Febrero

Primera dirección: viento de dirección 315 y 6.7 m/s

La pluma se desplaza en dirección de la corriente, es decir; hacia el este, con un patrón muy homogéneo durante toda la simulación (240 horas). La pluma tiene una forma alargada y se delimita dentro de las líneas de corrientes que cruzan el punto de descarga. El ancho promedio de la pluma es de 450 m.

Al realizar la medición a diferentes distancias del punto de vertido, se puede establecer que cuando el viento sopla de la misma dirección 315 con una magnitud de velocidad ligeramente menor, la pluma se comportará igual:

- En los primeros 100 m se efectuará el mayor proceso de mezcla con salinidades mayores a 40 ppm,
- A 250 m será de ~39 ppm,
- A 1 Km de ~37 ppm,
- A 3 Km de ~36 ppm,
- Y hasta 6 Km la pluma tiene una salinidad menor a 35.5 ppm.

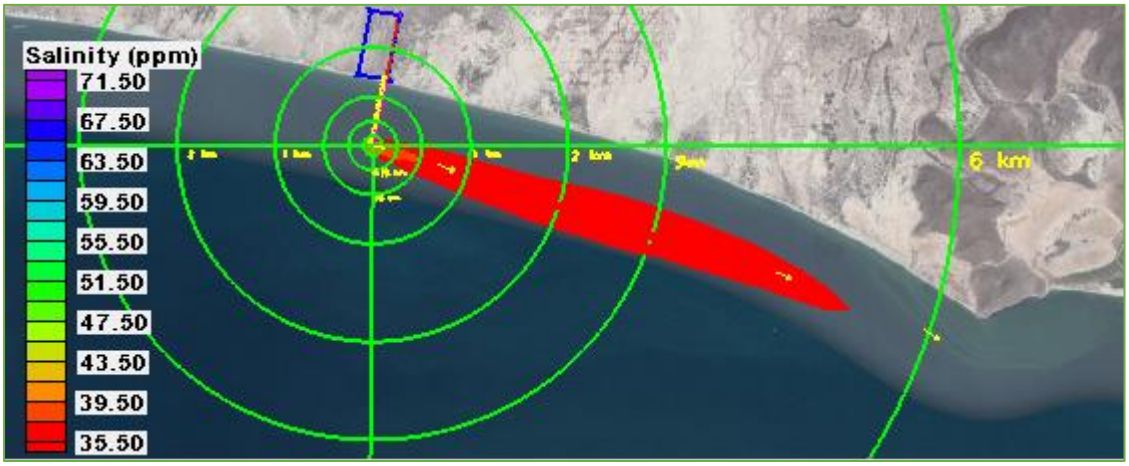


Figura 154. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Primera Dirección. Febrero (315 y 6.7 m/s)

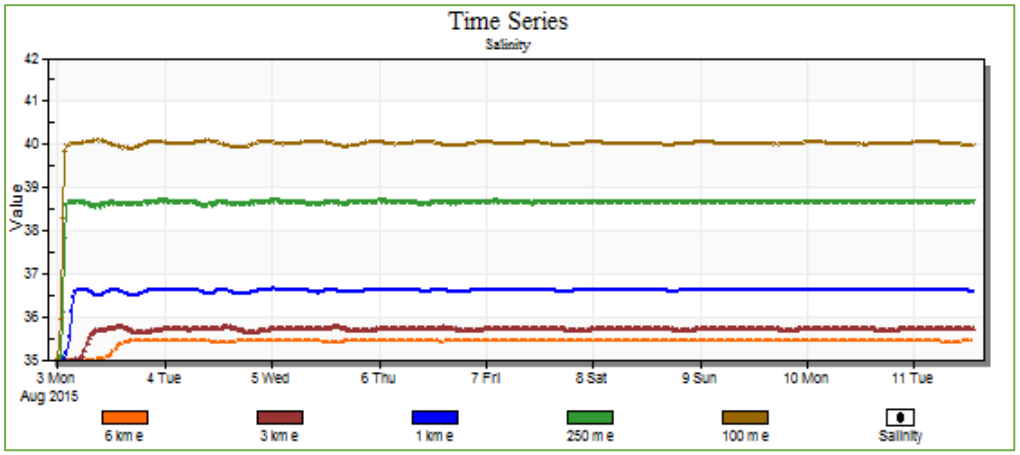


Figura 155. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Primera Dirección. Febrero (315 y 6.7 m/s)

Segunda dirección: viento de dirección 292.5 y 6.5 m/s

El comportamiento de la pluma es igual al que se presenta con la primera dirección del viento tanto en la dirección y dilución, por lo cual; para la mayor parte del tiempo en el mes de febrero, la pluma se desplazará hacia el este; con el siguiente comportamiento.

- En los primeros 100 m se efectuará el mayor proceso de mezcla con salinidades mayores a 40 ppm,
- A 250 m será de ~39 ppm,
- A 1 Km de ~37 ppm,
- A 3 Km de ~36 ppm,
- Y hasta 6 Km la pluma tiene una salinidad menor a 35.5 ppm.

Asumiendo entonces que una variación de +-1 ppm es aceptable, se considera que la pluma logra la dilución a 3 Km.

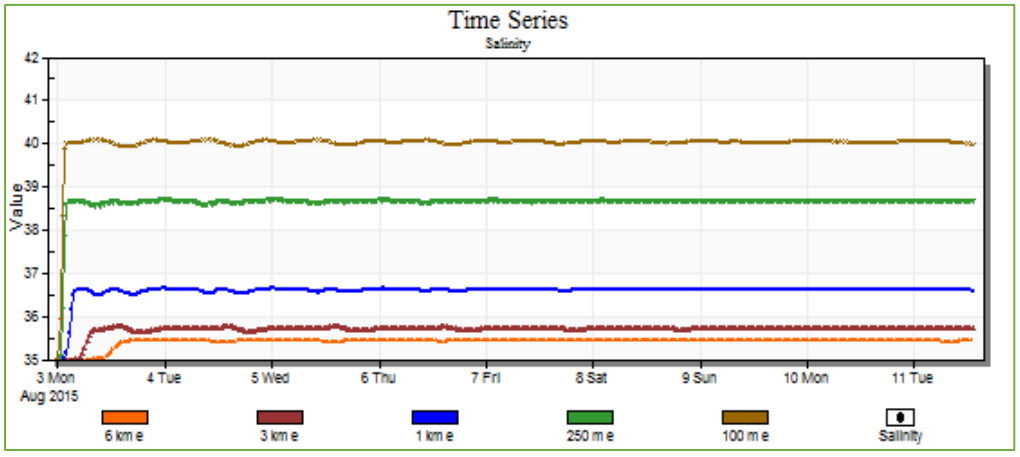


Figura 156. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Segunda Dirección. Febrero (292.5 y 6.5 m/s)

Dilución en Marzo

Primera dirección: viento de dirección 315 y 5.7 m/s

La pluma se desplaza con el mismo patrón que en enero y febrero; hacia el este. La pluma tiene una forma alargada y se delimita dentro de las líneas de corrientes que cruzan el punto de descarga. El ancho promedio de la pluma es de 450 m.

Al realizar la medición a diferentes distancias del punto de vertido, se puede establecer que cuando el viento sopla de la misma dirección 315 con una variación de velocidad de hasta 2 cm/s, la pluma se comportará igual:

- En los primeros 100 m se efectuará el mayor proceso de mezcla con salinidades mayores a 40 ppm,
- A 250 m será de ~39 ppm,
- A 1 Km de ~37 ppm,
- A 3 Km de ~36 ppm,
- Y hasta 6 Km la pluma tiene una salinidad menor a 35.5 ppm.

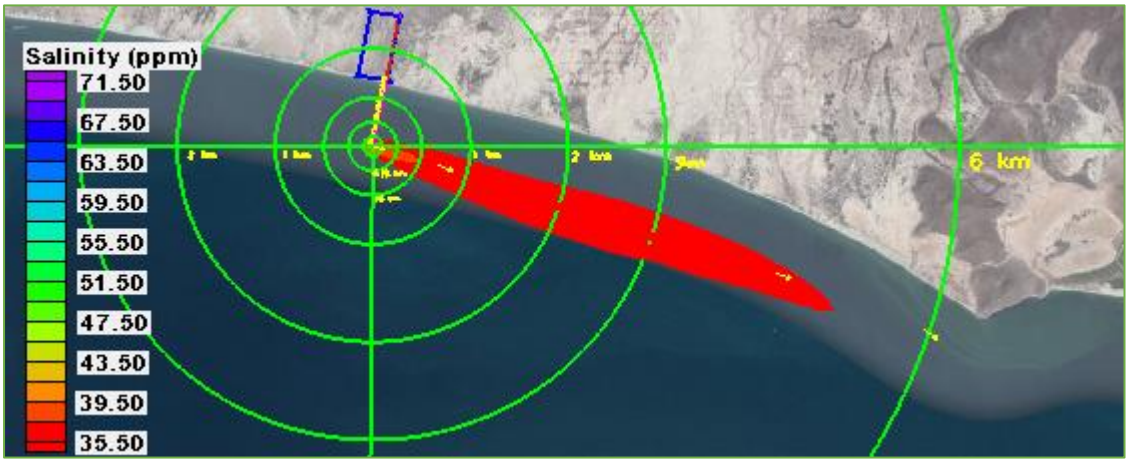


Figura 157. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Primera Dirección. Marzo (315 y 5.7 m/s)

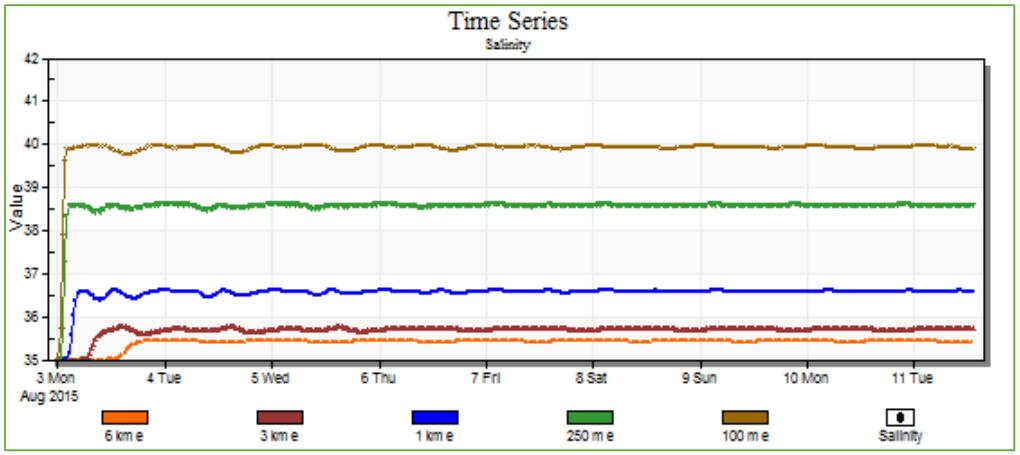


Figura 158. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Primera Dirección. Marzo (315 y 5.7 m/s)

Segunda dirección: viento de dirección 292.5 y 5.5 m/s

El comportamiento de la pluma es igual al que se presenta con la primera dirección del viento, tanto en la dirección y dilución, por lo cual; para la mayor parte del tiempo en el mes de marzo, la pluma se desplazará hacia el Este; con el siguiente comportamiento.

- En los primeros 100 m se efectuará el mayor proceso de mezcla con salinidades mayores a 40 ppm,
- A 250 m será de ~39 ppm,
- A 1 Km de ~37 ppm,
- A 3 Km de ~36 ppm,
- Y hasta 6 Km la pluma tiene una salinidad menor a 35.5 ppm.

Asumiendo entonces que una variación de +-1 ppm es aceptable, se considera que la pluma logra la dilución a 3 Km.

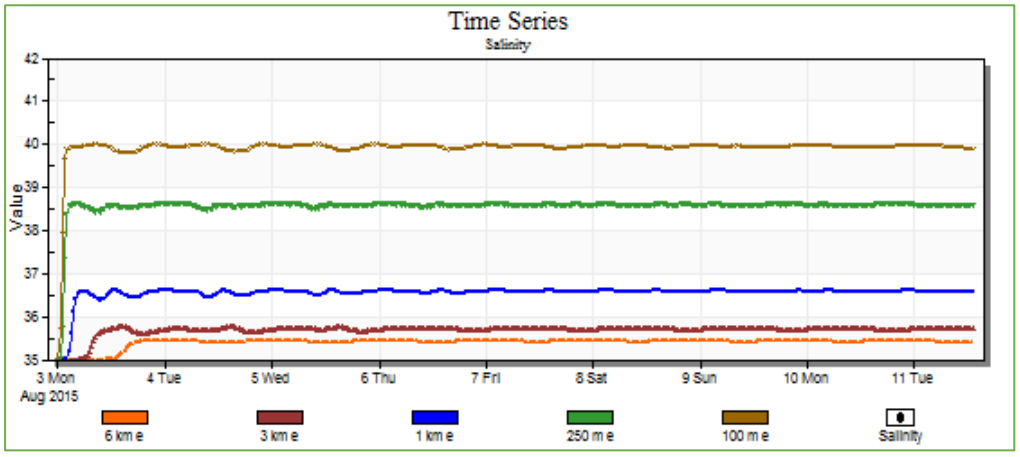


Figura 159. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Segunda Dirección. Marzo (292.5 y 6.5 m/s)

Dilución en Abril

Primera dirección: viento de dirección 315 y 6.2 m/s

La pluma se desplaza en dirección de la corriente, es decir; hacia el este, con un patrón muy homogéneo durante toda la simulación (240 horas). La pluma tiene una forma alargada y se delimita dentro de las líneas de corrientes que cruzan el punto de descarga. El ancho promedio de la pluma es de 450 m.

- En los primeros 100 m se efectuará el mayor proceso de mezcla con salinidades mayores a 40 ppm,
- A 250 m será de ~39 ppm,
- A 1 Km de ~37 ppm,
- A 3 Km de ~36 ppm,
- Y hasta 6 Km la pluma tiene una salinidad menor a 35.5 ppm.

Segunda dirección: viento de dirección 292.5 y 5.8 m/s

El comportamiento de la pluma es igual al que se presenta con la primera dirección del viento tanto en la dirección y dilución, así como el mismo de enero a marzo.

Asumiendo entonces que una variación de +-1 ppm es aceptable, se considera que la pluma logra la dilución a 3 km.

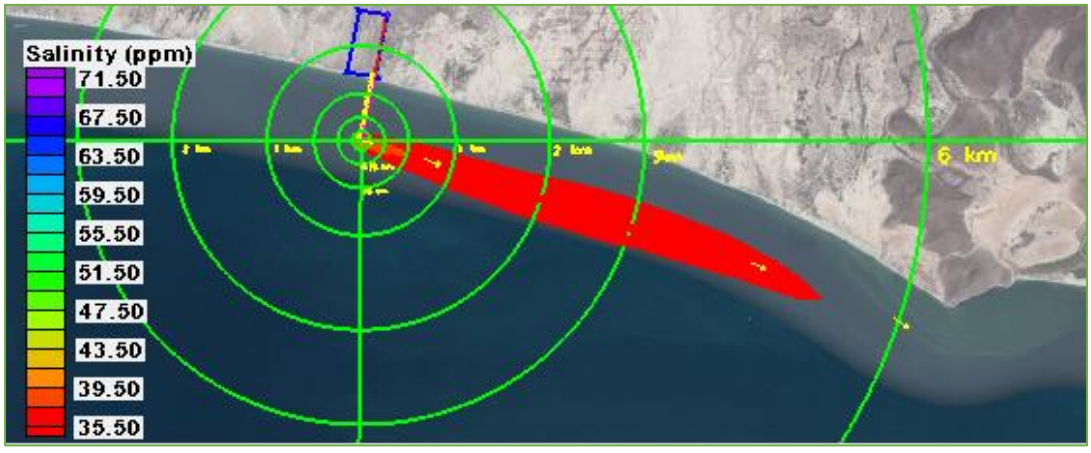


Figura 160. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Primera Dirección. Abril (315 y 6.2 m/s)

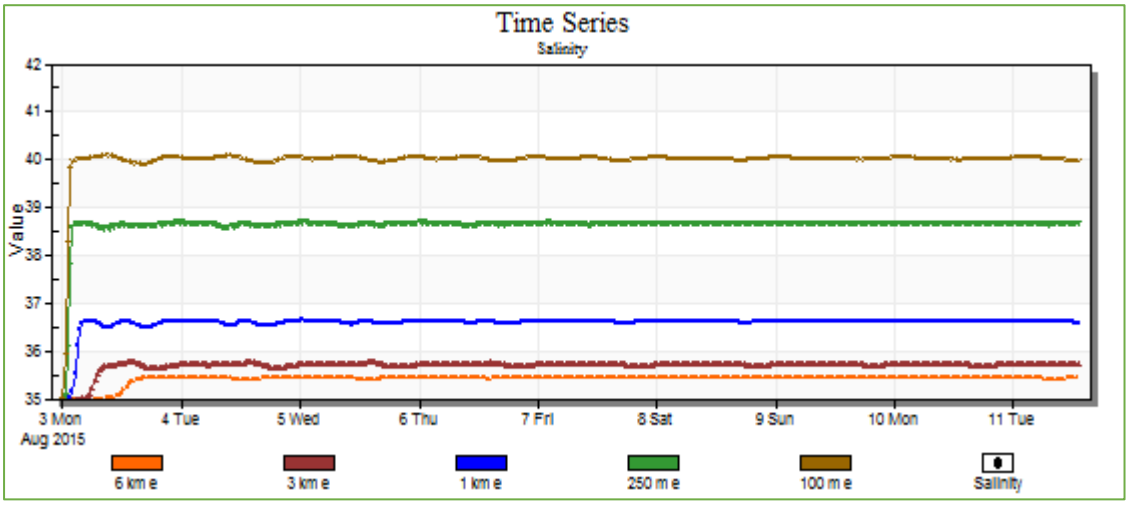


Figura 161. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Primera Dirección. Abril (315 y 6.2 m/s)

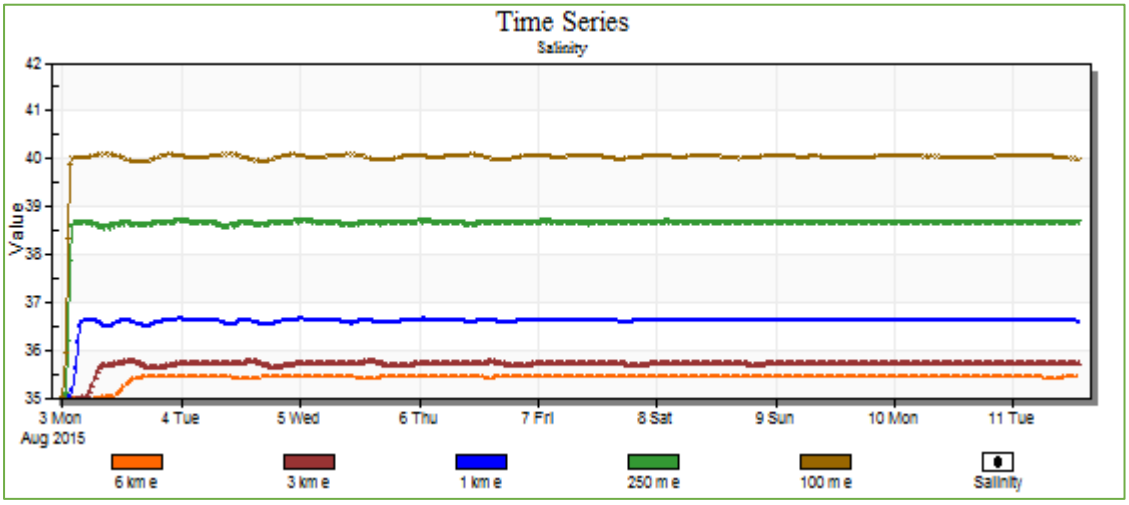


Figura 162. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Segunda Dirección. Abril (292.5 y 5.8 m/s)

Dilución en Mayo

<u>Primera dirección: viento de dirección 315 y 5 m/s</u>

La pluma se desplaza con el mismo patrón que de enero a abril, a pesar que la velocidad de la corriente es menor hasta en 2 cm/s; se desplaza hacia el Este.

<u>Segunda dirección: viento de dirección 292.5 y 4.5 m/s</u>

El comportamiento de la pluma es muy similar al que se presenta con la primera dirección del viento, tanto en la dirección y dilución, por lo cual; para la mayor parte del tiempo en el mes de mayo, la pluma se desplazará hacia el este; con el siguiente comportamiento:

- En los primeros 100 m se efectuará el mayor proceso de mezcla con salinidades mayores a 40 ppm,
- A 250 m será de ~39 ppm,

- A 1 Km de ~37 ppm,
- A 3 Km de ~36 ppm,
- Y hasta 6 Km la pluma tiene una salinidad menor a 35.5 ppm.

Asumiendo entonces que una variación de +-1 ppm es aceptable, se considera que la pluma logra la dilución a 3 Km.

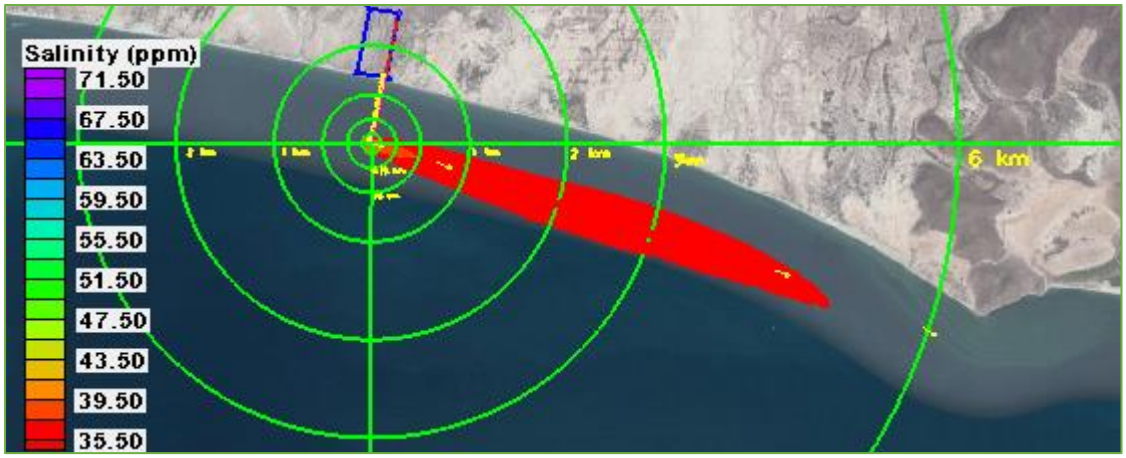


Figura 163. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Primera Dirección. Mayo (315 y 5 m/s)

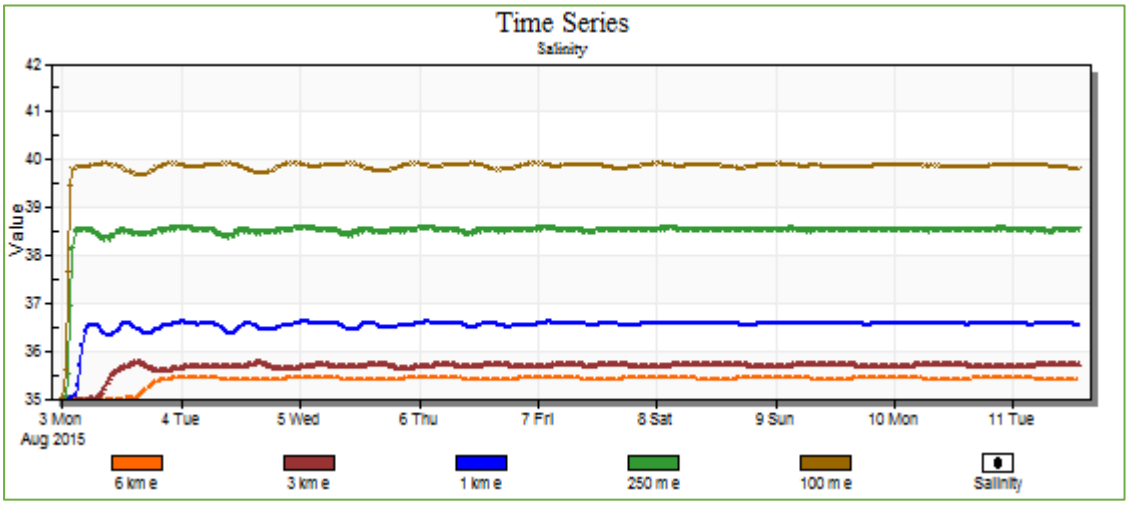


Figura 164. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Primera Dirección. Mayo (315 y 5 m/s)

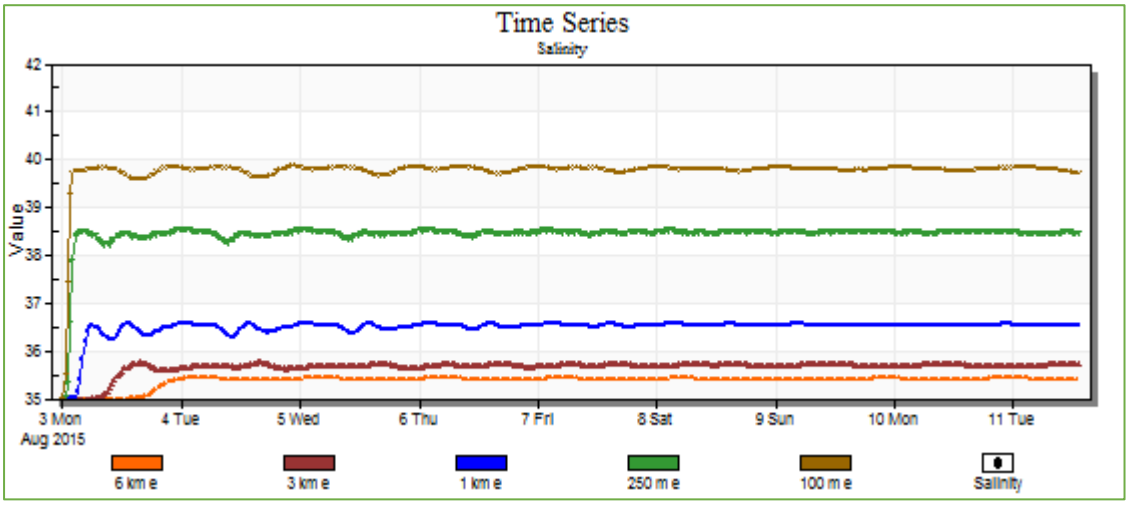


Figura 165. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Segunda Dirección. Mayo (292.5 y 4.5 m/s)

Dilución en Junio

<u>Primera dirección: viento de dirección 135 y 6.2 m/s</u>

La pluma se desplaza en dirección de la corriente, es decir; hacia el oeste, boca de la bahía Guaymas-Empalme, con un patrón muy homogéneo durante toda la simulación (240 horas). La pluma tiene una forma alargada paralela a la costa y se delimita dentro de las líneas de corrientes que cruzan el punto de descarga. El ancho promedio de la pluma es de 450 m.

Al realizar la medición a diferentes distancias del punto de vertido, se puede establecer que cuando el viento sopla de la dirección 135, la pluma se comportará de la siguiente forma:

- En los primeros 100 m se efectuará el mayor proceso de mezcla con salinidades mayores a 40 ppm,
- A 250 m será de ~39 ppm,
- A 1 Km de ~37 ppm,
- A 3 Km de ~36 ppm,
- Y hasta 10 Km la pluma tiene una salinidad menor a 35.5 ppm, favorecida por el mezclado que induce la dinámica de los chorros de flujo y reflujo de la boca.

La longitud de la pluma es mayor cuando se desplaza al oeste, debido a que las corrientes de reflujo de la boca de bahía Guásima influyen en el sistema de corrientes del frente costero.

Figura 166. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Primera Dirección. Junio (135 y 6.2 m/s)

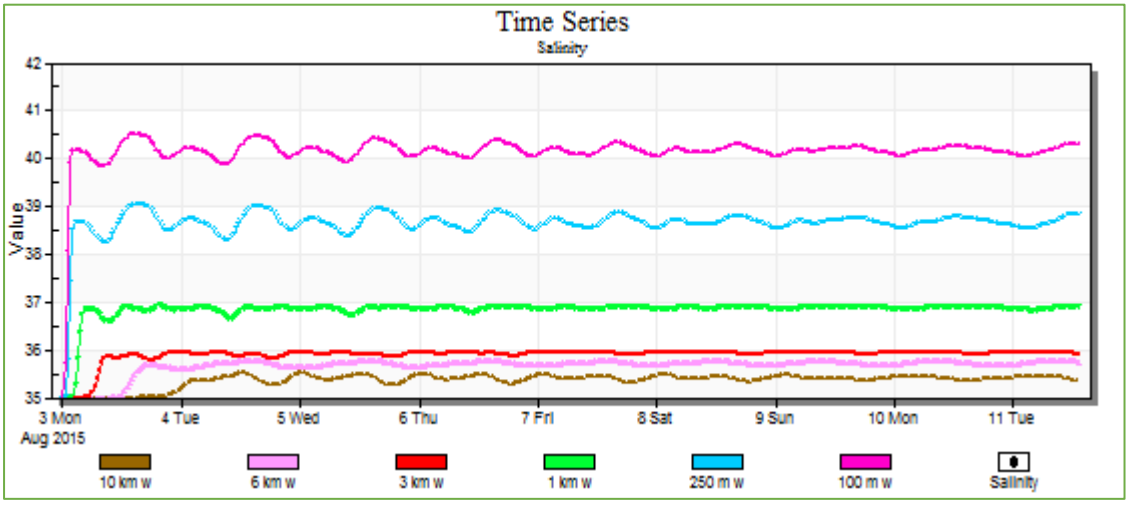


Figura 167. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Primera Dirección. Junio (135 y 6.2 m/s)

<u>Segunda dirección: viento de dirección 157.5 y 6 m/s</u>

El comportamiento de la pluma es muy similar al que se presenta con la primera dirección tanto en la dirección y dilución, por lo cual; para la mayor parte del tiempo en el mes de junio, la pluma se desplazará hacia el Oeste; con el siguiente comportamiento.

- En los primeros 100 m se efectuará el mayor proceso de mezcla con salinidades mayores a 40 ppm,
- A 250 m será de ~39 ppm,
- A 1 Km de ~37 ppm,
- A 3 Km de ~36 ppm,
- Y hasta 6 Km la pluma tiene una salinidad menor a 35.5 ppm.

Es importante hacer notar que la condición inicial de salinidad del receptor se estableció en 35 ppm y que las mediciones de salinidad en campo registraron variación de 34 a 35.5

ppm, asumiendo entonces que una variación de +-1 ppm es aceptable y por lo cual se considera que la pluma logra la dilución a 3 Km.

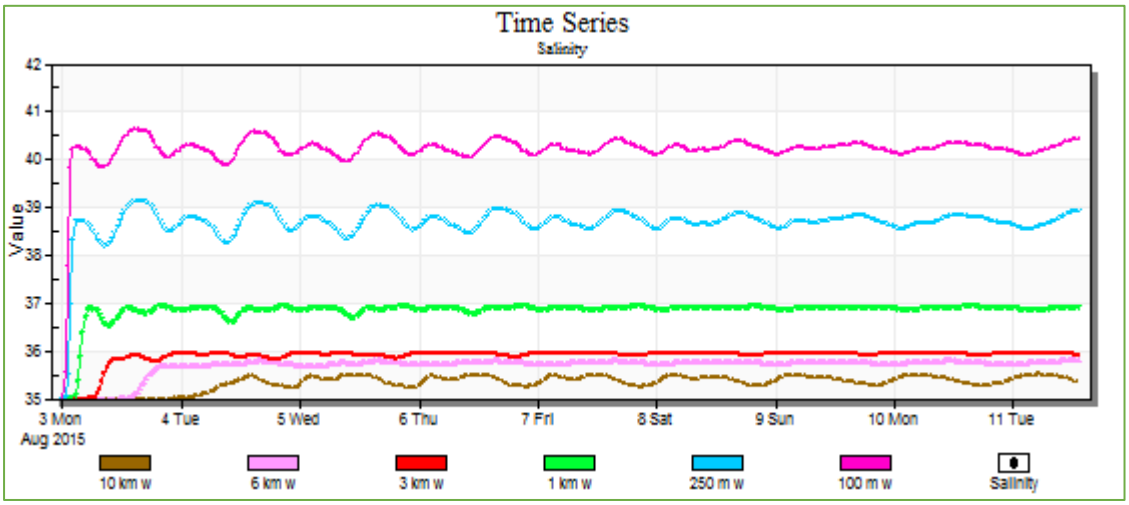


Figura 168. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Segunda Dirección. Junio. (157.5 y 6 m/s)

Tercera dirección: viento de dirección 315 y 5.2 m/s

La pluma se desplaza con el mismo patrón que de enero a mayo, hacia el este, por lo cual; durante el mes de junio se tendrán un desplazamiento de la pluma en dos sentidos.

Dilución en Julio

Primera dirección: viento de dirección 157.5 y 5.5 m/s

La pluma se desplaza en dirección de la corriente, es decir; hacia el oeste, boca de la bahía Guaymas-Empalme, con un patrón muy homogéneo durante toda la simulación (240 horas). La pluma tiene una forma alargada paralela a la costa., muy similar al patrón de junio. Al realizar la medición a diferentes distancias del punto de vertido, se puede establecer que cuando el viento sopla de la dirección 157.5, la pluma se comportará de la siguiente forma:

- En los primeros 100 m se efectuará el mayor proceso de mezcla con salinidades mayores a 40 ppm,
- A 250 m será de ~39 ppm,
- A 1 Km de ~37 ppm,
- A 3 Km de ~36 ppm,
- Y hasta 10 Km la pluma tiene una salinidad menor a 35.5 ppm, favorecida por el mezclado que induce la dinámica de los chorros de flujo y reflujo de la boca.

Figura 169. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Primera Dirección. Julio (157.5 y 5.5 m/s).

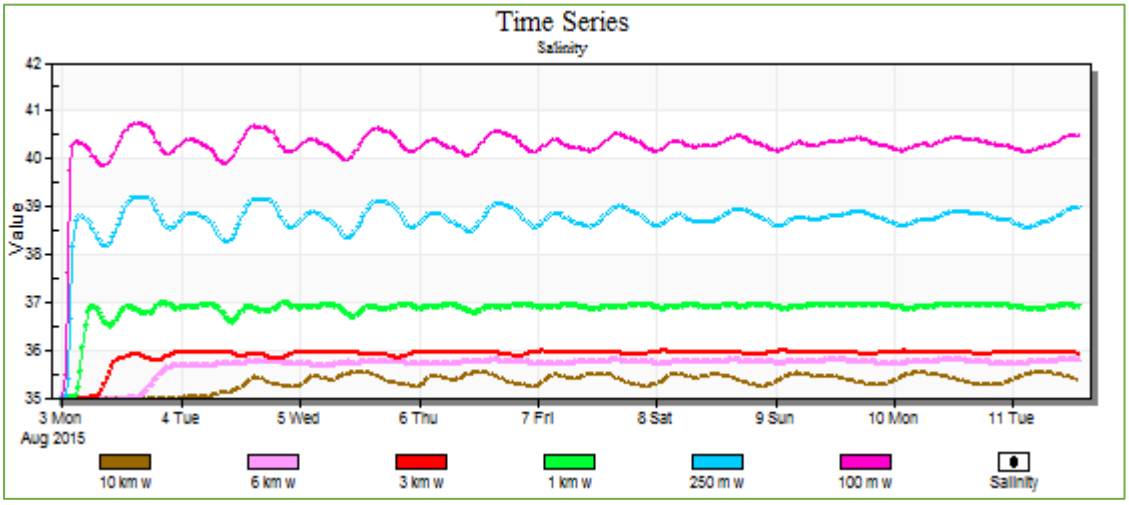


Figura 170. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Primera Dirección. Julio (157.5 y 5.5 m/s)

<u>Segunda dirección: viento de dirección 135.5 y 4.8 m/s</u>

El comportamiento de la pluma es muy similar al que se presenta con la primera dirección tanto en la dirección y dilución, por lo cual; para la mayor parte del tiempo en el mes de julio, la pluma se desplazará hacia el oeste; con el siguiente comportamiento.

- En los primeros 100 m se efectuará el mayor proceso de mezcla con salinidades mayores a 41 ppm,
- A 250 m será de ~39 ppm,
- A 1 Km de ~37 ppm,
- A 3 Km de ~36 ppm,
- Y hasta 10 Km la pluma tiene una salinidad menor a 35.5 ppm.

Asumiendo que una variación de +-1 ppm es aceptable, se considera que la pluma logra la dilución a 3 Km.

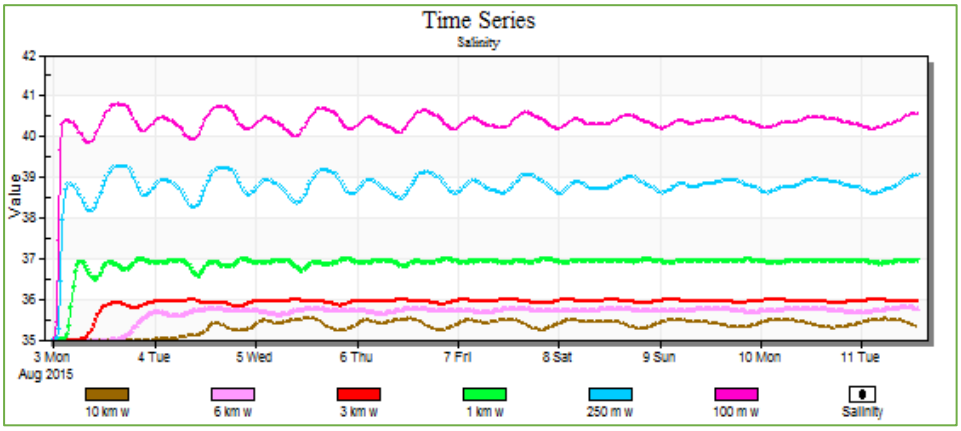


Figura 171. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Segunda Dirección. Julio. (135 y 4.8 m/s)

Tercera dirección: viento de dirección 180 y 4.5 m/s

La pluma se desplaza en dirección de la corriente, hacia el oeste, con un patrón muy homogéneo durante toda la simulación (240 horas). La pluma tiene una forma alargada paralela a la costa, aunque esta tiene una longitud de unos 8 Km, 2 menos que para la primera y segunda dirección. Al realizar la medición a diferentes distancias del punto de vertido, se puede establecer que cuando el viento sopla de la dirección 180, la pluma se comportará de la siguiente forma:

- En los primeros 100 m se efectuará el mayor proceso de mezcla con salinidades mayores a 41 ppm,
- A 250 m será de ~40 ppm,
- A 1 Km de ~37 ppm,
- A 3 Km de ~36 ppm,
- Y hasta 8 Km la pluma tiene una salinidad menor a 35.5 ppm.

Asumiendo que una variación de +-1 ppm es aceptable, se considera que la pluma logra la dilución a 3 Km.

Figura 172. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Tercera Dirección. Julio (180.5 y 4.5 m/s)

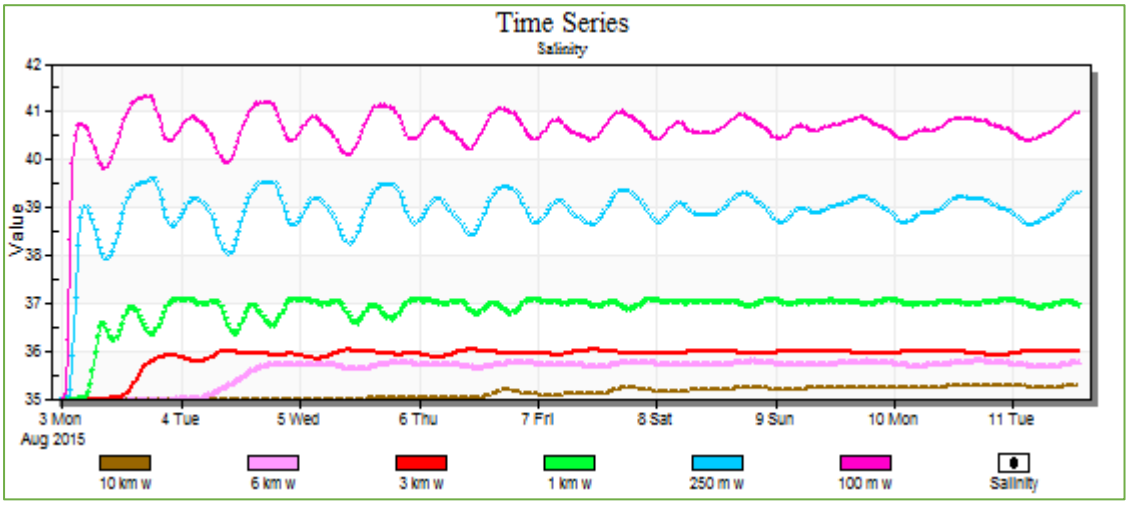


Figura 173. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Tercera Dirección. Julio. (180 y 4.5 m/s)

Dilución en Agosto

Primera dirección: viento de dirección 157.5 y 5.2 m/s

La pluma se desplaza en dirección de la corriente, es decir; hacia el oeste, boca de la bahía Guaymas-Empalme, igual que en julio. Al realizar la medición a diferentes distancias del punto de vertido, se puede establecer que cuando el viento sopla de la dirección 157.5, con una variación de +-2 cm/s, la pluma se comportará muy similar.

Segunda dirección: viento de dirección 135.5 y 4.8 m/s.

El comportamiento de la pluma es muy similar al que se presenta con la primera dirección tanto en la dirección y dilución, por lo cual; para la mayor parte del tiempo en el mes de agosto, la pluma se desplazará hacia el oeste con el siguiente comportamiento:

- En los primeros 100 m se efectuará el mayor proceso de mezcla con salinidades mayores a 41 ppm,
- A 250 m será de ~39 ppm,
- A 1 Km de ~37 ppm,
- A 3 Km de ~36 ppm,
- Y hasta 10 Km la pluma tiene una salinidad menor a 35.5 ppm, favorecida por el mezclado que induce la dinámica de los chorros de flujo y reflujo de la boca.

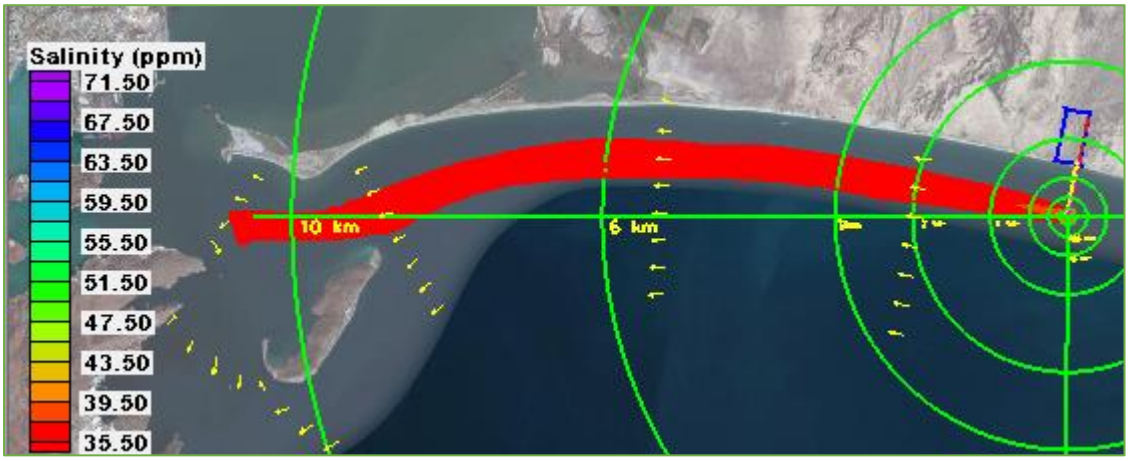


Figura 174. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Primera Dirección. Agosto (157.5 y 5.2 m/s)

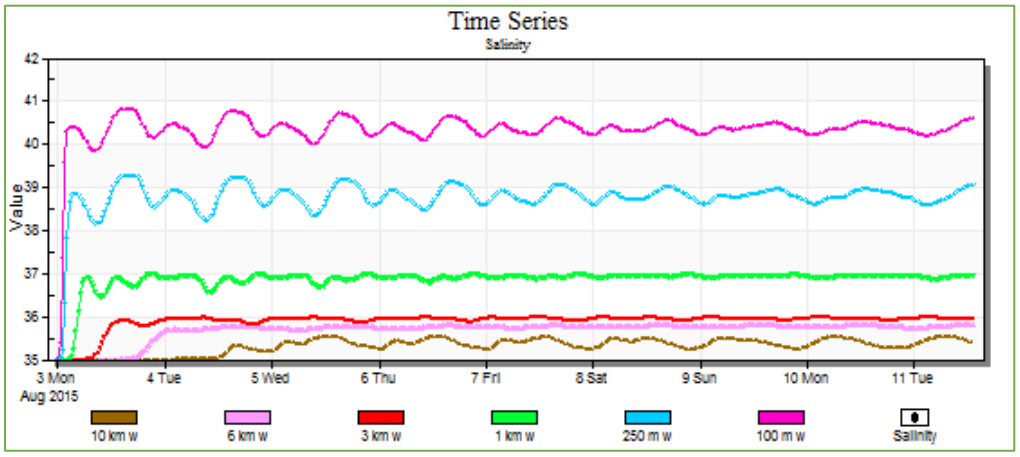


Figura 175. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Primera Dirección. Agosto (157.5 y 5.2 m/s)

Asumiendo que una variación de +-1 ppm es aceptable, se considera que la pluma logra la dilución a 3 km.

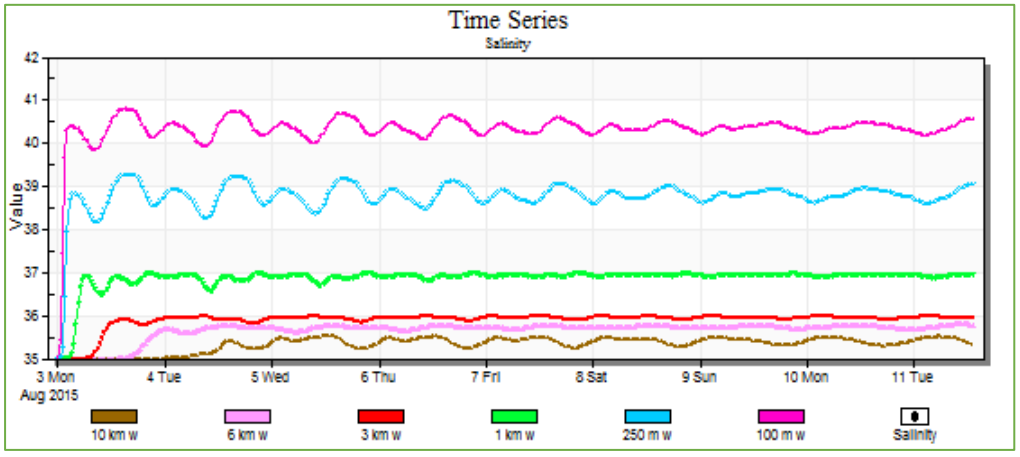


Figura 176. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Segunda Dirección. Agosto. (135 y 4.5 m/s)

Tercera dirección: viento de dirección 180 y 4.5 m/s

La pluma tiene una forma alargada paralela a la costa, en dirección Oeste; su longitud es de unos 8 km y se comportará de la siguiente forma:

- En los primeros 100 m se efectuará el mayor proceso de mezcla con salinidades mayores a 41 ppm,
- A 250 m será de ~40 ppm,
- A 1 Km de ~37 ppm,
- A 3 Km de ~36 ppm,
- Y hasta 8 Km la pluma tiene una salinidad menor a 35.5 ppm.

Con base en lo anterior se puede establecer que para el mes de agosto la pluma se desplazará la mayor parte del tiempo hacia el oeste y asumiendo que una variación de +-1 ppm es aceptable, se considera que la pluma logra la dilución a 3 Km.

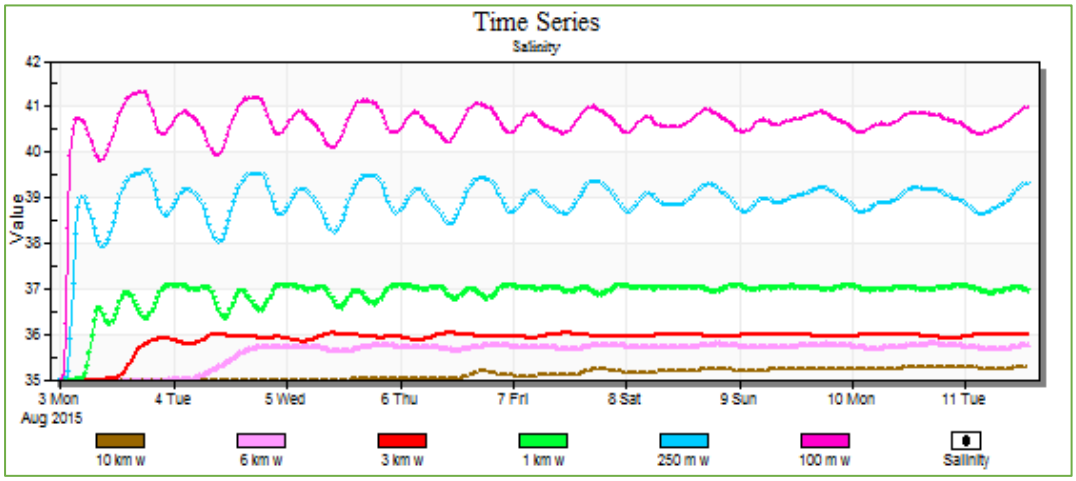


Figura 177. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Tercera Dirección. Agosto. (180 y 4.2 m/s)

Dilución en Septiembre

Primera dirección: viento de dirección 315 y 5.4 m/s

La pluma se desplaza con el mismo patrón que de enero a mayo; hacia el este nuevamente. La pluma tiene una forma alargada y se delimita dentro de las líneas de corrientes que cruzan el punto de descarga.

Segunda dirección: viento de dirección 292.5 y 5.5 m/s

El comportamiento de la pluma es igual al que se presenta con la primera dirección del viento, tanto en la dirección y dilución, por lo cual; para las primeras dos direcciones del viento en el mes de septiembre, la pluma se desplazará hacia el Este; con el siguiente comportamiento:

- En los primeros 100 m se efectuará el mayor proceso de mezcla con salinidades mayores a 40 ppm,
- A 250 m será de ~39 ppm,

- A 1 Km de ~37 ppm,
- A 3 Km de ~36 ppm,
- Y hasta 6 Km la pluma tiene una salinidad menor a 35.5 ppm.

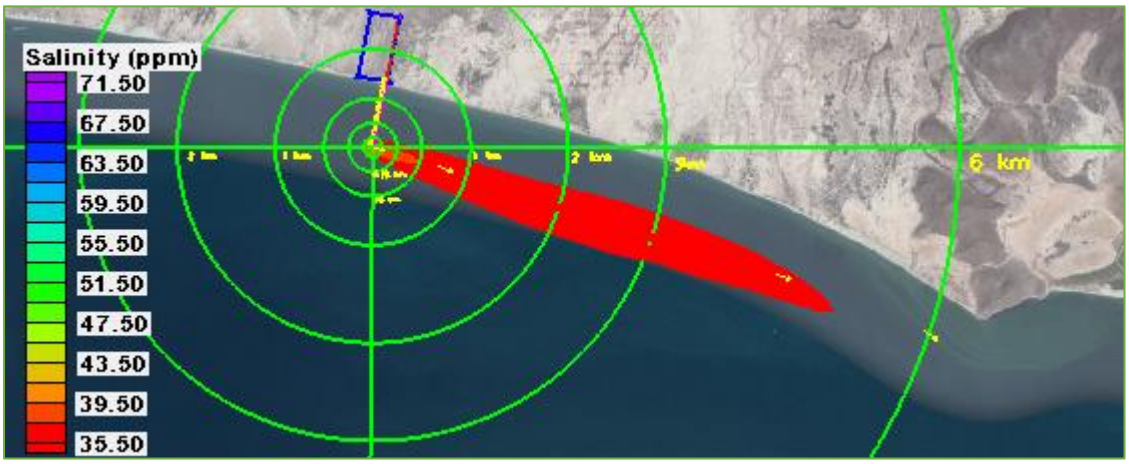


Figura 178. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Primera Dirección. Septiembre (315 y 5.4 m/s)

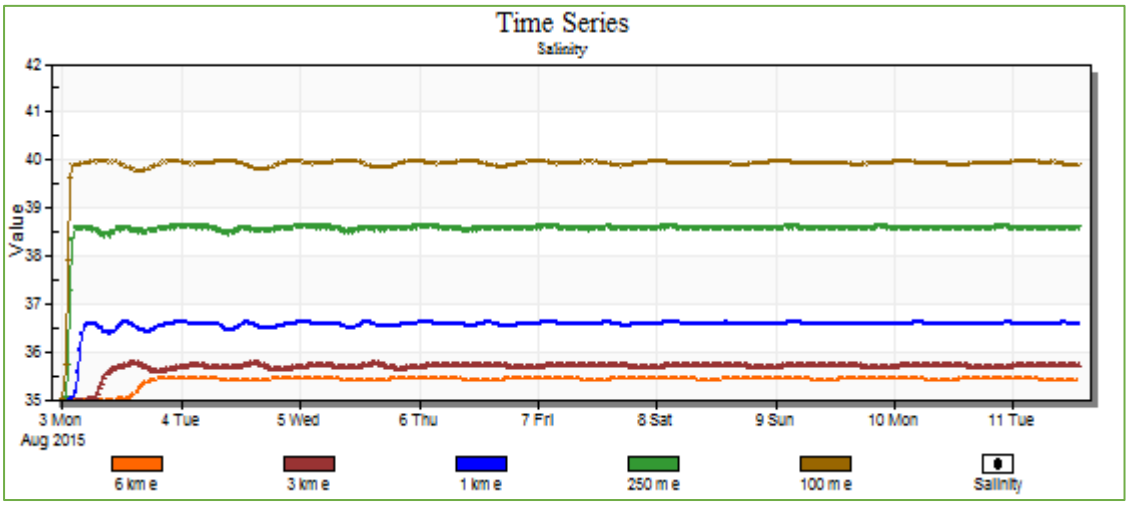


Figura 179. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Primera Dirección. Septiembre (315 y 5.4 m/s)

<u>Tercera dirección: viento de dirección 157.5 y 5 m/s</u>

La pluma se desplaza en dirección de la corriente, es decir; hacia el oeste, boca de la bahía Guaymas-Empalme, igual que con la primera dirección de agosto.

- En los primeros 100 m se efectuará el mayor proceso de mezcla con salinidades mayores a 40 ppm,
- A 250 m será de ~39 ppm,
- A 1 Km de ~37 ppm,
- A 3 Km de ~36 ppm,

- Y hasta 10 Km la pluma tiene una salinidad menor a 35.5 ppm, favorecida por el mezclado que induce la dinámica de los chorros de flujo y reflujo de la boca.

Por lo anterior en septiembre tendremos una pluma desplazándose en dos direcciones.

Dilución en Octubre

Primera dirección: viento de dirección 315 y 5.5 m/s

La pluma se desplaza con el mismo patrón que de enero a mayo y septiembre; hacia el este. La pluma tiene una forma alargada y se delimita dentro de las líneas de corrientes que cruzan el punto de descarga.

Segunda dirección: viento de dirección 292.5 y 6.5 m/s

El comportamiento de la pluma es igual al que se presenta con la primera dirección del viento, tanto en la dirección y dilución, por lo cual; para la mayor parte del tiempo del mes de octubre, la pluma se desplazará hacia el Este; con el siguiente comportamiento:

- En los primeros 100 m se efectuará el mayor proceso de mezcla con salinidades mayores a 40 ppm,
- A 250 m será de ~39 ppm,
- A 1 Km de ~37 ppm,
- A 3 Km de ~36 ppm,
- Y hasta 6 Km la pluma tiene una salinidad menor a 35.5 ppm.

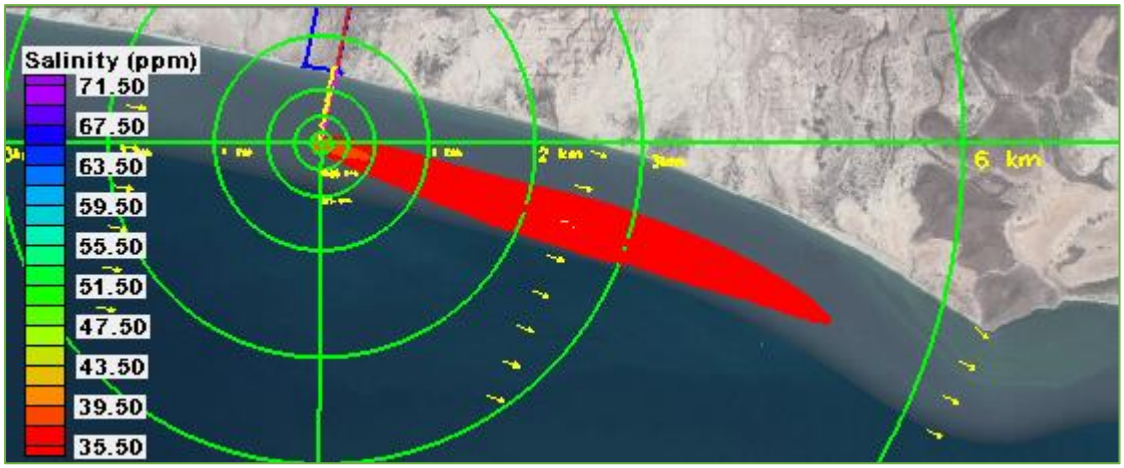


Figura 180. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Primera Dirección. Octubre (315 y 5.5 m/s)

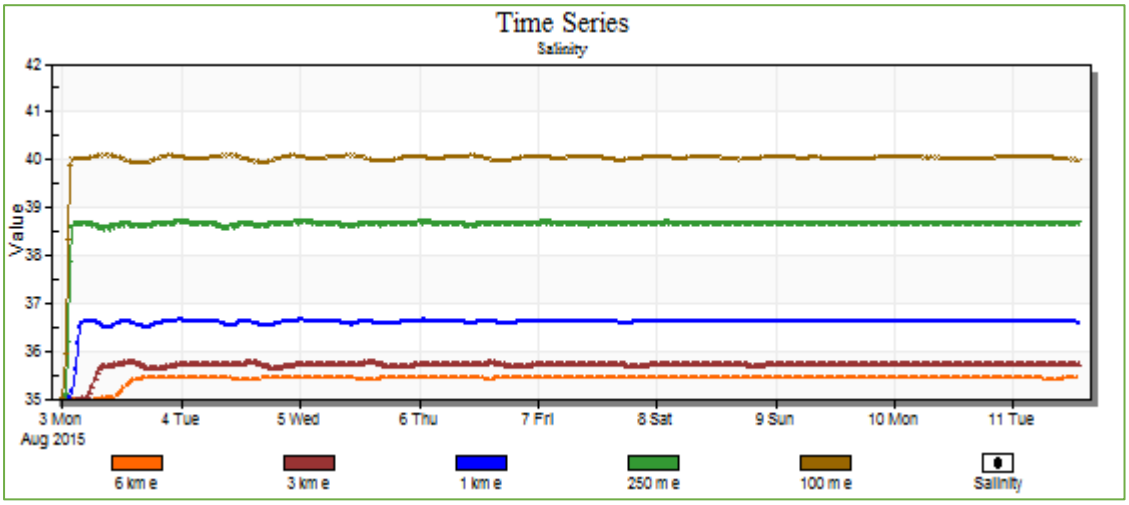


Figura 181. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Segunda Dirección. Octubre (292.5 y 6.5 m/s)

Dilución en Noviembre

Primera dirección: viento de dirección 315 y 6.7 m/s

La pluma se desplaza en dirección de la corriente, es decir; hacia el este, con un patrón muy homogéneo durante toda la simulación (240 horas). La pluma tiene una forma alargada y se delimita dentro de las líneas de corrientes que cruzan el punto de descarga. El ancho promedio de la pluma es de 450 m. El comportamiento es idéntico que con la primera dirección de febrero.

Segunda dirección: viento de dirección 337.5 y 6.2 m/s

El comportamiento de la pluma es igual al que se presenta con la primera dirección del viento tanto en la dirección y dilución, por lo cual; para la mayor parte del tiempo en el mes de noviembre, la pluma se desplazará hacia el Este; con el siguiente comportamiento:

- En los primeros 100 m se efectuará el mayor proceso de mezcla con salinidades mayores a 40 ppm,
- A 250 m será de ~39 ppm,
- A 1 Km de ~37 ppm,
- A 3 Km de ~36 ppm,
- Y hasta 6 Km la pluma tiene una salinidad menor a 35.5 ppm.

Asumiendo entonces que una variación de +-1 ppm es aceptable, se considera que la pluma logra la dilución a 3 km.

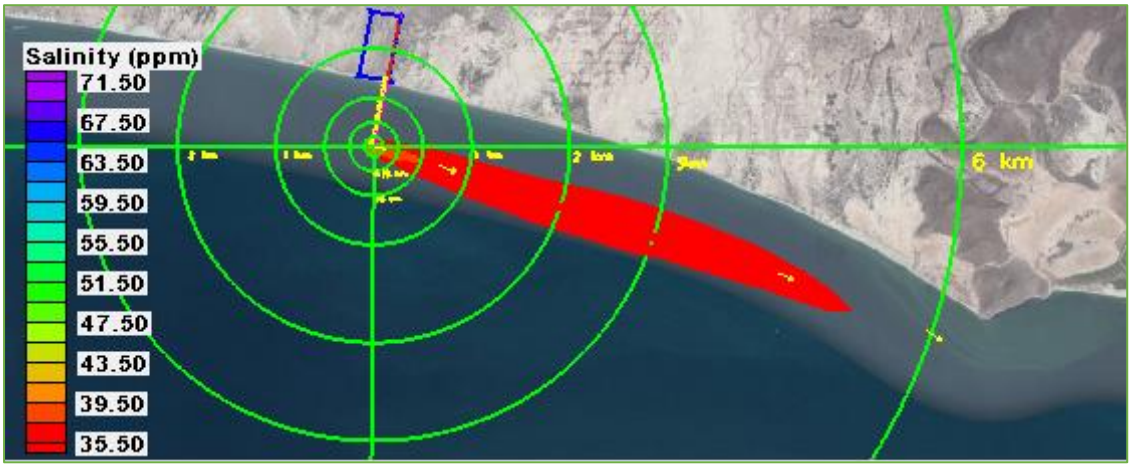


Figura 182. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Primera Dirección. Noviembre (315 y 6.7 m/s)

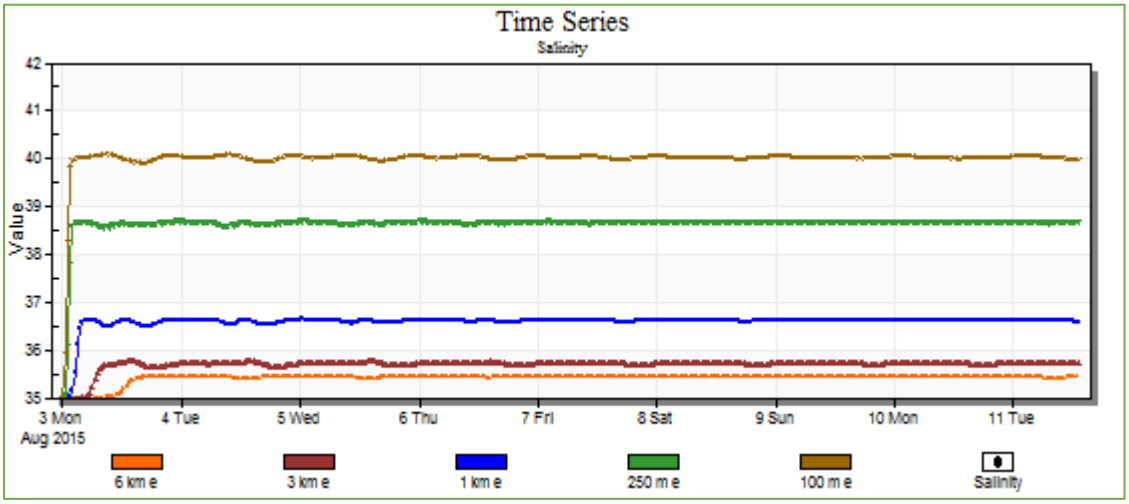


Figura 183. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Primera Dirección. Noviembre (315 y 6.7 m/s)

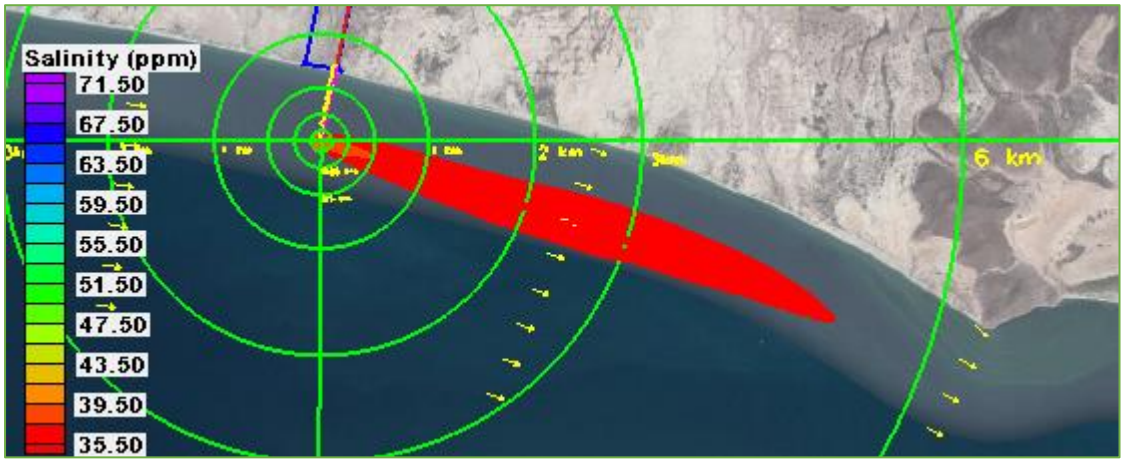


Figura 184. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Segunda Dirección. Noviembre (337.5 y 6.2 m/s)

Dilución en Diciembre

Primera dirección: viento de dirección 315 y 7 m/s

El comportamiento de la pluma es igual al que se presenta en el mes de enero.

Segunda dirección: viento de dirección 337.5 y 6.7 m/s

El comportamiento de la pluma es igual al que se presenta con la primera dirección del viento tanto en la dirección y dilución, por lo cual; para la mayor parte del tiempo en el mes de diciembre, la pluma se desplazará hacia el Este; con el siguiente comportamiento:

- En los primeros 100 m se efectuará el mayor proceso de mezcla con salinidades mayores a 40 ppm,
- A 250 m será de ~39 ppm,
- A 1 Km de ~37 ppm,
- A 3 Km de ~36 ppm,
- Y hasta 6 Km la pluma tiene una salinidad menor a 35.5 ppm.

Asumiendo entonces que una variación de +-1 ppm es aceptable, se considera que la pluma logra la dilución a 3 Km.

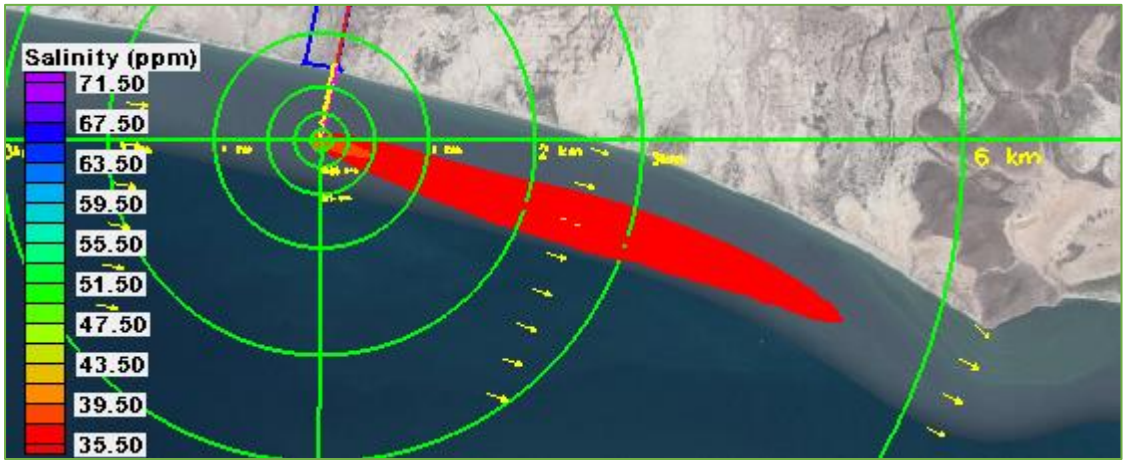


Figura 185. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Primera Dirección. Diciembre (315 y 7 m/s)

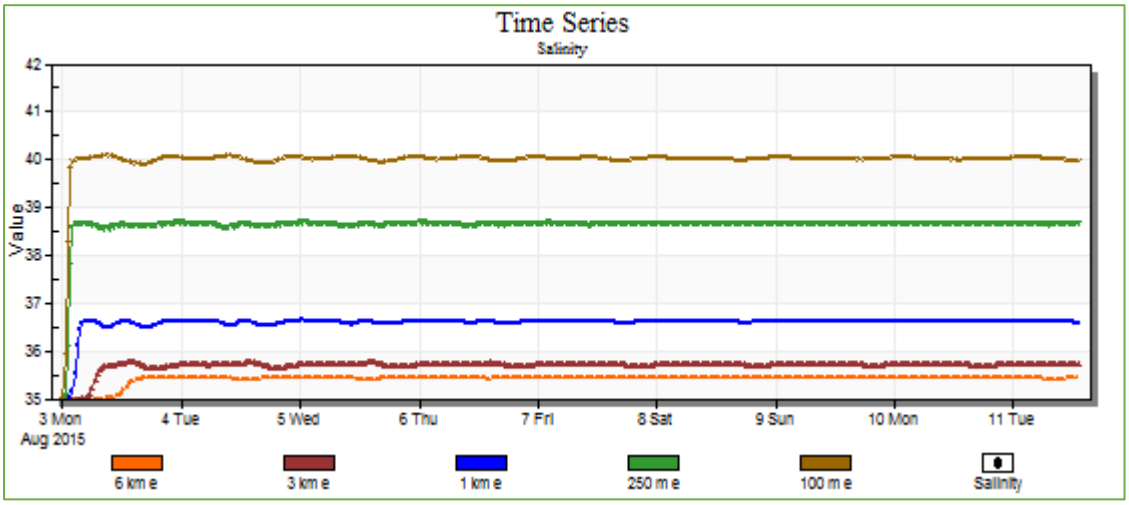


Figura 186. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Primera Dirección. Diciembre (315 y 7 m/s)

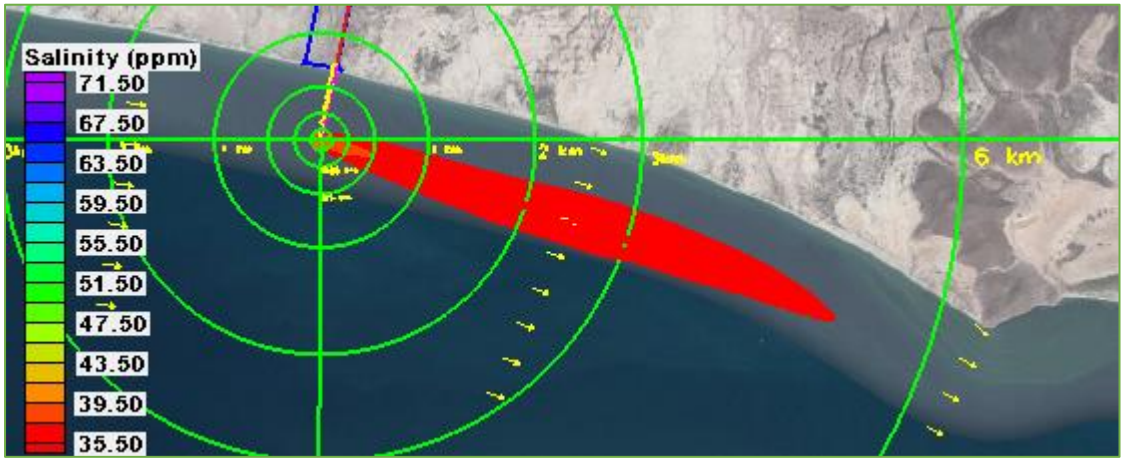


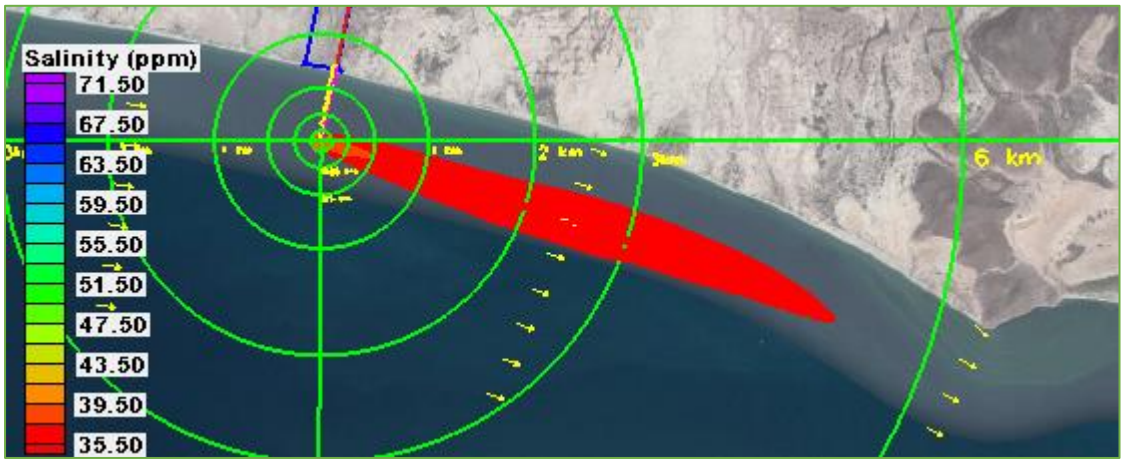
Figura 187. Dilución Respecto a la Distancia del Punto de Vertido para la Segunda Dirección. Diciembre (337.5 y 6.7 m/s)

En términos generales, para todo el año se puede decir que el comportamiento de la dilución de la pluma es el siguiente:

- **En los primeros 100 m se efectuará el mayor proceso de mezcla con salinidades mayores a 41 ppm,**
- **A 250 m será de ~39 ppm,**
- **A 1 km de ~37 ppm,**
- **A 3 km de ~36 ppm,**
- **Cuando la pluma va al este, a 6 km la pluma tiene una salinidad menor a 35.5 ppm,**
- **Cuando la pluma va al oeste, es a 10 km la pluma tiene una salinidad menor a 35.5 ppm.**

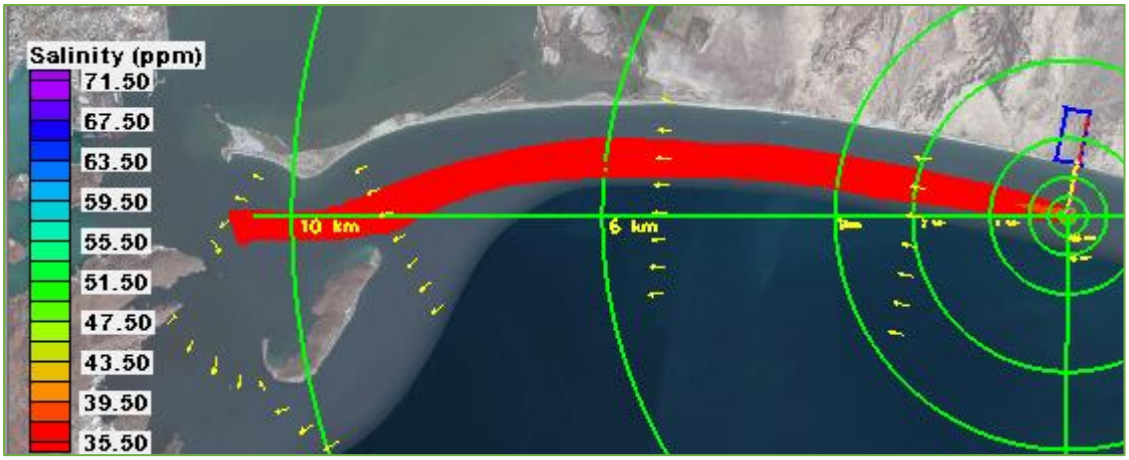
Asumiendo entonces que una variación de +-1 ppm es aceptable, se considera que la pluma logra prácticamente la dilución total a 3 Km.

A lo largo del año la pluma tiene dos direcciones de desplazamiento que se resumen en las siguientes figuras.



Enero, Febrero, Marzo, Abril, Mayo, Junio (algunos días), Septiembre (mayoría de días), Octubre, Noviembre y Diciembre

Figura 188. Dilución por Meses al Este



Junio (mayoría de días), Julio, Agosto y Septiembre (algunos días)

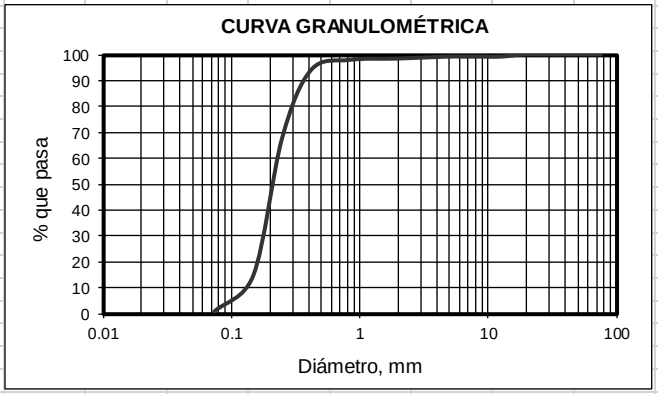
Figura 189. Dilución por Meses al Oeste

Anexo Clasificación de Sedimentos Playeros Sitio 1

ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA ASTM D 422-63

ESTUDIO: Sedimentos Playeros
UBICACIÓN: Guaymas, Son.
OPERADOR:
CALCULÓ: CHM **FECHA:** 07-jul-16

MUESTRA:		**Playa Centro: Duna**					
Cápsula No.:		454	Wt (gr)=	20.90		D_{60}(mm)=	0.233
Wt + Ws (gr)=		250.07	Ws (gr)=	229.17		D_{30}(mm)=	0.180
						D_{10}(mm)=	0.136
MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA No. 4				**MATERIAL CRIBADO POR LA MALLA No. 4**			
Malla	Peso retenido	Retenido parcial	Material que pasa	Malla	Peso retenido	Retenido parcial	Material que pasa
No. (mm)	Wi (gr)	r (%)	(%)	No. (mm)	Wi (gr)	r (%)	(%)
3" (76.20)				10 (2.00)	1.69	0.74	98.39
2" (50.80)				20 (0.84)	1.15	0.50	97.89
11/2" (38.1)				40 (0.42)	8.91	3.89	94.00
1" (25.40)				60 (0.25)	60.15	26.25	67.76
3/4" (19.05)				100 (0.149)	121.73	53.12	14.64
1/2" (12.70)	1.99	0.87	99.13	200 (0.074)	32.00	13.96	0.68
3/8" (9.53)				Pasa No. 200	1.55	0.68	0.68
1/4" (6.35)				Suma	227.18		
No. 4 (4.76)							
Pasa No. 4	227.18	**G (%) =**	**0.87**	**S (%) =**	**98.46**	**F (%) =**	**0.68**
Suma	227.18	**Cu=**	**1.713**	**Cc=**	**1.022**	**SUCS:**	**SP**



CLASIFICACIÓN VISUAL, MANUAL Y CONTENIDO DE AGUA ASTM D 2216-98

ESTUDIO:

UBICACIÓN: Duna

FECHA: 07-jul-16 **OPERADOR:**

CALCULÓ: **SONDEO:**

Muestra No.	Profundidad, m De	Profundidad, m A	Long.	Cápsula, C No.	Cápsula, C gr.	Wm+C gr	Ws+C gr	w %	C L A S I F I C A C I O N
				454	20.90	252.22	250.07	0.9	Arena fina muy poco arcillosa café pálido con muy poca pedacería de concha y 1 pedazo de vidrio

DENSIDAD DE SÓLIDOS

ESTUDIO: Playa Centro
UBICACIÓN: Duna
OPERADOR: **FECHA:** 07-jul-16
CALCULÓ:

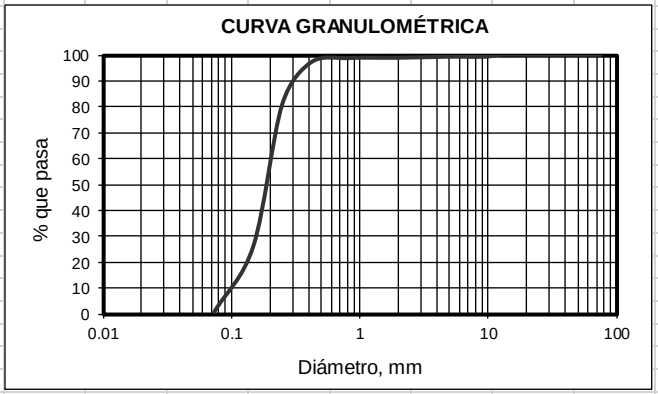
SONDEO No.	MUESTRA No.	PROF. M	CAPSULA No.	PIC No.	TEMP. °C	PIC+Ww gr	IC+Ww+W gr	Wbws gr	Wbw gr	Ws gr	Vs cm3	Ss
			371	4	26.0	168.47	215.37	688.40	659.21	46.90	17.71	2.65

PIC=	Matraz	Ws=	(PIC+Ww+Ws)-(PIC+Ww)
Ww=	Peso del agua	Vs=	Ws+Wbw-Wbws
Ws=	Peso del suelo		
Wbws=	Peso (PIC+Ww+Ws) a t°	Ss=	Ws/(Vs g o)
Wbw=	Peso (PIC+Ww) a °t de curva de calibración		
Vs=	Volumen de sólidos	g o=	1 gr/cm3

ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA ASTM D 422-63

ESTUDIO: Sedimentos Playeros
UBICACIÓN: Guaymas, Son.
OPERADOR:
CALCULÓ: CHM **FECHA:** 07-jul-16

MUESTRA:		**Playa Centro: Estrán**					
Cápsula No.:		198	Wt (gr)=	20.81		D_{60}(mm)=	0.201
Wt + Ws (gr)=		222.76	Ws (gr)=	201.95		D_{30}(mm)=	0.155
						D_{10}(mm)=	0.118
MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA No. 4				**MATERIAL CRIBADO POR LA MALLA No. 4**			
Malla	Peso retenido	Retenido parcial	Material que pasa	Malla	Peso retenido	Retenido parcial	Material que pasa
No. (mm)	Wi (gr)	r (%)	(%)	No. (mm)	Wi (gr)	r (%)	(%)
3" (76.20)				10 (2.00)	0.79	0.39	98.82
2" (50.80)				20 (0.84)	0.24	0.12	98.70
11/2" (38.1)				40 (0.42)	3.26	1.61	97.09
1" (25.40)				60 (0.25)	32.88	16.28	80.81
3/4" (19.05)				100 (0.149)	110.42	54.68	26.13
1/2" (12.70)				200 (0.074)	51.26	25.38	0.75
3/8" (9.53)	1.59	0.79	99.21	Pasa No. 200	1.51	0.75	0.75
1/4" (6.35)				Suma	200.36		
No. 4 (4.76)							
Pasa No. 4	200.36	**G (%) =**	**0.79**	**S (%) =**	**98.46**	**F (%) =**	**0.75**
Suma	200.36	**Cu=**	**1.703**	**Cc=**	**1.013**	**SUCS:**	**SP**



CLASIFICACIÓN VISUAL, MANUAL Y CONTENIDO DE AGUA ASTM D 2216-98

ESTUDIO: Playa Centro

UBICACIÓN: Estran

FECHA: 07-jul-16 **OPERADOR:** M.H.S

CALCULÓ: **SONDEO:**

Muestra	Profundidad, m		Long.	Cápsula, C		Wm+C	Ws+C	w	CLASIFICACION
No.	De	A		No.	gr.	gr	gr	%	
				198	20.81	269.47	222.76	23.1	Arena fina muy poco arcillosa gris olivo

DENSIDAD DE SÓLIDOS

ESTUDIO: Playa Centro
UBICACIÓN: Estran
OPERADOR: M.H.S **FECHA:** 07-jul-16
CALCULÓ:

SONDEO No.	MUESTRA No.	PROF. M	CAPSULA No.	PIC No.	TEMP. °C	PIC+Ww gr	PIC+Ww+Ws gr	Wbws gr	Wbw gr	Ws gr	Vs cm3	Ss
			319	5	27.3	180.46	227.30	687.20	658.08	46.84	17.72	2.64

PIC=	Matraz	Ws=	(PIC+Ww+Ws)-(PIC+Ww)
Ww=	Peso del agua	Vs=	Ws+Wbw-Wbws
Ws=	Peso del suelo		
Wbws=	Peso (PIC+Ww+Ws) a t°	Ss=	Ws/(Vs g o)
Wbw=	Peso (PIC+Ww) a °t de curva de calibración		
Vs=	Volumen de sólidos	g o=	1 gr/cm3

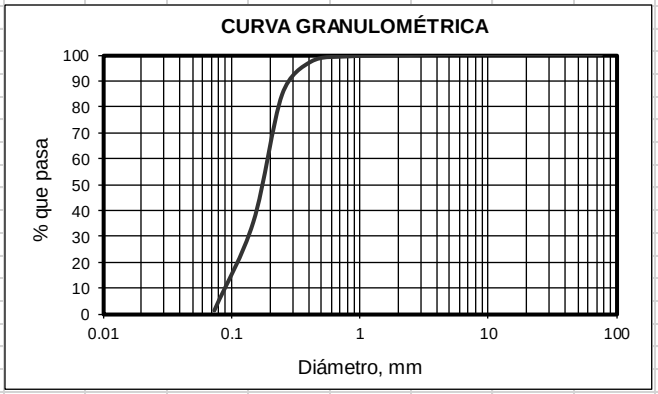
ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA ASTM D 422-63

ESTUDIO: Sedimentos Playeros
UBICACIÓN: Guaymas, Son.
OPERADOR: M.H.S
CALCULÓ: CHM **FECHA:** 07-jul-16

MUESTRA: **Playa Centro: Rompiente**

Cápsula No.:	414	Wt (gr)=	20.89	D_{60}(mm)=	0.191
Wt + Ws (gr)=	250.02	Ws (gr)=	229.13	D_{30}(mm)=	0.141
				D_{10}(mm)=	0.092

MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA No. 4				MATERIAL CRIBADO POR LA MALLA No. 4			
Malla	Peso retenido	Retenido parcial	Material que pasa	Malla	Peso retenido	Retenido parcial	Material que pasa
No. (mm)	Wi (gr)	r (%)	(%)	No. (mm)	Wi (gr)	r (%)	(%)
3" (76.20)				10 (2.00)	0.65	0.28	99.72
2" (50.80)				20 (0.84)	1.00	0.44	99.28
11/2" (38.1)				40 (0.42)	4.64	2.03	97.25
1" (25.40)				60 (0.25)	28.88	12.60	84.65
3/4" (19.05)				100 (0.149)	112.59	49.14	35.51
1/2" (12.70)				200 (0.074)	78.06	34.07	1.44
3/8" (9.53)				Pasa No. 200	3.31	1.44	1.44
1/4" (6.35)				Suma	229.13		
No. 4 (4.76)							
Pasa No. 4	229.13	**G (%) =**	**0.00**	**S (%) =**	**98.56**	**F (%) =**	**1.44**
Suma	229.13	**Cu=**	**2.076**	**Cc=**	**1.131**	**SUCS:**	**SP**



CLASIFICACIÓN VISUAL, MANUAL Y CONTENIDO DE AGUA ASTM D 2216-98

ESTUDIO: Playa Centro

UBICACIÓN: Rompiente

FECHA: 07-jul-16 **OPERADOR:** M.H.S

CALCULÓ: **SONDEO:**

Muestra	Profundidad, m		Long.	Cápsula, C		Wm+C	Ws+C	w	CLASIFICACION
No.	De	A		No.	gr.	gr	gr	%	
				414	20.89	322.46	250.02	32	(saturada) Arena fina muy poco arcillosa gris con vestigios de concha

DENSIDAD DE SÓLIDOS

ESTUDIO: Playa Centro
UBICACIÓN: Rompiente
OPERADOR: M.H.S **FECHA:** 07-jul-16
CALCULÓ:

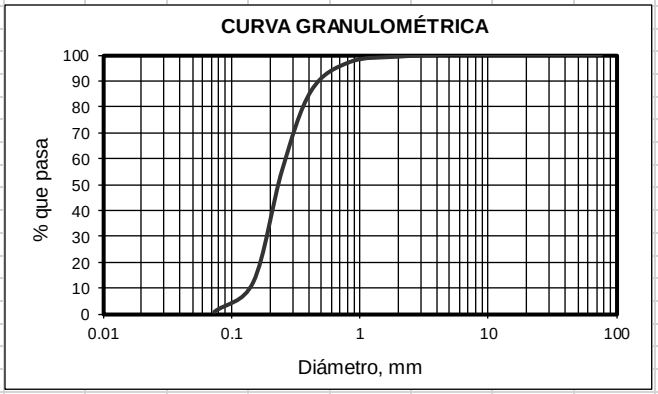
SONDEO No.	MUESTRA No.	PROF. M	CAPSULA No.	PIC No.	TEMP. °C	PIC+Ww gr	PIC+Ww+Ws gr	Wbws gr	Wbw gr	Ws gr	Vs cm3	Ss
			49	4	25.9	173.60	226.48	692.15	659.22	52.88	19.95	2.65

PIC=	Matraz	Ws=	(PIC+Ww+Ws)-(PIC+Ww)
Ww=	Peso del agua	Vs=	Ws+Wbw-Wbws
Ws=	Peso del suelo		
Wbws=	Peso (PIC+Ww+Ws) a t°	Ss=	Ws/(Vs g o)
Wbw=	Peso (PIC+Ww) a °t de curva de calibración		
Vs=	Volumen de sólidos	g o=	1 gr/cm3

ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA ASTM D 422-63

ESTUDIO: Sedimentos Playeros
UBICACIÓN: Guaymas, Son.
OPERADOR: M.H.S
CALCULÓ: CHM **FECHA:** 07-jul-16

MUESTRA:		**Playa este: Duna**					
Cápsula No.:		159	Wt (gr)=	20.48		D_{60}(mm)=	0.266
Wt + Ws (gr)=		227.89	Ws (gr)=	207.41		D_{30}(mm)=	0.192
						D_{10}(mm)=	0.137
MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA No. 4				**MATERIAL CRIBADO POR LA MALLA No. 4**			
Malla	Peso retenido	Retenido parcial	Material que pasa	Malla	Peso retenido	Retenido parcial	Material que pasa
No. (mm)	Wi (gr)	r (%)	(%)	No. (mm)	Wi (gr)	r (%)	(%)
3" (76.20)				10 (2.00)	1.63	0.79	99.21
2" (50.80)				20 (0.84)	4.30	2.07	97.14
11/2" (38.1)				40 (0.42)	23.09	11.13	86.01
1" (25.40)				60 (0.25)	63.18	30.46	55.55
3/4" (19.05)				100 (0.149)	89.62	43.21	12.34
1/2" (12.70)				200 (0.074)	23.86	11.50	0.83
3/8" (9.53)				Pasa No. 200	1.73	0.83	0.83
1/4" (6.35)				Suma	207.41		
No. 4 (4.76)							
Pasa No. 4	207.41	**G (%) =**	**0.00**	**S (%) =**	**99.17**	**F (%) =**	**0.83**
Suma	207.41	**Cu=**	**1.942**	**Cc=**	**1.012**	**SUCS:**	**SP**



CLASIFICACIÓN VISUAL, MANUAL Y CONTENIDO DE AGUA ASTM D 2216-98

ESTUDIO: Playa Este
UBICACIÓN: Duna
FECHA: 07-jul-16 **OPERADOR:** M.H.S
CALCULÓ: **SONDEO:**

Muestra No.	Profundidad, m De	Profundidad, m A	Long.	Cápsula, C No.	Cápsula, C gr.	Wm+C gr	Ws+C gr	w %	CLASIFICACION
				159	20.48	231.1	227.89	1.5	Arena fina muy poco arcillosa café gris claro con muy poca pedacería de concha

DENSIDAD DE SÓLIDOS

ESTUDIO: Playa Este
UBICACIÓN: Duna
OPERADOR: M.H.S **FECHA:** 07-jul-16
CALCULÓ:

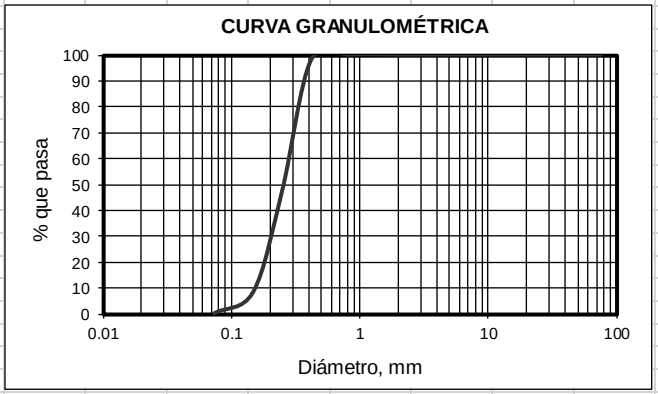
SONDEO No.	MUESTRA No.	PROF. M	CAPSULA No.	PIC No.	TEMP. °C	PIC+Ww gr	PIC+Ww+Ws gr	Wbws gr	Wbw gr	Ws gr	Vs cm3	Ss
			450	3	26.0	169.41	220.86	690.21	658.05	51.45	19.29	2.67

PIC=	Matraz	Ws=	(PIC+Ww+Ws)-(PIC+Ww)
Ww=	Peso del agua	Vs=	Ws+Wbw-Wbws
Ws=	Peso del suelo		
Wbws=	Peso (PIC+Ww+Ws) a t°	Ss=	Ws/(Vs g o)
Wbw=	Peso (PIC+Ww) a °t de curva de calibración		
Vs=	Volumen de sólidos	g o=	1 gr/cm3

ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA ASTM D 422-63

ESTUDIO: Sedimentos Playeros
UBICACIÓN: Guaymas, Son.
OPERADOR: M.H.S
CALCULÓ: CHM **FECHA:** 07-jul-16

MUESTRA:		**Playa este: Estrán**					
Cápsula No.:		210	Wt (gr)=	20.12		D_{60}(mm)=	0.276
Wt + Ws (gr)=		175.19	Ws (gr)=	155.07		D_{30}(mm)=	0.213
						D_{10}(mm)=	0.154
MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA No. 4				**MATERIAL CRIBADO POR LA MALLA No. 4**			
Malla	Peso retenido	Retenido parcial	Material que pasa	Malla	Peso retenido	Retenido parcial	Material que pasa
No. (mm)	Wi (gr)	r (%)	(%)	No. (mm)	Wi (gr)	r (%)	(%)
3" (76.20)				10 (2.00)			
2" (50.80)				20 (0.84)			
11/2" (38.1)				40 (0.42)	3.24	2.09	97.91
1" (25.40)				60 (0.25)	78.09	50.36	47.55
3/4" (19.05)				100 (0.149)	60.38	38.94	8.62
1/2" (12.70)				200 (0.074)	12.86	8.29	0.32
3/8" (9.53)				Pasa No. 200	0.50	0.32	0.32
1/4" (6.35)				Suma	155.07		
No. 4 (4.76)							
Pasa No. 4	155.07	**G (%) =**	**0.00**	**S (%) =**	**99.68**	**F (%) =**	**0.32**
Suma	155.07	**Cu=**	**1.792**	**Cc=**	**1.067**	**SUCS:**	**SP**



CLASIFICACIÓN VISUAL, MANUAL Y CONTENIDO DE AGUA ASTM D 2216-98

ESTUDIO: Playa Este

UBICACIÓN: Estran

FECHA: 07-jul-16 **OPERADOR:** M.H.S

CALCULÓ: **SONDEO:**

Muestra No.	Profundidad, m De	A	Long.	Cápsula, C No.	gr.	Wm+C gr	Ws+C gr	w %	CLASIFICACION
				210	20.12	212.2	175.19	23.9	Arena fina muy poco arcillosa café pálido con vestigios de concha

DENSIDAD DE SÓLIDOS

ESTUDIO: Playa Este
UBICACIÓN: Estran
OPERADOR: M.H.S **FECHA:** 07-jul-16
CALCULÓ:

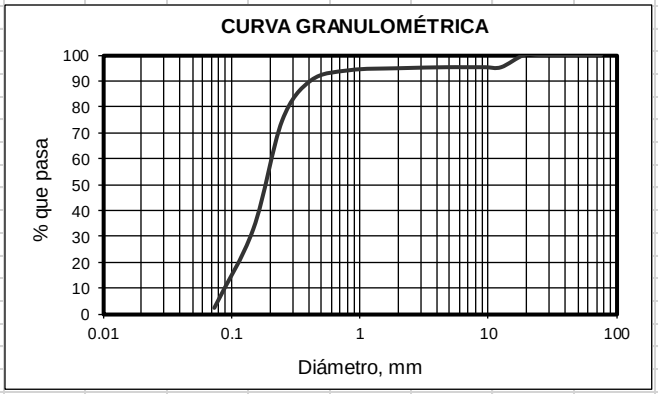
SONDEO No.	MUESTRA No.	PROF. M	CAPSULA No.	PIC No.	TEMP. °C	PIC+Ww gr	PIC+Ww+Ws gr	Wbws gr	Wbw gr	Ws gr	Vs cm3	Ss
			157	2	27.0	166.48	216.20	688.05	657.08	49.72	18.75	2.65

PIC=	Matraz	Ws=	(PIC+Ww+Ws)-(PIC+Ww)
Ww=	Peso del agua	Vs=	Ws+Wbw-Wbws
Ws=	Peso del suelo		
Wbws=	Peso (PIC+Ww+Ws) a t°	Ss=	Ws/(Vs g o)
Wbw=	Peso (PIC+Ww) a °t de curva de calibración		
Vs=	Volumen de sólidos	g o=	1 gr/cm3

ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA ASTM D 422-63

ESTUDIO: Sedimentos Playeros
UBICACIÓN: Guaymas, Son.
OPERADOR: M.H.S
CALCULÓ: CHM **FECHA:** 07-jul-16

MUESTRA:		**Playa este: Rompiente**					
Cápsula No.:		199	Wt (gr)=	20.60		D_{60}(mm)=	0.204
Wt + Ws (gr)=		186.72	Ws (gr)=	166.12		D_{30}(mm)=	0.144
						D_{10}(mm)=	0.102
MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA No. 4				**MATERIAL CRIBADO POR LA MALLA No. 4**			
Malla	Peso retenido	Retenido parcial	Material que pasa	Malla	Peso retenido	Retenido parcial	Material que pasa
No. (mm)	Wi (gr)	r (%)	(%)	No. (mm)	Wi (gr)	r (%)	(%)
3" (76.20)				10 (2.00)	0.66	0.40	94.91
2" (50.80)				20 (0.84)	1.26	0.76	94.15
11/2" (38.1)				40 (0.42)	6.50	3.91	90.24
1" (25.40)				60 (0.25)	25.83	15.55	74.69
3/4" (19.05)				100 (0.149)	69.62	41.91	32.78
1/2" (12.70)	7.80	4.70	95.30	200 (0.074)	50.69	30.51	2.26
3/8" (9.53)				Pasa No. 200	3.76	2.26	2.26
1/4" (6.35)				Suma	158.32		
No. 4 (4.76)							
Pasa No. 4	158.32	**G (%) =**	**4.70**	**S (%) =**	**93.04**	**F (%) =**	**2.26**
Suma	158.32	**Cu=**	**2.000**	**Cc=**	**0.997**	**SUCS:**	**SP**



CLASIFICACIÓN VISUAL, MANUAL Y CONTENIDO DE AGUA ASTM D 2216-98

ESTUDIO: Playa Este

UBICACIÓN: Rompiente

FECHA: 07-jul-16 **OPERADOR:** M.H.S

CALCULÓ: **SONDEO:**

Muestra No.	Profundidad, m De	A	Long.	Cápsula, C No.	gr.	Wm+C gr	Ws+C gr	w %	CLASIFICACION
				199	20.60	225.61	186.72	23.4	Arena fina muy poco arcillosa gris olivo con vestigios de concha

DENSIDAD DE SÓLIDOS

ESTUDIO: Playa Este
UBICACIÓN: Rompiente
OPERADOR: M.H.S **FECHA:** 07-jul-16
CALCULÓ:

SONDEO No.	MUESTRA No.	PROF. M	CAPSULA No.	PIC No.	TEMP. °C	PIC+Ww gr	PIC+Ww+Ws gr	Wbws gr	Wbw gr	Ws gr	Vs cm3	Ss
			89	1	26.3	180.36	226.47	692.18	663.33	46.11	17.26	2.67

PIC=	Matraz	Ws=	(PIC+Ww+Ws)-(PIC+Ww)
Ww=	Peso del agua	Vs=	Ws+Wbw-Wbws
Ws=	Peso del suelo		
Wbws=	Peso (PIC+Ww+Ws) a t°	Ss=	Ws/(Vs g o)
Wbw=	Peso (PIC+Ww) a °t de curva de calibración		
Vs=	Volumen de sólidos	g o=	1 gr/cm3

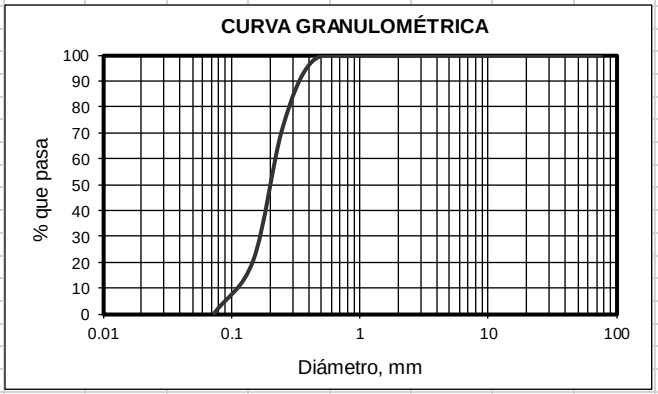
ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA ASTM D 422-63

ESTUDIO: Sedimentos Playeros
UBICACIÓN: Guaymas, Son.
OPERADOR: M.H.S
CALCULÓ: CHM **FECHA:** 07-jul-16

MUESTRA: **Playa oeste: Duna**

Cápsula No.:	262	Wt (gr)=	20.74	D_{60}(mm)=	0.227
Wt + Ws (gr)=	245.37	Ws (gr)=	224.63	D_{30}(mm)=	0.167
				D_{10}(mm)=	0.124

MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA No. 4				MATERIAL CRIBADO POR LA MALLA No. 4			
Malla	Peso retenido	Retenido parcial	Material que pasa	Malla	Peso retenido	Retenido parcial	Material que pasa
No. (mm)	Wi (gr)	r (%)	(%)	No. (mm)	Wi (gr)	r (%)	(%)
3" (76.20)				10 (2.00)	0.40	0.18	99.82
2" (50.80)				20 (0.84)	0.07	0.03	99.79
11/2" (38.1)				40 (0.42)	5.67	2.52	97.27
1" (25.40)				60 (0.25)	58.15	25.89	71.38
3/4" (19.05)				100 (0.149)	114.10	50.79	20.58
1/2" (12.70)				200 (0.074)	46.20	20.57	0.02
3/8" (9.53)				Pasa No. 200	0.04	0.02	0.02
1/4" (6.35)				Suma	224.63		
No. 4 (4.76)							
Pasa No. 4	224.63	**G (%) =**	**0.00**	**S (%) =**	**99.98**	**F (%) =**	**0.02**
Suma	224.63	**Cu=**	**1.831**	**Cc=**	**0.991**	**SUCS:**	**SP**



CLASIFICACIÓN VISUAL, MANUAL Y CONTENIDO DE AGUA ASTM D 2216-98

ESTUDIO: Playa Oeste
UBICACIÓN: Duna
FECHA: 07-jul-16 **OPERADOR:** M.H.S
CALCULÓ: **SONDEO:**

Muestra No.	Profundidad, m De	Profundidad, m A	Long.	Cápsula, C No.	Cápsula, C gr.	Wm+C gr	Ws+C gr	w %	CLASIFICACION
				262	20.74	250.02	245.37	2.1	Arena fina muy poco arcillosa café pálido con algunas raicillas y vestigios de concha

DENSIDAD DE SÓLIDOS

ESTUDIO: Playa Oeste
UBICACIÓN: Duna
OPERADOR: M.H.S **FECHA:** 07-jul-16
CALCULÓ:

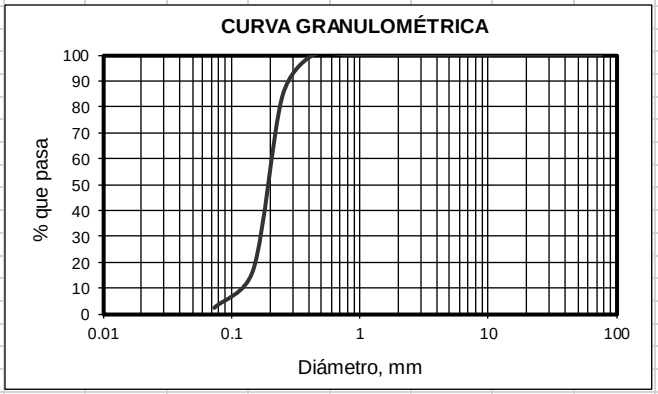
SONDEO No.	MUESTRA No.	PROF. M	CAPSULA No.	PIC No.	TEMP. °C	PIC+Ww gr	PIC+Ww+Ws gr	Wbws gr	Wbw gr	Ws gr	Vs cm3	Ss
			451	2	26.8	177.26	220.54	684.20	657.11	43.28	16.19	2.67

PIC=	Matraz	Ws=	(PIC+Ww+Ws)-(PIC+Ww)
Ww=	Peso del agua	Vs=	Ws+Wbw-Wbws
Ws=	Peso del suelo		
Wbws=	Peso (PIC+Ww+Ws) a t°	Ss=	Ws/(Vs g o)
Wbw=	Peso (PIC+Ww) a °t de curva de calibración		
Vs=	Volumen de sólidos	g o=	1 gr/cm3

ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA ASTM D 422-63

ESTUDIO: Sedimentos Playeros
UBICACIÓN: Guaymas, Son.
OPERADOR: M.H.S
CALCULÓ: CHM **FECHA:** 07-jul-16

MUESTRA:		**Playa oeste: Estrán**					
Cápsula No.:		375	Wt (gr)=	21.51		D_{60}(mm)=	0.266
Wt + Ws (gr)=		239.50	Ws (gr)=	217.99		D_{30}(mm)=	0.192
						D_{10}(mm)=	0.137
MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA No. 4				**MATERIAL CRIBADO POR LA MALLA No. 4**			
Malla	Peso retenido	Retenido parcial	Material que pasa	Malla	Peso retenido	Retenido parcial	Material que pasa
No. (mm)	Wi (gr)	r (%)	(%)	No. (mm)	Wi (gr)	r (%)	(%)
3" (76.20)				10 (2.00)			
2" (50.80)				20 (0.84)			
11/2" (38.1)				40 (0.42)	1.28	0.59	99.41
1" (25.40)				60 (0.25)	34.30	15.73	83.68
3/4" (19.05)				100 (0.149)	145.11	66.57	17.11
1/2" (12.70)				200 (0.074)	32.24	14.79	2.32
3/8" (9.53)				Pasa No. 200	5.06	2.32	2.32
1/4" (6.35)				Suma	217.99		
No. 4 (4.76)							
Pasa No. 4	217.99	**G (%) =**	**0.00**	**S (%) =**	**97.68**	**F (%) =**	**2.32**
Suma	217.99	**Cu=**	**1.942**	**Cc=**	**1.012**	**SUCS:**	**SP**



CLASIFICACIÓN VISUAL, MANUAL Y CONTENIDO DE AGUA ASTM D 2216-98

ESTUDIO: Playa Oeste
UBICACIÓN: Estran
FECHA: 07-jul-16 **OPERADOR:** M.H.S
CALCULÓ: **SONDEO:**

Muestra No.	Profundidad, m De	Profundidad, m A	Long.	Cápsula, C No.	Cápsula, C gr.	Wm+C gr	Ws+C gr	w %	CLASIFICACION
				375	21.51	308.92	239.5	31.8	(saturada) Arena fina muy poco arcillosa café olivo con vestigios de concha

DENSIDAD DE SÓLIDOS

ESTUDIO: Playa Oeste
UBICACIÓN: Estran
OPERADOR: M.H.S **FECHA:** 07-jul-16
CALCULÓ:

SONDEO No.	MUESTRA No.	PROF. M	CAPSULA No.	PIC No.	TEMP. °C	PIC+Ww gr	PIC+Ww+Ws gr	Wbws gr	Wbw gr	Ws gr	Vs cm3	Ss
			117	4	23.9	169.33	219.51	690.80	659.49	50.18	18.87	2.66

PIC=	Matraz	Ws=	(PIC+Ww+Ws)-(PIC+Ww)
Ww=	Peso del agua	Vs=	Ws+Wbw-Wbws
Ws=	Peso del suelo		
Wbws=	Peso (PIC+Ww+Ws) a t°	Ss=	Ws/(Vs g o)
Wbw=	Peso (PIC+Ww) a °t de curva de calibración		
Vs=	Volumen de sólidos	g o=	1 gr/cm3

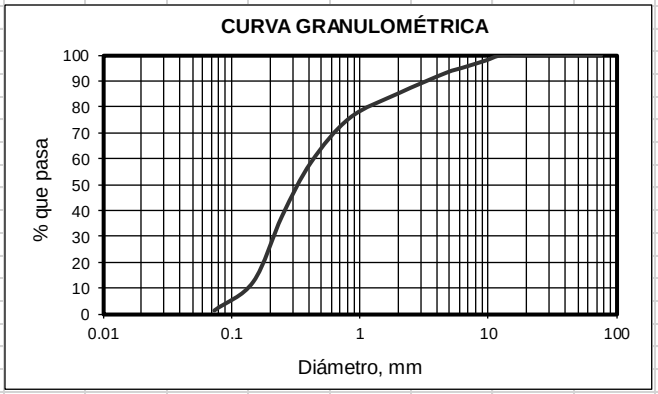
ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA ASTM D 422-63

ESTUDIO: Sedimentos Playeros
UBICACIÓN: Guaymas, Son.
OPERADOR: M.H.S
CALCULÓ: CHM **FECHA:** 07-jul-16

MUESTRA: **Playa oeste: Rompiente**

Cápsula No.:	204	Wt (gr)=	20.38	D_{60}(mm)=	0.448
Wt + Ws (gr)=	224.57	Ws (gr)=	204.19	D_{30}(mm)=	0.217
				D_{10}(mm)=	0.118

MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA No. 4				MATERIAL CRIBADO POR LA MALLA No. 4			
Malla	Peso retenido	Retenido parcial	Material que pasa	Malla	Peso retenido	Retenido parcial	Material que pasa
No. (mm)	Wi (gr)	r (%)	(%)	No. (mm)	Wi (gr)	r (%)	(%)
3" (76.20)				10 (2.00)	16.42	8.04	85.24
2" (50.80)				20 (0.84)	19.27	9.44	75.80
11/2" (38.1)				40 (0.42)	34.89	17.09	58.71
1" (25.40)				60 (0.25)	42.28	20.71	38.01
3/4" (19.05)				100 (0.149)	51.90	25.42	12.59
1/2" (12.70)				200 (0.074)	22.70	11.12	1.47
3/8" (9.53)	4.27	2.09	97.91	Pasa No. 200	3.01	1.47	1.47
1/4" (6.35)	5.56	2.72	95.19	Suma	190.47		
No. 4 (4.76)	3.89	1.91	93.28				
Pasa No. 4	190.47	**G (%) =**	**6.72**	**S (%) =**	**91.81**	**F (%) =**	**1.47**
Suma	194.36	**Cu=**	**3.797**	**Cc=**	**0.891**	**SUCS:**	**SP**



CLASIFICACIÓN VISUAL, MANUAL Y CONTENIDO DE AGUA ASTM D 2216-98

ESTUDIO: Playa Oeste

UBICACIÓN: Rompiente

FECHA: 07-jul-16 **OPERADOR:** M.H.S

CALCULÓ: **SONDEO:**

Muestra No.	Profundidad, m De	Profundidad, m A	Long.	Cápsula, C No.	Cápsula, C gr.	Wm+C gr	Ws+C gr	w %	CLASIFICACION
				204	20.38	258.43	224.57	16.6	Arena fina muy poco arcillosa café gris con pedacería de concha

DENSIDAD DE SÓLIDOS

ESTUDIO: Playa Oeste
UBICACIÓN: Rompiente
OPERADOR: M.H.S **FECHA:** 07-jul-16
CALCULÓ:

SONDEO No.	MUESTRA No.	PROF. M	CAPSULA No.	PIC No.	TEMP. °C	PIC+Ww gr	PIC+Ww+Ws gr	Wbws gr	Wbw gr	Ws gr	Vs cm3	Ss
			257	3	25.8	184.37	226.07	684.20	658.08	41.70	15.58	2.68

PIC=	Matraz	Ws=	(PIC+Ww+Ws)-(PIC+Ww)
Ww=	Peso del agua	Vs=	Ws+Wbw-Wbws
Ws=	Peso del suelo		
Wbws=	Peso (PIC+Ww+Ws) a t°	Ss=	Ws/(Vs go)
Wbw=	Peso (PIC+Ww) a °t de curva de calibración		
Vs=	Volumen de sólidos	go=	1 gr/cm3

CLASIFICACIÓN VISUAL, MANUAL Y CONTENIDO DE AGUA ASTM D 2216-98

ESTUDIO: Sedimentos Playeros

UBICACIÓN: Guaymas, Son.

FECHA: 07-jul-16 **OPERADOR:** M.H.S

CALCULÓ: CHM **SONDEO:** RESUMEN

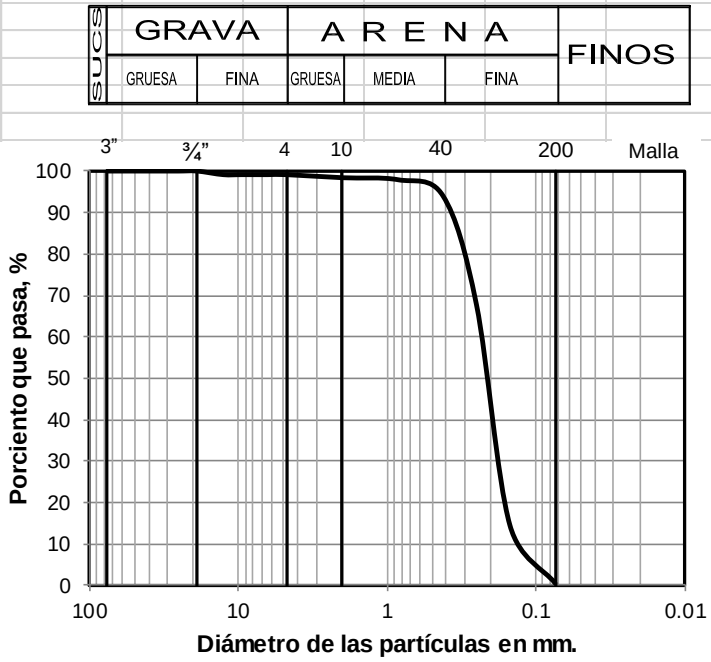
Muestra No.	Profundidad, m De	Profundidad, m A	Long.	Cápsula, C No.	Cápsula, C gr.	Wm+C gr	Ws+C gr	w %	CLASIFICACION
Playa centro: Duna				454	20.90	252.22	250.07	0.9	Arena fina muy poco arcillosa café pálido con muy poca pedacería de concha y 1 pedazo de vidrio
Playa centro: Estrán				198	20.81	269.47	222.76	23.1	Arena fina muy poco arcillosa gris olivo
Playa centro: Rompiente				414	20.89	322.46	250.02	32	Arena fina muy poco arcillosa gris con vestigios de concha
Playa este: Duna				159	20.48	231.1	227.89	1.5	Arena fina muy poco arcillosa café gris claro con muy poca pedacería de concha
Playa este: Estrán				210	20.12	212.2	175.19	23.9	Arena fina muy poco arcillosa café pálido con vestigios de concha
Playa este: Rompiente				199	20.60	225.61	186.72	23.4	Arena fina muy poco arcillosa gris olivo con vestigios de concha
Playa oeste: Duna				262	20.74	250.02	245.37	2.1	Arena fina muy poco arcillosa café pálido con algunas raicillas y vestigios de concha
Playa oeste: Estrán				375	21.51	308.92	239.5	31.8	Arena fina muy poco arcillosa café olivo con vestigios de concha
Playa oeste: Rompiente				204	20.38	258.43	224.57	16.6	Arena fina muy poco arcillosa café gris con pedacería de concha

DENSIDAD DE SÓLIDOS

ESTUDIO: Sedimentos Playeros
UBICACIÓN: Guaymas, Son.
OPERADOR: M.H.S **FECHA:** 07-jul-16
CALCULÓ: CHM

SONDEO No.	MUESTRA No.	PROF. M	CAPSULA No.	PIC No.	TEMP. °C	PIC+Ww gr	PIC+Ww+Ws gr	Wbws gr	Wbw gr	Ws gr	Vs cm3	Ss
Playa centro: Duna			371	4	26.0	168.47	215.37	688.40	659.21	46.90	17.71	2.65
Playa centro: Estrán			319	5	27.3	180.46	227.30	687.20	658.08	46.84	17.72	2.64
Playa centro: Rompiente			49	4	25.9	173.60	226.48	692.15	659.22	52.88	19.95	2.65
Playa este: Duna			450	3	26.0	169.41	220.86	690.21	658.05	51.45	19.29	2.67
Playa este: Estrán			157	2	27.0	166.48	216.20	688.05	657.08	49.72	18.75	2.65
Playa este: Rompiente			89	1	26.3	180.36	226.47	692.18	663.33	46.11	17.26	2.67
Playa oeste: Duna			451	2	26.8	177.26	220.54	684.20	657.11	43.28	16.19	2.67
Playa oeste: Estrán			117	4	23.9	169.33	219.51	690.80	659.49	50.18	18.87	2.66
Playa oeste: Rompiente			257	3	25.8	184.37	226.07	684.20	658.08	41.70	15.58	2.68

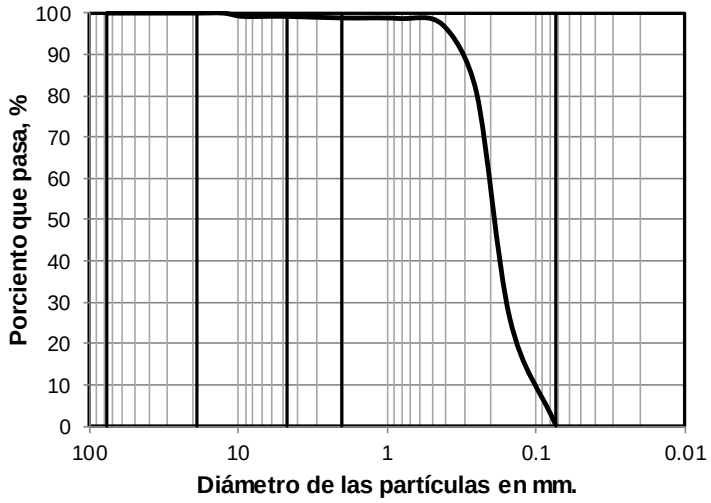
PIC=	Matraz	Ws=	(PIC+Ww+Ws)-(PIC+Ww)
Ww=	Peso del agua	Vs=	Ws+Wbw-Wbws
Ws=	Peso del suelo		
Wbws=	Peso (PIC+Ww+Ws) a t°	Ss=	Ws/(Vs go)
Wbw=	Peso (PIC+Ww) a °t de curva de calibración		
Vs=	Volumen de sólidos	go=	1 gr/cm3



Muestra: Playa Centro Duna

SUCS:	SP
Diámetro, mm	
D_{10}	0.136
D_{30}	0.180
D_{50}	0.214
D_{60}	0.233
D_{90}	0.352
Ss	2.65
w, %	0.90

Clasificación:
Arena fina mal graduada, café pálido con muy poca pedacería de concha y pedazo de vidrio

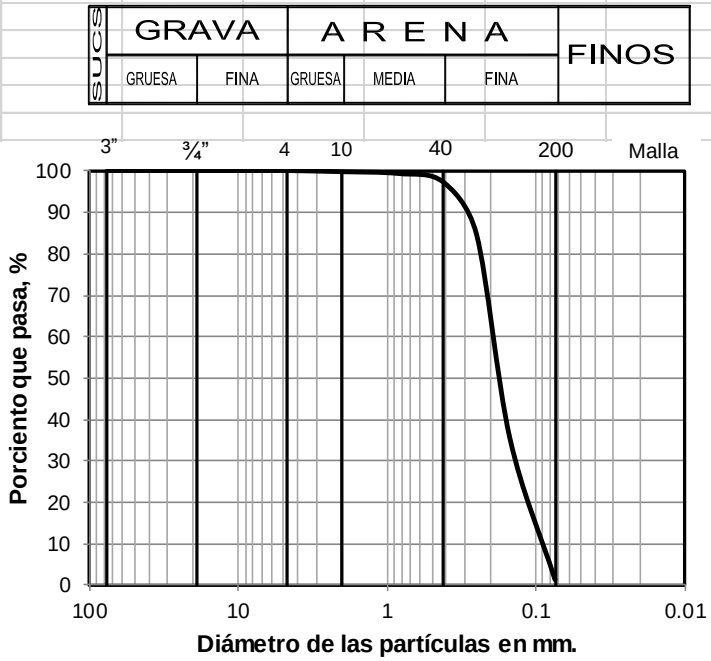


Muestra: Playa Centro Estrán

SUCS:	SP
Diámetro, mm	
D_{10}	0.118
D_{30}	0.155
D_{50}	0.185
D_{60}	0.201
D_{90}	0.296
Ss	2.64
w, %	23.1

Clasificación:
Arena fina mal graduada, gris olivo

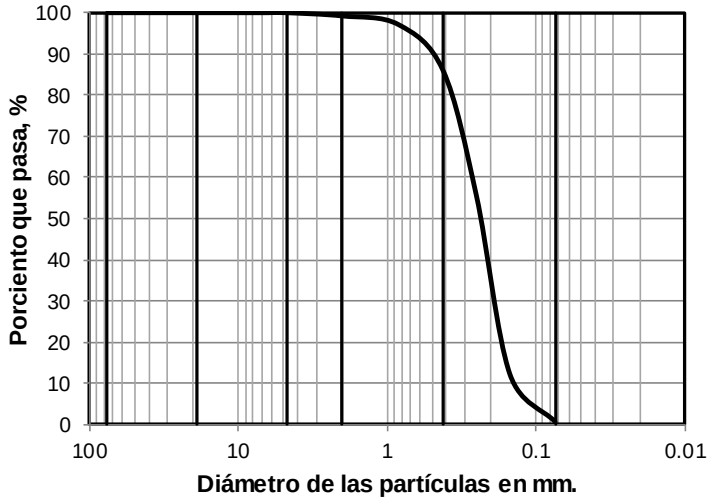
CURVAS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA



Muestra: Playa Centro Rompiente

SUCS:	SP
Diámetro, mm	
D_{10}	0.092
D_{30}	0.141
D_{50}	0.170
D_{60}	0.191
D_{90}	0.281
Ss	2.65
w , %	31.6

Clasificación:
Arena fina mal graduada, gris, con vestigios de concha.

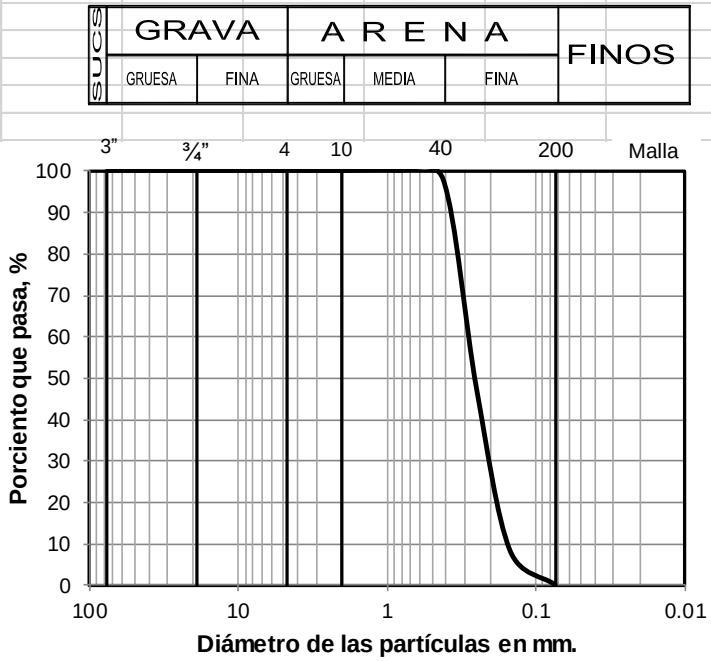


Muestra: Playa Este Duna

SUCS:	SP
Diámetro, mm	
D_{10}	0.137
D_{30}	0.192
D_{50}	0.239
D_{60}	0.266
D_{90}	0.453
Ss	2.67
w, %	1.5

Clasificación:
Arena fina mal graduada, café grisáceo, con muy poca pedacería de concha.

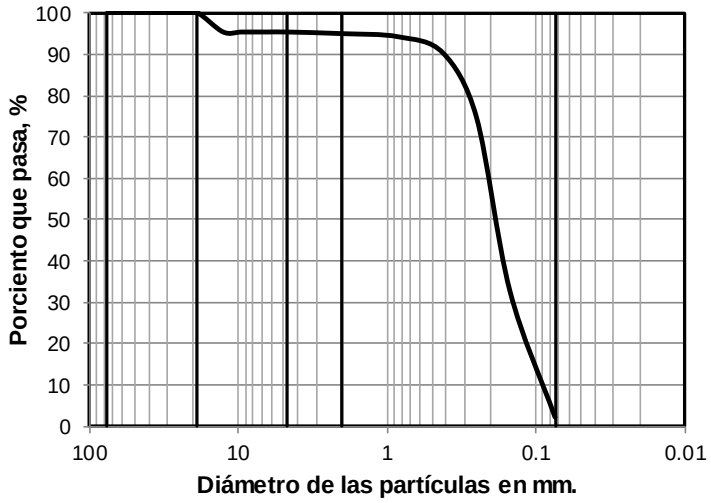
CURVAS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA



Muestra: Playa Este Estrán

SUCS:	SP
Diámetro, mm	
D_{10}	0.154
D_{30}	0.213
D_{50}	0.255
D_{60}	0.276
D_{90}	0.356
Ss	2.65
w, %	23.9

Clasificación:
Arena fina mal graduada, café pálido con vestigios de concha.

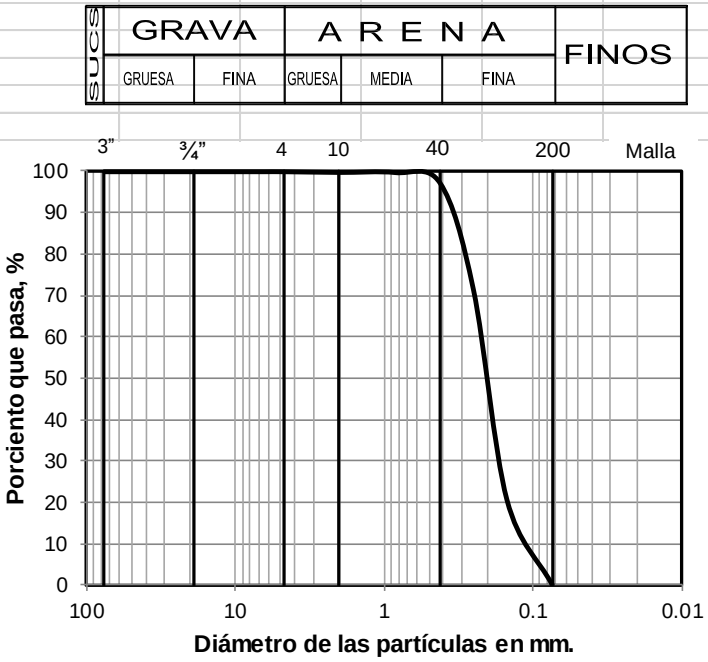


Muestra: Playa Este Rompiente

SUCS:	SP
Diámetro, mm	
D_{10}	0.102
D_{30}	0.144
D_{50}	0.181
D_{60}	0.204
D_{90}	0.399
Ss	2.67
w, %	23.4

Clasificación:
Arena fina mal graduada, gris olivo, con vestigios de concha.

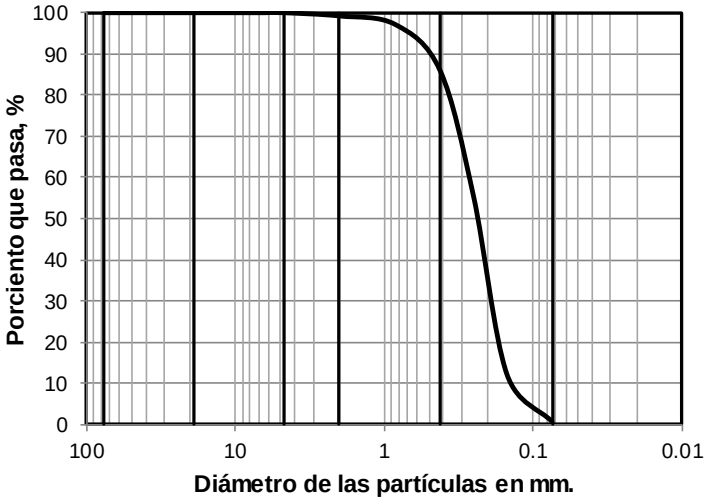
CURVAS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA



Muestra: Playa Oeste
Duna

SUCS:	SP
Diámetro, mm	
D_{10}	0.124
D_{30}	0.167
D_{50}	0.203
D_{60}	0.227
D_{90}	0.330
Ss	2.67
w , %	2.1

Clasificación:
Arena fina mal graduada, café claro, con algunas raicillas y vestigios de concha.

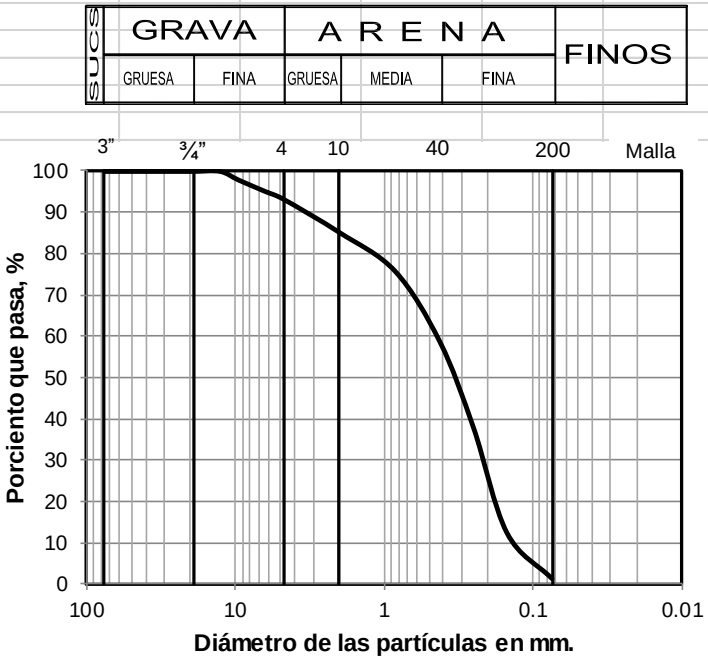


Muestra: Playa Oeste
Estrán

SUCS:	SP
Diámetro, mm	
D_{10}	0.137
D_{30}	0.192
D_{50}	0.239
D_{60}	0.266
D_{90}	0.453
Ss	2.66
w, %	31.8

Clasificación:
Arena fina mal graduada, café olivo, con vestigios de concha.

CURVAS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA



Muestra: Playa Oeste Rompiente

SUCS:	SP
Diámetro, mm	
D_{10}	0.118
D_{30}	0.217
D_{50}	0.352
D_{60}	0.448
D_{90}	3.211
Ss	2.68
w, %	16.6

Clasificación:
Arena mal graduada, café grisáceo, con pedacería de concha.

CURVAS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA