



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS**



**DINÁMICA COSTERA EN LAS PLAYAS EL  
CARDONAL Y CABO PULMO, BAJA  
CALIFORNIA SUR**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

PRESENTA

JUAN SEBASTIÁN PONCE BASTIDAS

LA PAZ, B. C. S., JUNIO DE 2015



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**  
**ACTA DE REVISIÓN DE TESIS**

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12:00 horas del día 10 del mes de Junio del 2015 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis titulada:

“DINÁMICA COSTERA EN LAS PLAYAS DEL CARDONAL  
Y CABO PULMO, BAJA CALIFORNIA SUR”

Presentada por el alumno:

PONCE

Apellido paterno

BASTIDAS

materno

JUAN SEBASTIÁN

nombre(s)

Con registro:

B	1	3	0	8	6	8
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA DEFENSA DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

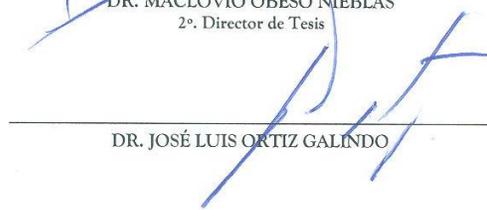
**LA COMISION REVISORA**

Directores de Tesis

  
\_\_\_\_\_  
DR. ANGEL RAFAEL JIMÉNEZ ILLESCAS  
Director de Tesis

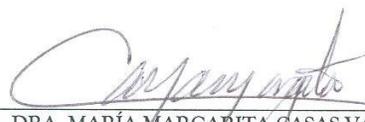
  
\_\_\_\_\_  
DR. MACLOVIO OBESO NIEBLAS  
2º. Director de Tesis

  
\_\_\_\_\_  
DR. BERNARDO SHIRASAGO GERMÁN

  
\_\_\_\_\_  
DR. JOSÉ LUIS ORTIZ GALINDO

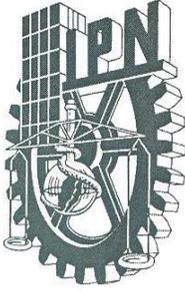
  
\_\_\_\_\_  
DR. ALBERTO SÁNCHEZ GONZÁLEZ

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

  
\_\_\_\_\_  
DRA. MARÍA MARGARITA CASAS VALDEZ



IPN  
CICIMAR  
DIRECCION



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

**CARTA CESIÓN DE DERECHOS**

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 18 del mes Junio del año 2015  
el (la) que suscribe JUAN SEBASTIÁN PONCE BASTIDAS alumno(a) del  
Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS  
con número de registro B130868 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS  
manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:  
DR. ÁNGEL RAFAEL JIMÉNEZ ILLESCAS Y DR. MACLOVIO OBESO NIEBLAS

y cede los derechos del trabajo titulado:

“DINÁMICA COSTERA EN LAS PLAYAS DEL CARDONAL  
Y CABO PULMO, BAJA CALIFORNIA SUR”

al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: grantigre@hotmail.com - angeljimenezillescas@hotmail.com - maclovio510@gmail.com

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

JUAN SEBASTIÁN PONCE BASTIDAS

nombre y firma

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco inmensamente a toda mi familia por apoyarme en todo momento a pesar de la distancia, ya que sin ellos no hubiese sido posible llevar a cabo esta gran experiencia, A Dania por apoyarme y comprenderme todo este tiempo y ser mi apoyo incondicional.

Al “Profesor Jean” Por creer en mí siempre estaré agradecido por las oportunidades que me brinda y ser permitirme ser su amigo. Dios lo proteja siempre y lo conserve.

A mis directores, El profesor Ángel, por su amabilidad e instrucción en muchos campos no solo académicos que me han hecho crecer enormemente desde mi llegada a México, al Dr. Maclovio Obeso por sus enseñanzas y cordialidad, y extendiendo esto a todos los profesores que de alguna manera han contribuido a mi formación dentro del departamento de Oceanología.

A todos mis amigos, que no puedo enumerarlos gracias por su apoyo tanto en Colombia como en México.

A las instituciones que me han apoyado, el Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas por acogerme como su alumno durante este tiempo y proporcionar los equipos con los que se realizó el estudio, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por permitir mi manutención durante mis estudios de Maestría, a Oceanografía y Desarrollo Costero S.A de CV por la logística, e instituciones como la CONANP y el INEGI.

Muchas Gracias.

# ÍNDICE

Resumen	I
Abstract	II
Glosario	III
Lista de figuras	VI
Introducción	1
Antecedentes	3
Planteamiento del problema	4
Objetivo general	6
Objetivos específicos	6
Área de estudio	7
<b>Metodología</b>	
Oleaje y marea	10
Corrientes	10
Perfiles de playa	11
Transporte de sedimentos	11
Granulometría	13
Cuencas	14
<b>Resultados</b>	
Marea	15
Oleaje	23
Corrientes Eulereanas	32
Corrientes Lagrangeanas	36
Batimetría	37
Cuencas	43
Transporte litoral	52
Perfiles de playa	55
Línea de costa	64
Granulometría	66

Discusión	77
Conclusiones	81
Recomendaciones	82
Bibliografía	83

## RESUMEN

La zona costera es un recurso frágil y limitado, muy apreciada por su potencial turístico y urbanístico, el cual debe ser bien administrado en el Ordenamiento Ecológico y Territorial; para lo cual se deberán determinar los procesos costeros, que son la línea base para el diagnóstico, monitoreo y manejo de estas zonas. El objetivo de esta investigación es caracterizar la dinámica costera en las playas El Cardonal y Las Barracas (Cabo Pulmo) para determinar el posible riesgo de erosión. Para identificar los procesos litorales se realizaron mediciones “in situ” con cuerpos de deriva y un correntómetro digital, para identificar el comportamiento de corrientes Lagrangeanas y Eulereanas. Además de perfiles perpendiculares a la playa que luego se analizaron con imágenes de satélite, se efectuó la granulométrica para determinar la composición y la tasa de acreción ó erosión en la playa El Cardonal y Las Barracas y de esta manera se determinó la estabilidad y las acciones para proteger las playas y las dunas en ésta zona costera del Golfo de California.

Se identificaron dos comportamientos marcados en este estudio, el primero se caracteriza por presentar acreción y aumento en el ancho de algunos sectores de las playas durante los meses de invierno, mientras que para verano y temporada de tormentas fomentan procesos erosivos producidos por oleaje como lo muestran los resultados luego del Huracán Odile. El transporte litoral calculado es de  $1.2 \text{ m}^3/\text{metro}$  de playa/ año para El Cardonal y de  $2.96 \text{ m}^3/\text{metro}$  de playa / año para Las Barracas aproximadamente. La dirección del transporte litoral y las corrientes marinas depende mayormente de la dirección del viento que para la zona en general se presenta con dirección sureste en verano y para septiembre a diciembre cambia a norte y noreste.

## **ABSTRACT**

The coastal area is a very appreciated for its tourism potential and urban fragile and finite resource, which must be well managed in the Ecological and Territorial Planning; for which they shall be determined coastal processes, which are the baseline for the diagnosis, monitoring and management of these areas. The objective of this research is to characterize the dynamic coastal of El Cardonal beach and Las Barracas beach in Cabo Pulmo B.C.S. to determine the potential risk of erosion. Coastal processes to identify measurements "in situ" were performed with drifters and a digital current meter to identify the behavior of Lagrangian and Eulerian currents. Besides perpendicular to the beach then analyzed satellite imagery profiles, the grading was performed to determine the composition and rate of accretion or beach erosion in El Cardonal and Las Barracas, and thus stability is determined and action to protect the beaches and dunes in this coastal area of the Gulf of California.

Two behaviors marked in this study were identified, the first is characterized by accretion and increased width of some sections of the beaches during the winter months, while for summer and storm season as shown by the results after Hurricane Odile that promote erosion caused by waves. Calculated longshore transport is 1.2 m<sup>3</sup>/m/year in El Cardonal Beach, and 2.96 m<sup>3</sup>/m/ year in Las Barracas. The direction of the littoral transport and marine currents mostly depends on the wind direction for this area, is presented southeast in the first months January to August but of September to December and changed to north and northeast.

## GLOSARIO

**Altura significativa de la ola.** Se define, en un registro de oleaje como el tercio (33.33%) de las olas más altas.

**Ambiente sedimentario marino.** Cuando por aporte de la fuente y por acción del oleaje y corrientes marinas el sedimento se acumula en un área.

**Corrientes marinas.** Corriente marina o corriente oceánica es un movimiento superficial de las aguas de los océanos y en menor grado, de los mares más extensos. Estas corrientes tienen multitud de causas, principalmente, impulsadas por el viento, por la diferencia de temperaturas entre el Ecuador y las latitudes medias, la marea causada por la atracción del sol y la luna, el movimiento de rotación terrestre (que actúa de manera distinta y hasta opuesta en el fondo del océano y en la superficie) y por los vientos constantes o planetarios, así como la configuración de las costas y la ubicación de los continentes.

**Cruz de deriva.** Equipo utilizado para medir la velocidad y dirección de una masa de agua siguiendo la partícula de agua (en este caso con la ayuda de un GPS con rastreador).

**Difracción.** Es el fenómeno por el cual al encontrar una punta, pareciera que hubiera una nueva fuente puntual de oleaje propagándose en forma radial a partir del obstáculo, como puede ser una punta natural de tierra, un espigón, un rompeolas o en la boca de un puerto.

**Dirección de oleaje.** Es la dirección hacia donde se propagan las olas, perpendicular a la línea de cresta.

**Duna.** Una duna es una acumulación de arena, en los desiertos o el litoral, generada por el viento, por lo que las dunas poseen unas capas de arena fina con granos redondeados, que forma líneas suaves y uniformes. Pueden ser producidas por cambios en el viento o por variaciones en la cantidad de arena. Junto al mar, la arena de las dunas proviene de la parte seca de la berma.

**Erosión de playa.** Es el desgaste sobre una superficie causado por el mar. Si el agente tiene mucha fuerza, tendrá mayor poder erosivo. Si el material es más fino, se

erosiona con menor energía. El ángulo de incidencia del oleaje es muy importante en el acarreo paralelo a la costa.

**Oleaje.** Ondas que se desplazan por la superficie marina (interface agua – aire). Son órbitas cuyo plano está alineado con la dirección de propagación y cuya amplitud determina la altura del oleaje.

**Oleaje de viento.** Son las que se forman por acción directa del impulso del viento sobre la superficie del mar. Comprende todas las otras cuyos periodos caen en el intervalo entre 2 y 30 segundos.

**Oleaje de viento local.** Son las ondas de viento más cortas, sus periodos tienen valores entre 2 y 10 segundos.

**Oleaje distantes o de mar de fondo (Swell).** Son las ondas de oleaje lejano, que se propagan libremente, sin influencia del viento. Tienen periodos entre 10 y 30 segundos.

**Ondas marginales.** Ondas largas que se propagan en dirección paralela a la costa. Son crestas que se propagan de forma perpendicular a la línea de costa.

**Perfiles de playa.** Mediciones de altura de la playa con respecto a una mojonera fija, cuyo corte vertical sirve para medir la altura y la distancia de la playa de un punto a otro y conocer las magnitudes de la berma y de la cara de la playa.

**Periodo.** Es el tiempo que transcurre para que un observador vea pasar dos crestas consecutivas de ola por un mismo punto (siempre y cuando sean del mismo tren de ondas).

**Periodo significativo.** La definición es similar a la de la altura significativa, es el período del promedio del tercio de las olas más altas.

**Pleamar.** Máximo del movimiento ascendente de la marea, cuando el agua alcanza su nivel más alto. Si hay dos pleamares la más alta es la pleamar superior y la más baja la pleamar inferior.

**Recursos marinos.** Conjunto de seres vivos, playas, energía del oleaje, del viento, energía térmica, fondos marinos y aguas y sales de los mares que resultan útiles al hombre.

**Refracción.** Es el fenómeno que se produce cuando el oleaje se propaga en agua somera en dirección distinta a las isobatas avanzando más rápido en lo más profundo y más lento en lo más somero, haciendo que la cresta de la ola tienda a alinearse de

forma paralela a la línea de costa. Esto causa concentración de energía en las puntas y dispersión en las ensenadas.

**Reflexión.** Es el fenómeno que se produce cuando la ola se encuentra con una barrera vertical o casi vertical, y regresa en sentido contrario al original, igual que la luz, el ángulo de incidencia es igual al de reflexión.

**Rompeolas.** Una estructura construida por el hombre, con rocas de alta densidad, para proteger una costa o un puerto contra la acción del oleaje; por lo regular tiene sección piramidal y la coraza se diseña de modo que la ola significativa no pueda mover la roca más pequeña.

**Sedimento.** Es el material transportado en la zona costera por las corrientes litorales; puede ser desplazado de forma suspendida dentro del fluido, o por tracción o saltación al tratarse de material de fondo.

**Transporte litoral.** Consiste en el transporte de sedimentos (normalmente arenas pero también pueden consistir en sedimentos gruesos como gravilla) a lo largo de la costa. Esto se produce cuando el oleaje incide en un ángulo oblicuo respecto a la orilla y el lamido produce que los sedimentos sean transportados paralelamente a la línea costa, lo cual depende de la dirección dominante del viento.

**Velocidad de ola.** Es el vector que especifica la rapidez (o celeridad) de la onda y su dirección de propagación.

**Zona costera.** Se compone de aguas costeras, marinas, estuarinas y cercanas a las orillas de los grandes lagos y mares interiores, así como, una porción de tierra cercana a la costa, en donde actividades humanas y procesos naturales afectan y son afectados por la energía de las aguas.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de las playas de estudio en el Golfo de California.....	9
Figura 2. Esquema que relaciona la pendiente con la dirección de flujo.....	15
Figura 3. Registro de marea en metros en El Cardonal B.C.S. marzo 18 al 20 de 2014. ....	16
Figura 4. Registro de mareas en metros en El Cardonal, B.C.S. agosto 11 al 13 de 2014. ....	17
Figura 5. Registro de mareas en metros en El Cardonal B.C.S., noviembre 26 al 29 de 2014. ....	17
Figura 6. Registro de mareas en metros en Las Barracas B.C.S., marzo 21 y 22 de 2014 ....	18
Figura 7. Registro de mareas en metros en Las Barracas B.C.S., agosto 13 al 15 de 2014 ....	18
Figura 8. Registro de marea en Las Barracas B.C.S., noviembre 29 al 2 de diciembre de 2014 ....	19
Figura 9. Desfasamiento de marea en el mes de marzo del 2014 entre las zonas de estudio y la estación de Cabo San Lucas B.C.S.. ....	21
Figura 10. Desfasamiento de marea en el mes de agosto del 2014 entre las zonas de estudio y la estación de Cabo San Lucas B.C.S. ....	22
Figura 11. Desfasamiento de marea en el mes de noviembre del 2014 entre las zonas de estudio y la estación de Cabo San Lucas B.C.S. A. Registro de marea en El Cardonal B. Registro de marea en Las Barracas. ....	23
Figura 12. Parámetros de oleaje en El Cardonal para marzo de 2014, A. Altura de ola (Hs). B. Periodo de la ola (Ts). C. Dirección del oleaje. ....	26
Figura 13. Parámetros de oleaje en El Cardonal para noviembre de 2014, A. Altura de ola (Hs). B. Periodo de la ola (Ts). C. Dirección del oleaje.....	27
Figura 14. Parámetros de oleaje en Las Barracas para marzo de 2014, A. Altura de ola (Hs). B. Periodo de la ola (Ts). C. Dirección del oleaje. ....	30
Figura 15. Parámetros de oleaje en Las Barracas para agosto de 2014, A. Altura de ola (Hs). B. Periodo de la ola (Ts). C. Dirección del oleaje. ....	31
Figura 16. Parámetros de oleaje en Las Barracas para noviembre de 2014, A. Altura de ola (Hs). B. Periodo de la ola (Ts). C. Dirección del oleaje.....	32
Figura 17. Rosa de corrientes para El Cardonal para marzo de 2014 ....	33
Figura 18. Rosa de corrientes para El Cardonal para agosto de 2014.....	34
Figura 19. Rosa de corrientes para El Cardonal para noviembre de 2014.....	34
Figura 20. Rosa de corrientes para Las Barracas para marzo de 2014. ....	35
Figura 21. Rosa de corrientes para Las Barracas mes de agosto de 2014.....	36
Figura 22. Rosa de corrientes para Las Barracas en noviembre de 2014 ....	36
Figura 23. Trayectorias de las cruces de deriva para marzo de 2014.....	37
Figura 24. Transectos de muestreo de precisión (492 puntos) realizados en el Cardonal en julio 2014. ....	38
Figura 25. Modelo batimétrico de El Cardonal. ....	39

Figura 26. Secciones para la toma de datos batimétricos frente a la playa de Las Barracas, Parque Nacional Natural Cabo Pulmo (2008). .....	40
Figura 27. Batimetría frente la playa Las Barracas, Cabo Pulmo, B.C.S. ....	41
Figura 28. Modelo Batimétrico 3D de Las Barracas, B.C.S.....	42
Figura 29. Localización de A. Higuera y A. Aguaje Blanco ubicados a los extremos de la zona de estudio. ....	43
Figura 30. Localización de la cuenca de influencia sobre el área de estudio. ....	44
Figura 31. Dirección de flujo desde el parteaguas hacia el cauce.....	45
Figura 32. Acumulación de flujo para los arroyos Aguaje Blanco y La Higuera. ....	46
Figura 33. Profundidad de erosión para la cuenca de los arroyos Aguaje Blanco y La Higuera.....	47
Figura 34. Ubicación de los arroyos influyentes en la zona de Las Barracas. ....	48
Figura 35. Localización y delimitación de la cuenca de influencia sobre Las Barracas, acumulación principal con valores mayores a 5000 m <sup>3</sup> .....	48
Figura 36. Dirección de flujo desde el parteaguas hacia el cauce.....	49
Figura 37. Acumulación de flujo para la cuenca adyacente a Las Barracas. ....	50
Figura 38. Profundidad de Erosión para la cuenca del sector de Las Barracas. ....	51
Figura 39. Cantidad de transporte litoral calculado en m <sup>3</sup> para cada muestreo, por lugar. ....	52
Figura 40. Cantidad de arena transportada en los muestreos para ambas zonas de estudio.....	54
Figura 41. Condiciones de la playa de El Cardonal para marzo 2014.....	55
Figura 42. Condiciones de la playa en El Cardonal para agosto 2014.....	56
Figura 43. Condiciones de la Playa El Cardonal para noviembre de 2014. ....	56
Figura 44. Perfil de playa de la zona norte de El Cardonal para los meses de muestreo. ....	57
Figura 45. Perfil de playa de la zona centro de El Cardonal para los meses de muestreo. ....	57
Figura 46. Perfil de playa de la zona sur de El Cardonal para los meses de muestreo. ....	58
Figura 47. Condiciones en la Playa Las Barracas para el mes de marzo de 2014. ..	58
Figura 48. Condiciones durante y después de tormenta en Las Barracas para el mes de agosto de 2014.....	59
Figura 49. Condiciones para la Playa Las Barracas para el mes de noviembre de 2014. ....	60
Figura 50. Perfil de playa de la zona norte de Las Barracas para los meses de muestreo. ....	60
Figura 51. Perfil de playa de la zona norte de Las Barracas para los meses de muestreo. ....	61
Figura 52. Perfil de playa de la zona centro de Las Barracas para los meses de muestreo. ....	62
Figura 53. Perfil de playa de la zona sur de Las Barracas para los meses de muestreo. ....	62

Figura 54. Mapa zona de erosión o acreción para El Cardonal, julio de 2014 .....	64
Figura 55. Mapa zona de erosión o acreción para El Cardonal, julio de 2014 .....	65
Figura 56. Distribución de los sectores de la playa .....	66
Figura 57. Histogramas de distribución de tamaño de grano ( $\Phi$ ) para la playa de Las Barracas B.C.S. Para marzo de 2014. ....	67
Figura 58. Selección del tamaño de grano por muestras playa El Cardonal en marzo de 2014. ....	68
Figura 59. Asimetría para las muestras de la playa del Cardonal para marzo de 2014. ....	69
Figura 60. Curtósis para las muestras de la playa El Cardonal para marzo de 2014.	70
Figura 61. Distribución de tamaño de grano ( $\Phi$ ) para el Cardonal en agosto 2014. .	71
Figura 62. Selección de grano para la playa de El Cardonal en agosto de 2014.....	72
Figura 63. Asimetría para la playa de El Cardonal en agosto de 2014 .....	73
Figura 64. Curtósis para la playa de El Cardonal en agosto de 2014 .....	73
Figura 65. Histogramas de distribución de tamaño de grano ( $\Phi$ ) para la playa de Las Barracas B.C.S.....	74
Figura 66. Selección de grano para la playa de Las Barracas en agosto de 2014....	75
Figura 67. Asimetría de grano para la playa Las Barracas en agosto de 2014 .....	76
Figura 68. Curtósis de grano para la playa Las Barracas en agosto de 2014 .....	76

## INTRODUCCIÓN

La línea de costa es el resultado del equilibrio dinámico de factores físicos (Montreuil & Bullard, 2012). Estos cambios se producen como respuesta a la interacción de diversos factores entre los que se destaca principalmente: el nivel del mar, flujo de sedimentos, ambientes de depositación (bancos de arena o cañones submarinos) o erosión y sus respectivas tasas, además del transporte litoral y la variación provocada por tormentas y el oleaje.

La importancia del oleaje también consiste en que la morfología costera varia debido a los procesos litorales resultantes, de la interacción del viento, oleaje, corrientes, mareas, sedimento y otros agentes como la acción biológica (Kinsman, 1967). Por otro lado, el pronóstico del oleaje es una demanda creciente por parte de diversos sectores sociales y económicos. Los cuales requieren planear a corto, mediano y largo plazo (Salinas-Prieto *et al.*, 2012). Actividades como (construcciones, dragados y vertimientos), estas acciones combinadas configuran la línea de costa en un momento dado y determinan la evolución de la misma la cual muchas veces no puede ser observada directamente.

El estudio de caracterización costera en las playas del Cardonal y Las Barracas, se realizó por medio de mediciones topográficas de perfiles de playa, mediciones de oleaje, mareas, vientos, y datos teóricos de escurrimiento de cuencas, y así predecir la respuesta hidrológica a partir de modificaciones en la misma, y de esta manera, poder aprovechar el potencial de un modelo para predecir y diagnosticar el comportamiento de los arroyos en condiciones específicas como la ocurrencia de lluvias extremas o inundaciones. Para esto, se requiere de una buena instrumentación para tomar datos fiables que generen la información adecuada y consistente a la situación real. Ya que, actualmente, los desarrollos inmobiliarios y el turismo han llevado a la búsqueda de nuevas tierras donde construir lujosas edificaciones para hoteles frente al mar. Teniendo en cuenta que fenómenos como la elevación del nivel del mar y actividades como la explotación de recursos y extracción de agua o petróleo actual, es probable que muchas áreas cercanas a las costas necesitarán en poco tiempo medidas de protección contra las condiciones marinas, para esto, la

información adquirida a través de estudios de caracterización y posteriormente los de diagnóstico tienen gran utilidad para la gestión del espacio litoral y ordenamiento ecológico, especialmente a lo que a erosión costera se refiere (Del Río & Melfi, 2003). Así, los datos obtenidos también permiten cuantificar la distribución espacial y temporal de los procesos costeros, cuyo conocimiento facilita el adecuado diseño y dimensionamiento de obras como la regeneración de playas, indicando los volúmenes de sedimento que es necesario verter y el periodo más adecuado para llevar a cabo estas actividades.

## ANTECEDENTES

La gran mayoría de trabajos realizados a la fecha, se han enfocado en la dinámica oceanográfica y sedimentológica de playas del Océano Pacífico a todo lo largo de la península como el de Kasper-Zubillaga *et al.* (2007) quienes realizaron estudios de caracterización textural de varias playas del Golfo de California enfocados especialmente a la cuantificación del transporte litoral y morfodinámica de las playas, relacionando el tamaño de grano con los procesos litorales presentes en las playas de ambos lados de la península. Este mismo autor realizó estudios en el estado de Chiapas donde elaboró el análisis de perfiles, indicando que comúnmente se trata de arenas medias con parámetros granulométricos variados que muestran inestabilidad tectónica producida por la colisión de la Placa de Cocos con la Placa Americana.

Otros estudios más específicos, como el de Nava-Sánchez *et al.* (1994) aplicaron el modelo de equilibrio de playa de Dean (1991) entre Cabo San Lucas y Punta Gorda. Donde hallaron que las playas expuestas del Océano Pacífico no se encuentran equilibradas debido a la gran cantidad de energía del oleaje y permite que el sedimento viaje libremente a lo largo de cada playa.

Navarro (2006) realizó la caracterización sedimentológica y geomorfológica de los ambientes costeros en la Bahía de Cabo San Lucas, concluyendo que el sedimento es redistribuido sobre las playas por efecto del ángulo de incidencia de las olas de tipo Swell con periodo de 10 a 12s. Esto origina una mejor selección en el tamaño de grano, además del efecto de la batimetría y salientes rocosas que condicionan la dinámica del sedimento y las corrientes litorales.

Velasco-García (2009) realizó un estudio en la Bahía de La Paz para identificar los ambientes geológicos – costeros, encontrando diferencias entre 5 zonas que presentaban diferente litología y geomorfología, que va desde costa rocosa con grandes acantilados, hasta playas extensas asociadas a cordones de dunas y planicies de inundación, el autor atribuye esta variabilidad a procesos costeros tanto marinos como terrestres a más del factor antropogénico que afecta la morfodinámica de la zona.

En la playa Las Barracas, Trasviña *et al.* (2012) estudiaron la circulación costera para el sector de Cabo Pulmo, evidenciando que existen corrientes marinas generadas por la marea, viento y estructuras de mesoescala relacionadas con la circulación a la entrada del Golfo de California y una mayor influencia de vientos provenientes del noroeste, responsables de la circulación costera en esta parte del Golfo.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Existe poca información de la dinámica costera de la península de California. Teniendo en cuenta que el Estado de Baja California Sur se encuentra en un proceso de creciente desarrollo, es necesario caracterizar sus playas. Esta caracterización puede ayudar a tomar decisiones de inversión que impulsen el desarrollo turístico y urbano del Estado de forma ordenada y rentable, por parte de empresas privadas así como de entidades gubernamentales encargadas de administrar el espacio costero.

Las corrientes y variaciones del nivel del mar por mareas, viento y oleaje producen cambios en la profundidad, el desarrollo de los ecosistemas bentónicos, la estabilidad de las playas y estructuras costeras. La importancia de un estudio detallado de los procesos hidrodinámicos y litorales radica en que permite planear y diseñar obras o edificaciones costeras como escolleras, espigones, rompeolas, malecones de manera que no causen daño a poblaciones y así proteger las zonas litorales, conservando óptimamente los recursos costeros como: Las playas, la pesca, el turismo, etcétera. El movimiento de sedimentos y otros materiales dependen principalmente de la altura significativa y del período significativo del oleaje como también del ángulo de incidencia; además de las corrientes que juegan un papel sumamente importante, especialmente en las playas arenosas ya que producen la energía necesaria para modificar la línea de costa y el desplazamiento de organismos (Cook & Gorsline, 1972).

Durante el último siglo, los científicos han investigado el comportamiento del oleaje desde su proceso de formación y su influencia en la zona costera. Si bien se ha logrado cierto grado de conocimiento todavía no se tiene el dominio del fenómeno, el cual varía según el lugar, además de ser muy complejo por ser transitorio, es decir, al tener una gran componente aleatoria y una componente periódica menor. Es importante conocer las características del oleaje para así establecer el movimiento de sedimentos ya que estos influyen de manera directa sobre el transporte de material, las estructuras costeras, y en las funciones biológicas entre ecosistemas costeros.

## **OBJETIVO GENERAL**

Identificar la dinámica costera en las playas El Cardonal y Las Barracas (Cabo Pulmo, B.C.S.), para evaluar los procesos costeros y optimizar la gestión costera.

## **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Determinar el oleaje, marea y corrientes para definir la interacción con los perfiles topobatimétricos de las playas durante un ciclo estacional.
- Calcular la dirección del transporte litoral y cuantificar las tasas de depositación y/o erosión.
- Estimar los cambios en la línea de costa a través de imágenes satelitales y fotografías aéreas.

## ÁREA DE ESTUDIO

La península de Baja California posee características únicas, debido a su forma alargada y su contacto con masas de aguas costeras de diferentes propiedades, por un lado, las aguas tranquilas del Golfo de California, a su vez están las aguas del Océano Pacífico abierto que son más turbulentas y de mayor mezcla, hacia el sur en la zona de Los Cabos B.C.S. se produce la combinación de estas dos masas de agua. En la parte sureste de la península el clima varía considerablemente en espacio y tiempo, clasificándose las costas con clima desértico; según Koppen, las lluvias son estacionales, hacia el final del verano están asociadas a huracanes y son mínimas en invierno (Ayllón, 1996; Flores, 1998).

Los vientos de verano tienen una dirección sureste y en invierno la trayectoria es inversa con dirección noroeste, estos últimos son más fuertes y persistentes. En otoño la caracterización de éstos se hace más difícil porque recibe influencia de procesos distintos: La influencia de ciclones tropicales entre agosto y septiembre, y los vientos alisios que producen lluvias ocasionales. Los vientos del norte soplan en noviembre indicando el comienzo del invierno (Aranda, 1984).

La línea de costa del lado del Océano Pacífico es muy diferente a la del lado del Golfo de California. En la vertiente del Océano Pacífico abundan las playas arenosas, largas y rectas, con poca presencia de puntas en la cara de la playa y bermas altas de +6.0 m a +8.0 m, otras costas presentan acantilados y abundancia de cantos rodados. En la vertiente del golfo se presentan playas pedregosas ya que la energía del oleaje es menor no logra transportar sedimento de gran tamaño y además existen más zonas protegidas como Cabo Pulmo, Bahía Concepción y Puerto Escondido (Troyo-Diéguez, 2003).

Las playas objeto de este estudio poseen un alto valor agregado al encontrarse sobre la zona costera adyacente al Mar de Cortés, con oleaje de menor intensidad. Estas están ubicadas al sureste de la Península de California (Fig. 1), la cual es

cruzada por el Trópico de Cáncer (23° 27'N). Al igual que, los ecosistemas mediterráneos del norte, la península recibe la mayor precipitación de los desiertos peninsulares, sin embargo, la precipitación en esta área es mayormente producto de tormentas tropicales que alcanzan a la región a finales del verano y otoño.

El Cardonal B.C.S. está situada a los 23°50'21"N y 109°44'6"O a 30 kilómetros al norte de Los Barriles en B.C.S., se caracteriza por ser una zona abierta al Golfo de California, esta playa se encuentra en la desembocadura de dos arroyos, lo cual representa un riesgo para las construcciones aledañas si no se hacen bordos de contención adecuados. El Aguaje Blanco y la Higuera, presentan características semidesérticas con vegetación arbustiva principalmente que se extiende hasta la las dunas, geomorfológicamente no presenta accidentes geográficos relevantes, urbanísticamente se encuentra en desarrollo ya que es bastante atractiva para realizar actividades recreativas para los habitantes locales y extranjeros.

La playa Las Barracas está situada a los 23°28'25"N y 109°24'64"O dentro del polígono del Parque Nacional Natural de Cabo Pulmo, perteneciente al Municipio de Los Cabos B.C.S. Este parque marino es reconocido por ser el único arrecife coralino en el Golfo de California y estar ubicado en una latitud subtropical. Su extensión es de 7100 hectáreas, el 99% está constituido por la porción marina y el 1% restante es zona marítima terrestre. Así mismo sirve como área de reproducción de varias especies marinas entre las que destaca la tortuga *Lepidochelys olivacea* (López-Castro *et al.*, 2004).

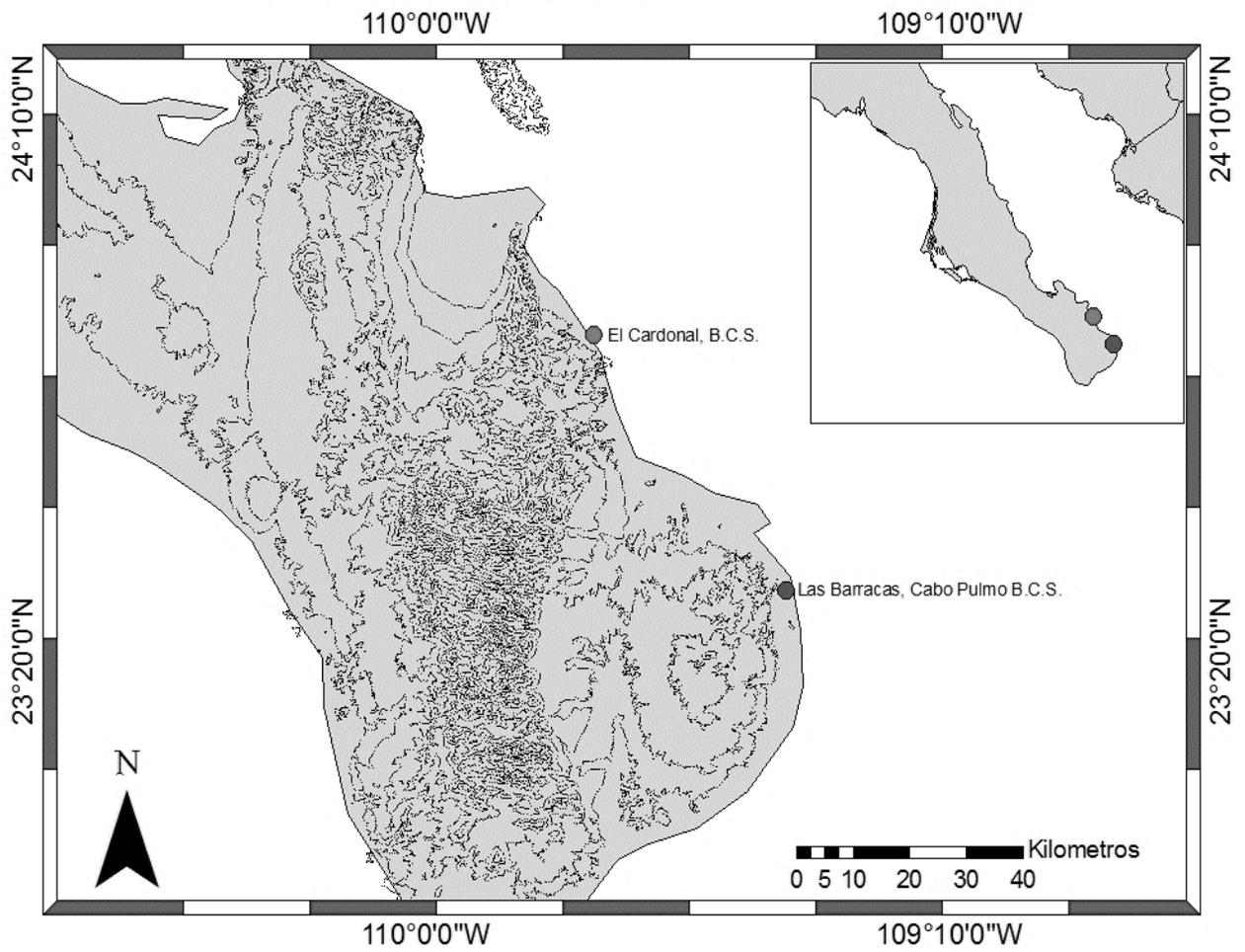


Figura 1. Ubicación de las playas de estudio en el Golfo de California.

## **METODOLOGÍA**

### **OLEAJE Y MAREA**

Para realizar las mediciones in situ y poder compararlas con bases de datos climáticas se usó un correntómetro (InterOcean S4), el cual fue ubicado cerca de la costa, a una profundidad de tres metros, tomando datos cada dos minutos sobre intensidad de corrientes, dirección desde donde viene el oleaje, altura significativa de la ola (HS), que corresponde al promedio de 1/3 de la altura máxima, periodo significativo ( $T_s$ ) que representa los picos de mayor energía.

Los datos de marea se obtuvieron en campo, midiendo cada medio segundo, las variaciones de la superficie libre, con un sensor de presión instalado fijo en el fondo. A cada dato se le restó la profundidad promedio, obteniendo la amplitud de marea. Estos datos medidos se compararon con los registrados por el programa MAR Ver. 10.0 del CICESE, correspondientes a las fechas y horas en que se realizaron los muestreos. Se observaron las diferencias entre el pronóstico y los datos.

### **CORRIENTES**

Las mediciones de corrientes Lagrangeanas se hicieron “sembrando” cruces de deriva con seguimiento satelital, que brindan datos vectoriales secuenciales grabando la posición a un tiempo determinado, éstas se muestran en coordenadas UTM (Universal Transversal de Mercator) con Datum WGS84. Se prefirió el uso de éstas debido a que es un sistema ortogonal en metros con precisión adecuada (+/- 3m). Con estos datos se trazaron las trayectorias, magnitudes y direcciones de corrientes.

Para la medición de las corrientes Eulereanas se tomaron datos de dirección e intensidad, en un mismo punto, cada dos minutos, calculando sus componentes norte y este, para posteriormente realizar las gráficas de rosa de corrientes en el programa Golden Grapher 10.

## **PERFILES DE PLAYA**

Primero, se llevaron a cabo caminatas de reconocimiento de las playas identificando rasgos fisiográficos sobresalientes, como abanicos aluviales, acantilados o formaciones rocosas, siguiendo lo propuesto por Rangel-Buitrago & Posada (2013); Cuevas-Jiménez & Ávila (2009); Andrade & Ferreira (2006). El levantamiento de perfiles y la medición de playas se llevó a cabo, a partir de una mojonera, con una estación topográfica electrónica total SOKKIA modelo SET 3B II, tomando como referencia el método empleado por Emery & Hülsemann (1961). Este procedimiento es común para estudios de costas, se realiza con el objetivo de obtener información tridimensional que facilite su posterior trazado con ejes de longitud (x), latitud (y) y altura (z) y generar la topografía de la playa (Mir-Gual, 2009).

Siete perfiles fueron trazados perpendicularmente a la playa y extendiéndose mar adentro hasta la zona de rompientes dependiendo de las condiciones topográficas del lugar. La toma de muestras de sedimento superficial se realizó en un cuadrado de 10 x 10 cm y tomando arena de cada vértice con el fin de homogeneizar las muestras, posteriormente la arena fue almacenada en bolsas plásticas previamente rotuladas y se transportaron al laboratorio de Geología Marina del CICIMAR - IPN, donde se analizaron con el método descrito en Komar & Inman (1970).

## **TRANSPORTE DE SEDIMENTOS**

La evaluación del transporte litoral puede hacerse por medio de tres métodos: la medición directa, uso de formulas empíricas y la combinación de los estos dos procedimientos (Muir Wood, 1969; Komar, 1994). En este trabajo se usó la substancia trazadora uranina (que no contamina), ésta se vertió en el agua para poder observar cuánto tiempo se demora en recorrer una distancia definida de 10 m entre dos estructuras que han sido temporalmente sembradas en la playa, con el fin de dar validez a los cálculos empíricos basados en la ecuación:

$$S = A E_a$$

Donde,

$S$  = Es el transporte litoral para la zona dado en  $[m^3/d/m]$

$E_a$  = Es la componente del flujo de energía sobre la costa.

$A$  = Es la constante de proporcionalidad dado por:

$$E_a = E_0 K_{rbr} \sin(\alpha) \cos(\alpha)$$

Donde:

$E_0$  = es el flujo de la energía en aguas profundas, en dirección de la propagación del oleaje,  $E_0 = (1/16)\rho g H_0^2 C_0$ ;

$K_{rbr}$  = Es el coeficiente de refracción en la parte exterior de la zona de rompientes;  $K_{rbr} = (\cos \alpha_0 / \cos \alpha)^{1/2}$

$\alpha_0$  = Es el ángulo de incidencia del oleaje fuera de la zona costera;

$\alpha$  = Es el ángulo entre el frente de oleaje y la línea de costa en la frontera de la zona de rompientes;

$H_0$  = Es la altura de onda en aguas profundas.

$C_0$  = Es la celeridad de la onda en aguas profundas.

$\rho$  = Es la densidad del agua

Por lo tanto:

$$S = A H^2 C_0 K_{rbr}^2 \sin(\alpha) \cos(\alpha)$$

La constante de proporcionalidad actualmente ya ha sido calculada por diferentes investigadores para diferentes alturas de onda:

Tabla 1. Valores de coeficiente de proporcionalidad A.

<b>Institución de investigación</b>	<b>Coeficiente</b>	<b>Altura característica de la ola</b>	<b>Observaciones</b>
<b>CERC</b>	0.014	Hs	Hs = altura significativa
	0.028	Hms	
<b>Shore protection Manual 1984</b>	0.025	Hs	Hms = altura media cuadrática
<b>Delft University of Technology</b>	0.039	Hms	

Realizando el cálculo por medio de relaciones empíricas y aplicando esta fórmula a los resultados de oleaje y de corrientes se obtiene un transporte potencial en ( $m^3/d$ ).

## **GRANULOMETRÍA**

Para la determinación del tamaño de grano en el sedimento se secó cada muestra a temperatura ambiente, se homogeneizó y se colocó en la batería de tamices Rotap para obtener las fracciones por clase de tamaño de grano, según el método estándar de análisis de tamaño de grano propuesto por Crisp (1984).

Se pesaron 100 g de sedimento y se separaron por clases de tamaño por medio de una columna de tamices colocados uno sobre otro en orden decreciente de arriba hacia abajo con aberturas cada  $\frac{1}{2}$  phi ( $\phi$ ). Las muestras se agregaron al tamiz de malla más grueso en la parte superior, se colocó la tapa y se tamizó durante 10 minutos. Las fracciones de sedimento retenidas en cada tamiz fueron recolectadas y pesadas en una balanza de precisión para determinar el porcentaje de cada fracción (Crisp, 1984; Bremec, 1990).

Se obtuvo tamaño medio de grano, lo cual indica cual es el diámetro representativo en una muestra, la desviación estándar (DE) es una medida de dispersión en la distribución del tamaño de la partícula. Los sedimentos con poca dispersión son considerados como bien distribuidos. A esto, también se calculó el sesgo el cual describe la asimetría mediante la curva de su distribución. Los valores con signo negativo reflejan una mayor tendencia a sedimentos gruesos.

Un sesgo positivo representa una mayor cantidad de sedimentos finos. Con un valor del sesgo entre 0.1 y -0.1, se considera que la distribución es simétrica. Por otra parte, los grupos texturales fueron determinados con base en un diagrama ternario de acuerdo al método de Folk (1980). Las diferentes clases de tamaño y el porcentaje de gravas, arenas y lodos fueron considerados para definir la textura de los sedimentos.

El análisis de los efectos del paso del Huracán Odile de categoría III el pasado 15 de septiembre sobre la línea de costa de las playas estudiadas, se hizo a través de imágenes satelitales que están actualmente disponibles en el portal Earth Explorer perteneciente de la United States Geological Survey (USGS). Estas imágenes se obtuvieron con la plataforma LANDSAT 8 lanzado en el año 2013. Se escogieron las ventanas de mejor visibilidad y se descartaron las interferidas por nubes o las que presentaron fallas o manchas en su procesamiento. Para El Cardonal se seleccionaron las imágenes del 20 de agosto y el 6 de octubre de 2014 y para Las Barracas las del 14 y el 29 de septiembre de 2014.

## **CUENCAS**

A partir del Modelo Digital de Elevación (MDE) se analizó la cuenca para poder identificar los parteaguas y las pendientes a través del programa ArcGIS 10.1 para generar de dirección de flujo y acumulación tipo raster en un esquema que utiliza el programa informático donde dependiendo de la intensidad y dirección de la pendiente le asigna un valor 32 para noroeste, 64 para norte, 128 para noreste, las cuales indicaran colores más oscuros, mientras que las direcciones correspondientes a valores pequeños como 2 son para sureste, 4 para sur y 8 suroeste, se ven más claros sobre el mapa (Fig. 2).

32	64	128
16		1
8	4	2

Figura 2. Esquema que relaciona la pendiente con la dirección de flujo.

## RESULTADOS

### MAREA

#### El Cardonal

Las mediciones de marea realizadas en El Cardonal entre el 17 y el 19 de marzo, durante 48 horas, muestran una marea con un comportamiento semidiurno, con una pleamar máxima de +0.63 m que se presentó el día 19 de marzo a las 21:14 horas y una bajamar de -0.62 m el día 19 a las 3:00 horas, tomando como referencia el Nivel del Mar (NM). El rango de onda máxima fue de 1.31 m, y tiende a repetirse el mismo comportamiento que el día anterior (Fig. 3).

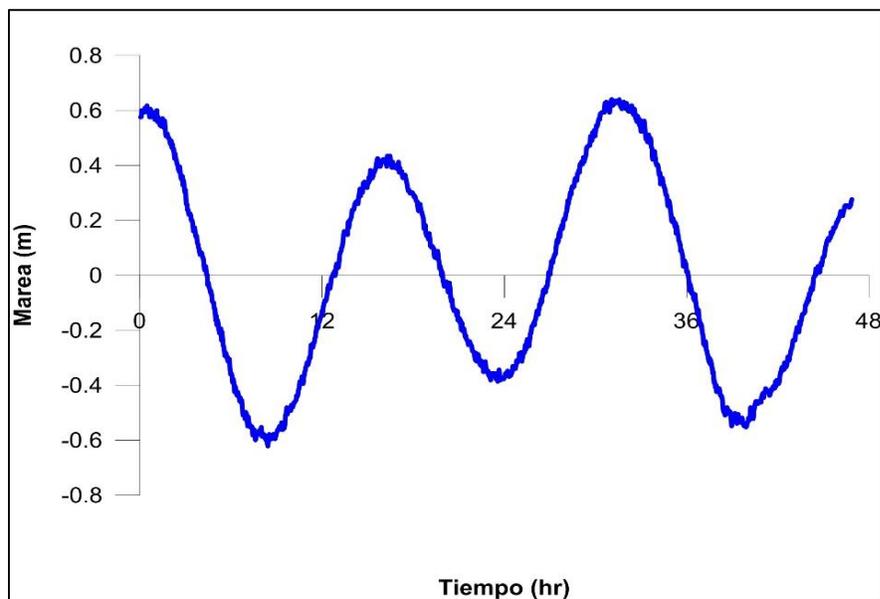


Figura 3. Registro de marea en metros en El Cardonal B.C.S. marzo 18 al 20 de 2014.

Para el mes de agosto, en El Cardonal se presentó una marea semidiurna (con dos pleamares y dos bajamares en 24 horas) durante las 36 horas de muestreo, la marea presentó un rango de 1.51 m, la pleamar máxima se presentó el 11 de agosto a las 10:52 horas y la bajamar inferior el día 12 a las 5:52 horas, durante el muestreo la marea presentó un comportamiento similar y con menos variación, la media fue de  $0.042 \pm 0.44$  metros (Fig. 4).

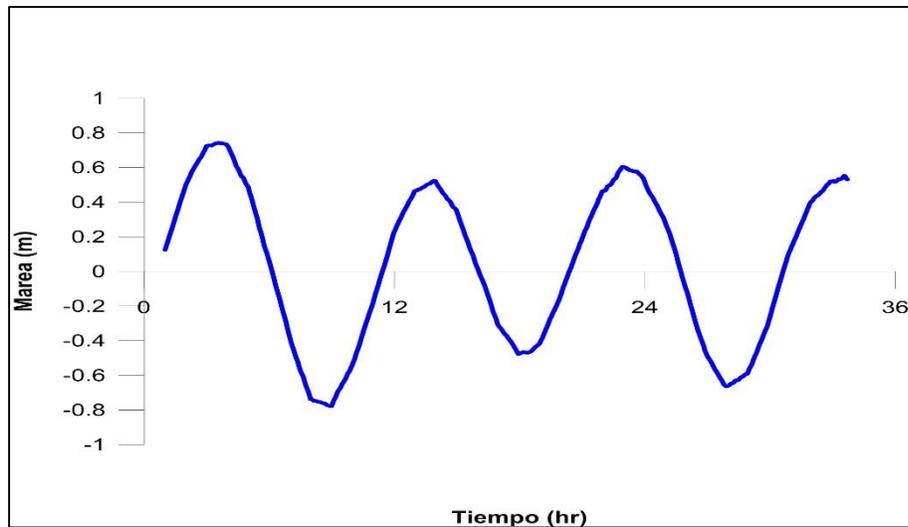


Figura 4. Registro de mareas en metros en El Cardonal, B.C.S. agosto 11 al 13 de 2014.

En noviembre el rango de marea fue de 0.92 m con una pleamar máxima de 0.43 m alrededor de las 21 horas del día 26 de noviembre y la bajamar inferior de 0.49 m para las 9 horas del día 27 de noviembre, la marea mostró menos variación con respecto al NM (Fig. 5).

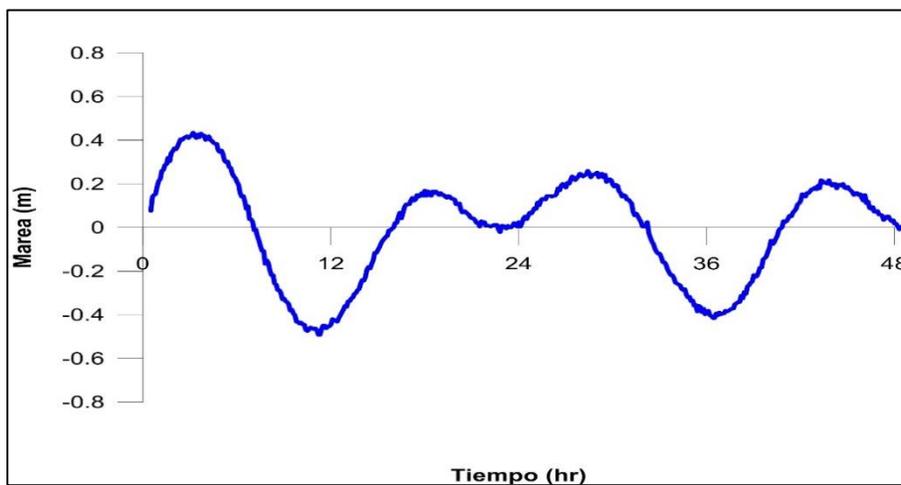


Figura 5. Registro de mareas en metros en El Cardonal B.C.S., noviembre 26 al 29 de 2014.

## Las Barracas

Para el 21 y 22 de marzo se registraron valores de marea entre 0.56 m para la pleamar a las 22:34 horas del día 21, mientras que la bajamar fue de -0.46 m a las 5:24 horas del día siguiente (Fig. 6). El rango de la marea en esa ocasión fue de 1.02 m.

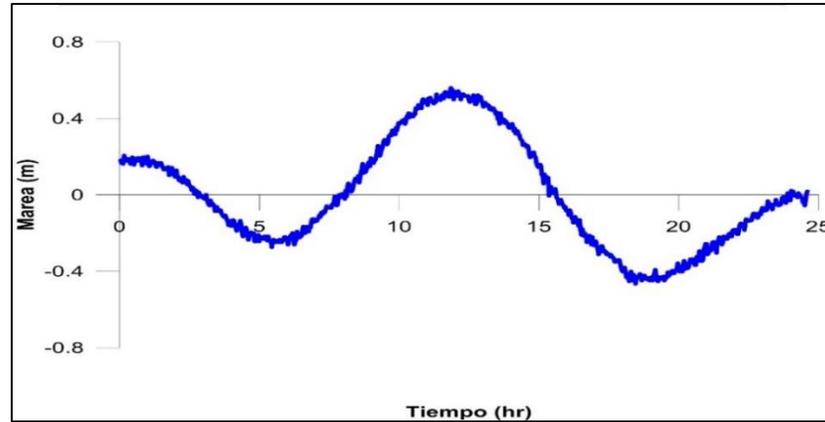


Figura 6. Registro de mareas en metros en Las Barracas B.C.S., marzo 21 y 22 de 2014

Para agosto se obtuvieron datos de marea entre 0.52 m para pleamar y de -0.62 m para bajamar las pleamares superiores se presentaron durante las noches del muestreo y las bajamares inferiores sobre las horas de la mañana. El rango de marea fue de 1.14 m (Fig. 7).

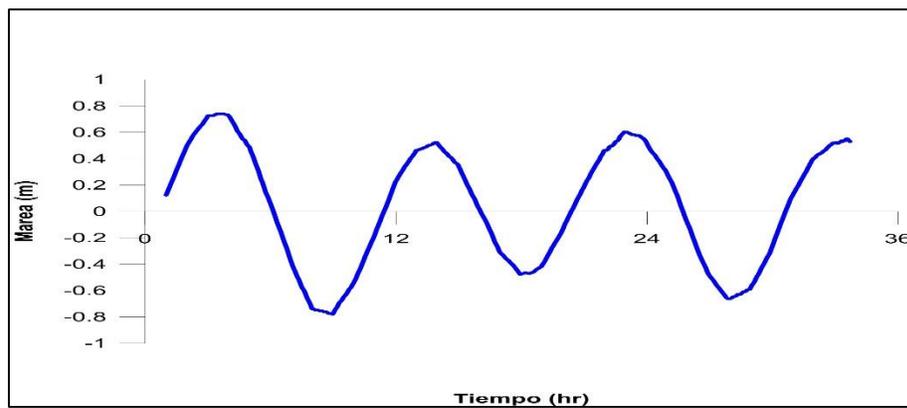


Figura 7. Registro de mareas en metros en Las Barracas B.C.S., agosto 13 al 15 de 2014

La marea para este muestreo del 1° de diciembre en Las Barracas mostró un rango de 0.91 m con una pleamar de 0.52 m hacia las 19:30 horas del 1 de diciembre, y una bajamar de -0.39 m en la noche a las 20:40 horas del 29 de noviembre (Fig. 8).

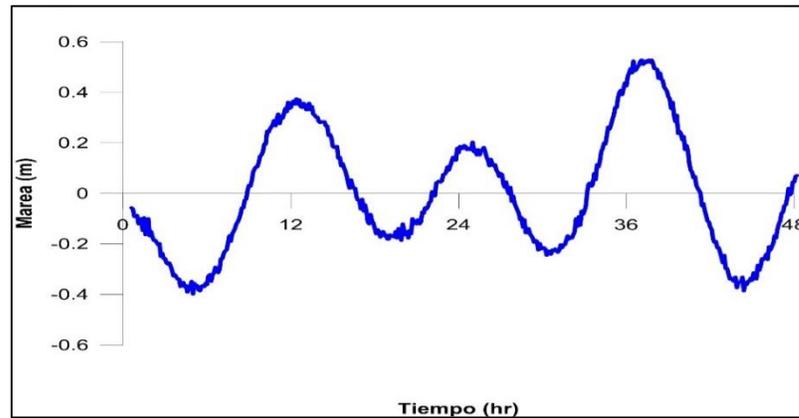


Figura 8. Registro de marea en Las Barracas B.C.S., noviembre 29 al 2 de diciembre de 2014

## DESFASE DE MAREAS

Las correlaciones cruzadas muestran que existe un desfase de marea entre los lugares de estudio. En general, para el mes de marzo en el sector de El Cardonal ubicado 151 km siguiendo la línea de costa (Fig. 9a), donde el mayor coeficiente de correlación es de 0.41 con un desfase  $-2$  h, existiendo poca relación entre la marea pronosticada y la marea medida en campo por el correntómetro S4, la marea mostró un desfase hacia el norte, desde Cabo San Lucas hacia La Paz. Para Las Barracas el coeficiente de correlación es de 0.42 para un desfase de  $-6$  h la correlación entre las dos series de tiempo igualmente son débiles mostrando poca similitud entre los datos. Para agosto, el coeficiente de correlación, para El Cardonal volvió a ser de 0.4 para un desfase de  $-6$  h mientras que en Las Barracas, fue de 0.12 para un desfase de  $-7$  h la mayoría de correlaciones hechas para esta playa en esta época fueron correlaciones negativas de hasta  $-0.36$ . Noviembre presenta datos con una correlación de 0.90 correspondiente a un desfase de  $-2$  h la cual resulta ser la mejor de todos los resultados de los meses anteriores, además, es el más coincidente para todas las condiciones que se dan en la zona de estudio. Hay que destacar que con el desfase de  $-1$  h el coeficiente de correlación 0.88. es igualmente fuerte. Para las Barracas, la correlación positiva más grande alcanzó 0.71 para un desfase de  $-10$  horas siendo este el mayor resultado para el sector en todos los muestreos realizados.

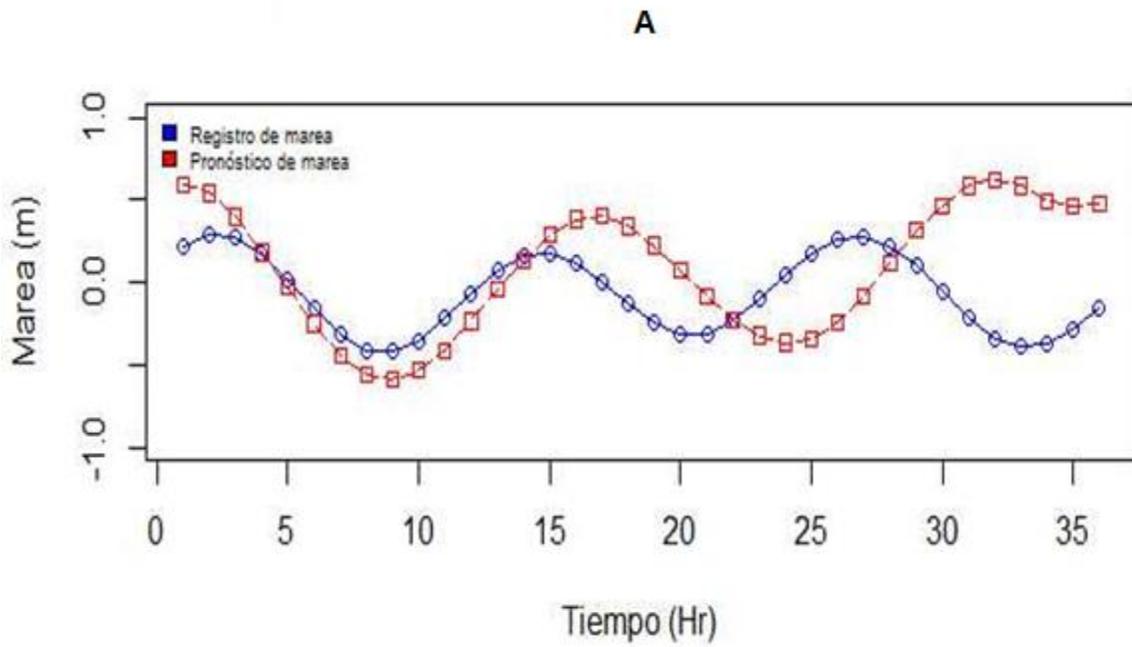


Figura 9. Desfasamiento de marea en el mes de marzo del 2014 entre las zonas de estudio y la estación de Cabo San Lucas B.C.S. **A.** Registro de marea en El Cardonal **B.** Registro de marea en Las Barracas.

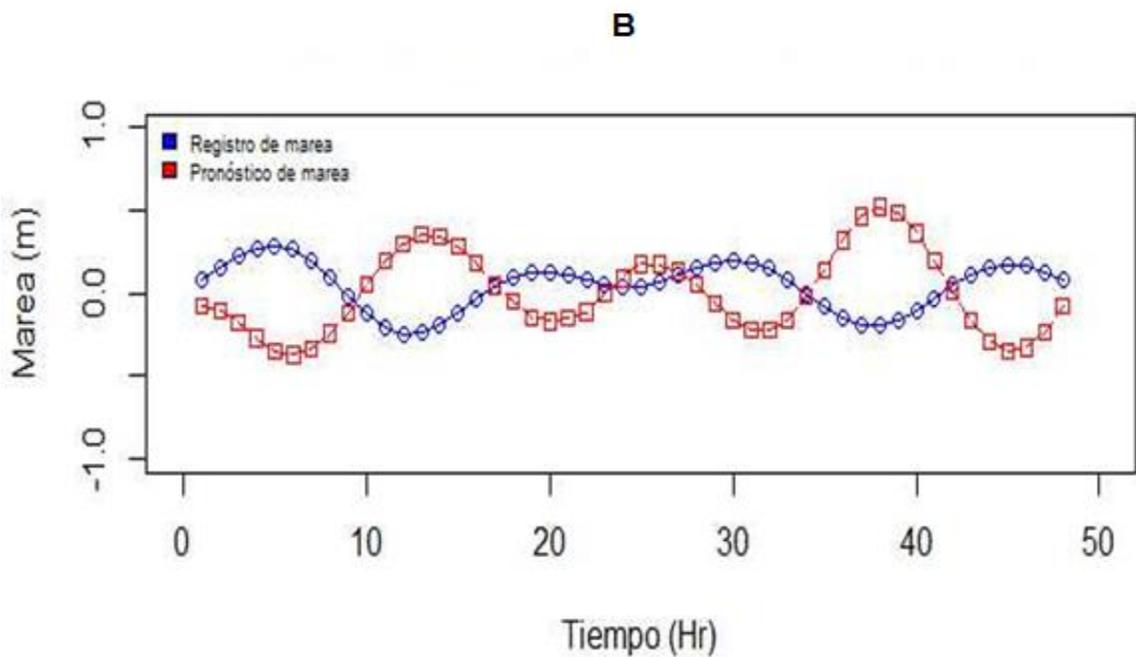
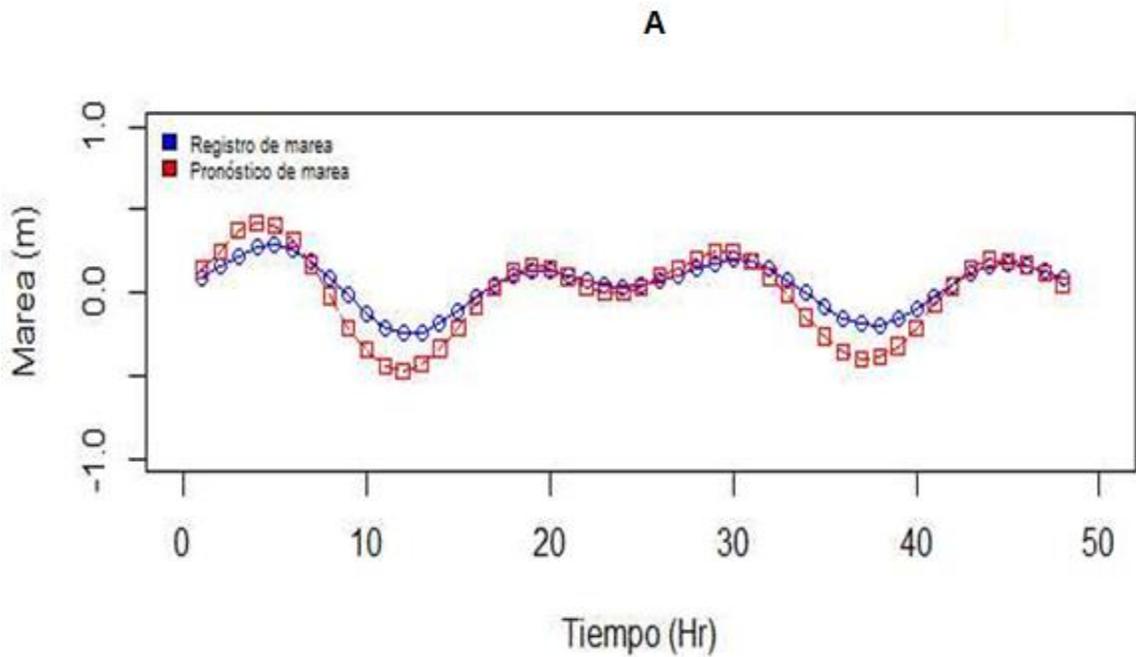


Figura 10. Desfasamiento de marea en el mes de agosto del 2014 entre las zonas de estudio y la estación de Cabo San Lucas B.C.S. **A.** Registro de marea en El Cardonal **B.** Registro de marea en Las Barracas.

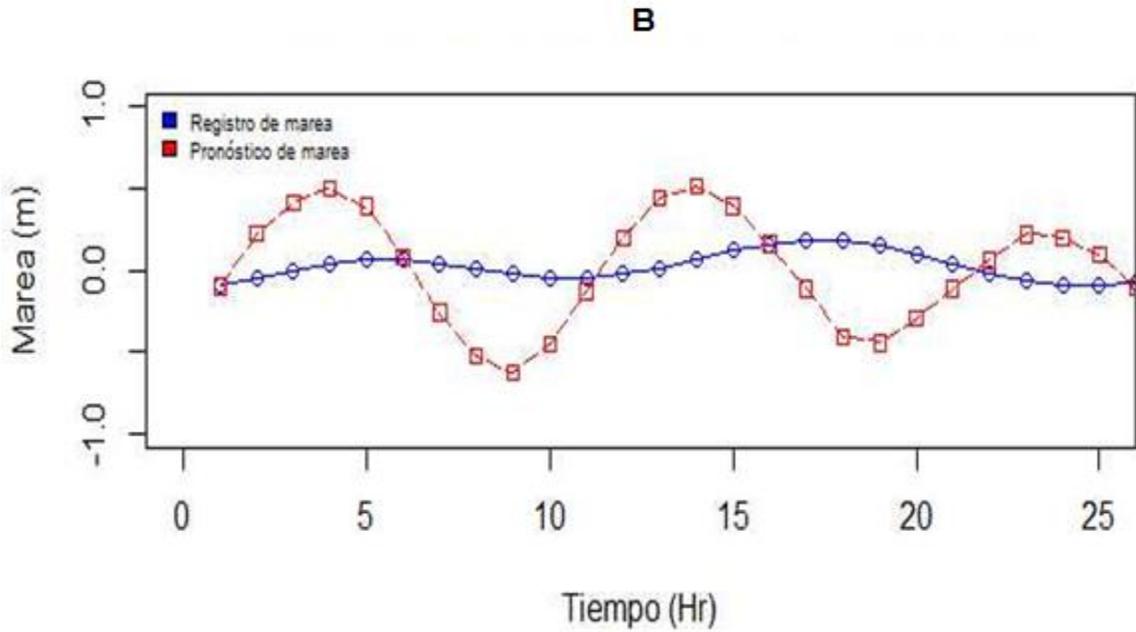
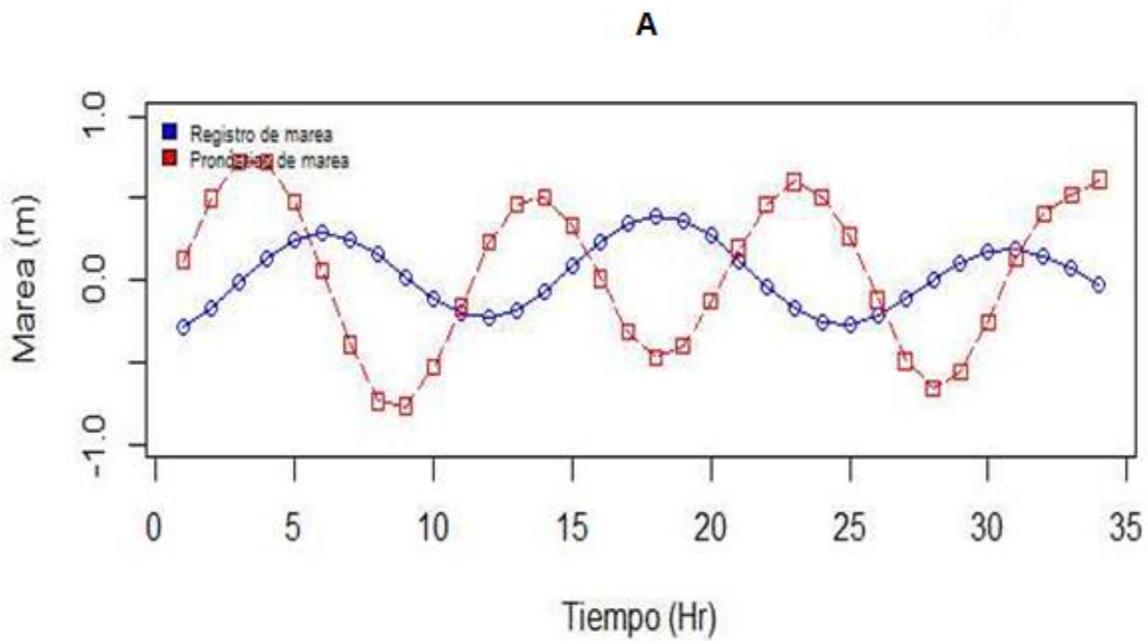


Figura 11. Desfasamiento de marea en el mes de noviembre del 2014 entre las zonas de estudio y la estación de Cabo San Lucas B.C.S. **A.** Registro de marea en El Cardonal **B.** Registro de marea en Las Barracas.

## OLEAJE

### El Cardonal

Para El Cardonal, durante el mes de marzo se observaron valores de ( $H_s$ ) entre los  $0.03 \pm 0.10$  m hasta los  $0.5 \pm 0.10$  m. Se observa un patrón de la altura de las olas entre las horas de la mañana y de la tarde, ya que la mayor variación se obtuvo durante el transcurso de las primeras doce horas, entre las 8:00 y 18:00 horas del día 18, mientras que en las horas de la noche se presentaron olas de menor tamaño. Para el día 19 se volvió a presentar el mismo comportamiento entre las horas de la mañana y la tarde (8:00 - 18:00), pero la altura máxima que se midió fue de 0.25 m, este patrón se repitió en las horas de la mañana del día 20 (Fig. 12A).

El periodo significativo  $T_s$  registrado para marzo presentó valores entre  $3.65 \pm 0.78$  s durante la mañana del día 18, hasta  $6.94 \pm 0.78$  s para la mañana del día 20, aunque la serie de datos presenta otro pico para la mañana del día 19, mientras que en las tardes y noches los valores de  $T_s$  tienden a ser menores en ausencia de viento, mostró un promedio de 4.79 s. (Fig. 12B). Los datos registran oleaje proveniente desde el sur y suroeste, este comportamiento se mantuvo desde la noche del día 18 hasta la mañana del día 20 donde concluyó el muestreo. (Fig. 12C). Excepto para las 12 horas iniciales, en las cuales se registraron olas dominantes provenientes del Este, las cuales corresponden a una cuarta parte de los resultados para este mes del año.

Para el mes de agosto no se obtuvieron datos de oleaje para El Cardonal por fallas técnicas del instrumento de medición.

La altura significativa durante el muestreo del mes de noviembre tendió a disminuir a lo largo de todo el muestreo, siendo el valor más alto  $0.92 \pm 0.21$  m para las horas de la mañana del día 26 hasta el menor valor de  $0.15 \pm 0.21$  m para la mañana del día 29 (Fig. 13A). El periodo significativo durante las 48 horas de muestreo mostró valores entre  $3.87 \pm 0.50$  s y  $5.89 \pm 0.50$  s con un promedio de 4.62 s este comportamiento se mantuvo durante toda la campaña (Fig. 13B). Esto significa oleaje de viento local.

La distribución direccional para el mes de noviembre muestra alta dominancia de oleaje proveniente del norte y esto se observó durante las 48 horas de muestreo sin variación alguna (Fig. 13C).

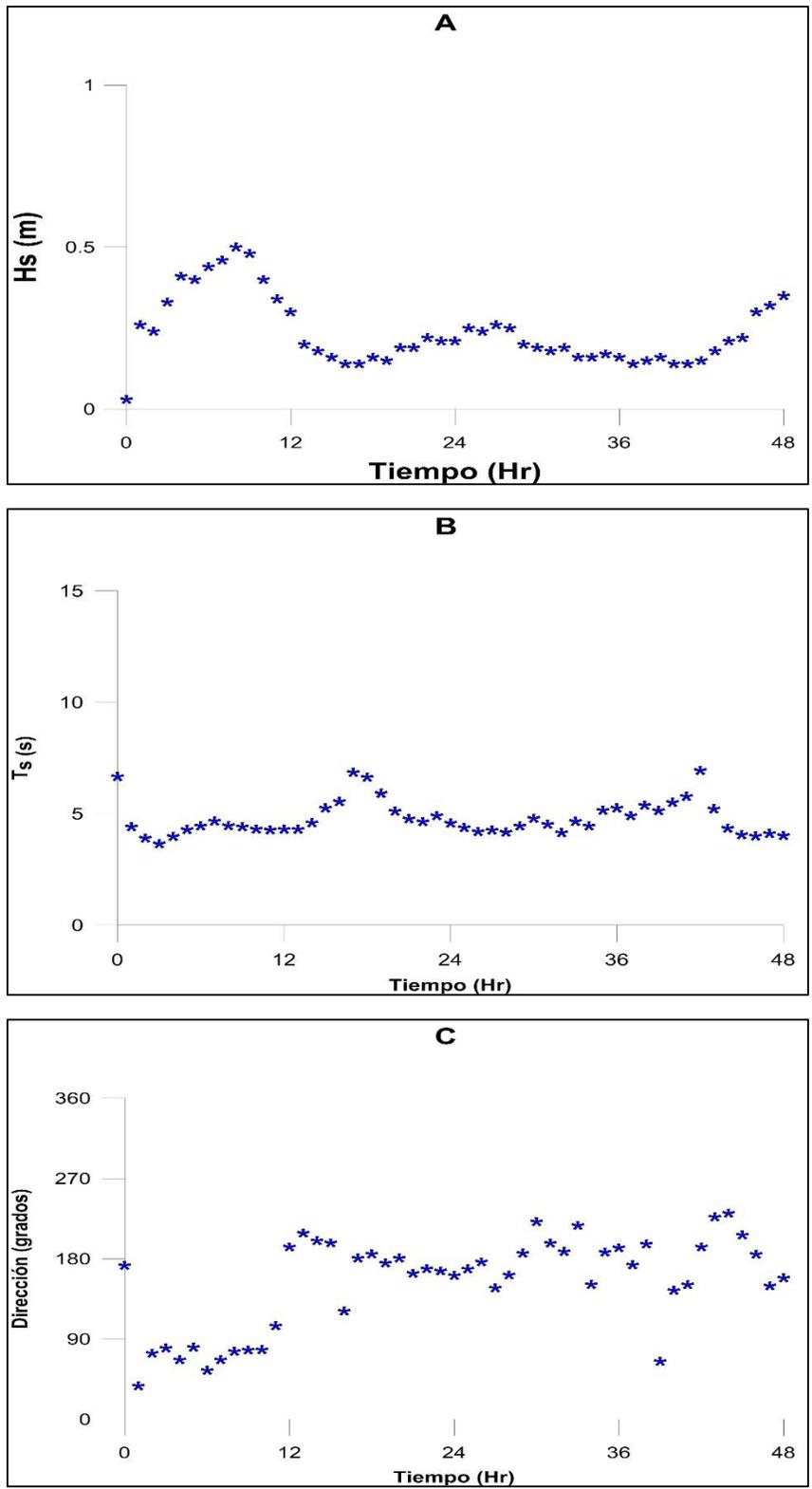


Figura 12. Parámetros de oleaje en El Cardonal para marzo de 2014, **A.** Altura de ola (Hs). **B.** Periodo de la ola (Ts). **C.** Dirección del oleaje.

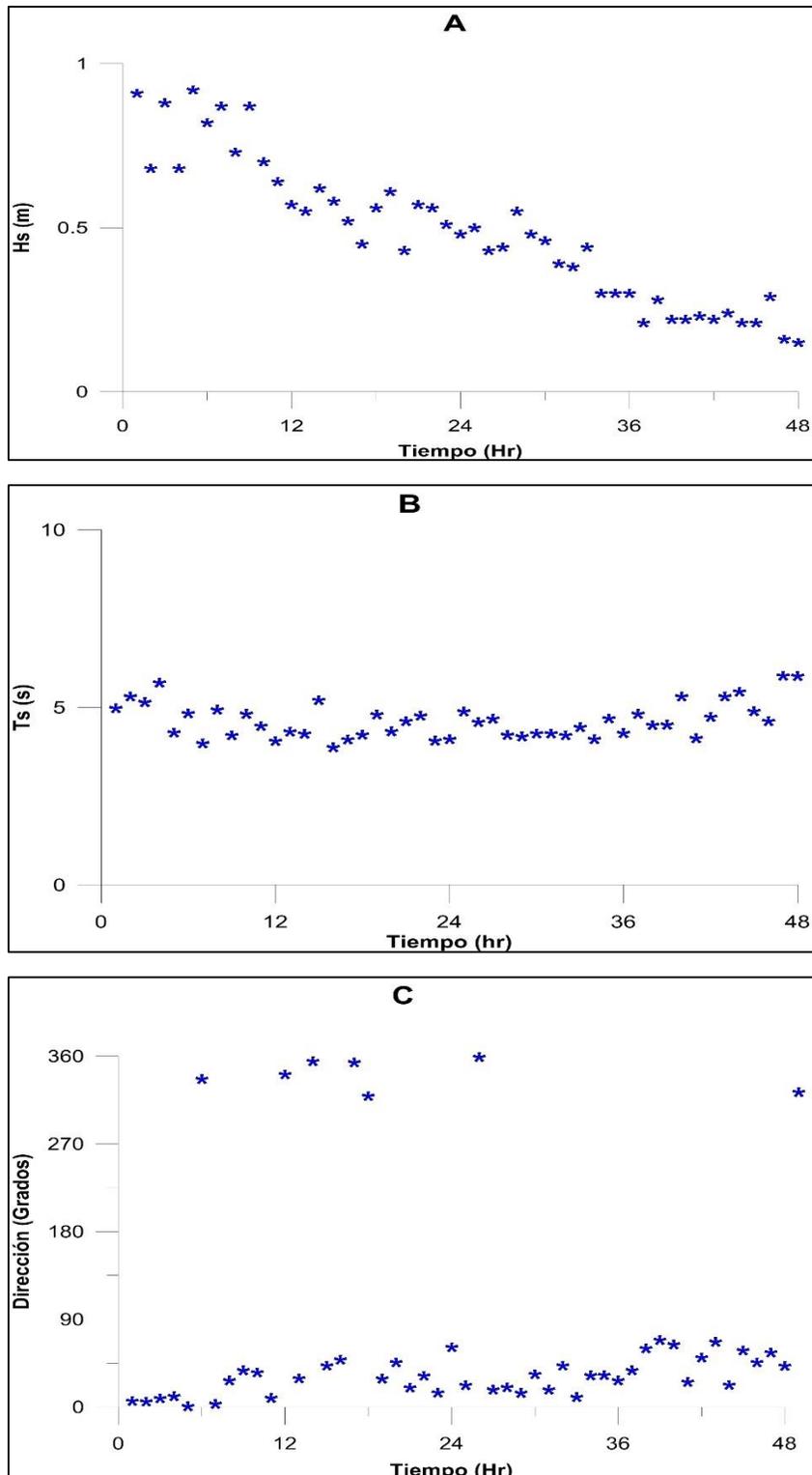


Figura 13. Parámetros de oleaje en El Cardonal para noviembre de 2014, **A.** Altura de ola (Hs). **B.** Periodo de la ola (Ts). **C.** Dirección del oleaje.

## Las Barracas

Para Las Barracas, se observó una variación de  $0.04 \pm 0.15$  m hasta  $0.6 \pm 0.15$  m con  $H_s$  promedio de 0.47 m, durante las primeras horas del muestreo no hubo movimiento del mar considerable debido a la ausencia de oleaje pero después de la tercera hora la  $H_s$  mostró poca variación manteniendo valores cerca del promedio durante las horas siguientes sin ningún patrón diferencial, entre la mañana y la tarde (Fig. 14A).

El ( $T_s$ ) varió entre  $5.7 \pm 1.3$  s indicando viento local y  $9.94 \pm 1.3$  s que corresponde a oleaje lejano o swell, el menor valor se halló el día 21 a las horas de la mañana pero luego el periodo significativo aumentó considerablemente hacia los valores mayores sobre los 7 y 8 s siendo oleaje de viento local durante todo el día y éste se mantuvo hasta el día 22 (Fig. 14B).

La distribución direccional del oleaje muestra una dominancia proveniente desde el Este ( $90^\circ$ ) para las horas de la mañana del día 21, pero después en horas de la tarde no se observa dominancia, ya que es muy variable (Fig. 14C).

La altura significativa de ola en Las Barracas para agosto mostró valores entre  $0.69 \pm 0.10$  m y  $1.09 \pm 0.10$  m, durante el muestreo hubo mucha variación entre los datos sin comportamiento definido desde la noche del día 13 al medio día del día 15 (Fig. 15A), pues había una combinación de oleaje local y swell.

El periodo significativo varió entre los  $4.83 \pm 1.2$  m y  $9.53 \pm 1.2$  m que al igual que la altura significativa para el mes de agosto muestra una combinación de oleaje local y swell (Fig. 15B).

La distribución direccional del oleaje mostró una dirección dominante desde el Este ( $90^\circ$ ) durante todo el muestreo para el mes de agosto y ocasionalmente presentó valores provenientes desde el Sureste. (Fig. 15C).

Para noviembre la  $H_s$  no mostró continuidad en los registros, el menor valor observado fue de 0.23 metros hacia el medio día del 30 de noviembre, aunque el valor de 0.6 se

alcanzó ese mismo día en horas de la mañana, y también en horas de la tarde. El 2 de diciembre la altura significativa se mantuvo por debajo de los 0.5 m (Fig. 16A).

El comportamiento del período significativo  $T_s$  presentó predominancia de olas de viento con valores entre  $3.5 \pm 1.7$  s a  $10.2 \pm 1.7$  s, la mayoría de registros están por encima de los 5 s especialmente para las primeras horas del día de 29, ya para el segundo día se presentaron valores menores durante la mañana, pero hacia la tarde volvieron a ser altos, para disminuir hacia la mañana del día 2 de diciembre. El promedio para esos días fue de 7.42 s (Fig. 16B).

En la distribución direccional se observa oleaje proveniente de dos direcciones entre los  $0^\circ$  a los  $90^\circ$  desde el noreste y se observa otra dirección desde el suroeste, la cual se presenta de forma ocasional durante el periodo de muestreo (Fig. 16C).

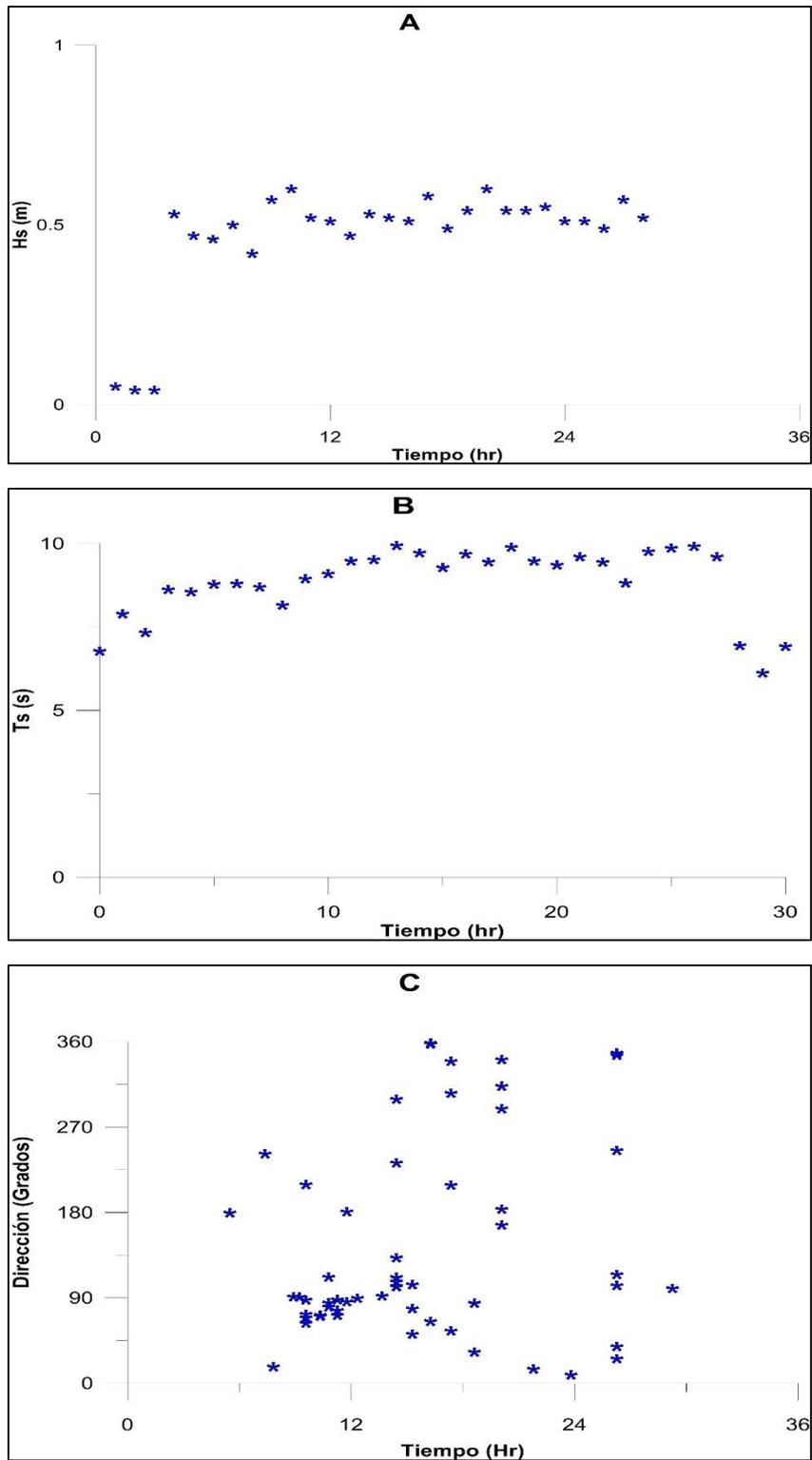


Figura 14. Parámetros de oleaje en Las Barracas para marzo de 2014, **A.** Altura de ola (Hs). **B.** Periodo de la ola (Ts). **C.** Dirección del oleaje.

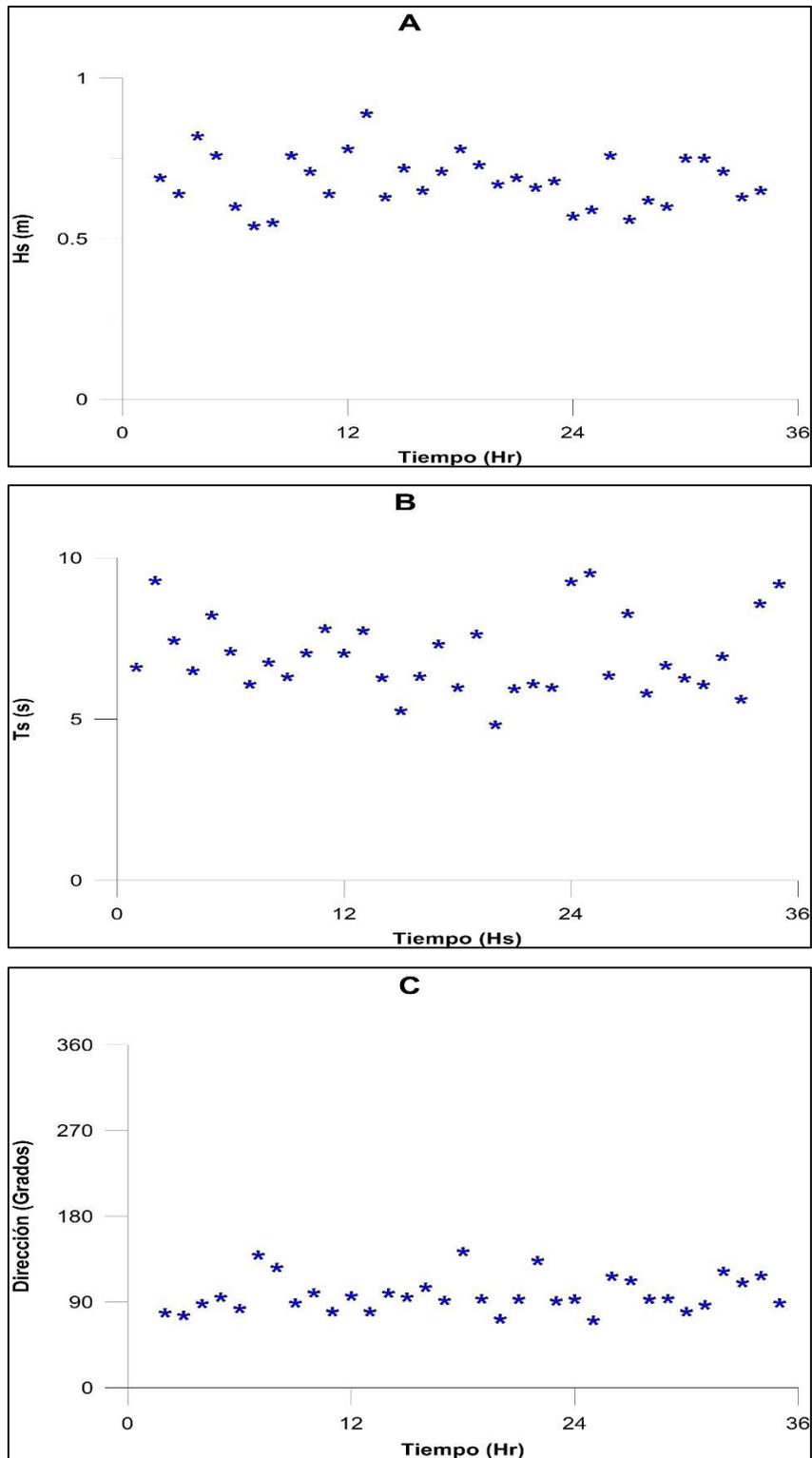


Figura 15. Parámetros de oleaje en Las Barracas para agosto de 2014, **A.** Altura de ola (Hs). **B.** Periodo de la ola (Ts). **C.** Dirección del oleaje.

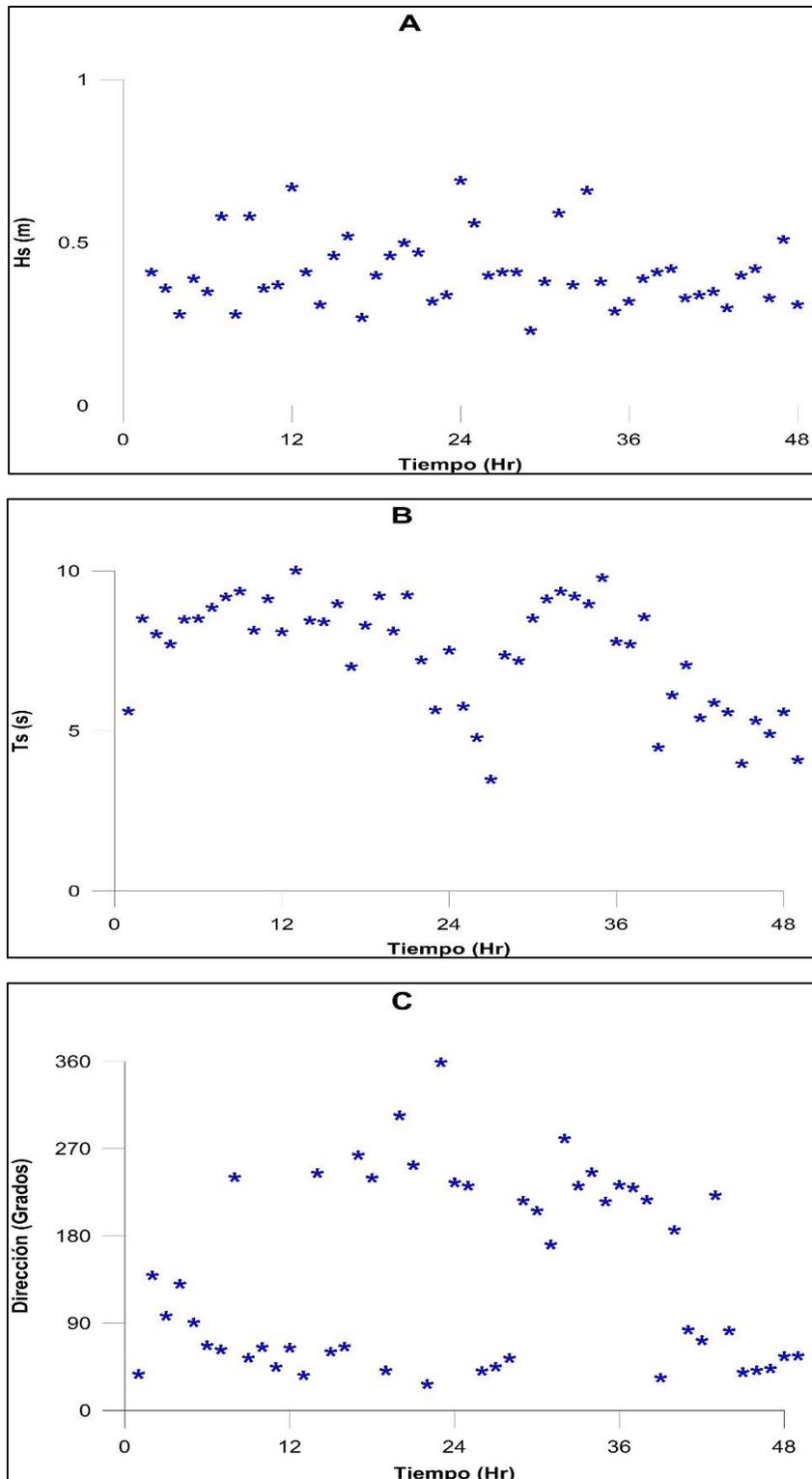


Figura 16. Parámetros de oleaje en Las Barracas para noviembre de 2014, **A.** Altura de ola (Hs). **B.** Periodo de la ola (Ts). **C.** Dirección del oleaje.

## CORRIENTES EULEREANAS

### El Cardonal

Los datos obtenidos marzo muestran una incidencia de oleaje con direcciones desde el Sur (10%), Sureste (6%), Este (9%), con respecto a su magnitud, se muestran velocidades menores a 3 cm/s y hasta 6 cm/s (Fig. 17) excepto algunas mediciones que estuvieron entre 9 a 12 cm/s provenientes del SO la velocidad media registrada fue de  $2.42 \pm 1.9$  cm/s.

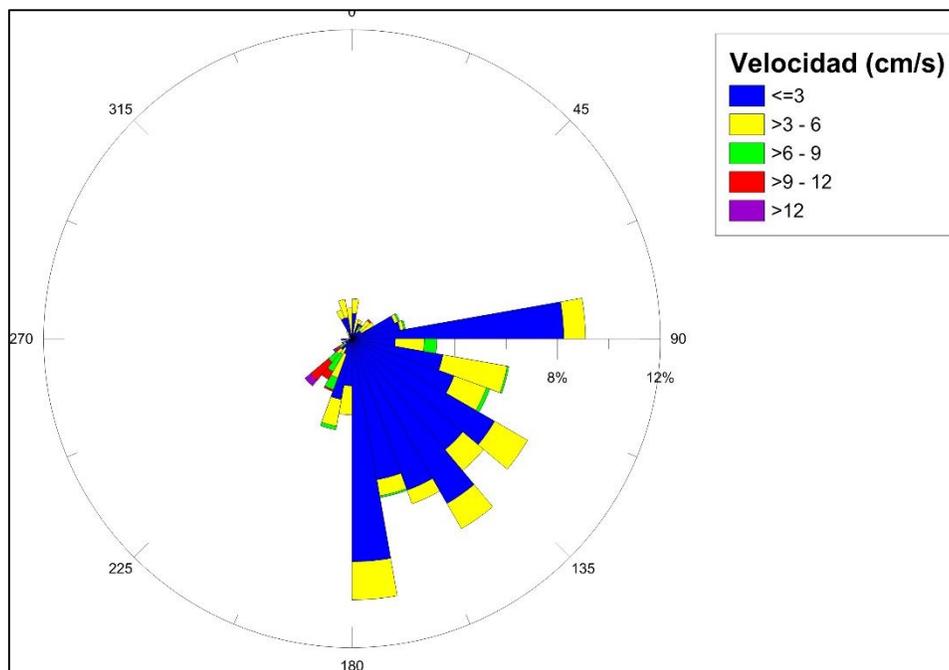


Figura 17. Rosa de corrientes para El Cardonal para marzo de 2014

Para los días 11 al 13 de agosto de 2014, se registraron corrientes dominantes provenientes desde el Noreste (11%) y Suroeste (6%) ambas direcciones presentaron velocidades mayores de 12 cm/s llegando incluso hasta los 22 cm/s. La magnitud media fue de  $12.98 \pm 9.68$  cm/s (Fig. 18), la cual es una intensidad considerable que es capaz de transportar el material que pone en suspensión el oleaje.

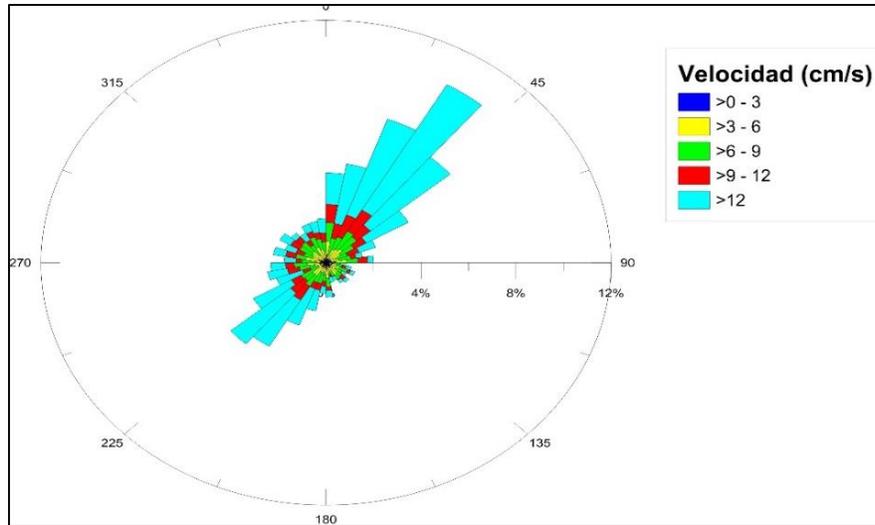


Figura 18. Rosa de corrientes para El Cardonal para agosto de 2014

Para los últimos días de noviembre la más frecuente dirección de las corrientes fue desde el Noreste (60%) con velocidades entre los 3 hasta 20 cm/s, la media para esta época del año fue de  $16.58 \pm 1.6$  cm/s (Fig. 19). Esto indica que la arena es transportada desde la cara de la playa hasta atrás de la rompiente.

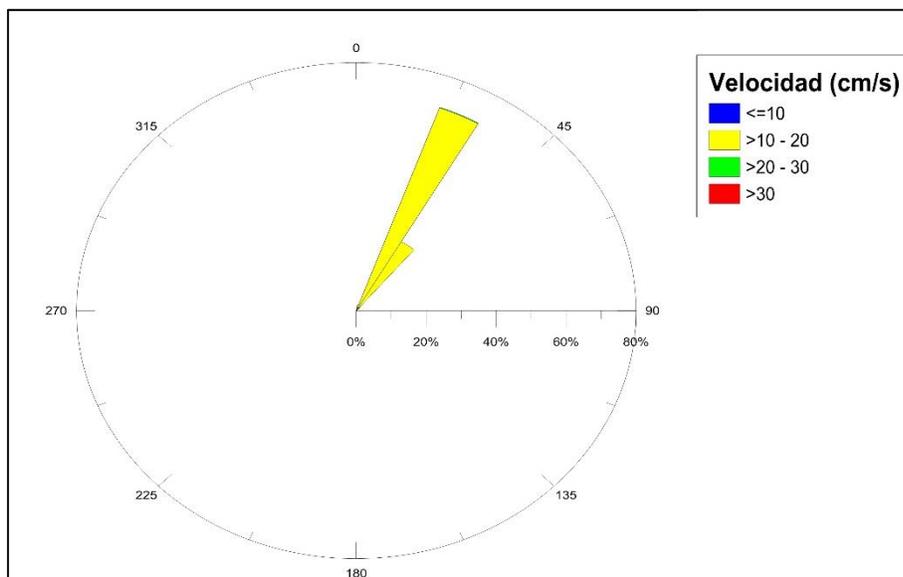


Figura 19. Rosa de corrientes para El Cardonal para noviembre de 2014

## Las Barracas

Para Las Barracas, las corrientes superficiales observadas estuvieron asociadas a direcciones provenientes desde el Este (9%) y el Sureste (9%) y en menor magnitud desde el S (5%). En términos de magnitudes se observó que las mayores frecuencias se encuentran entre 2 a 4 cm/s, provenientes desde el Este y el Sureste, en esta ocasión se hallaron registros ocasionales de velocidades mayores a 8 cm/s llegando hasta los 20 cm/s. La media para la velocidad fue de  $4.04 \pm 15.2$  cm/s (Fig. 20)

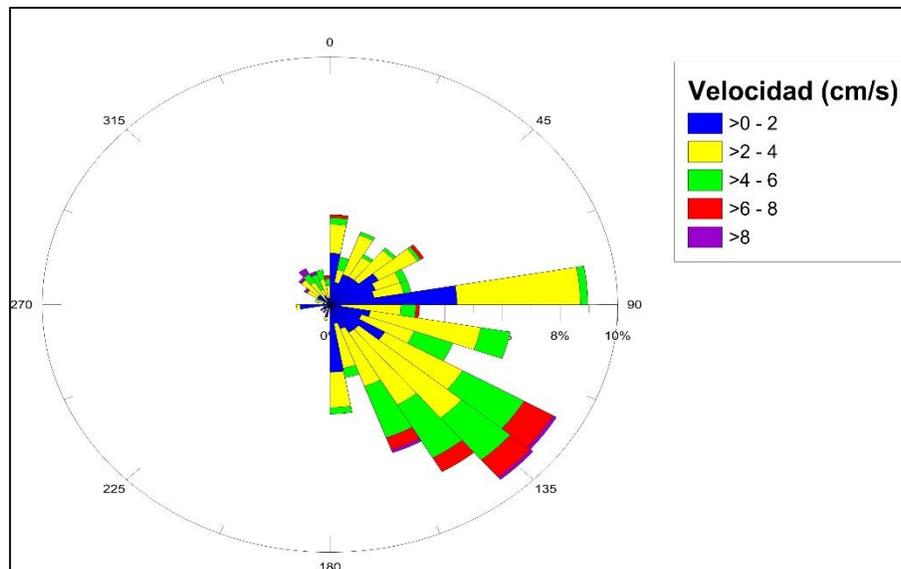


Figura 20. Rosa de corrientes para Las Barracas para marzo de 2014.

Para agosto entre el 11 al 13, se observó un comportamiento dominante de las corrientes que provienen desde el Océano Pacífico (8%) con velocidades máximas entre los 60 a 80 cm/s, después se encontraron corrientes que tienden al Noreste con un 6% y pero mantienen la misma velocidad. Los datos variaron entre los 0.4 a los 94.3 cm/s, con una media de  $25.1 \pm 13.7$  cm/s (Fig. 21).

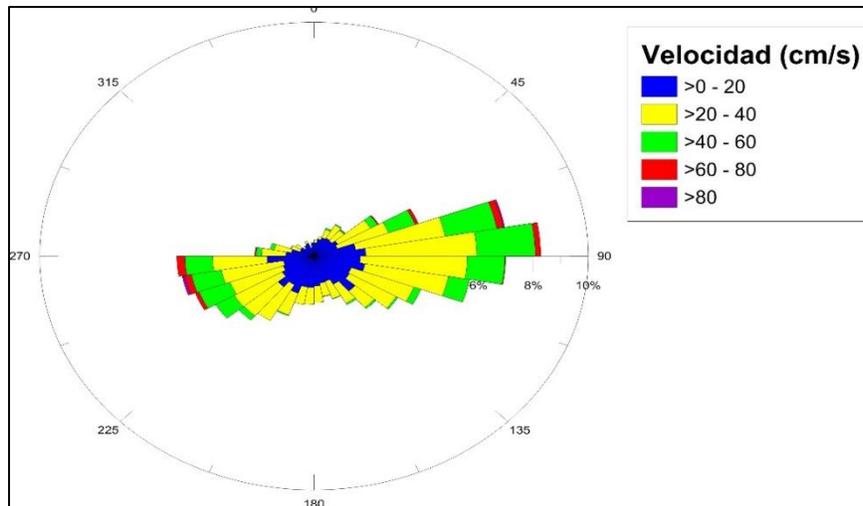


Figura 21. Rosa de corrientes para Las Barracas mes de agosto de 2014

Para los últimos días de noviembre, y los primeros de diciembre el comportamiento que se registró fue de corrientes mayormente desde el Este (26%) y en menor magnitud desde Sureste (23%), la velocidad estuvo entre los 17 hasta los 68 cm/s con una media de  $30.2 \pm 2.6$  cm/s (Fig. 22), lo cual indica una gran energía con una capacidad de mayor de arrastre de sedimentos, ya que al rebasar los 50 cm/s pone en suspensión una gran cantidad de sedimentos que impulsan el transporte litoral paralelo a la costa y el que lleva sedimentos hacia atrás de la rompiente, pero ambos causan erosión en la cara de la playa.

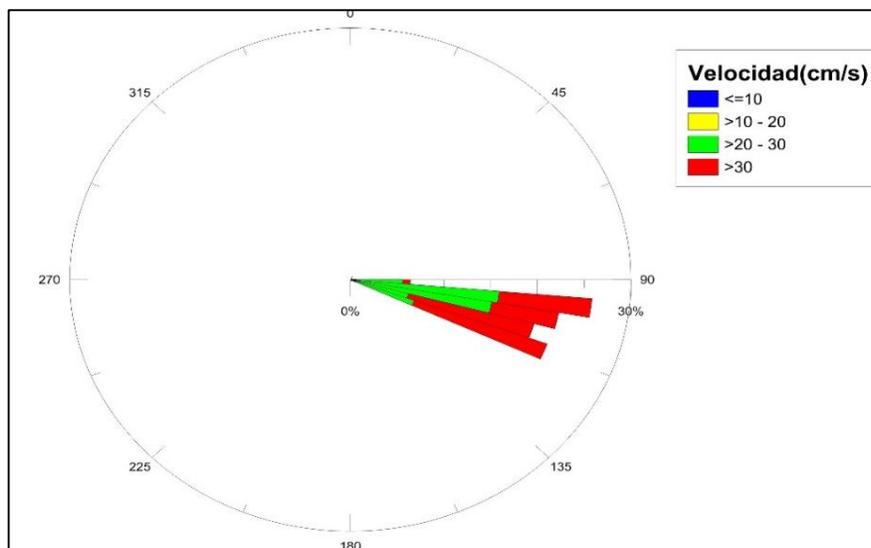


Figura 22. Rosa de corrientes para Las Barracas en noviembre de 2014

## CORRIENTES LAGRANGEANAS

La medición de corrientes Lagrangeanas en El Cardonal mostró que las cruces de deriva se mueven hacia el noroeste a una distancia de 700 metros durante la primera hora y regresando en dirección sureste. La segunda siembra (Vectores rojos) se mantuvo en el mismo sector evidenciando una dispersión baja al igual que su velocidad, ya que la distancia entre los vectores es reducida. Un comportamiento similar se presentó durante la tercera siembra (Fig. 23A). Esto hace evidente la capacidad de transportar arena de las corrientes costeras, ya que el oleaje pone en suspensión el sedimento y la corriente lo transporta.

Para Las Barracas, las dos siembras que se realizaron muestran un transporte litoral hacia el norte en ambas trayectorias, la primera, recorrió 100 metros, manteniéndose cerca de la costa, al reubicarla se observó un comportamiento hacia el norte paralelo a la línea de costa. Estos datos se compararon con los del correntómetro para observa similitud (Fig. 23B).

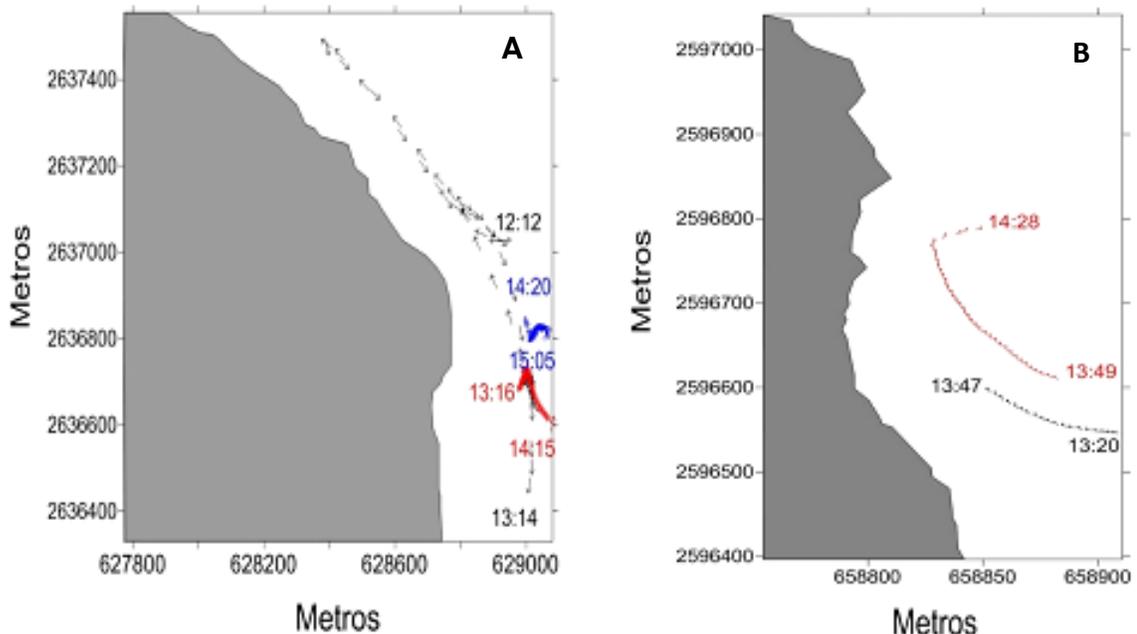


Figura 23. Trayectorias de las cruces de deriva para marzo de 2014. **A.** En El Cardonal, **B.** En Las Barracas.

# BATIMETRÍA

## El Cardonal

La batimetría para el sector de El Cardonal, se realizó tomando 492 puntos con 20 m aproximadamente entre sí, se realizaron secciones transversales o perfiles batimétricos con un sonar digital con GPS integrado. (Fig. 24). Se obtuvo una profundidad promedio de 8.9 m, y las partes más profundas de los perfiles se encontraron entre los 24 hasta los 31 m.

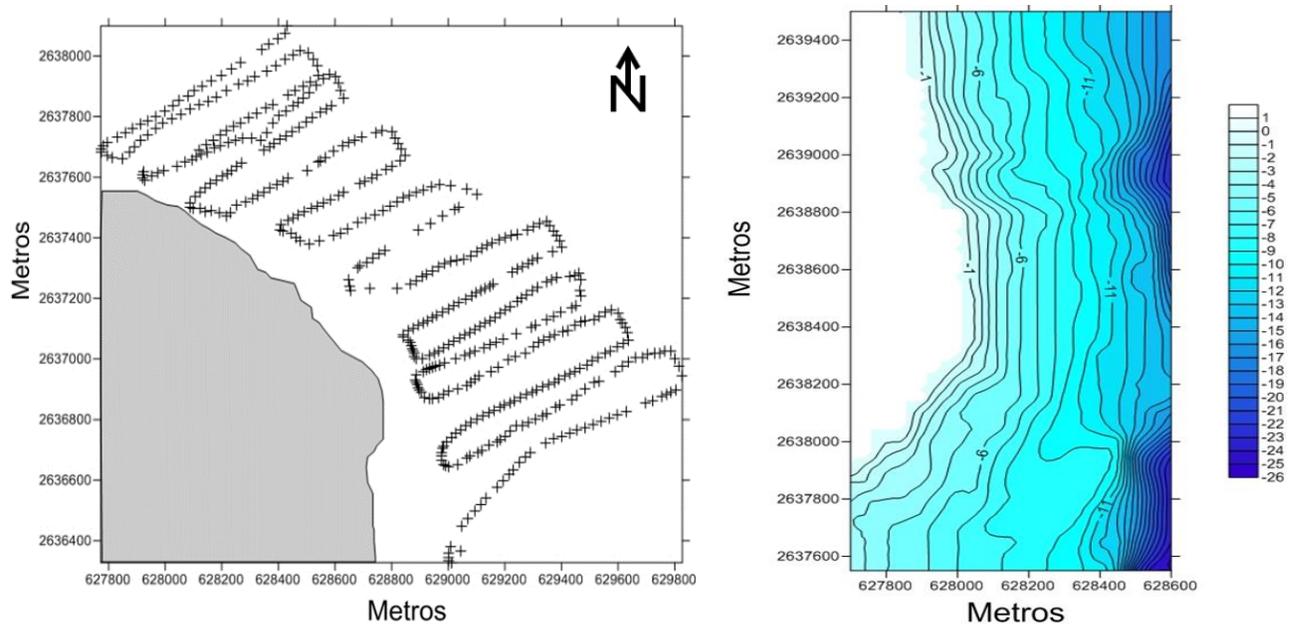


Figura 24. Izq. Transectos de muestreo de precisión (492 puntos) realizados en el Cardonal en julio 2014. Der. Resultados de modelo batimétrico con profundidad promedio de 8.9 m.

A partir de estos datos se generó un modelo en 3D que indicó la forma del fondo marino y permitió distinguir las características batimétricas mayores a 15 m sobre la plataforma marina frente al área de estudio. La zona ubicada más al norte presenta características de ambiente de depositación marina y se distingue un canal hacia la parte profunda que posiblemente puede ser la cabecera de un cañón submarino (Fig. 25), teniendo en cuenta que se trata de la parte submarina de un abanico

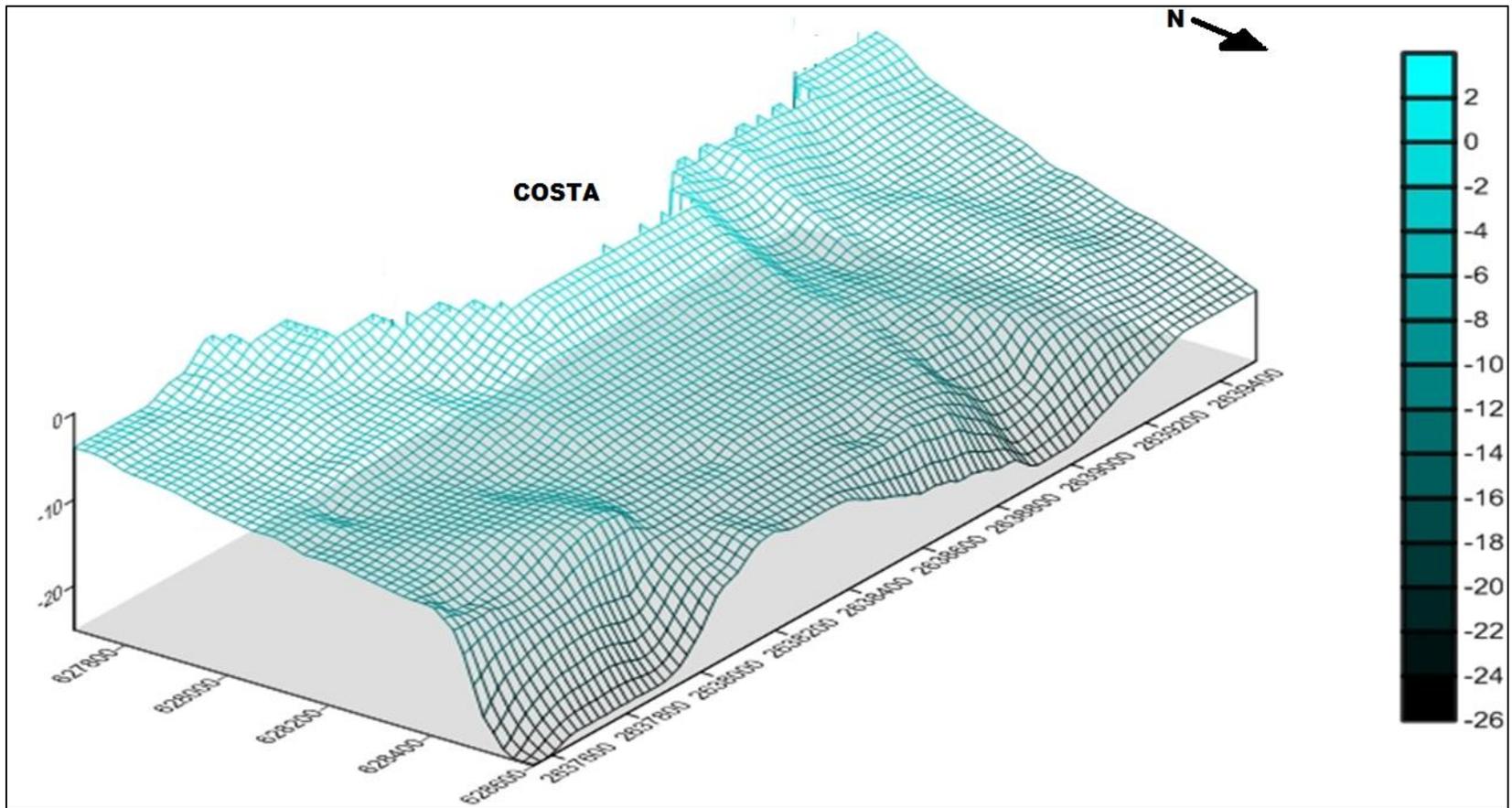


Figura 25. Modelo batimétrico de El Cardonal.

## Las Barracas

La batimetría (Fig. 26) se compone por 318 puntos frente a la playa estudiada, perteneciente a la parte norte del Parque Nacional Marino Cabo Pulmo.

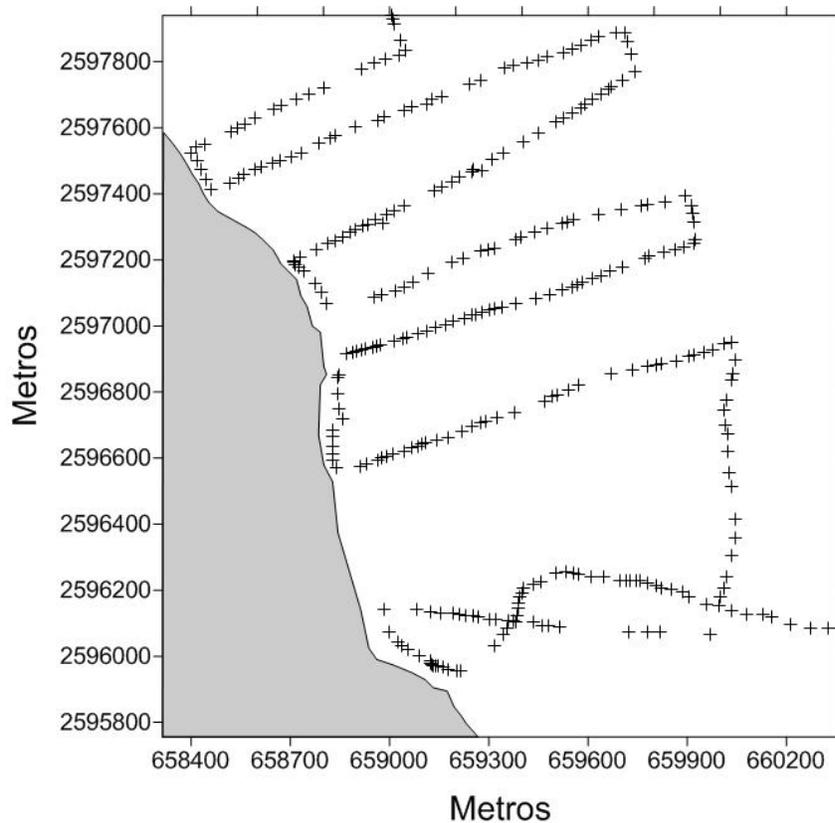


Figura 26. Secciones para la toma de datos batimétricos frente a la playa de Las Barracas, Parque Nacional Natural Cabo Pulmo (2008).

Para julio se observó una plataforma amplia la cual tiene ondulaciones con profundidad máxima de 9 a 10 metros hacia su parte central, hacia mar adentro se observa una barrera paralela a la costa, con orientación noreste – sur que en promedio tiene profundidades de 5 a 7 metros, hacia el norte se nota la parte más profunda que alcanza 12 o más metros, este comportamiento es coincidente con la geomorfología costera; fuera de esta zona sobre el área del parque se pueden alcanzar profundidades de hasta 200 m. En la parte sur la pendiente es mayor y en la costa hay cantos rodados

de hasta decenas de centímetros, mientras que en la parte norte domina la arena media y la pendiente es más suave (Fig. 27).

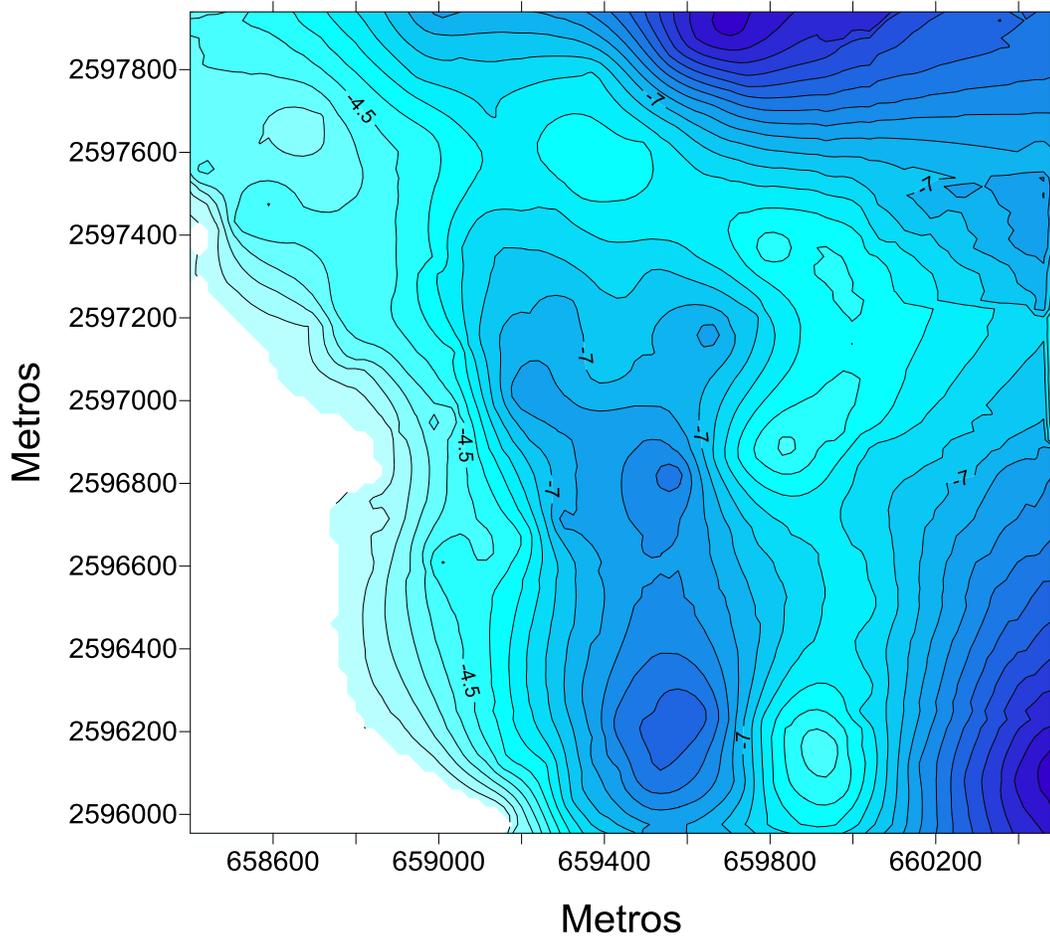


Figura 27. Batimetría frente la playa Las Barracas, Cabo Pulmo, B.C.S.

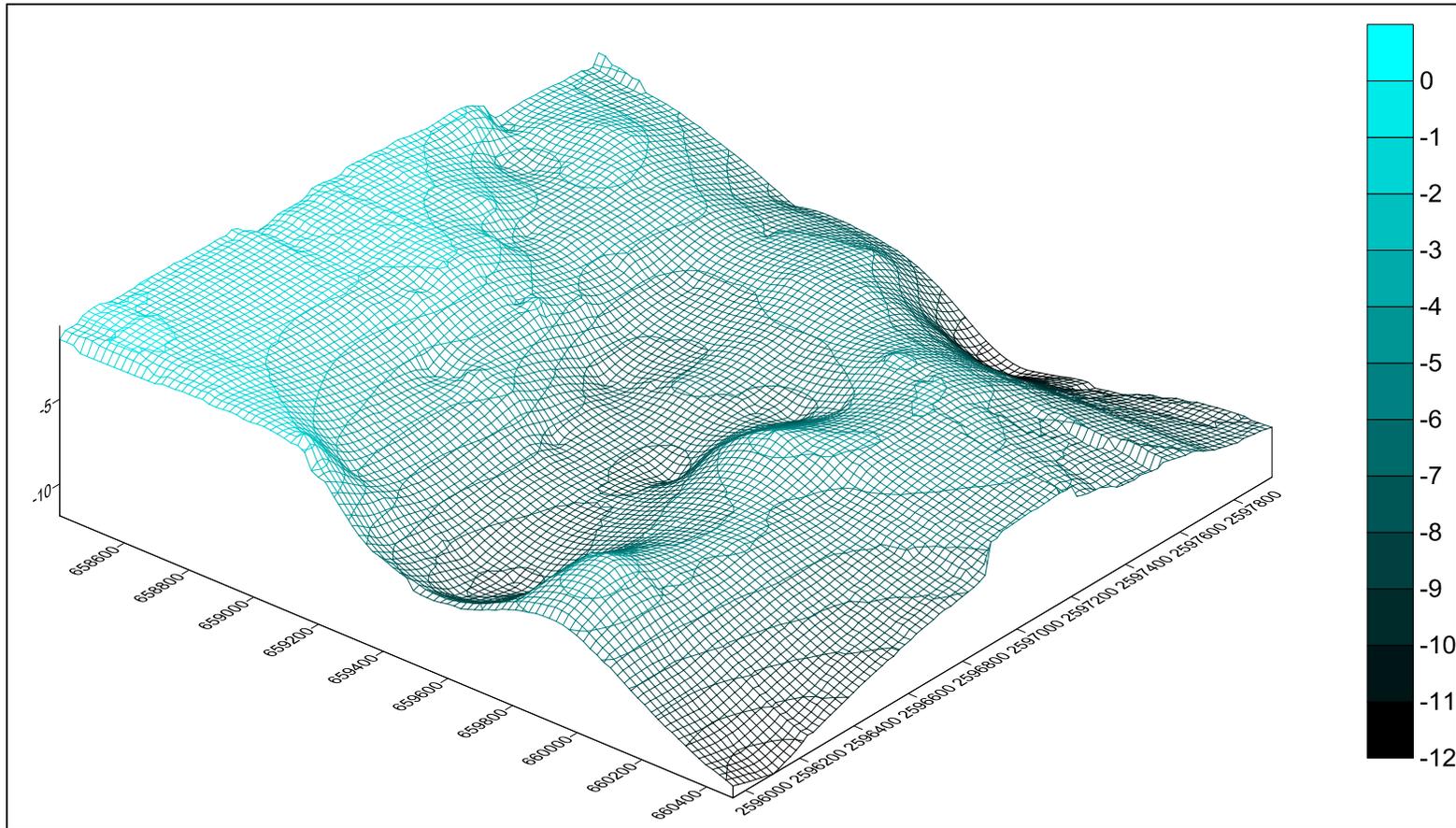


Figura 28. Modelo Batimétrico 3D de Las Barracas, B.C.S.

## CUENCAS

### El Cardonal

En la playa El Cardonal se han identificado dos arroyos que desembocan formando un abanico sobre gran extensión de la playa, resultado de la llegada de dos cauces pertenecientes a los arroyos La Higuera (azul), ubicado más al norte y Arroyo Aguaje Blanco (Rojo) al sur (Fig. 29). Como el transporte dominante es hacia el noroeste, se tomaron datos del Arroyo Aguaje Blanco como posible aportador de material sedimentario; éste posee una longitud de 10,204 metros con una pendiente media de 2.44% que desciende desde la parte de elevación máxima a casi 400 m hasta los 136 m, con un tiempo de acumulación del agua sobre el cauce desde la parte alta hasta su desembocadura de 97.99 minutos (INEGI, 2014). Lo cual es razonable con el área de la cuenca equivalente a  $35,912,170.24 \text{ m}^2 = 3,591 \text{ ha}$  calculada a través de modelos de elevación con el programa ArGIS 10.2 (Fig. 30).

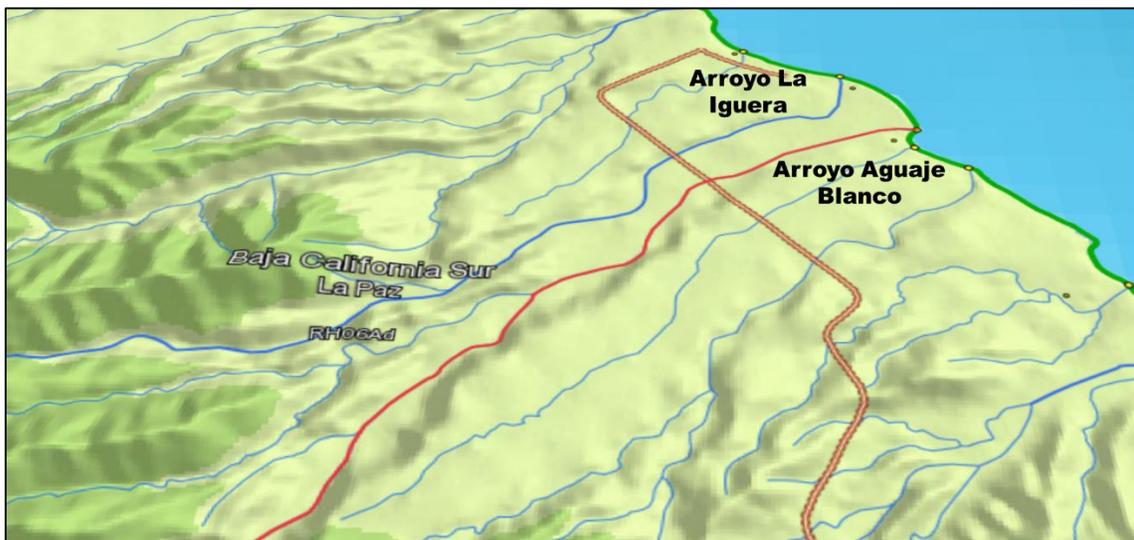


Figura 29. Localización de A. Higuera y A. Aguaje Blanco ubicados a los extremos de la zona de estudio.



Figura 30. Localización de la cuenca de influencia sobre el área de estudio.

La dirección de flujo desde el rompeaguas hacia el cauce de los arroyos tiene la mayoría dirección desde el sur hacia el norte y se representan con las zonas más verdes en este grupo se hallan todas las pendientes que alimentan a los arroyos tributarios, mientras que las partes blancas representan los valores más bajos correspondientes a direcciones del este y sureste (Fig. 31).

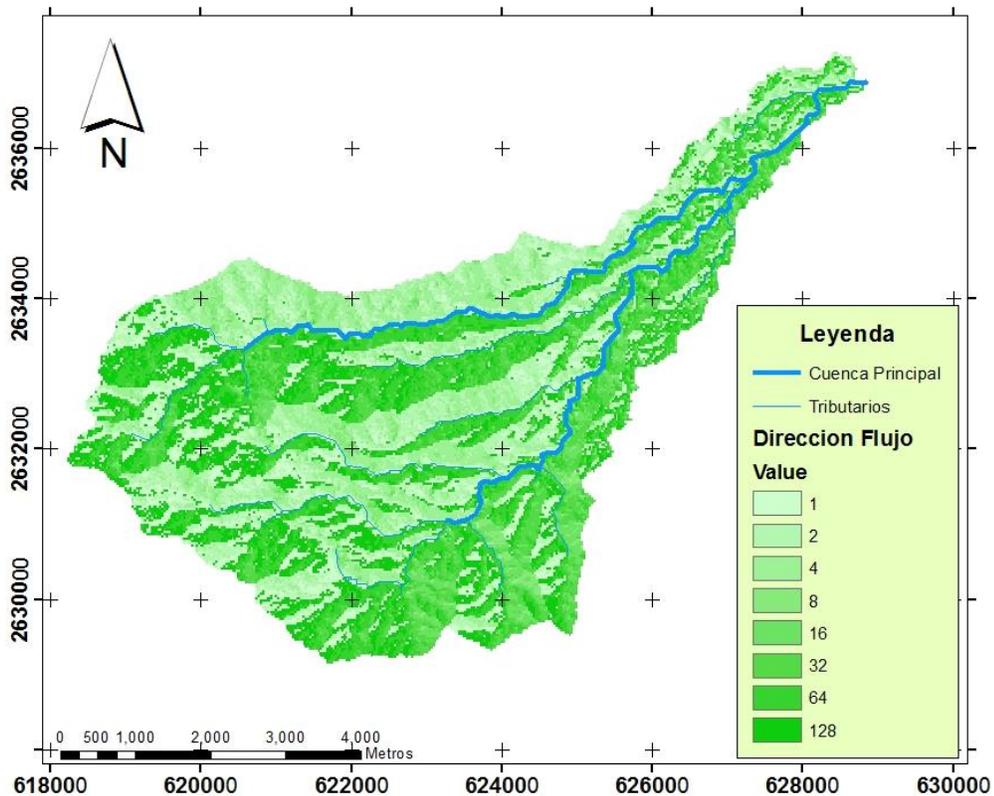


Figura 31. Dirección de flujo desde el parteaguas hacia el cauce.

El esquema RASTER de acumulación de flujo muestra valores adimensionales mostrando que la mayor parte del agua que desemboca sobre la zona de estudio proviene desde el cauce del arroyo Aguaje Blanco, ya que los pixel tienden a ser más blancos y eso corresponde a un valor mayor para cada una de las celdas. Los valores de cada celda variaron desde 0 donde no hay flujo, 1 en el parteaguas hasta 40407 que se debe ubicar cerca a la desembocadura, se clasificaron los cauces en primarios y secundarios (tributarios), los primarios fueron lugares del cauce con valores de celda mayores a 500 y el cauce principal de define con valores de celda mayores a 5000, algunos tramos de cauce superiores no se esquematizan por ser menores de 500 (Fig. 32).

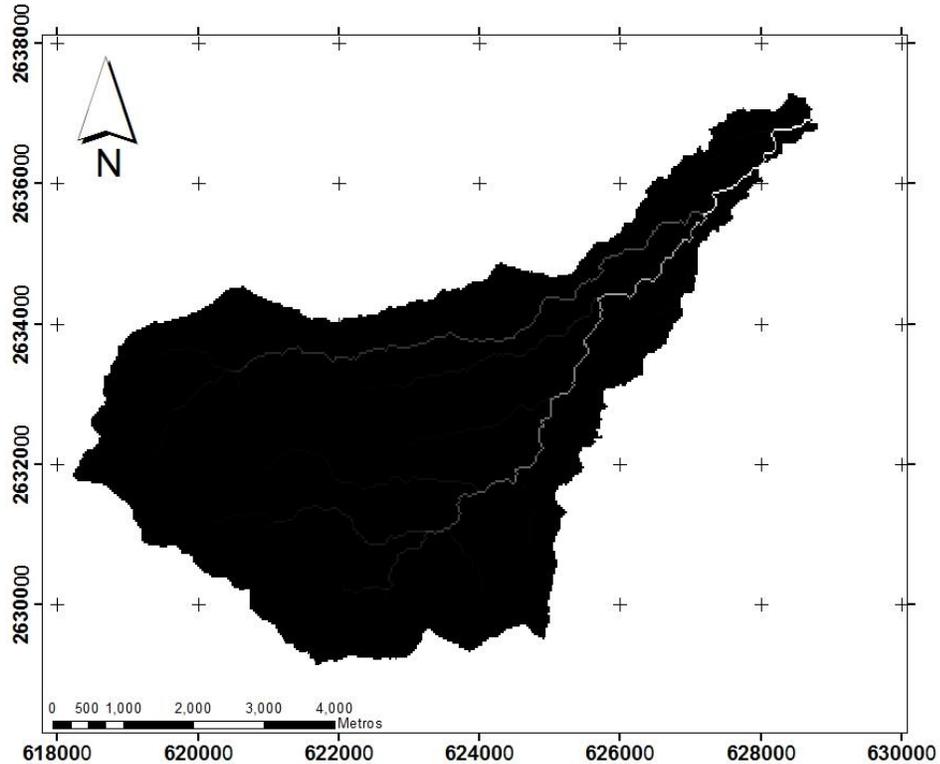


Figura 32. Acumulación de flujo para los arroyos Aguaje Blanco y La Higuera.

Los lugares con potencialidad de erosión (y mayor aporte de sedimentos a las playas), y se puede observar que los lugares de mayor pendiente, cerca del parteaguas, pueden perder hasta algo más de 400 toneladas a causa de erosión hídrica por la cantidad de cauces circundantes. La parte sur de la cuenca mostró valores erosivos entre 150 a 211 toneladas con pendientes medias y para la parte más cercana a la zona de estudio sobre la planicie cerca a la playa de Las Barracas la erosión puede ser de pocas toneladas.

De los dos arroyos, La Higuera presenta más capacidad de transportar sedimentos desde partes más altas, mientras que el arroyo Aguaje Blanco presenta menos erosión hídrica y montañas con menos pendiente se encuentran con celdas en color amarillo (Fig. 33).

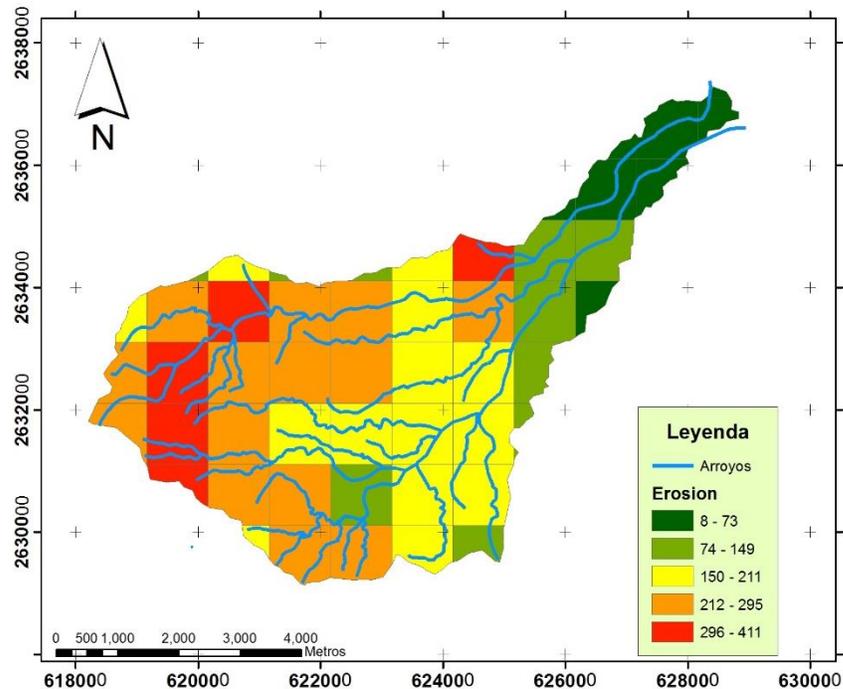


Figura 33. Profundidad de erosión para la cuenca de los arroyos Aguaje Blanco y La Higuera, zonas rojas tienen mayor potencialidad de erosión, amarillentas potencialidad media y verde baja erosión.

### Las Barracas

En Las Barracas, se identificó la cercanía de tres arroyos, dos ubicados hacia el sur y uno más que desemboca al noroeste, oficialmente no tienen denominación geográfica (Fig. 34). El arroyo de color rojo el más cercano a la zona de estudio, con una longitud de 2,200 m aproximadamente, el cual desciende desde los 152 m de altura hasta los 18 m cerca a la desembocadura. La pendiente media es de 6.055%. Hay que destacar que al realizar el análisis por SIG ese arroyo no arroja resultados significativos, además de que las observaciones en campo indican que su actividad es casi nula incluso durante tormentas de bajo impacto, la delimitación de la cuenca para el arroyo ubicado más al norte indican un área aproximada de  $13.737.677\text{m}^2 = 1.373 \text{ ha}$ . (Fig. 35).

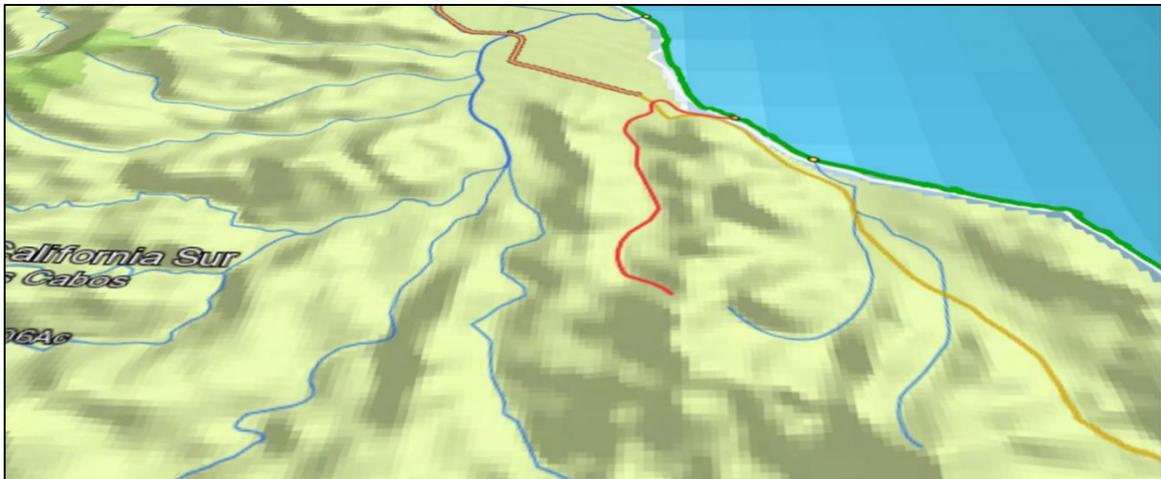


Figura 34. Ubicación de los arroyos influentes en la zona de Las Barracas.

En Las Barracas, en cuanto a las fuentes de aporte sedimentario hay que destacar que durante la época de estudio este tramo litoral evolucionó sin un aporte continental relevante. Se identificó la cercanía de tres arroyos, dos ubicados hacia el sur y uno más que desemboca al noroeste, oficialmente no tienen denominación geográfica; con una longitud de 2,200 m aproximadamente, el cual desciende desde los 152 m de altura hasta los 18 m cerca a la desembocadura. La pendiente media es de 6.055% (INEGI, 2014). La delimitación de la cuenca indica un área aproximada de  $16.561.253 \text{ m}^2 = 1.656 \text{ ha}$ . (Fig. 35).

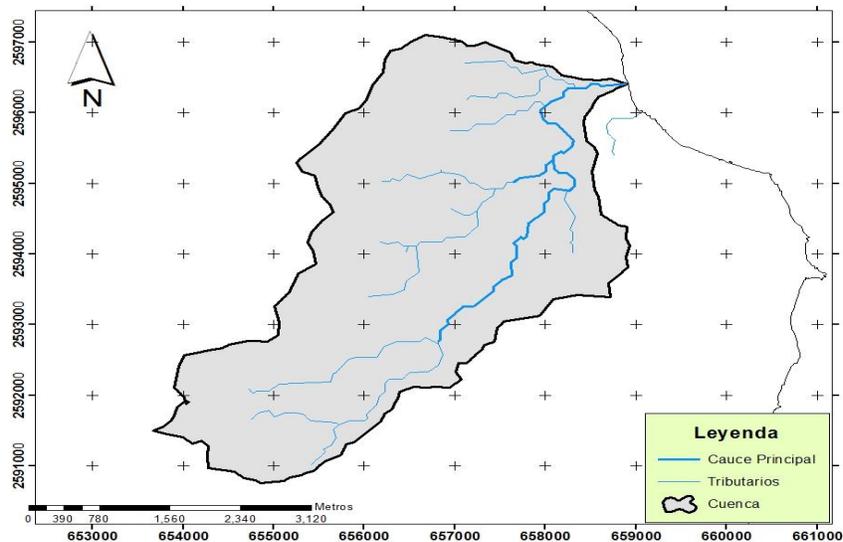


Figura 35. Localización y delimitación de la cuenca de influencia sobre Las Barracas, acumulación principal con valores mayores a  $5000 \text{ m}^3$

La dirección de flujo es de valores bajos para la mayoría del área de la cuenca, es decir, valores que corresponden a direcciones predominantes hacia donde escurre el agua hacia el Este (1), el Suroeste (2) y hacia el Sur (4), hacia el borde de la cuenca se encuentran los mayores valores que incluso podrían llegar a ser de 128 correspondiente a una dirección hacia el Noreste que se representan por las partes más verdes (Fig. 36).

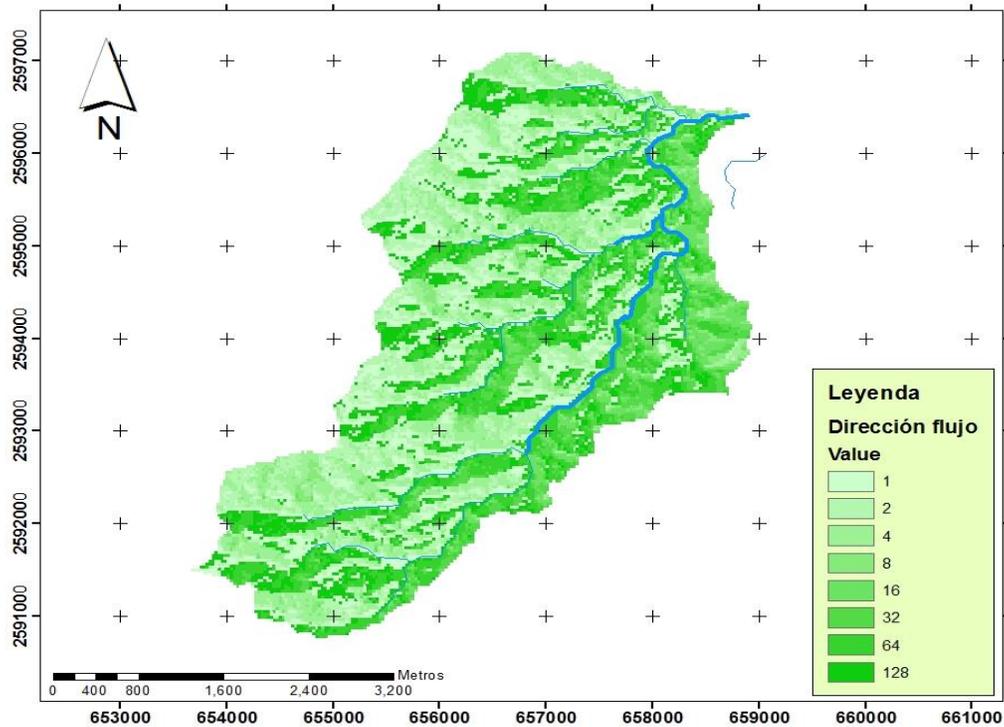


Figura 36. Dirección de flujo desde el parteaguas hacia el cauce.

Para la acumulación de flujo se observan valores desde 0 donde no hay flujo, el esquema para esta cuenca muestra valores de celda mayores a 500, como cauces secundarios o tributarios, y el cauce principal donde hay mayor acumulación de agua, clasificado por celdas con valores por encima de 5000. El punto de descarga al mar, el punto de mayor acumulación alcanzó valor máximo de 18.962 y coincide con el área de menor altura de toda la cuenca lugar por donde desemboca al mar (Fig. 37).

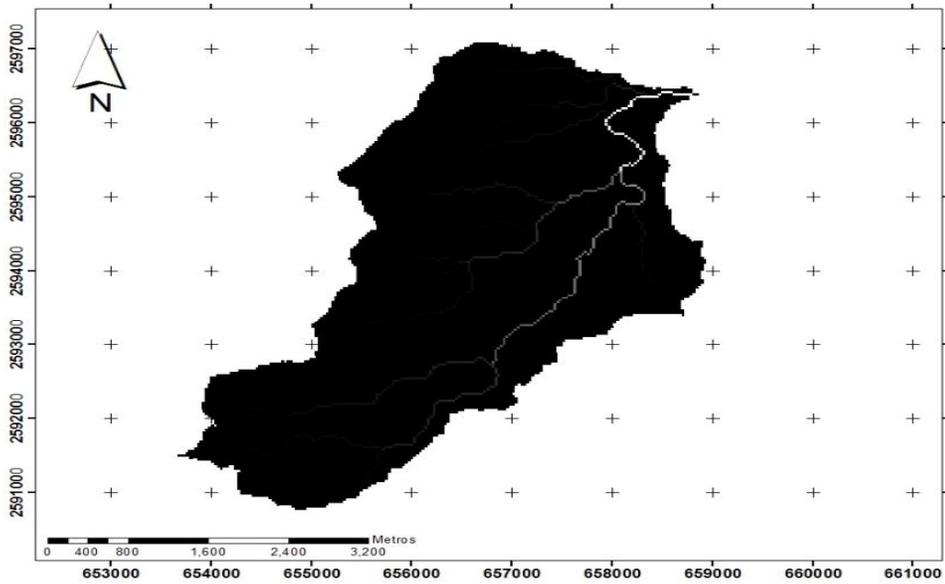


Figura 37. Acumulación de flujo para la cuenca adyacente a Las Barracas.

Para la cuenca de Las Barracas el parteaguas de mayor altura se encuentra sobre la parte oeste de la cuenca prácticamente sobre toda su extensión con valores de 200 a 277 toneladas, en esta parte hay mayor posibilidad de erosión hídrica por parte de los cauces secundarios como lo muestran las celdas de este sector. La parte donde se encuentra la playa es de pendientes más suaves por eso se muestran los menores valores de erosión hídrica que estuvieron entre 18 a 86 toneladas (Fig. 38).

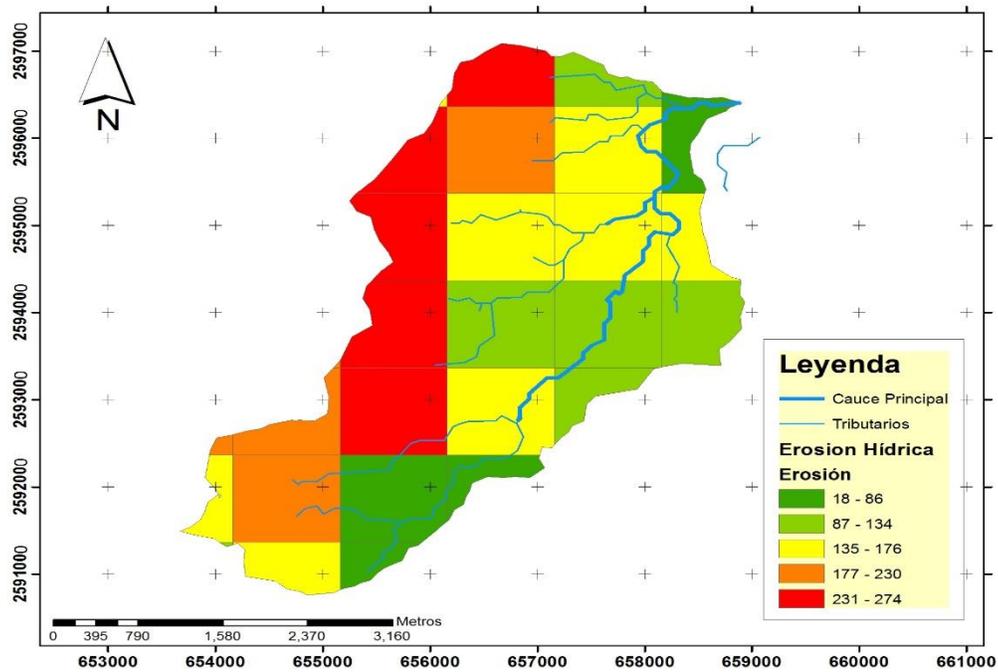


Figura 38. Profundidad de Erosión para la cuenca del sector de Las Barracas, zonas rojas tienen mayor potencialidad de erosión, amarillas potencialidad media y verde baja erosión.

## TRANSPORTE LITORAL

Gráficamente se observa que de las dos playas, hay mayor transporte litoral en Las Barracas durante todo el año con respecto a lo que se calculó para El Cardonal, al igual se puede observar que en temporada de tormentas en agosto hay un aumento considerable con respecto a los otros meses de muestreo ya que se calculó un transporte de sedimentos de  $8.2 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ día}$  por cada metro de playa (Fig. 39).

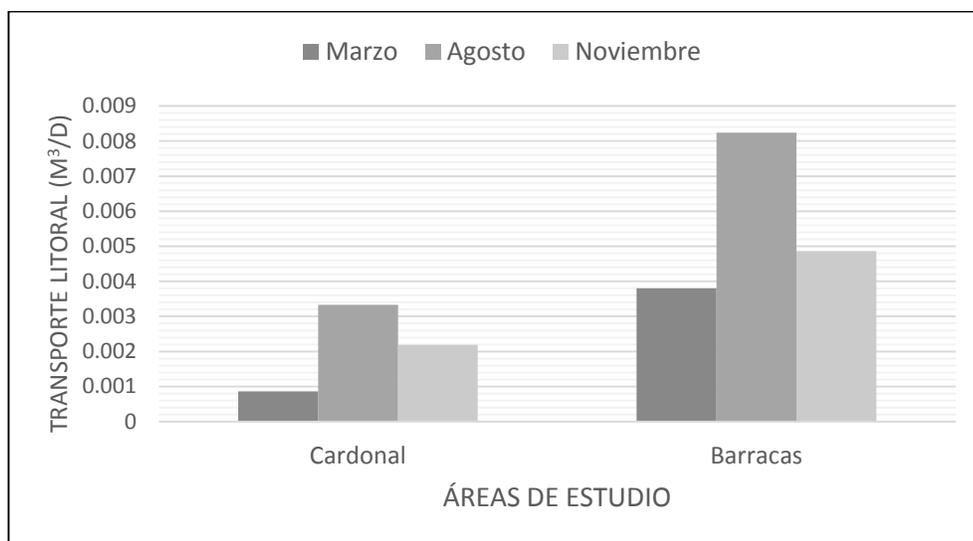


Figura 39. Cantidad de transporte litoral calculado en  $\text{m}^3$  para cada muestreo, por lugar.

Al realizar la proyección de cantidad de arena que puede ser transportada durante distintos periodos de tiempo, se obtiene que los valores por año puede variar desde  $0.31 \text{ m}^3/\text{año}$  por metro de playa para el mes de marzo en el Cardonal, hasta  $2.96 \text{ m}^3/\text{año}$  para Las Barracas bajo condiciones de tormenta por cada metro de playa.

Tabla 2. Proyección de cantidad de arena transportada en El Cardonal por periodos de tiempo si se mantienen las condiciones de oleaje y velocidad de corriente.

<b>CARDONAL</b>					
<b>MARZO</b>		<b>AGOSTO</b>		<b>NOVIEMBRE</b>	
<b>Tiempo</b>	<b>m3</b>	<b>Tiempo</b>	<b>m3</b>	<b>Tiempo</b>	<b>m3</b>
<b>1 año</b>	0.310156952	<b>1 año</b>	1.19910728	<b>1 año</b>	0.78673429
<b>1 mes</b>	0.025846413	<b>1 mes</b>	0.09992561	<b>1 mes</b>	0.06556119
<b>1 día</b>	<b>0.000861547</b>	<b>1 día</b>	<b>0.00333085</b>	<b>1 día</b>	<b>0.00218537</b>
<b>1 hora</b>	3.58978E-05	<b>1 hora</b>	0.00013879	<b>1 hora</b>	9.1057E-05
<b>1 min</b>	5.98297E-07	<b>1 min</b>	2.3131E-06	<b>1 min</b>	1.5176E-06

Tabla 3. Proyección cantidad de arena transportada en Las Barracas por periodos de tiempo si se mantienen las condiciones de oleaje y velocidad de corriente.

<b>BARRACAS</b>					
<b>MARZO</b>		<b>AGOSTO</b>		<b>NOVIEMBRE</b>	
<b>Tiempo</b>	<b>m3</b>	<b>Tiempo</b>	<b>m3</b>	<b>Tiempo</b>	<b>m3</b>
<b>1 año</b>	1.367647411	<b>1 año</b>	2.96602131	<b>1 año</b>	1.75257973
<b>1 mes</b>	0.113970618	<b>1 mes</b>	0.24716844	<b>1 mes</b>	0.14604831
<b>1 día</b>	<b>0.003799021</b>	<b>1 día</b>	<b>0.00823895</b>	<b>1 día</b>	<b>0.00486828</b>
<b>1 hora</b>	0.000158293	<b>1 hora</b>	0.00034329	<b>1 hora</b>	0.00020284
<b>1 min</b>	2.63821E-06	<b>1 min</b>	5.7215E-06	<b>1 min</b>	3.3807E-06

La dirección en El Cardonal del transporte litoral durante los 3 muestreos fue desde el oeste hacia el este, la velocidad de la corriente paralela a la costa en promedio alcanzó 0.66 m/s en marzo a 0.83 m/s en agosto, bajo condiciones de tormenta, aunque la corriente para el mes de noviembre algunas veces no tuvo movimiento longitudinal a lo largo de la costa cuando el viento soplaba perpendicularmente a la costa.

Para Las Barracas, el comportamiento de las velocidad fue similar a la del Cardonal, aunque la dirección es sur – norte para marzo y agosto, y se invierte en noviembre tomando dirección norte – sur. Las velocidades calculadas en marzo fueron de 0.44 m/s, en agosto de 0.73 m/s y para noviembre alcanzó los 0.23 m/s (Fig. 40).

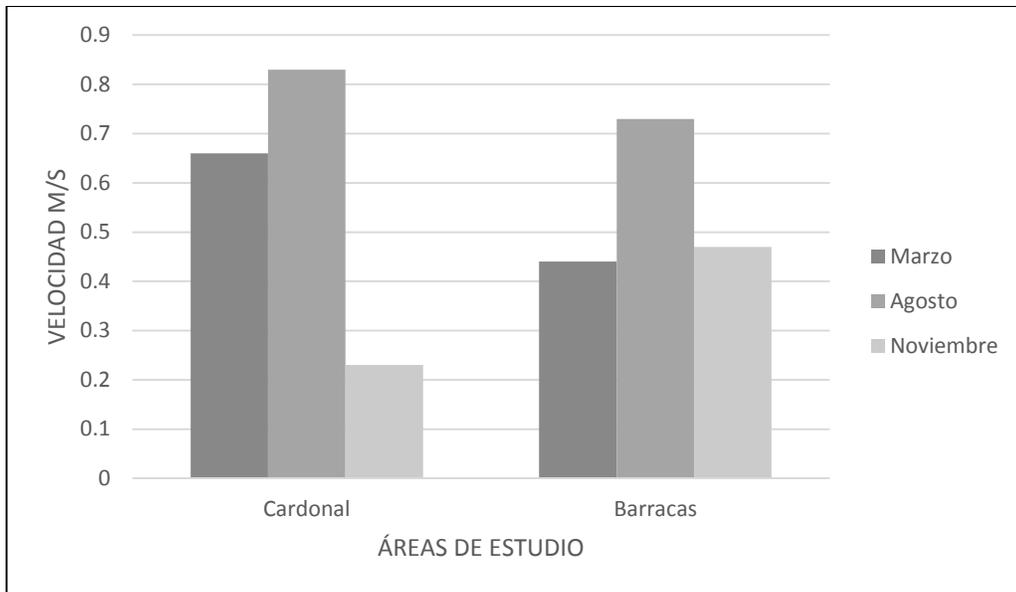


Figura 40. Cantidad de arena transportada en los muestreos para ambas zonas de estudio.

## PERIFLES DE PLAYA

Se observaron cambios en la línea de costa, producidos por el paso del huracán Odile, que afectaron de forma drástica, no solo las playas donde se lleva a cabo este estudio, sino a todo lo largo del estado.

### El Cardonal

Durante el primer muestreo se observó una playa de poca pendiente con gran cantidad de cantos rodados en la parte supramareal e intermareal que proporciona características reflectivas a todo lo largo del sitio de muestreo, la extensión transversal de la playa es amplia (Fig. 41). Esto indica que la energía se concentra en las puntas, lo cual indica que los sedimentos finos, medios y gruesos fueron erosionados y quedaron los cantos rodados.



Figura 41. Condiciones de la playa de El Cardonal para marzo 2014

Durante el mes de agosto, no hubo cambios significativos a simple vista, aunque los cantos rodados se encontraron ubicados mayormente a los extremos de la playa hacia el norte y el sur, en la parte central se encontró mayormente arena (Fig. 42).



Figura 42. Condiciones de la playa en El Cardonal para agosto 2014

Para noviembre se observa que la parte sur mantiene los cantos rodados sobre la playa, mientras que la parte centro y norte las rocas se encuentran cubiertas por las descargas esporádicas del arroyo arrastrando sedimentos y mucho material como troncos y escombros; de esta manera también se reduce la protección de las olas haciendo que la playa sea disipativa en estos sectores (Fig. 43).



Figura 43. Condiciones de la Playa El Cardonal para noviembre de 2014.

Para la parte norte de la playa El Cardonal es más ancha la playa en marzo, logrando alcanzar los 35 metros desde la zona de dunas hasta la zona intermareal antes de la zona de rompientes. Para el mes de julio ésta se reduce poco hasta los 31

metros y ya en época de tormentas para el mes de noviembre ésta alcanza su menor anchura con algo más de 20 m (Fig. 44).

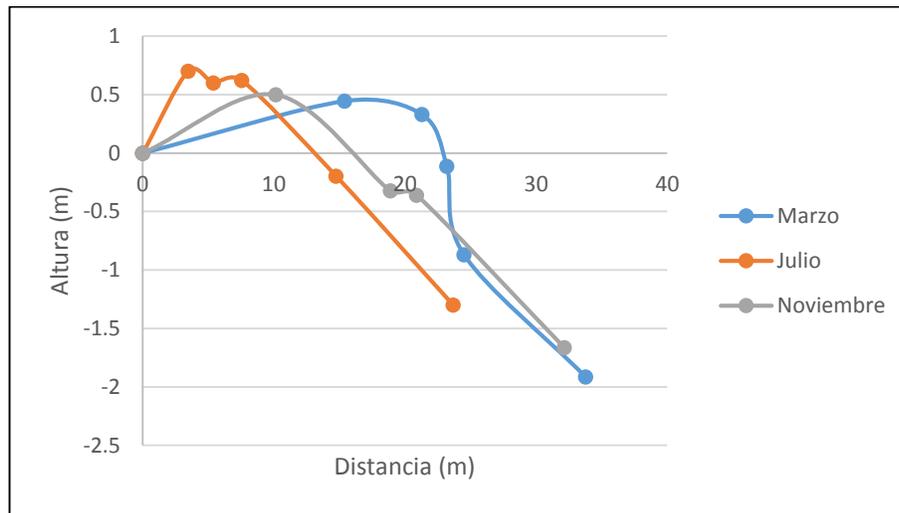


Figura 44. Perfil de playa de la zona norte de El Cardonal para los meses de muestreo.

El centro de la playa para marzo presentó una mayor anchura en la zona de la duna; en algunos sectores centrales no se presenta una berma y la playa presenta una pendiente suave con protección de cantos rodados. Para el mes de julio se observó un comportamiento similar pero las pendiente de la playa aumentaron con respecto al muestreo anterior, además mostró la mayor anchura de playa para este mes, y es coincidente con la geomorfología que presenta (Fig. 45).

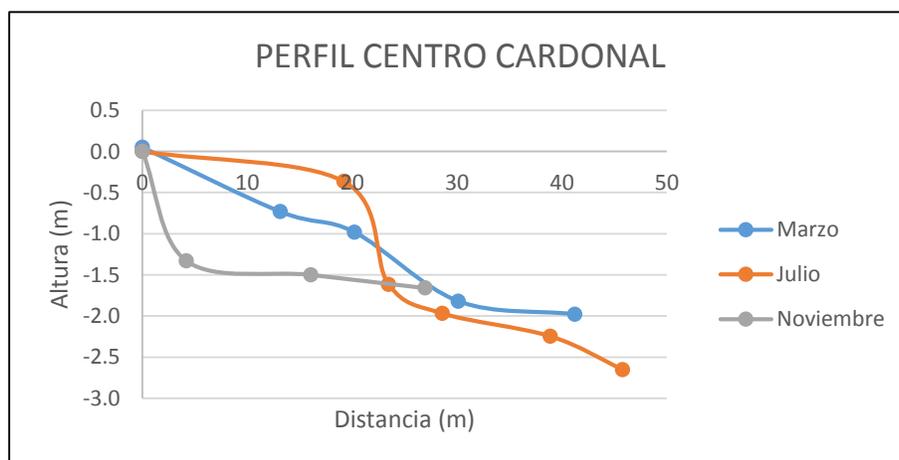


Figura 45. Perfil de playa de la zona centro de El Cardonal para los meses de muestreo.

Para la zona sur la anchura de la playa fue la menor (28 m) en marzo, se observa un perfil con la zona de duna, una playa angosta y pendiente suave. Para julio la pendiente de la playa se observó más pronunciada, la duna más robusta, mientras que para noviembre se encontró menos arena y volumen por efecto del oleaje de tormenta que incluso removió el canto rodado característico de la zona (Fig. 46).

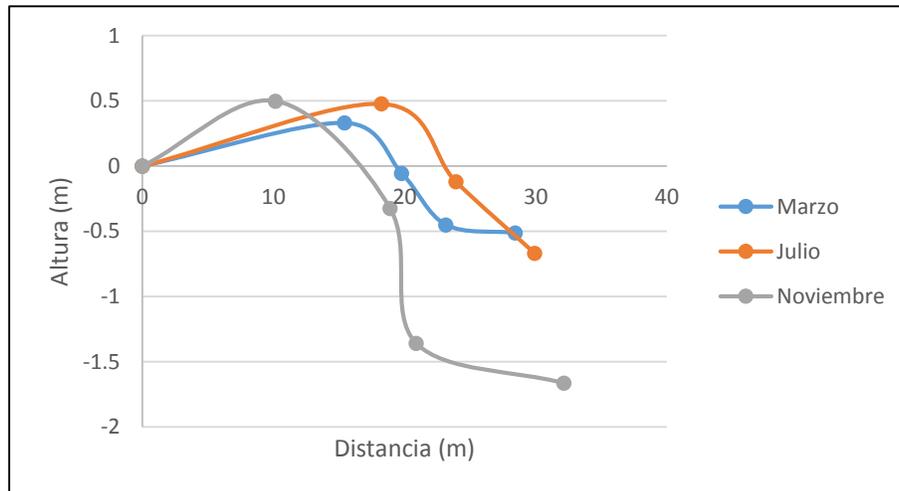


Figura 46. Perfil de playa de la zona sur de El Cardonal para los meses de muestreo.

### Las Barracas

En marzo, se observó la mayor extensión de la playa transversalmente, la pendiente suave permite condiciones disipativas a todo lo largo de la playa, además no hay presencia de ningún tipo de escarpe (Fig. 47).



Figura 47. Condiciones en la Playa Las Barracas para el mes de marzo de 2014.

Para agosto se observó que, bajo condiciones de tormenta la parte norte y centro pierde mucha arena debido al oleaje que proviene desde el Este y el Noreste; entonces se forma un escarpe y se nota una reducción significativa del ancho de la playa (Fig. 48).

Cuando la berma desaparece, se erosiona la base de la duna y aporta sedimentos a la playa para tratar de recuperar los niveles que tenía el perfil de playa original.



Figura 48. Condiciones durante y después de tormenta en Las Barracas para el mes de agosto de 2014.

En noviembre se observó que la erosión de las dunas afecta la playa en toda su extensión en eventos de tormenta, se notó que la parte norte presenta mayor desprendimiento de arena, ya que presentó escarpes con altura de 2.5 a 3 metros y el ancho de ésta es más angosto permitiendo que el mar erosione la parte inferior el escarpe y produzca deslaves y derrumbes, alcanzando las viviendas de esa parte, las cuales quedaron destruidas. En la parte media, la playa presenta un ancho mayor y la altura del escarpe disminuye a aproximadamente 0.40 m, esto indica que en esta parte hay menor cantidad de arena disponible y mucha de ésta es erosionada por acción del oleaje oblicuo y del viento, proveniente mayormente del Norte, que para los días de muestreo presentó velocidades de 15 nudos (Fig. 49).



Figura 49. Condiciones para la Playa Las Barracas para el mes de noviembre de 2014.

La parte más norteña de la playa las barracas presenta un ancho máximo de 12 metros. Para el mes de marzo, se encuentra una duna con bastante elevación, con una preduna, mientras la pendiente fue suave hasta la zona de rompientes, el ancho de la berma de la playa fue de alrededor de 10 m. Para el mes de julio hubo una duna mucho más robusta a pesar de no tener vegetación y no se diferenciaba de la preduna, sin embargo, la pendiente de playa era aún más suave. Pero las condiciones cambiaron para el mes de noviembre, ya que hubo tormenta, donde el ancho de la playa se redujo a sólo 5 m, por lo cual se afectó la duna. El resto del perfil era la zona intermareal (Fig. 50).

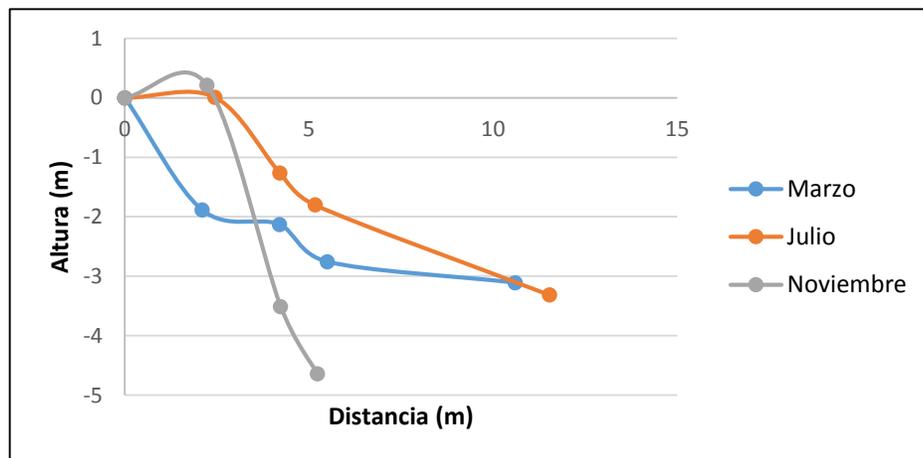


Figura 50. Perfil de playa de la zona norte de Las Barracas para los meses de muestreo.

Más hacia el sur, las dunas no presentan una pendiente tan pronunciada, sin embargo, sí mantienen su altura y el ancho de la playa puede llegar a ser de alrededor de 50 m. Para el mes de marzo se halló la pendiente más suave debido a las condiciones tranquilas del lugar, para julio la pendiente fue más pronunciada como se observa en la gráfica, pues entre mojonera de la estación topográfica y la parte más baja del perfil puede haber diferencias de 5m (Fig. 51).

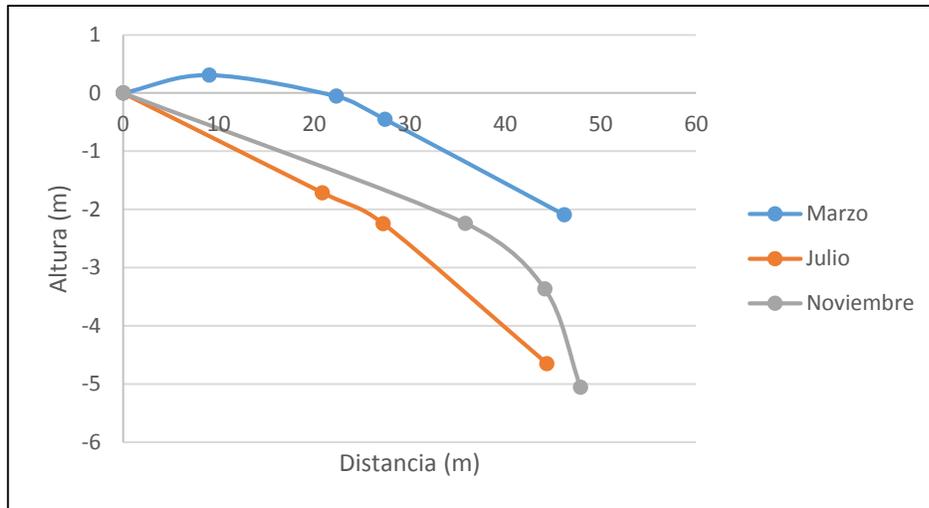


Figura 51. Perfil de playa de la zona norte de Las Barracas para los meses de muestreo.

Para la parte central de la playa, lugar donde se encuentran las viviendas, para el mes de marzo se halla una pequeña escarpe, con una berma de playa angosta y la pendiente abrupta, la extensión de la playa alcanzó alrededor de los 35 m, mientras que en el mes de julio tuvo un ancho similar pero no se encontró escarpe y la pendiente fue mucho más suave desde la zona de la duna. Para noviembre la presencia de un escarpe de altura (1.5 m) se extendió a lo largo de la playa, pero en la zona norte donde el escarpe alcanzó los 2.5 m (Fig. 52).

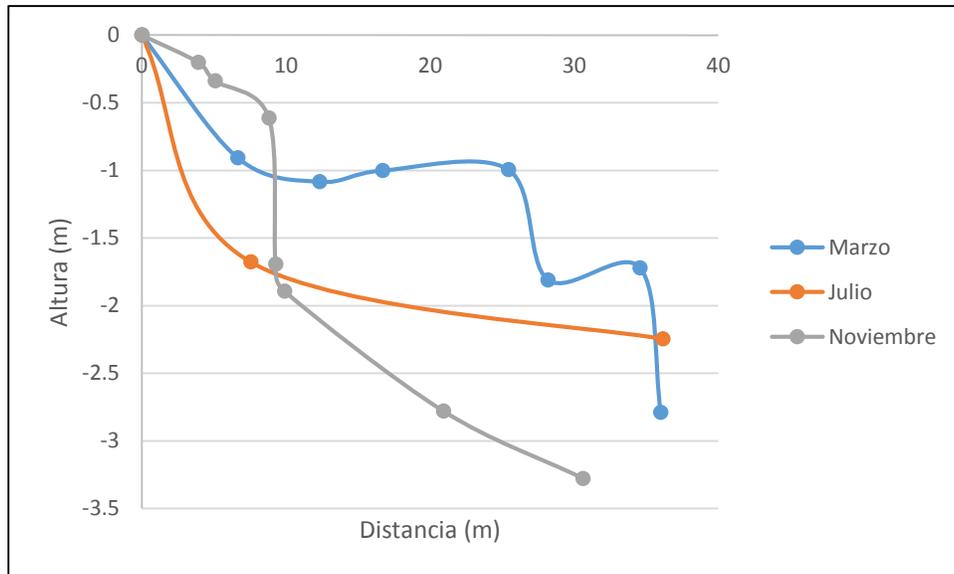


Figura 52. Perfil de playa de la zona centro de Las Barracas para los meses de muestreo.

Para la zona sur, la duna y la playa parecen estar unidas, la pendiente es mayor y más estable que el resto de la playa, la zona tiene un perfil angosto con pocas variaciones en altura, el ancho máximo fue de 30 m y para noviembre fue de 28 m. Mientras que la diferencia vertical fue de casi 4.5 m (Fig. 53).

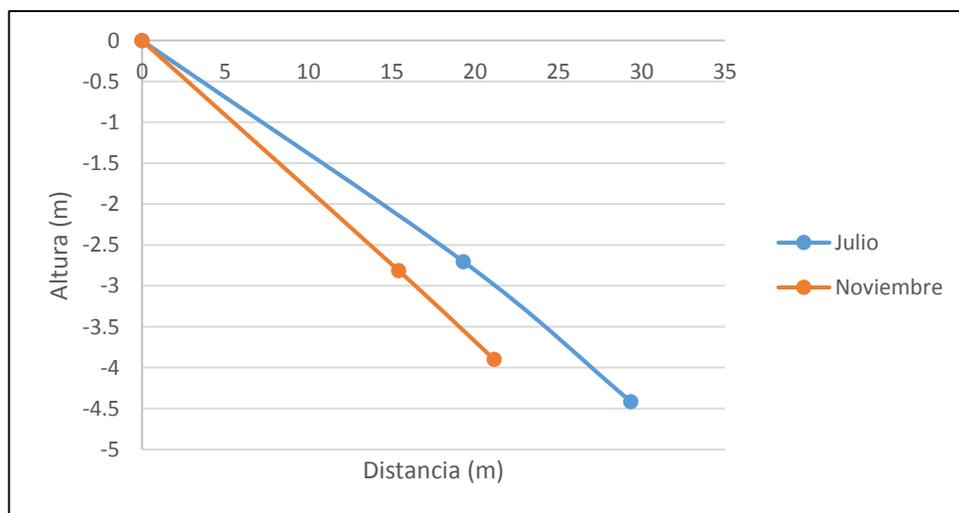


Figura 53. Perfil de playa de la zona sur de Las Barracas para los meses de muestreo.

## LINEA DE COSTA

En El Cardonal se encontraron procesos de acreción (Tabla 3). La zona norte con orientación noroeste – sureste aumentó aproximadamente 4643.60 m<sup>2</sup> mientras que la zona sur con orientación norte – sur creció en 3075.39 m<sup>2</sup> (Fig. 54).

En Las Barracas hubo una pérdida significativa de playa, un área aproximadamente de 16952.24 m<sup>2</sup>. La mayor disminución se dio al norte y en menor medida también al sur, mientras que la parte central hubo procesos de acreción (Fig. 55).

Tabla 4. Valores de erosión o acreción en área para las zonas de estudio por efecto del huracán Odile.

LUGAR	FECHA	AREA TOTAL M <sup>2</sup>	PROCESO	AREA M <sup>2</sup>
El	20/08/2014	258067.95	EROSION	0
Cardonal	06/10/2014	265789.92	ACRECION	7719
Las	14/09/2014	385849.89	EROSION	16952.24
Barracas	29/09/2014	369752.74	ACRECION	543.19

## Zonas de Acreción en El Cardonal

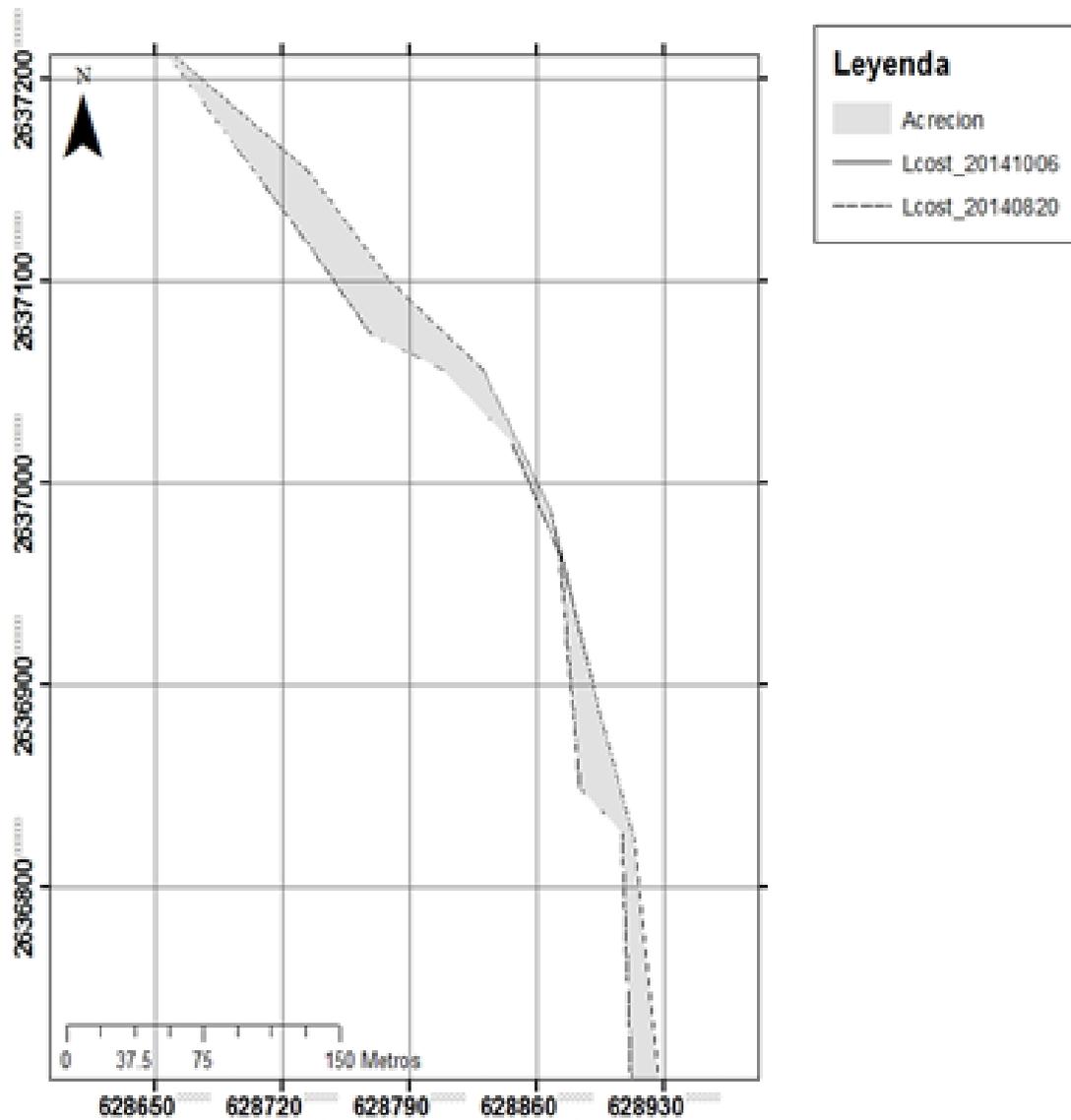


Figura 54. Mapa zona de erosión o acreción para El Cardonal, julio de 2014

### ZONAS DE EROSION Y ACRECION EN LA PLAYA LAS BARRACAS B.C.S.

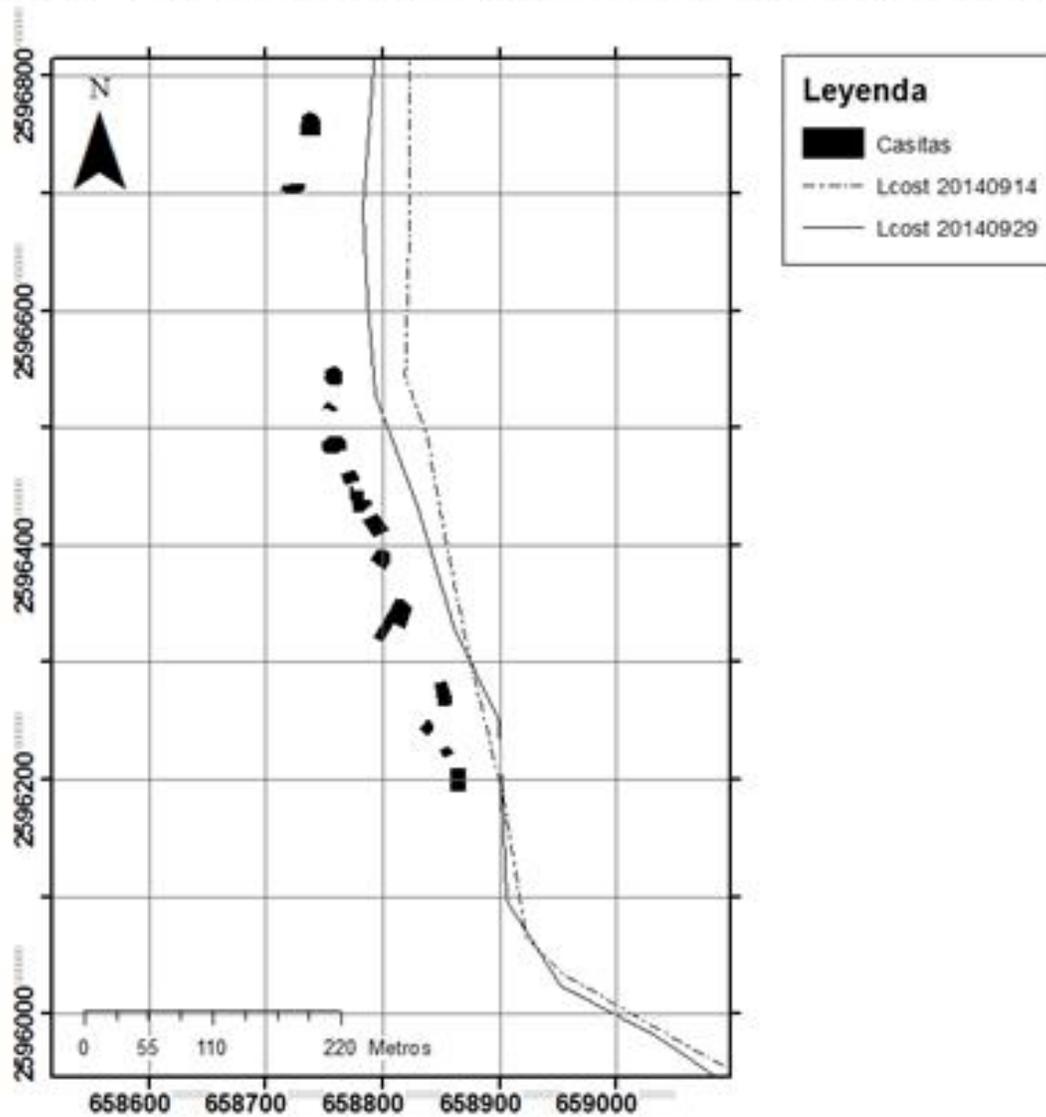


Figura 55. Mapa zona de erosión o acreción para El Cardonal, julio de 2014

## GRANULOMETRÍA

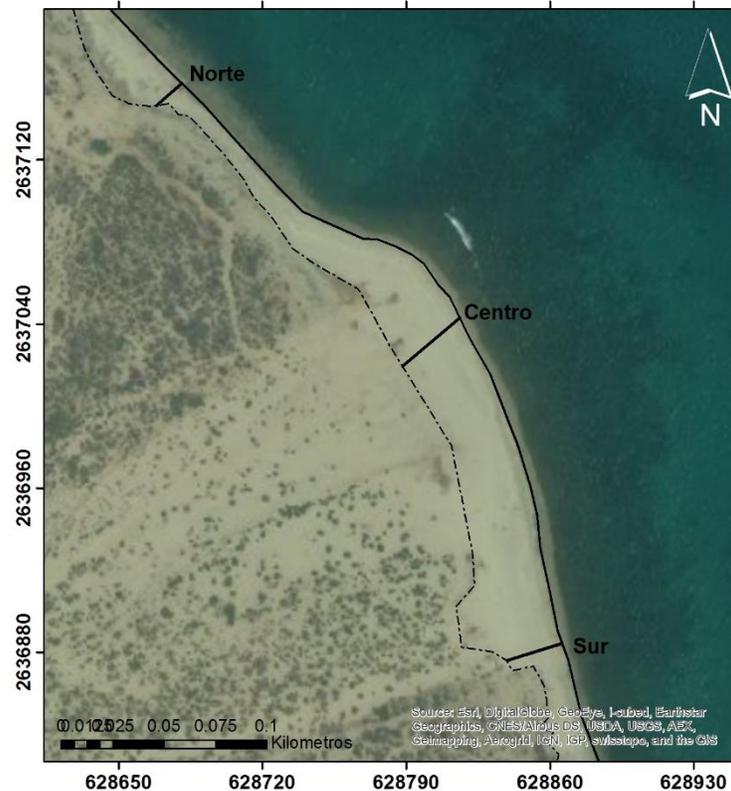


Figura 56. Distribución de los sectores de la playa, las unidades de posición están dadas en unidades UTM

Durante marzo, para la zona norte se observa predominancia de arenas gruesas especialmente en la duna la cual se encuentra estabilizada por efecto de la vegetación, que sirve de trampa para sedimentos transportados de forma eólica. El viento intenso y persistente es el responsable de llevarse los granos de menor tamaño y dejar sólo los gruesos, como en la duna norte, sin embargo en la duna centro se observa material fino (Fig. 57).

Hacia la parte de la playa hay mayor presencia de arenas medias y arenas finas, mientras que para la zona de surf (rompientes) se observan valores similares a la zona de playa, que se encuentran entre valores de  $-2$  hasta  $0.5 \Phi$ , correspondientes a gránulos y arenas gruesas. Especialmente para este sector de la playa hay ausencia

de arenas medias y finas porque son acarreadas por el transporte litoral, tanto paralela como transversalmente a la playa.

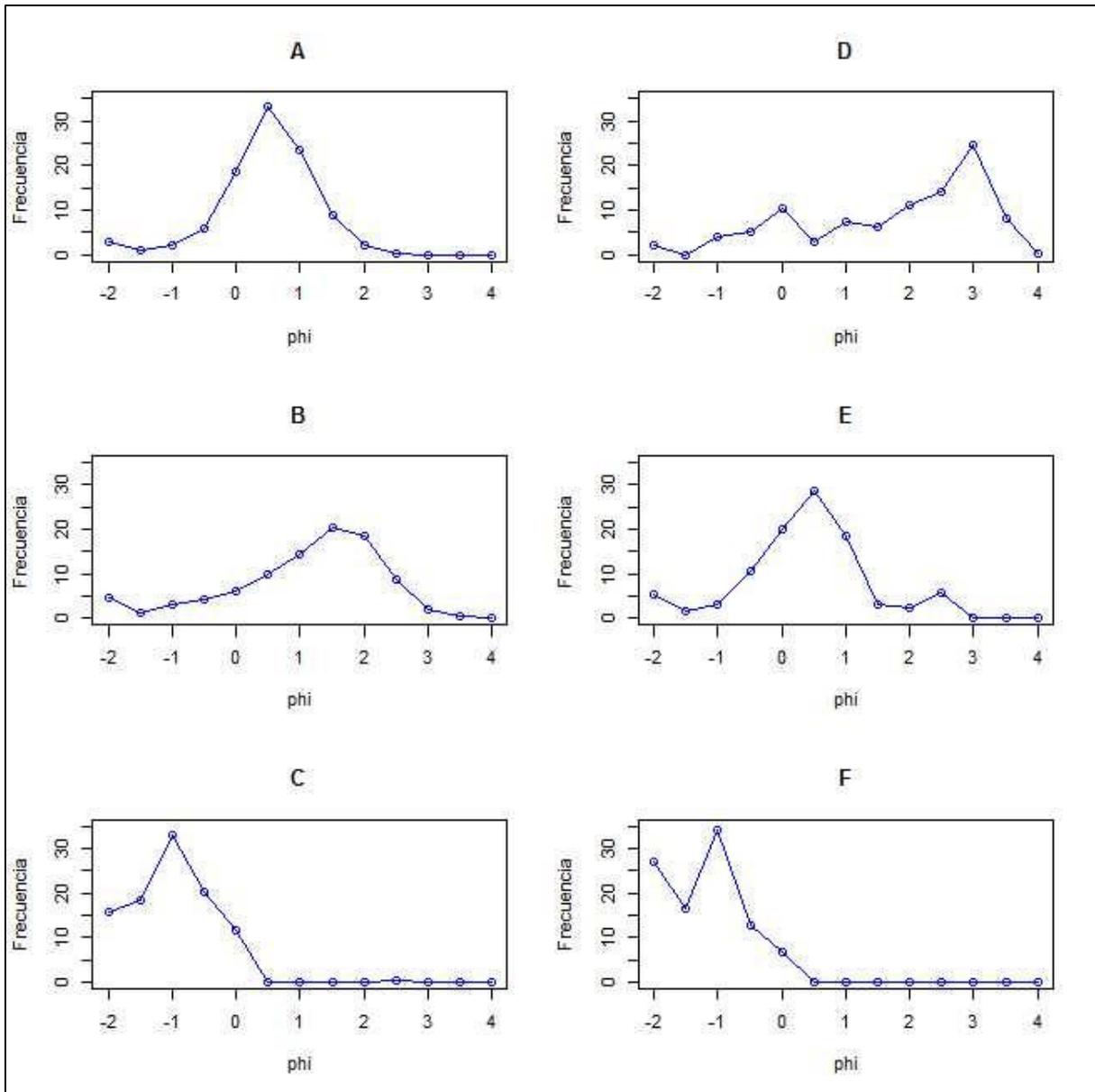


Figura 57. Histogramas de distribución de tamaño de grano ( $\Phi$ ) para la playa de Las Barracas B.C.S. Para marzo de 2014. **A.** Duna zona norte (DN); **B.** Playa zona norte (PN), **C.** Rompiente zona norte (RN), **D.** Duna zona centro (DC), **E.** Playa zona centro (PC), **F.** Rompiente zona centro (RC).

Los parámetros granulométricos, donde se distinguen las muestras pertenecientes a la playa del Cardonal B.C.S para el mes de marzo (Tabla 4), duna zona norte (DN), Playa zona norte (PN), Rompiente zona norte (RN), duna zona centro (DC), Playa zona centro (PC), Rompiente zona centro (RC).

Tabla 5. Parámetros granulométricos para el mes de marzo en la Playa del Cardonal B.C.S.

	DN	PN	RN	DC	PC	RC
MEDIA ( $M_z$ ):	0.264	0.882	-1.425	1.500	0.107	-1.484
SELECCIÓN ( $\sigma_1$ )	0.720	1.212	0.603	1.451	1.030	0.657
ASIMETRIA ( $Sk_1$ ):	-0.104	-0.339	-0.144	-0.426	-0.075	-0.053
CURTOSIS ( $K_G$ ):	1.234	1.206	0.862	0.791	1.659	0.863
ERROR	1.5%	6.8%	4.1%	3.6%	0.6%	2.5%

La selección indica la forma como los tamaños de granos se distribuyen a partir de un valor central (media), se observa que la mayor distribución en encuentra en la duna de la parte central de la playa justo sobre la desembocadura de los arroyos indicando una selección pobre. Es decir, que no existe una uniformidad en el tamaño de las partículas. Este mismo comportamiento se observó en la zona de playa al norte, las demás muestras se encuentran dentro del rango de moderadamente bien seleccionadas y tienden a tener uniformidad en el tamaño de las partículas que componen el sedimento (Fig. 58).

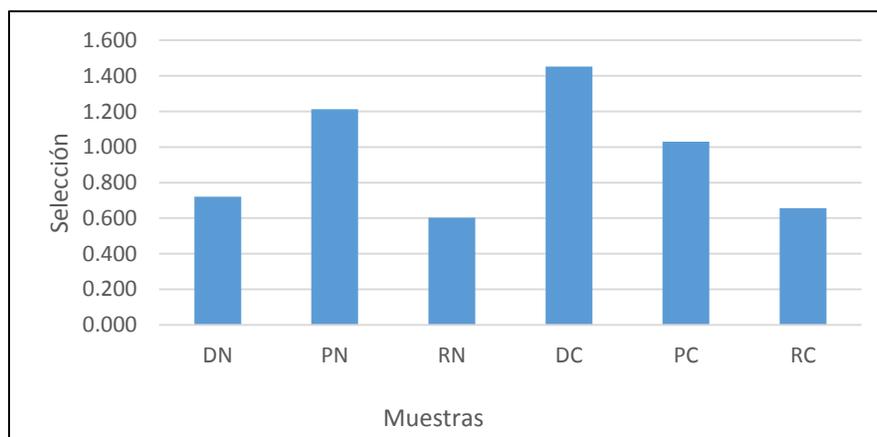


Figura 58. Selección del tamaño de grano por muestras playa El Cardonal en marzo de 2014.

La asimetría general es negativa y muy negativa para todas las muestras tomadas para esta época, indicando que los granos tienden a ser gruesos desde la parte más interior de la playa sobre la duna, hasta la rompiente en la parte norte y central de El Cardonal.

Se destaca la parte de la desembocadura de los arroyos, donde el comportamiento normal en este tipo de ambientes fuentes de sedimentos donde naturalmente es el lugar donde más sedimentos gruesos se depositan. Y el resto de muestras siguen un comportamiento normal donde a medida que se acerca al mar disminuye la presencia de granos de gran tamaño (Fig. 59).

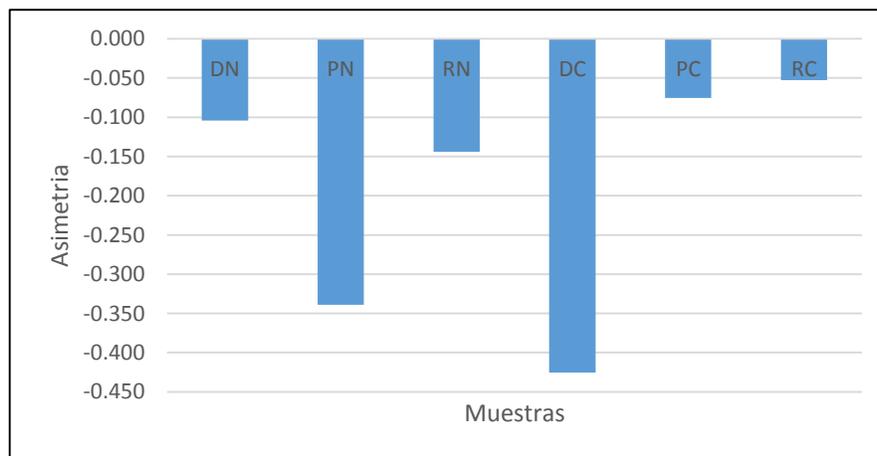


Figura 59. Asimetría para las muestras de la playa del Cardonal para marzo de 2014.

Gráficamente se observa que la playa del centro presenta mayor curtosis, además de valores similares entre DN y PN; estas 3 muestras se consideran leptocúrticas ya que los valores se hayan entre 1.11 a 1.50, esto muestra que hay predominancia de una sola población de granos, por otra parte, para RN, DC y RC se clasifica como platicúrtica indicando la combinación de más de una población de granos, en estos 3 sectores hay combinación de varios tipos de grano que pueden tener distinta procedencia (Fig. 60).

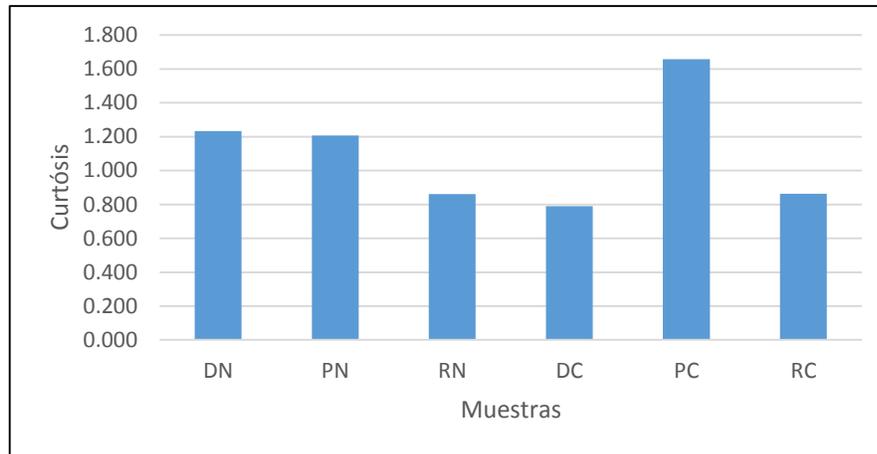


Figura 60. Curtosis para las muestras de la playa El Cardonal para marzo de 2014.

En la campaña de agosto se agregan datos de la zona sur del Cardonal. La zona norte de la playa se caracteriza por tener una predominancia de arenas medias y gruesas para la parte sur acompañado de grano de tamaño inferior a  $2 \Phi$ , es decir, granos gruesos en la zona donde la duna se encuentra vegetada; mientras que para la parte de la playa se repite este comportamiento con respecto al tamaño de grano, pero no existe vegetación alguna, en esta parte hay menos presencia de material superior a  $2 \Phi$ . En la rompiente se observan arenas medias y gruesas que se encuentran en los espacios intersticiales de los cantos rodados que se distribuyen a lo largo de toda la playa. Hacia la parte central, es decir, en la desembocadura de los arroyos, se observa una combinación de arena gruesa, media y fina. Para la parte de la duna.

En la zona de la playa se observan arenas medias mientras que para la parte de las rompientes se puede observar que existen cantos rodados con arenas gruesas y medias. Para la parte sur, en la duna se encuentra arena de todo tipo, con sedimentos finos que pueden llegar a tener un tamaño de grano superior a  $4 \Phi$  (Fig. 61).

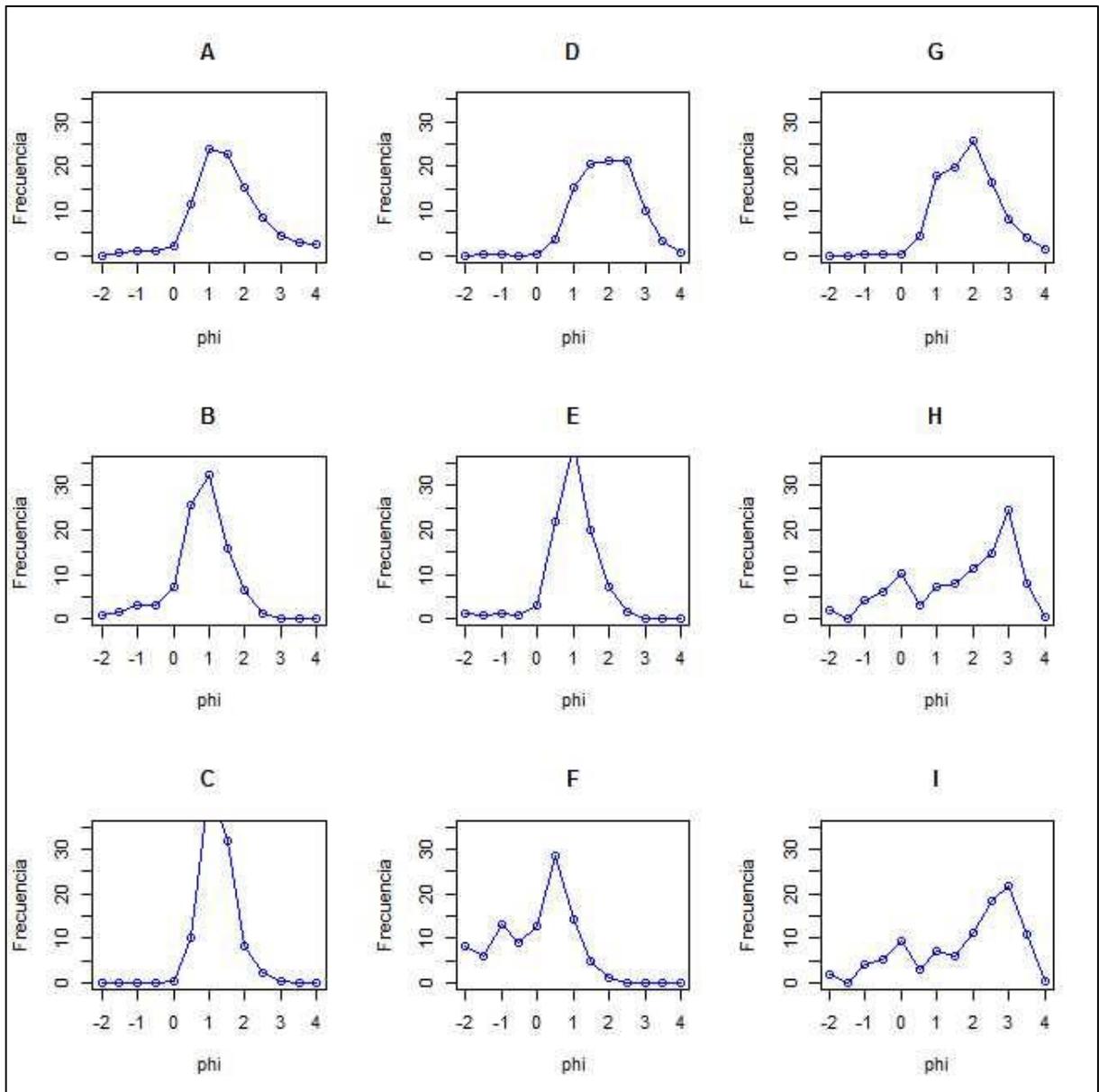


Figura 61. Distribución de tamaño de grano ( $\Phi$ ) para el Cardonal en agosto 2014. **A.** Duna zona norte (DN); **B.** Playa zona norte (PN), **C.** Rompiente zona norte (RN), **D.** Duna zona centro (DC), **E.** Playa zona centro (PC), **F.** Rompiente zona centro (RC), **G.** Duna zona sur (DS), **H.** Playa zona sur (PS), **I.** Rompiente zona sur (RS).

Tabla 6. Parámetros granulométricos para la playa de El Cardonal en agosto 2014

	DN	PN	RN	DC	PC	RC	DS	PS	RS
MEDIA ( $M_z$ ):	1.604	1.470	1.559	1.255	0.600	0.968	1.665	0.752	-0.253
SELECCIÓN ( $\sigma_i$ ):	0.801	1.449	1.456	0.913	0.770	0.473	0.767	0.625	1.030
ASIMETRÍA ( $Sk_i$ ):	0.041	-0.400	-0.449	0.173	-0.113	0.130	-0.007	-0.022	-0.340
CURTOSIS ( $K_G$ ):	0.958	0.785	0.865	1.135	1.434	1.079	0.881	1.237	0.895

Las muestras con mayores distribuciones se hallaron para esta época en el sector norte, principalmente tanto PN y RN. Para el sector sur, RS también se halla dentro del rango de pobremente seleccionadas, indicando mayor variabilidad en el tamaño de grano. La zona centro mostró mejor selección al encontrar muestras moderadamente bien seleccionadas DC y PC y bien seleccionadas en el caso de RC, esto indica sedimentos más uniformes en ese sector (Fig. 62).

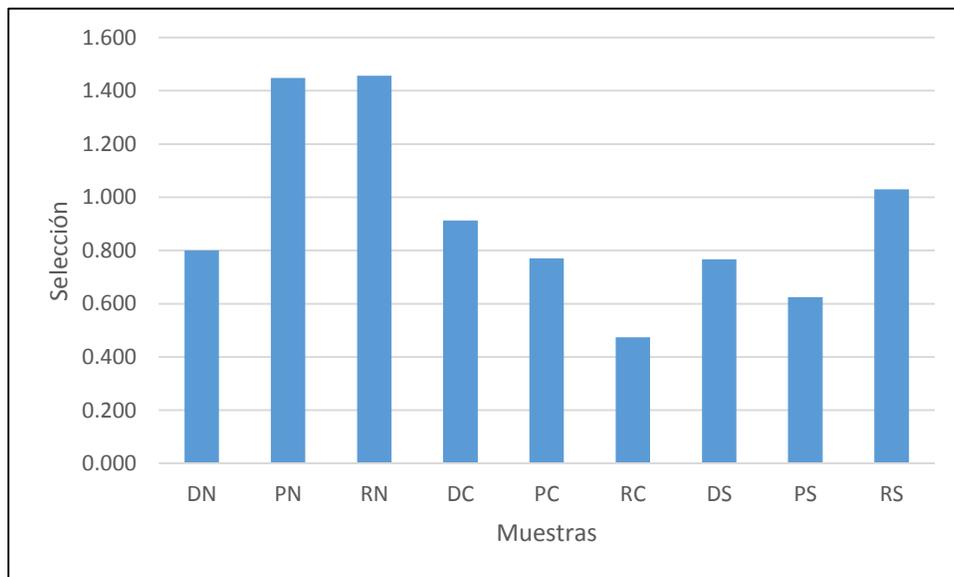


Figura 62. Selección de grano para la playa de El Cardonal en agosto de 2014

La asimetría muestra un comportamiento común de una playa equilibrada en el perfil norte, la que muestra predominancia de granos finos en DN y una asimetría muy negativa para PN y RN donde se hallan granos gruesos. En el centro solo se hallan granos gruesos en la playa, mientras que en el sur todas las muestras son negativas (Fig. 63).

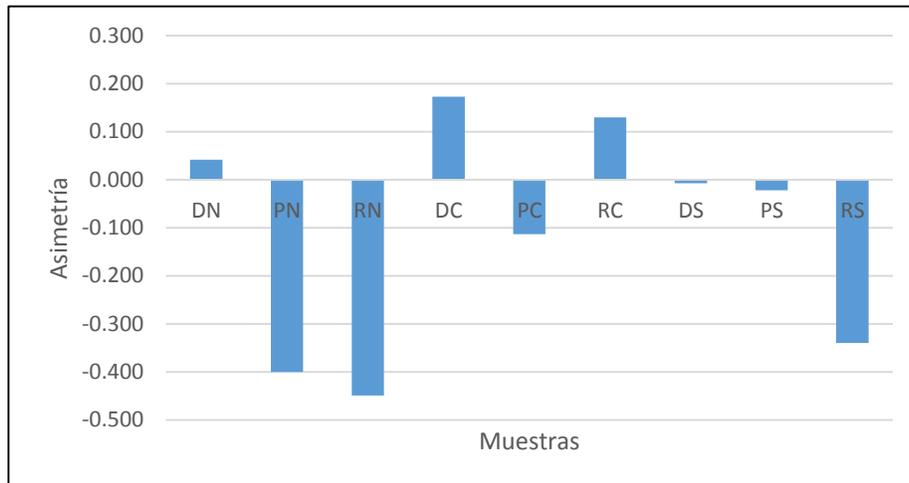


Figura 63. Asimetría para la playa de El Cardonal en agosto de 2014

La curtosis máxima se halla para PC y PS indicando que estas muestras están compuestas por una sola población de grano, las demás muestras para El Cardonal se hallan dentro del rango de mesocúrticas o platicúrticas, evidenciando que hay presencia de dos o más poblaciones distintas de grano (Fig. 64).

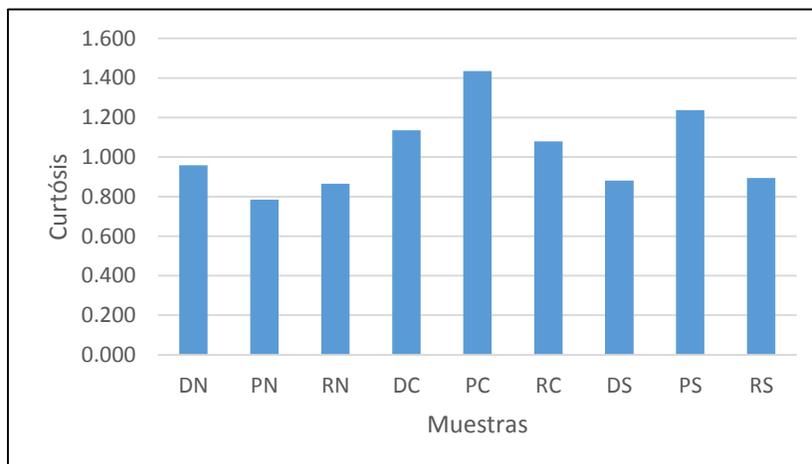


Figura 64. Curtosis para la playa de El Cardonal en agosto de 2014

### Las Barracas

De 6 muestras, para la zona norte se observan tamaños de grano entre  $0$  y  $2 \Phi$  correspondientes a arenas medias y poca presencia de granos grandes fuera de la

duna a todo lo ancho del perfil, mayormente en la parte de la playa y de rompiente. Este resultado es consistente con la homogeneidad de la zona, caracterizada por dunas de gran tamaño, sin vegetación. La zona de rompientes no presenta cantos rodados. Para el sector central no se observan granos de gran tamaño, la duna y la playa está compuesta por arenas medias y finas con  $\Phi$  de 0 a 3; mientras que para la zona de rompientes  $\Phi$  se distribuye entre -1 y 3, demostrando que hay granos más grandes que no alcanzan a ser transportados por las olas (Fig. 65).

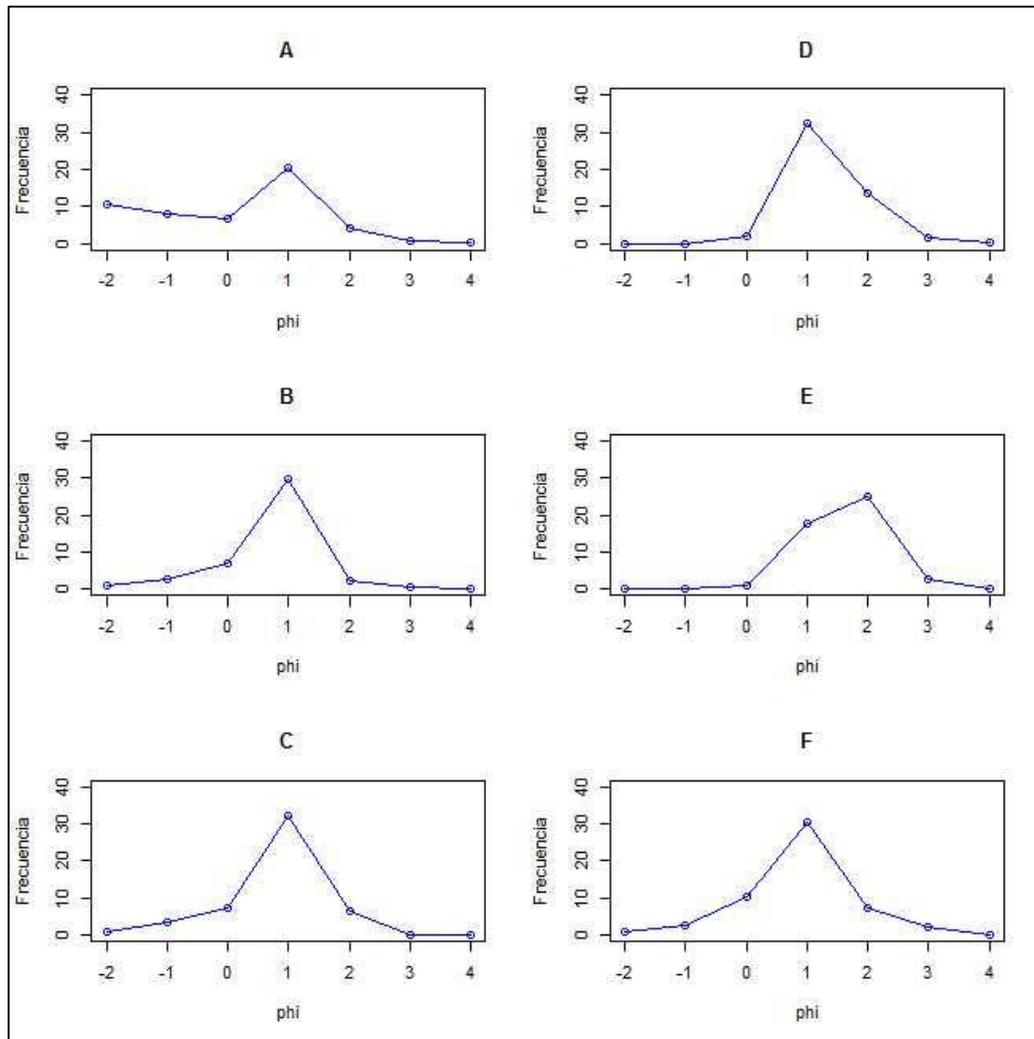


Figura 65. Histogramas de distribución de tamaño de grano ( $\Phi$ ) para la playa de Las Barracas B.C.S. Para noviembre **A.** Duna zona norte (DN); **B.** Playa zona norte (PN), **C.** Rompiente zona norte (RN), **D.** Duna zona centro (DC), **E.** Playa zona centro (PC), **F.** Rompiente zona centro (RC).

Tabla 7. Parámetros granulométricos para la playa Las Barracas en Agosto 2014

	DN	PN	RN	DC	PC	RC
MEDIA ( $M_z$ ):	-0.199	0.459	0.600	1.026	1.433	0.638
SELECCIÓN ( $\Phi_1$ ):	1.308	0.653	0.770	0.654	0.588	0.915
ASIMETRÍA ( $Sk_f$ ):	-0.307	-0.081	-0.113	0.156	0.100	0.016
CURTÓSIS ( $K_G$ ):	0.756	1.384	1.434	1.035	0.974	1.420

En agosto la mayoría de muestras se encuentran dentro del rango de bien seleccionado a moderadamente bien seleccionado, a excepción de DN el cual se considera pobremente seleccionado, es decir, que existe gran variación en los tamaños de sedimento que componen la duna en el sector norte de la playa Las Barracas (Fig. 66).

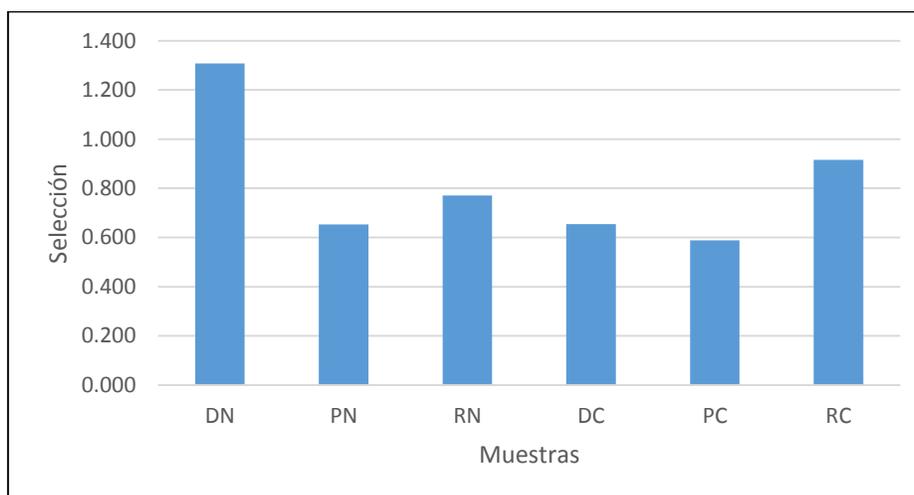


Figura 66. Selección de grano para la playa de Las Barracas en agosto de 2014

La asimetría para la playa en el mes de agosto muestra una división entre el norte y el centro de la playa marcada, mientras que en el sector norte se encuentra una tendencia hacia los granos gruesos, como lo muestra la asimetría negativa; en el centro de la playa la asimetría positiva indica una predominancia de granos finos. En esta parte se observa un perfil de equilibrio en el cual la duna tiene los sedimentos de menor tamaño y a medida que se acerca al mar se incrementa hasta la zona de rompientes (Fig. 67).

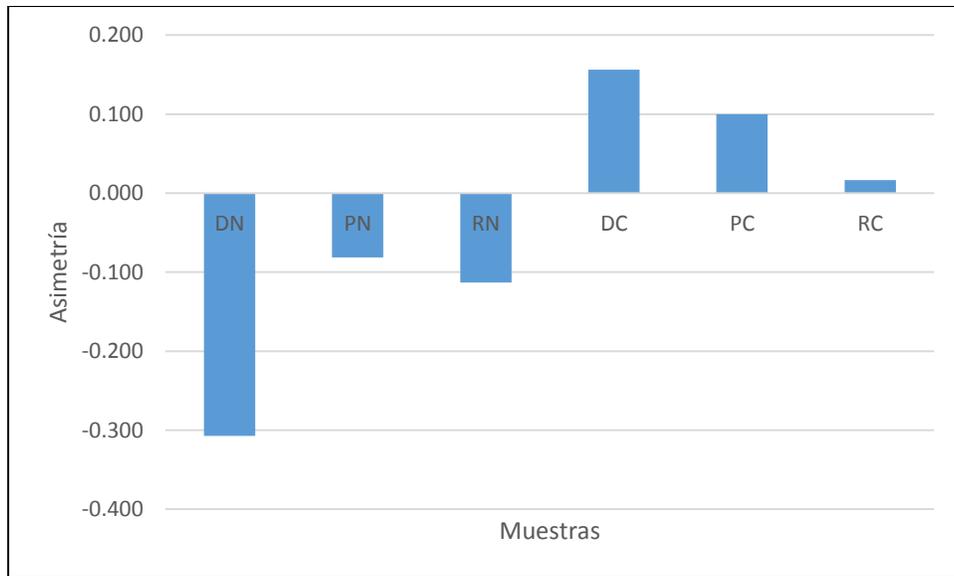


Figura 67. Asimetría de grano para la playa Las Barracas en agosto de 2014

La curtosis para esta playa, durante esta época, muestra valores altos, caracterizando las muestras como leptocúrticas, en donde existe una sola población de granos a excepción de la duna en el sector norte, la cual es mesocúrtica porque tiene más de una población de granos (Fig. 68).

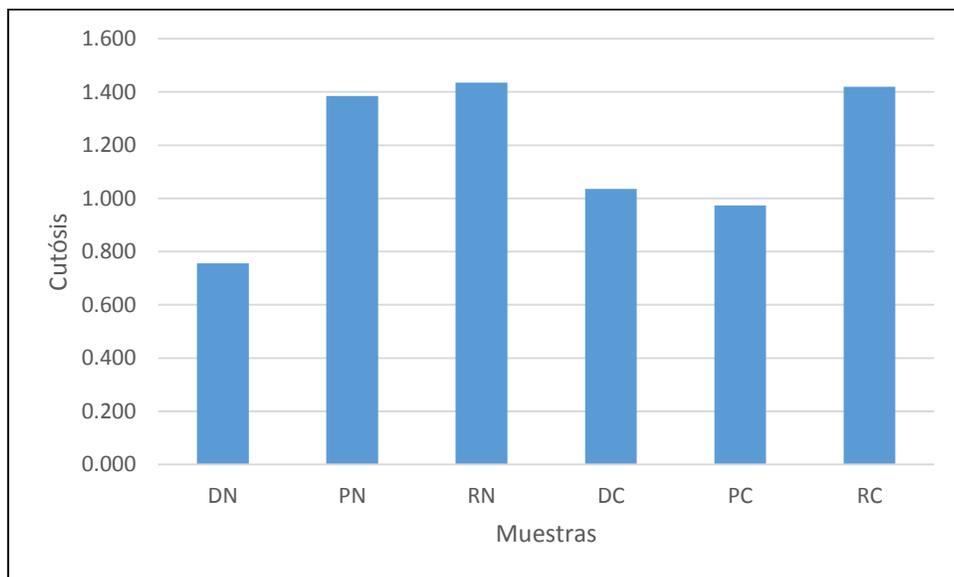


Figura 68. Curtosis de grano para la playa Las Barracas en agosto de 2014

## DISCUSIÓN

A través de los muestreos se comprobó lo dicho por Troyo-Diéguez (2003) que establece que la dinámica costera de la zona litoral en la boca del golfo es muy distinta de la dinámica de las costas del Pacífico, además de conocer los efectos de los cambios producidos por los fenómenos físicos sobre los perfiles de las playas. La vertiente del sureste de la península se caracteriza por tener oleaje local y recibir un oleaje distante y de menor energía que la del Océano Pacífico (Salinas-Prieto *et al.*, 2012). En el Golfo de California la energía del oleaje local es mayor al oleaje distante por efecto del viento, esto se refleja en el hecho de que en marzo, las ráfagas de viento y la altura de ola es menor con respecto a las registradas en el segundo periodo entre los meses de julio a noviembre, donde los vientos son más intensos para toda la península cubriendo las dos localidades, sumado que, bajo condiciones de tormenta se puede llegar a duplicar el transporte litoral con relación a la temporada donde no hay tormentas. El oleaje presenta una relación estrecha con la brisa local ya que aumenta durante el día cuando la brisa sopla hacia tierra hacia el mar (terral).

Los factores físicos tienen poca actividad como en el mes de marzo, casi a finales de invierno, los cuales se suman a la actividad de los nortes durante los meses de octubre y noviembre. Esta condición coincide con lo descrito por Carranza-Edwards *et al.* (2015) y lo encontrado por Castro *et al.* (2012), el cual describe que en el sureste de la península, entre junio y septiembre la dirección dominante del viento es del sureste y a partir de octubre se observa un cambio de la dirección dominante del viento y a partir de noviembre dominan los vientos del noroeste. Los vientos en ocasiones pueden soplar paralelos a la línea de costa y producir una gran cantidad de transporte litoral, mientras que si sopla perpendicularmente a la costa, el ángulo de incidencia es nulo y el transporte litoral también.

La batimetría presente en El Cardonal, muestra la formación de una depresión frente al punto donde descargan los arroyos; esta parte cumple con las condiciones de un ambiente de depositación que puede estar acumulando la arena que viene desde

los escurrimientos hacia la parte de la anteplaya y sirve como reserva de sedimento para cuando se presenten tormentas y huracanes, que es cuando es devuelta la arena hacia la playa, esta condición es normal y se presenta en la mayoría de playas de la península según Nava-Sánchez *et al.* (1994). En Las Barracas se observa que frente a la playa pueden encontrarse profundidades de hasta 9 m, conformadas por depósitos aislados dentro de la gran planicie costera. Hacia mar adentro se observa la formación de una barrera aproximadamente a unos 500 metros de la playa, que sirve de barrera de protección contra oleajes fuertes, ya que hace romper el oleaje antes de llegar a la cara de la playa pero en episodios de tormenta su efecto es insuficiente, como sucede en la barra del Mogote y describió Salinas-González *et al.* (1997).

Las playas conformadas especialmente por arenas de grano fino, y las mejor clasificadas pueden heredarse de procesos selectivos tales como el transporte de arena por largas distancias, con patrones de vientos asociados a una amplia planicie costera, con fricción y presentan transporte fluvial. Esta situación se observa ocasionalmente cuando se producen precipitaciones y las descargas de los arroyos tanto en El Cardonal y en menor medida en Las Barracas, ya que los arroyos en este último han sido bloqueados por la construcción de viviendas sobre los cerros y dunas adyacentes y también por la carretera circundante que sirve como trampa de depositación evitando que lleguen los sedimentos a la playas, ahí radica la importancia de las cuencas de drenaje en la dinámica costera al contribuir al sistema playa - duna, deltas, y abanicos – deltas, como lo afirma Navarro-Lozano *et al.* (2012). Es por ello que la mayor parte de los cambios geomorfológicos que ocurren en las dos zonas de estudio se asocian a las fluctuaciones de las descargas de sedimentos provenientes de las cuencas de drenaje, de los arroyos Aguaje Blanco y la Higuera para El Cardonal y del pequeño arroyo en Las Barracas.

Rodríguez-López *et al.* (2010) describe que las cuencas costeras del sur de la península de Baja California forman parte importante en la estabilidad de las celdas litorales de sus costas, como fuentes principales de sedimentos. Estas cuencas son vulnerables a la erosión hídrica, debido a las pendientes muy pronunciadas del terreno

y su ubicación, ya que la mayoría de precipitaciones en estas cuencas están estrechamente asociadas a tormentas y huracanes.

El modelo teórico de profundidad de erosión de los sedimentos de la cuenca muestra mayor potencial erosivo hacia las montañas ubicadas al oeste de El Cardonal, al acercarse al parteaguas, pero a medida que la pendiente se reduce hacia la parte del lecho de los arroyos, el potencial de erosión disminuye. Esto también se debe a que sobre esta parte la mayoría de sedimentos son gruesos y por lo tanto, difíciles de desplazar, mientras que parte de los sedimentos finos son transportados por vía eólica. Trabajos como el realizado por Navarro-Lozano *et al.* (2012), en el que se utilizó la fórmula RUSLE, permite encontrar que el control estructural, la pendiente del terreno y diferentes tipos de suelo son los principales factores que determinan la erosión del suelo en las cuencas. Realizando el estudio en tres cuencas del sureste de la península, los índices morfológicos indicaron que las cuencas son alargadas y jóvenes, asociadas a actividad tectónica de moderada a casi nula, asociado a un fallamiento con dirección noroeste a sureste y que se hallen en la parte baja de las cuencas ambientes de depositación como planicies y abanicos aluviales, muy similar a la zona de El Cardonal, donde la mayoría de arena se queda almacenada a lo largo del cauce y solo descarga en episodios de tormenta, por consiguiente el flujo de sedimento es intermitente.

Una vez en la playa, el sedimento es impulsado por el oleaje debido a las corrientes litorales, éste es redistribuido y al ocurrir este proceso permite una mejor selección de grano, ya que éste es transportado por suspensión como en Las Barracas, debido al oleaje y tracción, o como se observó en El Cardonal donde la cama de cantos rodados es desplazada por el oleaje en función del tamaño de grano y dependiendo de la energía del flujo, como lo propuso Visher (1969); Salinas Prieto *et al.* (2012). Mientras que los tamaños de grano más gruesos tienen mayor estabilidad al reposo por el peso de las partículas que se encuentran frente a la playa, ya que éstos poseen mayor densidad y por eso se asocian a playas con mayor pendiente como los describió Carranza-Edwards *et al.* (1988).

Los perfiles de playa muestran mayor ancho hacia la parte central de las playas de estudio, en El Cardonal se debe a que la zona central acumula sedimentos transportados por el arroyo y por transporte litoral, desde el sur y también desde el oeste encontrándose en la zona media de la playa para marzo y julio, sin embargo, éstos son removidos en el época de octubre y septiembre donde la playa tiende a ser recta y la mayoría del sedimento es transportado mar adentro. Mientras que en la parte de los extremos norte y sur, las playas tienden a ser más angostas porque la dirección del transporte litoral es hacia la zona central. En Las Barracas, se observa que la parte del sur suele ser menos afectada por la erosión, ya que hay presencia de cantos rodados, aunque en menor cantidad que El Cardonal, pero en episodios de tormenta se encuentra más protegido que la parte central y la parte norte, donde se encuentra el mayor efecto erosivo, incluso llegando a escarbar la duna y produciendo deslizamientos o deslaves de la duna, debido a la erosión directa del oleaje a la duna y a la poca aportación de sedimento al sistema playa-duna, además de que las dunas carecen de vegetación que las estabilice. Esto produjo una gran afectación a las viviendas que había en Las Barracas al inicio del estudio y que ya no existen porque se derrumban por la erosión tan intensa que se observa. Durante el huracán Odile hay sectores de la playa que perdieron hasta 15 metros de ancho.

## CONCLUSIONES

- Existen dos comportamientos marcados de las playas en las zonas de estudio: uno de acreción entre los primeros meses del año, hasta julio y otro de erosión durante la temporada de tormentas y huracanes hacia los meses de septiembre y octubre, generados especialmente por el oleaje y transporte litoral que puede llegar a ser de  $1.2 \text{ m}^3$  x metro de playa al año y para El Cardonal y de  $2,96 \text{ m}^3$  x metro de playa al año para Las Barracas.
- En Las Barracas la construcción de viviendas sobre el lecho del arroyo, la geografía de poca pendiente en las montañas aledañas y el levantamiento de la carretera que se desempeña como trampa de sedimentos, han desequilibrado la línea de costa debido a que obstruyen la llegada de los sedimentos a la playa, generándose la erosión.
- Los efectos del huracán Odile se evidenciaron a través de la diferencia de área antes y después del evento los días 14, 15 y 16 de septiembre de 2014, en El Cardonal hubo aumento del  $7,719 \text{ m}^2$  correspondientes al 3% del área en la playa. Mientras que para Las Barracas el proceso erosivo que redujo la playa  $16,952 \text{ m}^2$  correspondiente a un 5% del área.

## RECOMENDACIONES

Para conservar los recursos como las playas de las zonas de estudio deben realizarse procedimientos de mantenimiento, tales como: rellenos de arena donde hay erosión, corrección del flujo de sedimentos de los arroyos a las playas, construcción de rompeolas sumergidos para reducir la energía del oleaje, instalación de geotubos para proteger las playas y reconstrucción de las dunas para recobrar los terrenos.

En caso de ser necesario, se deben llevar a cabo actividades de transporte de arena del lecho del arroyo más cercano o de la barra sumergida con el fin de depositarlos en la zona afectada, y poder hacer la reconstrucción de las playa; también se puede hacer la reforestación de las dunas para aumentar su estabilidad.

Por otro lado, se requiere de un óptimo diseño en la construcción de estructuras especiales como muros curvos para disipación de la energía del oleaje, siempre y cuando el valor de lo recuperado o lo protegido se justifique y haya los recursos para hacer la protección o la recuperación.

No construir en las descargas de los arroyos, pues la infraestructura corre el riesgo de ser arrasada durante un huracán que produzca lluvia torrencial, o encausar el arroyo con enrocamientos que estén calculados sobre el tirante de la avenida máxima en 1000 años y con una sección transversal que pueda contener el flujo máximo, de esta manera conseguir no obstruir el libre paso de los sedimentos a las playas para no desequilibrar el sistema sedimentario.

Que se realicen estudios oceanográficos antes de construir y diseñar las edificaciones costeras en sitios libres de riesgos, para posteriormente realizar un monitoreo frecuente de las playas y dunas y emitir recomendaciones y acciones a seguir para mantener el equilibrio del sistema antes de que haya eventos catastróficos como se observaron en este trabajo.

## BIBLIOGRAFIA

- Andrade, F. & M. Ferreira.** 2006. A Simple method of measuring beach profiles. *J. Coastal Res.*, 22: 995–999.
- Ayllón, T.** 1996. *Elementos de meteorología y climatología*. Trillas, México, 179 p.
- Bremec, C.S.** 1990. Macrobentos del área de Bahía Blanca (Argentina), distribución espacial de la fauna. *Bol. Inst. Oceanogr.*, 38(2): 99–110.
- Campos-Aranda, D.F.** 1984. *Procesos del ciclo hidrológico*. 2a. ed., Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México. 524 p.
- Carranza-Edwards, A., L. Rosales-Hoz, & R. Lozano-Santa Cruz.** 1988. Estudio sedimentológico de playas del Estado de Oaxaca, México. *An. Inst. Cienc. Mar. Limnol.*, 15: 23–38.
- Carranza-Edwards, A., A. Márquez-García, C. Tapia-González, L. Rosales-Hoz, & M.Á. Alatorre-Mendieta.** 2015. Cambios morfológicos y sedimentológicos en playas del sur del Golfo de México y del Caribe Noroeste. *Bol. Soc. Geol. Mex.*, 67(1): 21–43.
- Cook, D.O., & D.S. Gorsline.** 1972. Field Observations of Sand Transport by Shoaling Waves. *Mar. Geol.*, 13(1): 31–55.
- Crisp, D.J.** 1984. Energy flow measures. 284 – 372. En: N. A. Holme, & A. D. McIntyre. (Eds.) *Methods for the study of marine benthos*. Blackell, Oxford, 444 p.
- Cuevas-Jiménez, A., & J. Euán-Ávila.** 2009. Morfodinámica del perfil de playa con sedimentos carbonatados en la Península de Yucatán. *Cienc. Mar.*, 35(3): 307–320.
- Dean, R.G.** 1991. Equilibrium beach profiles: characteristics and applications. *J. Coastal Res.*, 7(1): 53–84.
- Del Río, L., & Melfi, G.A.** 2003. Cuantificación de las variaciones volumétricas y evolución del litoral entre Chipiona y Rota (Cádiz) durante el período 1996-1998. *Rev. C. & G.*, 17 (3-4): 17-27.
- Emery, K.O., & J. Hülsemann.** 1961. The relationships of sediments, life and water in a marine basin. *Deep-Sea Res.*, 8: 165–180.
- Folk, R.L.** 1980. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphill Publishing Company. <http://repositories.lib.utexas.edu/handle/2152/22930>, acceso el 2 de Junio de 2015

- Flores, E.Z.** 1998. *Geosudcalifornia. Geografía, agua y ciclones*. Universidad Autónoma de Baja California Sur, México. 277 p.
- Kasper-Zubillaga, J.J., Carranza Edwards A., & E.A. Morales De La Garza.** 2007. Caracterización textural de la arena de playa del Golfo de California, México: Implicaciones para los procesos costeros y el relieve. *Cienc. Mar.*, 33(1): 83–94.
- Kinsman, J.D.** 1967. *B-wind waves their generation and propagation on ocean surface*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, USA: 676 p.
- Komar, P.D. & D.L. Inman.** 1970. Longshore sand transport on beaches, *J. Geophys. Res.*, 75(30): 5914–5927.
- López-Castro, M.C., R. Carmona & W.J. Nichols.** 2004. Nesting characteristics of the olive ridley turtle (*Lepidochelys Olivacea*) in Cabo Pulmo, Southern Baja California. *Mar. Biol.*, 145(4): 811–820.
- Mir-Gual, M.** 2009. Modificaciones del perfil de playas en las Islas Baleares (Playas de Can Picafort y Comú de Muro). <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/17598>. acceso el 1 de noviembre de 2014.
- Montreuil, A.L. & J.E. Bullard.** 2012. A 150-year record of coastline dynamics within a sediment cell: Eastern England. *Geomorphology*, 179: 168–185.
- Muir Wood, A.M.** 1969. *Coastal Hydraulics*. Gordon and Breach, New York, 187p. <http://library.wur.nl/WebQuery/clc/976197>, acceso el 2 de junio de 2015.
- Navarro-Lozano, J.O.** 2006. *Caracterización sedimentológica y geomorfológica de los ambientes costeros en la Bahía San Lucas, Baja California Sur, México*. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional - Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, México. 157 p.
- Navarro-Lozano, J.O., E. Nava Sánchez, E. Troyo Dieguez & J.L. Cadena Zamudio.** 2012. Tasas de erosión e índices geomorfológicos en tres cuencas costeras al sur de la Península de Baja California, México. *Bol. Soc. Geol. Mex.*, 64(2): 229–241.
- Nava-Sánchez, E.H., F. Salinas-González, R. Cruz-Orozco, S. Rueda-Fernández & L. Godínez-Orta.** 1994. Beach profiles and their relation to waves and grain size at the southern tip of the peninsula of Baja California, México. *Inv. Mar. CICIMAR*, 9 (1): 25–41.

**Rangel-Buitrago, N. & B. Posada.** 2013. Metodología para el levantamiento y análisis de perfiles topográficos de playa, 195–175. En: Ícantara, C.J., I. Montoya-Montes & I.D. Carrea-Arango (Eds.) *II Manual de métodos en teledetección aplicada a la prevención de riesgos naturales en el litoral*. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, Barcelona, 438 p.

**Rodríguez-López, Y., N. Marrero de León & L. Gil Urrutia** 2010. Modelo lluvia-escurrimiento para la cuenca del río Reno. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19(2): 31–37.

**Salinas-González, F., O.V. Zaytsev & S. Troyo-Diequez.** 1997. Corrientes, mareas y sus espectros en la playa norte de la barra arenosa del Mogote de La Paz, B.C.S., México. *Oceánides*, 12(2): 6-77.

**Salinas-Prieto, J.A., R.P. Padilla-Hernández, F. Oropeza-Rosales & R. Lobato-Sánchez.** 2012. Sistema de Pronóstico Automatizado de Oleaje. <http://repositorio.imta.mx:8080/cencarepositorio/handle/123456789/398>, acceso mayo 27, 2015.

**Trasviña, A., O. Oropeza, E. Ezcurra, & O. Zaytsev.** 2012. Observaciones de corrientes en el Parque Nacional de Cabo Pulmo, Baja California Sur: Mediciones eulereanas en verano, otoño e inicios del invierno. *GEOS*, 32 (2) [http://www.ugm.org.mx/publicaciones/geos/pdf/geos12-2/3\\_GEOS\\_322\\_Trasvina.pdf](http://www.ugm.org.mx/publicaciones/geos/pdf/geos12-2/3_GEOS_322_Trasvina.pdf), Acceso el 4 Noviembre de 2014.

**Troyo-Diéquez, S.** 2003. *Oleaje de viento y ondas de infragravedad en la zona costera de Baja California Sur*. Tesis de Doctorado. Instituto Politécnico Nacional - Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. 230 p. <http://www.repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/15383>, acceso el 1 de noviembre de 2014.

**Velasco García, J.A.** 2009. *Ambientes geológicos costeros del litoral de la Bahía de La Paz, Baja California Sur, México*. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional - Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, 157 p. <http://www.repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/14117>, Acceso el 1 noviembre de 2014.

**Visher, G.S.** 1969. Grain size distributions and depositional processes. *J. Sediment. Petrol.*, 39(3): 1074 - 1106.