

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



EVOLUCIÓN HOLÓCENICA DE LOS AMBIENTES SEDIMENTARIOS COSTEROS ENTRE PUNTA MÁRQUEZ Y PUNTA LOBOS, BCS, MÉXICO

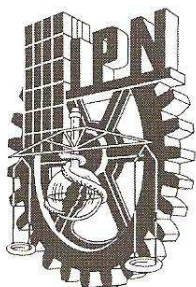
TESIS

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

PRESENTA

REYNA MARCELA LIRA BELTRÁN

LA PAZ B.C.S., JUNIO DEL 2009



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 8 del mes Junio del año 2009, el (la) que suscribe GEÓL. REYNA MARCELA LIRA BELTRÁN alumno(a) del Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS con número de registro A070324 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de: DR. ENRIQUE HIPARCO NAVA SÁNCHEZ y DRA. JANETTE MAGALLI MURILLO JIMÉNEZ y cede los derechos del trabajo titulado: "EVOLUCIÓN HOLOCÉNICA DE LOS AMBIENTES SEDIMENTARIOS COSTEROS ENTRE PUNTA MÁRQUEZ Y PUNTA LOBOS, B.C.S, MÉXICO" 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. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: marcela.lira@conagua.gob.mx enava@ipn.mx jmurillo@ipn.mx Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

GEÓL. REYNA MARCELA LIRA BELTRÁN

nombre y firma



SIP-14

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
ACTA DE REVISION DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12:00 horas del día 12 del mes de Mayo del 2009 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 de grado titulada:

"EVOLUCIÓN HOLOCÉNICA DE LOS AMBIENTES SEDIMENTARIOS COSTEROS
ENTRE PUNTA MÁRQUEZ Y PUNTA LOBOS, B.C.S., MÉXICO"

Presentada por el alumno:

LIRA
Apellido paterno

BELTRÁN
materno

REYNA MARCELA
nombre(s)

Con registro:

A	0	7	0	3	2	4
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante al grado de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

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

LA COMISION REVISORA

Director de tesis
PRIMER VOCAL

DR. ENRIQUE HIPARCO NAVA SÁNCHEZ

PRESIDENTE

DR. NORMAN SILVERBERG

SECRETARIO

DR. FELIPE SALINAS GONZÁLEZ

SEGUNDO VOCAL

DRA. JANETTE MAGALL MURILLO JIMÉNEZ

TERCER VOCAL

DR. ALEJANDRO B. ÁLVAREZ ARELLANO

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

DR. RAFAEL CERVANTES DUARTE



IPN
CICIMAR
DIRECCION

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi esposo Agustín, quien ha sido mi compañero incondicional durante esta importante etapa de mi vida. A mi familia, en especial a mi abuelita Chuy sin ella un hubiera logrado nada, a mi mamá Reyna y a mis tres hermanas Lupita, Andrea y Paolita. A mis tíos Felipe, Alfredo, Cotoño y Yadira, por su cariño y apoyo. Finalmente a todos mis amigos y amigas con los que siempre he contado, gracias por su amistad.

AGRADECIMIENTOS

- ✓ Agradezco al Dr. Enrique Nava por la dirección de este trabajo, por haber aceptado ser mi asesor y haberme ofrecido sus valiosos consejos y sobre todo su amistad.
- ✓ A la Dra. Janette Murillo Jiménez, encargada del laboratorio de Geología Marina de CICIMAR, por todo el apoyo brindado para la realización de este trabajo.
- ✓ A la comisión revisora integrada por el Dr. Alejandro Álvarez Arellano, Dr. Norman Silverberg y Dr. Felipe Salinas, gracias por los comentarios y sugerencia, las cuales ayudaron a enriquecer este trabajo.
- ✓ A mis compañeros Griselda, Octavio, Patricia y Samuel.
- ✓ Al Dr. Bernardo Shirasago y Oc. Lucio Godínez por su apoyo y comentarios.
- ✓ A CONACYT por el apoyo brindado a través de la beca de posgrado.

RESUMEN

La región Pacífico sur de la península de Baja California se caracteriza por presentar depósitos sedimentarios costeros del Cuaternario correspondientes a cambios eustáticos del nivel del mar. Estos depósitos corresponden a sistemas de dunas, planicies de marea, sabkhas, playas entre otros. Los afloramientos sedimentarios están muy bien preservados debido al clima seco, típico de la península de Baja California. La región Pacífico se define por ser una zona costera de muy alta energía marina, donde el oleaje y los vientos son los factores más importantes en la modelación de la línea de costa. El área de estudio se encuentra dentro de esta región entre las localidades de Punta Márquez (Norte) y Punta Lobos (Sur). Morfológicamente esta zona de la península comprende planicies y lomeríos bajos de origen sedimentario correspondientes a la subprovincia fisiográfica de los Llanos de Magdalena y serranías de origen granítico - metamórfico (sur del área de estudio). El presente trabajo muestra resultados de un estudio geomorfológico, sedimentológico y estratigráfico de los depósitos costeros recientes además de la caracterización de depósitos eólicos del Cuaternario. Con base en elementos morfológicos y geológicos, el área de estudio se dividió en tres zonas con las características que se describen a continuación: (1) Zona Sur, definida por la presencia de playas reflexivas de muy alta energía, donde se presentan hasta dos cordones de dunas antiguas paralelos a la actual línea de costa. (2) Zona Central, presenta una barra litoral en la zona de rompiente del oleaje con una zona de surf en donde se forman múltiples rompientes que disipan parte de la energía del oleaje, por lo que la playa es de menor energía y desarrolla una pendiente moderada-suave. Las playas de esta zona son de tipo intermedio. Además se presentan dos cordones de dunas del cuaternario en forma de lomeríos bajos paralelos a la línea de costa actual. (3) Zona Norte, con playas de pendiente suave. En la zona de rompiente fue posible distinguir la presencia de una o dos barras litorales. Las playas se pueden clasificar como intermedias a disipativas. En un corte de arroyo, aflora una

secuencia de depósitos de duna y planicie de mareas a más de 800m de distancia de la actual línea de costa.

En el área de estudio se reconocieron tres cordones de duna antiguos, paralelos a la actual línea de costa: 1er cordón, observado en el sur del área de estudio, caracterizado por material sedimentario sin compactar a 350m de la costa. 2do Cordón: presente a lo largo de la Zona Central a 800m de la costa, el material sedimentario se encuentra levemente compactado. 3er Cordón: presente en la Zona Central a más de 1100m de la línea de costa actual con material sedimentario muy compactado. Se fecharon los tres cordones de las dunas antiguas por la técnica de termoluminiscencia en la Universidad Australiana de Wollongong. Las fechas que se obtuvieron fueron de 8.9 ± 1.0 ka para el 1er cordón, 8.3 ± 0.5 ka para el 2do cordón y 61.6 ± 5.6 ka para el 3er cordón. Por lo tanto se ha llegado a las siguientes conclusiones: la Zona Sur se define por ser una zona de alta energía marina durante la mayor parte del año, lo cual se deduce por la forma de sus playas, bermas y dunas. En contraste, las zonas Central y Norte se caracterizan por presentar playas menos pronunciadas y el desarrollo de una barra litoral en la zona de rompiente. Esta barra provoca múltiples rompientes y por consiguiente el olaje pierde energía. En cuanto a los depósitos de dunas antiguas, se infiere que el 1er y 2do cordón de dunas son contemporáneos originados entre los 9000 y 7500 años AP (inicio del óptimo climático del Holoceno).

ABSTRACT

The Pacific region of the southern Baja California peninsula is characterized by Quaternary sedimentary deposits corresponding to eustatic changes of sea level. These deposits correspond among others to sand dunes systems, tidal flats, sabkhas, and beaches. The outcropping sedimentary deposits are very well preserved due to the dry climate. The study area is a coastal area of very high marine energy, where waves and winds are the most important factors in the evolution of the coastline. Morphologically, this area of the peninsula includes flat areas and hills of sedimentary origin corresponding to the physiographic province of Magdalena Plains and ranges of granitic and metamorphic origin (southern of the study area). The present work shows results of a geomorphologic, sedimentologic and stratigraphic study of the recent coastal deposits besides the characterization of Quaternary eolian deposits. Based in morphologic and geologic factors, the study area was divided in three areas with the characteristics that are described as follows: (1) south area, defined by reflective beaches of very high energy. In this area are present two ancient dune ridges parallel to the modern coastline; (2) central area, with a sand bar in the breaking zone, at a distance from the beach face large enough to allow the formation of a surf zone with multiple breakers to dissipate the wave energy. The beaches within this area are classified as intermediate. There are two ancient dune ridges, observed also in satellite images; and, (3) north area, with beaches of gentle slope. In the breaking zone, it was possible to distinguish two sand bars. The beaches can be classified as intermediate to dissipative. On an arroyo cut, its observed a sequence of dune and tidal plain deposits at a distance of more than 800m from the modern coastline.

In the study area, three dune ridges were recognized, parallel to the current coastline, the 1st one, observed on the south area, characterized by unconsolidated sedimentary material, located at 350m from the coast. The 2nd dune ridge is present along the central area and is located at 800m from the coast. The 3rd dune ridge, with consolidated sand, is located at more than 1100m from the coastline. The dune ridges were dated by the thermoluminescence technique, obtaining ages of 8.9+/-1.0 ka for the 1st ridge, 8.3+/-0.5 ka for the 2nd ridge, and

61.6 $\pm$ 5.6 ka for the 3rd ridge. Therefore, it is concluded that the south area is defined as high marine energy, reflected by the beach system. In contrast, the central and north areas are characterized by beach faces with gentle slopes. For the dune ridges, it is inferred that the 1st and 2nd ones were contemporaneous, so that they could be a single ridge of front dunes originated between the 9000 and 7500 years BP.

CONTENIDO

PÁGINA

Capítulo 1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Justificación	4
1.2 Hipótesis	5
1.3 Objetivo	5
1.3.1 Objetivos Particulares	5
1.4 Antecedentes y aspectos generales del área de estudio	6
1.4.1 Localización y vías de acceso	6
1.4.2 Clima e hidrología	7
1.4.3 Tipos de Costa	8
1.4.4 Morfodinámica de playas	9
1.4.4.1 Procesos de la zona de surf y rompiente	11
1.4.4.2 Tipos de rompiente	11
1.4.5 Geomorfología	13
1.4.6 Periodo Cuaternario y Época Pleistocénica	17
1.4.7 Clima de Pleistoceno Tardío y Holoceno	19
1.4.7.1 Óptimo Climático del Holoceno	21
1.4.8 Cambios eustáticos durante el Holoceno	21
1.4.9 Geología regional	23
Capítulo 2 METODOLOGÍA	29
2.1 Trabajo de Campo	29
2.2 Mapas de localización de muestras	31
2.3 Perfiles topográficos	35
2.4 Muestreo para fechación	36
2.5 Trabajo de laboratorio	38
2.5.1 Granulometría	39
2.5.1.1 Procesamiento estadístico	40
2.5.2 Mineralogía	42

Capítulo 3 RESULTADOS	44
3.1 Principales unidades geomorfológicas	45
3.2 Geomorfología y sedimentos costeros	53
3.2.1 Clasificación de la costa	53
3.2.2 Zona Sur	54
3.2.3 Zona Central	62
3.2.4 Zona Norte	68
3.3 Mineralogía	77
3.3.1 Arroyos	78
3.3.2 Playas	81
3.3.3 Dunas recientes	87
3.3.4 Primer Cordón de dunas antiguas	92
3.3.5 Segundo cordón de dunas antiguas	93
3.3.6 Tercer Cordón de dunas antiguas	95
3.4 Paleoambientes y fechaciones	97
3.4.1 Primer cordón de dunas antiguas	98
3.4.2 Segundo cordón de dunas antiguas	101
3.4.3 Tercer cordón de dunas antiguas	105
3.4.4 Vestigios arqueológicos	107
3.5 Fechaciones	108
3.6 Estratigrafía	109
 Capítulo 4 DISCUCIONES	 113
4.1 Geomorfología costera actual	113
4.1.2 Diferencias en el transporte litoral	114
4.2 Mineralogía	116
4.3 Paleoambientes y fechación	118
4.4 Validación de la hipótesis	121
 Capítulo 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	 122
5.1 Conclusiones	122

5.2 Recomendaciones.....	123
6. Bibliografía consultada.....	125
 ANEXOS	
Anexo A.....	129
Anexo B.....	134
Anexo C.....	136

LISTA DE FIGURAS

PÁGINA

Figura 1. Escala del tiempo geológico para el cuaternario y parte del Neógeno....	3
Figura 2. Mapa de localización del área de estudio, localizada en la Península de Baja California entre las localidades de Punta Márquez al Norte y Punta Lobos....	7
Figura 3. Características de los tres principales perfiles de playa: disipativo, intermedio y reflexivo.....	12
Figura 4. Batimetría de la plataforma continental del margen Pacífico Sur de la Península de Baja California (Modificada de carta batimétrica).	13
Figura 5. Subprovincias fisiográficas de Baja California Sur.....	15
Figura 6. Litología general del Boque Tectónico de Cabo San Lucas o Región del Cabo.....	16
Figura 7. Estadios isotópicos marinos y cronoestratigrafía del Pleistoceno Tardío.....	19
Figura 8. Curvas de la transgresión Flandriana ó transgresión marina del Cuaternario Tardío.....	22
Figura 9. Mapa geológico general del área de estudio.....	24
Figura 10. Actividades realizadas en campo.....	31
Figuras 11. Mapas de localización de las muestras tomadas en la Zona Norte (A) y central del área de estudio (B).....	32
Figuras 12. Mapas de Localización de las muestras de sedimento recolectadas en la Zona Central del área de estudio.....	33
Figuras 13. Mapas de localización de las muestras de sedimento tomadas en la Zona Sur.....	34
Figura 14. Los perfiles de playa fueron realizados con ayuda de cinta métrica, nivel de mano y estatal.....	35

Figura 15. En la zona central del área de estudio se realizaron 2 perfiles con estación topográfica, con la finalidad de conocer la altura de los depósitos eólicos antiguos.....	36
Figura 16. Mapa geomorfológico del límite entre la zona central y sur. Dentro de esta zona fueron tomadas tres muestras de depósitos eólicos para fechación por termoluminiscencia.....	37
Figura 17. Procedimiento para la colecta de núcleos de sedimentos de dunas antiguas para fechación por termoluminiscencia.....	38
Figura 18. Para determinar la granulometría de los sedimentos se siguieron las técnicas del tamizado para muestras gravo-arenosas (-2 ϕ a 4 ϕ) (izquierda) y analizador de partículas laser para muestras limo-arcillosas (>4 ϕ) (derecha).....	39
Figura 19. Diagrama ternario de clasificación mineralógica de las arenas (modificado de Carranza, 1980).....	43
Figura 20. Zonas geomorfológicas que componen el área de estudio. El área de estudio se dividió en tres zonas: Zona Norte, Zona Central y Zona Sur.....	44
Figura 21. Mapa geomorfológico del área aledaña a la localidad de Agua Blanca (Zona Sur).....	46
Figura 22. Mapa geomorfológico de la localidad La Lagunita en la zona central del área de estudio.....	47
Figura 23. Mapa geomorfológico de la localidad Laguna Grande, Zona Central...	48
Figura 24. Abanico aluvial antiguo en estado de erosión. Este abanico se encuentra ubicado en la zona sur del área de estudio.....	49
Figura 25. Abanico aluvial activo del Arroyo El Carrizal, ubicado en la zona central del área de estudio. La Población de Melitón Albañez se encuentra asentada sobre este abanico.....	50
Figura 26. Laguna cercana a la ranchería del San Rafael del Los inocentes. Fotografía tomada durante Enero de 2008.....	51
Figura 27. Laguna de desecación o sabkha ubicado en la zona central. Este sabkha presenta una extensión mayor a 3 kilómetros.....	51

Figura 28. El sabkha está conformado por costras de minerales evaporíticos como la halita (sal).....	52
Figura 29. (A) Costas secundarias por erosión. Zona de acantilados en el extremo norte del área de estudio. Los acantilados son de rocas sedimentarias del Plioceno sobreyacidas por terrazas marinas del Cuaternario. (B) Costas secundarias por depositación marina. Duna frontal estabilizada por pastos en la localidad de la Laguna Grande (zona central).....	53
Figura 30. Imagen de satélite captada en otoño de 2006 (Google Earth) después del paso del Huracán John. Fotografías 1,2 y 3 tomadas en febrero de 2007.....	55
Figura 31. Playa reflexiva, cuspada, en la zona sur del área de estudio, en las cercanías de la población de Todos Santos.....	55
Figura 32. La playa de Punta Lobos presenta una cara de la playa pronunciada y es de muy alta energía durante todo el año. A. Fotografía tomada en febrero de 2007. B Fotografía tomada en septiembre de 2007 días después del paso del huracán Henriette.....	56
Figura 33. En la zona sur se presentan dos cordones de dunas activas, (1) dunas incipientes o nabkhas y (2) cordón de dunas frontales. Además en algunas localidades como Punta Lobos y La Muela se presenta un tercer cordón de dunas antiguas.....	59
Figura 34. Histograma de porcentaje por tamaño de partículas de la muestra M1-5 (Nabkha de Punta Lobos). La mayoría de las muestras son simétricas moderadamente bien seleccionadas.....	60
Figura 35. Histograma de porcentaje por tamaño de partículas de la muestra M1-20 (Duna frontal Agua Blanca). La mayoría de las muestras son simétricas moderadamente bien seleccionadas.....	61
Figura 36. La rompiente del oleaje se da en la barra litoral no sobre la cara de la playa.....	63
Figura 37. La rompiente es de tipo plunging sobre la barra arenosa y de tipo spilling en la cara de la playa.....	63

Figura 38. Las playas de la zona central se caracterizan por tener pendiente moderada a suave. A. Fotografía tomada en el mes de Febrero de 2007 al oeste de la localidad de Santa Martha. B. Fotografía captada en Noviembre de 2007 cerca de la desembocadura del arroyo carrizal. C. Fotografía tomada en Enero 2008 al sur del faro de los Inocentes.....	64
Figura 39. Histograma de la muestra M2-17 (Playa en la localidad de la lagunita), la mayoría de las muestras presentan un sesgo simétrico.....	65
Figura 40. Dentro de la zona central el cordón de duna frontal presenta alturas mayores de 10 metros. Fotografía captada en la localidad de la lagunita.....	66
Figura 41. La duna frontal se encuentra estabilizada por pastos y vegetación rastrera, como es el caso de enredaderas y arbustos pequeños.....	67
Figura 42. Histograma de la muestra M2-19 (duna frontal en la localidad de la lagunita), la mayoría de las muestras de dunas de la zona central tiene un sesgo simétrico y se encuentran de bien a moderadamente seleccionadas.....	68
Figura 43. Corrientes de retorno presentes en el área de Punta Márquez (Ortofotos 1993).....	69
Figura 44. La zona norte se distingue por la formación de corrientes de retorno. Estas corrientes son perpendiculares a la línea de costa y presentan una longitud mayor a 100m (Google Earth).....	69
Figura 45. El oleaje rompe a una distancia de 20 metros de la cara de la playa (localidad ubicada al Oeste de la Ranchería de San Isidro de Las Palmas).	70
Figura 46. En la zona norte el oleaje rompe en forma de plunging – spilling sobre la barra litoral y en forma de spilling sobre la cara de la playa. Además en oleaje tras romper en la barra se reforma en pequeñas olas o bores.....	71
Figura 47. Las playas de la zona norte presentan sedimento de color más oscuro debido a la presencia de minerales ferromagnesianos como la magnetita (Localidad al NW de la ranchería de San Isidro de Las Palmas).....	72
Figura 48. Dunas con una morfología característica de montículos o semicírculos. Este tipo de dunas se presentan solamente en la zona norte del área de estudio.....	73

Figura 49. Dunas incipientes montadas en sobre acantilados presentes en el extremo norte del área de estudio.....	74
Figura 50. Acantilados localizados en el extremo norte del área de estudio. Fotografía captada en la cercanía al faro de Punta Márquez.....	75
Figura 51. (A) En la Zona Norte se presentan acantilados bajos, los cuales no superan los 6 m de altura. Los acantilados están formados sobre rocas sedimentarias de la Formación Salada del Plioceno Superior y depósitos de terraza marina del Pleistoceno.....	76
Figura 52. Gráfico de los principales componentes mineralógicos (fracción gruesa) de las muestras de arroyos del área de estudio. Los arroyos abastecen a la costa principalmente de cuarzo, feldespatos y fragmentos líticos.....	79
Figura 53. Diagrama ternario de clasificación mineralógica para las muestras de arroyo.....	80
Figura 54. Gráficos de granos contados para cada componente mineralógico para muestras de la Zona Sur. Nótese la abundancia de cuarzo y feldespatos.....	81
Figura 55. Gráficos de granos contados para cada componente mineralógico para las muestras de la zona central. En todas las muestras el componente principal fue el cuarzo, seguido por los feldespatos (en especial el feldespato potásico).....	82
Figura 56. Gráficos de granos contados para cada componente mineralógico para muestras de la zona Norte. En esta zona la magnetita es un componente mineralógico de interés.....	83
Figura 57. Diagrama ternario donde se puede observar la clasificación mineralógica de las muestras de cara de la playa.....	85
Figura 58. En la zona sur (M1-1, M1-15 y M1-19) y central del área de estudio (M4-14) el color de las muestras tomadas en la cara de la playa son de color más claro que las encontradas en la zona norte (M3-6 y M3-16). Esta heterogeneidad en el color del sedimento es causado por una variación gradual en el contenido mineralógico (variación observada de sur a norte).....	86
Figura 59. Gráficos de granos contados para cada componente mineralógico en las muestras de dunas activas de la zona sur. El cuarzo es el componente mineralógico más importante.....	87

Figura 60. Gráficos de granos contados para cada componente mineralógico de las muestras de la zona central. Las dunas activas de la zona central presentan como componentes principales cuarzo, feldespato (Plagioclasas y ortoclasa) y ferromagnesianos.....	88
Figura 61. Gráficos de granos contados para cada componente mineralógico para muestras de la zona Norte. En esta zona el cuarzo y la magnetita son los componentes mineralógicos de mayor interés.....	89
Figura 62. Diagrama ternario donde se presenta la clasificación mineralógica de todas las muestras de dunas activas que fueron tomadas en el área de estudio. Nótese que la mayoría de las muestras de la zona sur y central se clasifican como Feldesarenitas líticas.....	90
Figura 63. Al igual que el sedimento de las playas del área de estudio, las dunas presentan un cambio gradual en la mineralogía, es decir el material se va enriqueciendo de líticas y ferromagnesianos conforme nos desplazamos hacia el norte.....	91
Figura 64. Gráficos de granos contados para cada componente mineralógico en muestras del primer cordón de dunas antiguas, ubicado en la zona sur y norte del área de estudio. El principal componente mineralógico en las muestras del primer cordón es el cuarzo seguido por los feldespatos y los minerales ferromagnesianos.....	92
Figura 65. Gráficos de granos contados para cada componente mineralógico para muestras del segundo cordón de dunas antiguas, dentro de la zona central del área de estudio.....	93
Figura 66. Diagrama ternario de clasificación mineralógica para las muestras del primer y segundo cordón de dunas antiguas. Estas dunas son muy ricas en cuarzo y feldespatos.....	94
Figura 67. Gráficos de granos contados para cada componente mineralógico para muestras del tercer cordón de dunas antiguas. Esta duna antigua presenta un enriquecimiento en cuarzo.....	95

Figura 68. Diagrama ternario de clasificación mineralógica para las muestras del tercer cordón de dunas antiguas. Esta duna antigua presenta como componente principal al cuarzo.....	96
Figura 69. Los depósitos de laguna o planicie de inundación se encuentran mayormente cubiertos por vegetación baja como pastizales, sin embargo también se pueden encontrar cactáceas como cardones y choyas.....	97
Figura 70. El sedimento lagunar es de color claro en la superficie y rojizo en el fondo, este sedimento está compuesto en su mayoría por cristales de minerales de origen evaporítico.....	98
Figura 71. Primer cordón de dunas antiguas ubicada en la localidad de Agua Blanca, esta duna se presenta en promedio a 300m de la línea de costa.....	99
Figura 72. Primer cordón de dunas antiguas en la localidad de Agua Blanca, estas dunas se encuentran estabilizadas por abundante vegetación como arbustos y cactáceas (foto tomada en septiembre de 2007).....	99
Figura 73. Histogramas de peso (%) y masa retenida acumulada (%) de las muestras tomadas en el primer cordón de dunas antiguas dentro de la localidad de la Lagunita. Las muestras presentan un sesgo hacia las partículas finas.....	100
Figura 74. El segundo cordón de dunas antiguas se extiende por kilómetros a lo largo de la porción central del área de estudio. Ortofoto, Localidad La Laguna Grande.....	102
Figura 75. Localidad de la Laguna Grande, vista desde la cima del segundo cordón de dunas antiguas hacia el sabkha, nótese hacia el fondo el cordón de dunas activas.....	103
Figura 76. El segundo cordón de dunas antiguas se encuentra estabilizado por arbustos y cactáceas (Localidad de la lagunita).....	103
Figura 77. Histogramas de peso (%) y masa retenida acumulada (%) de las muestras M2-10 y M2-12 tomadas en la localidad de la Lagunita dentro de la zona central del área de estudio. Las muestras presentan un sesgo hacia las partículas finas.....	104

Figura 78. (A) Ubicación del tercer cordón de dunas antiguas en la localidad de la lagunita. (B) Fotografía de la cresta de la duna donde se aprecia una superficie compacta.....	106
Figura 79. (A) Roca pulida y (B) caracol encontrado sobre el segundo cordón de dunas antiguas en la localidad de la Laguna Grande. (C) Material arqueológico acumulado por saqueadores, este material es abundante y se puede encontrar sobre el primer cordón de dunas antiguas, en la localidad del Arroyo Los Inocentes en la Zona Norte del área de estudio.....	107
Figura 80. Secuencia estratigráfica observada en el talud del Arroyo el Carrizal, en el área próxima a la descarga (Zona Central del área de estudio).....	110
Figura 81. Columna estratigráfica levantada en las inmediaciones al Rancho de San Rafal de los Inocentes, en el límite entre la zona central y norte.....	111
Figura 82. Secuencia estratigráfica observada en el Arroyo el Cuñado, en las inmediaciones del rancho San Isidro de las Palmas.....	112
Figura 83. Evidencias de un cambio en la dirección predominante del transporte litoral.	115
Figura 84. Variación de los componentes mineralógicos a lo largo del área de estudio.....	118
Figura 85. Paleocosta del Holoceno Temprano. Además el mapa muestras las principales geoformas para ese tiempo.....	119
Figura 86. Gráfico de correlación entre tres proxys climáticos: variaciones isotópicas de $\delta^{18}\text{O}$ en núcleos de hielo en Groenlandia, cambios en la temperatura de los meses de verano en Escandinavia y modificaciones en el equilibrio lineal en la altitud de los glaciares en el sur de Noruega (ELA) (Modificado de Schulz et al., 2002). Las W indican periodos húmedos en Europa Central. El círculo de color azul indica el periodo de tiempo en el que muy posiblemente se formaron las dunas antiguas del primer y segundo cordón.....	121

LISTA DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 1. Muestras obtenidas en campo.....	30
Tabla 2. Escala de tamaños de Wentworth basada en la escala logarítmica con unidades Φ ϕ ($1/4 \Phi$ ϕ).....	40
Tabla 3. Formulas utilizadas para determinar los parámetros estadísticos.....	41
Tabla 4. Terminología utilizada por el programa GRADISTAT (modificado de Navarro, 2006).....	42
Tabla 5. Características sedimentológicas de las muestras de playa de la zona sur.....	57
Tabla 6. Características sedimentológicas del cordón de dunas bajas o nabkhas.....	60
Tabla 7. Características sedimentológicas del cordón de duna frontal de la zona sur.....	61
Tabla 8. Características sedimentológicas de las muestras de playa de la zona central.....	65
Tabla 9. Características sedimentológicas de las muestras de dunas de la zona central.....	67
Tabla 10. Características sedimentológicas de las muestras de playa de la zona norte.....	72
Tabla 11. Características sedimentológicas de las dunas de la zona central.....	74
Tabla 12. Muestras analizadas mineralógicamente por el método de conteo de 300 granos a través de microscopio estereoscópico.....	77
Tabla 13. Componentes texturales de las muestras del primer cordón de dunas.....	101
Tabla 14. Componentes texturales de las muestras del segundo cordón de dunas.....	104
Tabla 15. Componentes texturales de la muestra M2-11.....	107
Tabla 16. Resultados de fechación por la técnica de termoluminiscencia.....	108

1. INTRODUCCIÓN

Las costas muestran una variabilidad temporal y espacial muy amplia con respecto a los procesos constructivos o destructivos que las rigen y en función de éstos su morfología evoluciona a través de los años. Por esa importante razón, hoy en día resulta muy interesante estudiar la variación y modificación de la zona costera. Además, las regiones costeras son muy vulnerables a los fenómenos naturales, sin embargo en ellas habita una gran parte de la población mundial.

La región costera oeste del sur de la Península de Baja California, en comparación con la del Golfo de California, se define por ser una zona de muy alta energía marina típica del Océano Pacífico, donde el oleaje y las corrientes litorales, los vientos y las corrientes fluviales juegan un papel primordial en la modelación de la línea de costa. El área de estudio se encuentra dentro de esta región entre las localidades de Punta Márquez (norte) y Punta Lobos (sur). Morfológicamente esta zona costera se encuentra conformada por planicies y lomeríos bajos de origen sedimentario (principalmente en las zonas Central y Norte) pertenecientes a la subprovincia fisiográfica Discontinuidad de Llanos de Magdalena y serranías de origen granítico - metamórfico (en su extremo sur). En la porción media del área de estudio se presentan depósitos eólicos topográficamente bajos, paralelos a la línea de costa actual, pertenecientes a antiguas líneas de costa del Cuaternario.

La región Pacífico sur de la península de Baja California se caracteriza por presentar depósitos sedimentarios costeros del Cuaternario, correspondientes a periodos de regresiones y transgresiones marinas (cambios eustáticos del nivel del mar). Estos depósitos corresponden a ambientes tales como, antiguos sistemas de dunas, planicies de marea, sabkhas, playas entre otros. El presente trabajo se enfoca principalmente en los depósitos eólicos Holocénicos y del Pleistoceno Tardío presentes a lo largo del área de estudio, descartando los

depósitos de terrazas marinas del Pleistoceno, presentes en la localidad de Punta Márquez (límite norte del área de estudio).

El Cuaternario se subdivide en dos épocas conocidas como Pleistoceno comprendido entre los 1, 800,000 años a los 10, 700 años antes del presente (AP) y Holoceno, el cual abarca los últimos 10,700 años de la escala de tiempo geológica (figura 1). La época pleistocénica se caracteriza por la presencia de importantes fluctuaciones climáticas en el orden de miles de años, como es el caso del último ciclo interglacial ocurrido hace más de 120, 000 años (estadio isotópico 5e) (Shackleton et al., 2003). Sin embargo, el Holoceno se caracteriza por presentar fluctuaciones climáticas con duraciones de cientos de años menos contrastantes que las del Pleistoceno. Además, este periodo de tiempo puede distinguirse por la llegada y establecimiento de los primeros grupos humanos en Norteamérica. El Holoceno se diferencia por ser un periodo cálido, caracterizado por la presencia de una transgresión marina conocida como Transgresión Flandriana (Fairbridge, 1992) o Transgresión Marina del Cuaternario Tardío. La transgresión Flandriana ocurrió entre los 18,000 años y los 6000 años AP (Bird, 2001). Sin embargo diversos autores entre ellos Fairbridge sugieren que el Holoceno es caracterizado por presentar cambios eustáticos en periodos cortos de tiempo, en especial después de los 8000 AP.

El presente trabajo comprende un estudio geomorfológico, sedimentológico y estratigráfico de los depósitos costeros recientes, además de la caracterización de los depósitos eólicos del Cuaternario de la zona comprendida entre Punta Márquez al norte y Punta Lobos al sur, en la región Pacífico sur de la Península de Baja California (Figura 2).

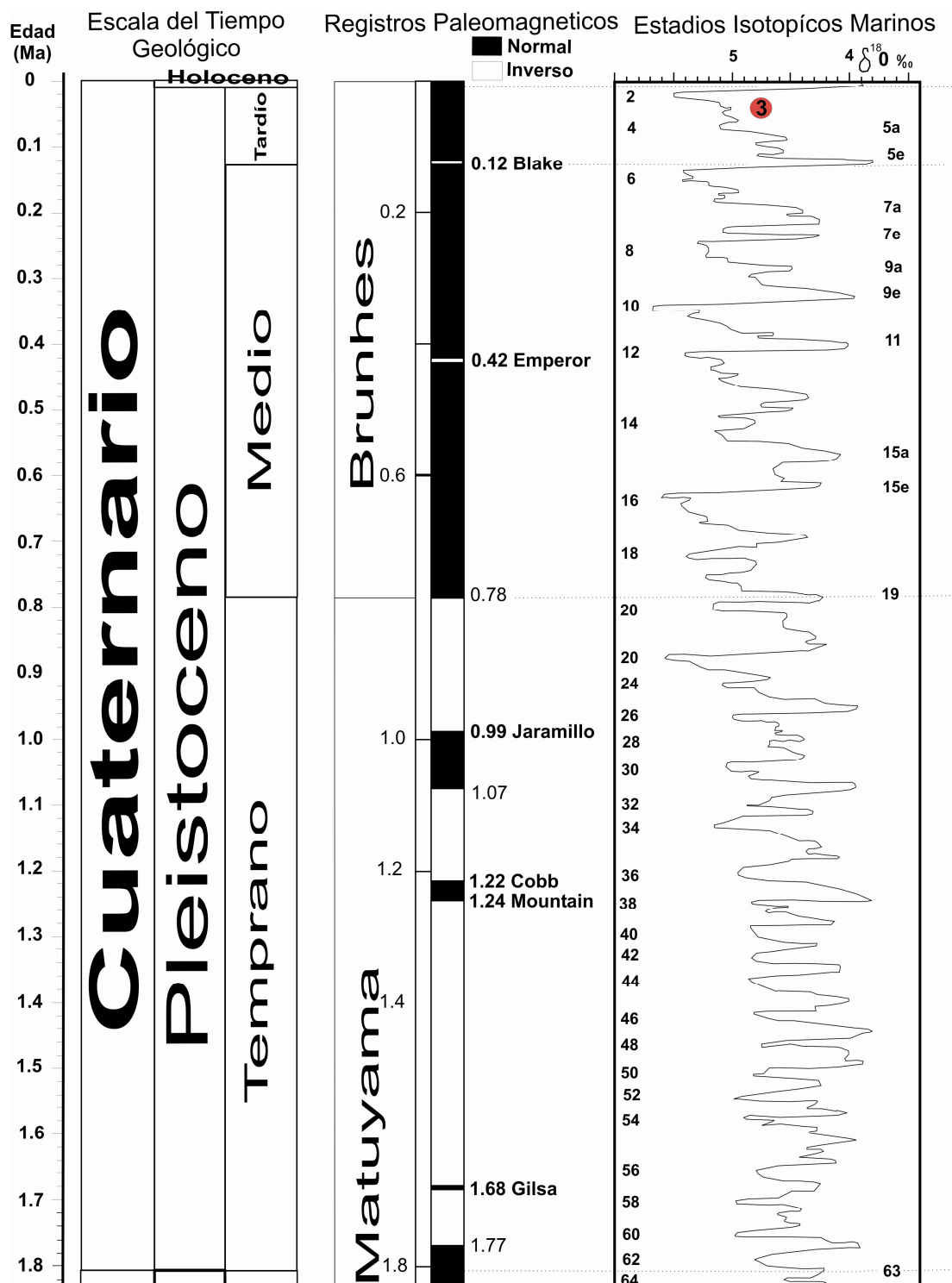


Figura 1. Escala del tiempo geológico para el Cuaternario (Modificada de www.quaternary.stratigraphy.org.uk).

1.1 Justificación

La costa es uno de los sitios más dinámicos de la Tierra debido a que se encuentra en continua modificación a través del tiempo geológico. Hoy en día el estudio de las zonas costeras se ha tornado de gran importancia, ya que además de su evolución natural actualmente las costas mundiales están pasando por una rápida modificación antropogénica.

Geomorfológicamente, el área de estudio es parte de la transición entre la subprovincia fisiográfica Discontinuidad de Llanos de Magdalena, con lomeríos bajos y planicies de origen sedimentario y la subprovincia del Bloque de Los Cabos que presenta serranías de origen plutónico. Esta situación hace de esta región un sitio de gran interés sedimentológico, además de presentar poca afectación antropogénica. El presente trabajo ayudará a conocer la morfología y geología actual del área, así como los procesos costeros dominantes.

Una razón muy importante al estudiar los cambios eustáticos y climáticos ocurridos durante los últimos miles de años, es el comprender de una mejor manera los cambios ambientales por los que está pasando nuestro planeta hoy en día. Durante el Pleistoceno y Holoceno se presentaron intervalos de tiempo durante el cual el clima fue más cálido que en la actualidad, durante estos periodos de tiempo el nivel del mar se elevó algunos metros por encima del nivel actual. Por esa razón, estudiando lo ocurrido hace algunos miles de años en el pasado podemos conocer mejor los cambios naturales a los que nos enfrentamos en la actualidad.

Finalmente cabe mencionar que se han realizado pocos estudios de esta índole en toda la costa Pacífico de la región de Baja California, siendo este, el primer estudio geomorfológico, sedimentológico y estratigráfico para la zona comprendida por el área de estudio.

1.2 Hipótesis

Los cordones de dunas antiguos que se presentan a lo largo del área de estudio pueden ser indicadores paleoambientales del Periodo Cuaternario.

1.3 Objetivo

Elaborar un estudio geomorfológico, sedimentológico y estratigráfico de los depósitos costeros recientes y los depósitos cuaternarios costeros de la región Pacífico Sur de la península de Baja California con la finalidad de caracterizar la región costera del área.

1.3.1 Objetivos particulares

- Conocer la geomorfología a través de levantamientos cartográficos de las geoformas costeras presentes en el área de estudio.
- Analizar la estratigrafía de los depósitos eólicos y costeros del Cuaternario tardío mediante levantamientos de columnas estratigráficas.
- Analizar la sedimentología de los depósitos costeros del área de estudio a través de análisis granulométricos y mineralógicos.
- Determinar la edad de los cordones de duna e interpretar la evolución de los depósitos costeros del área de estudio.

1.4 Antecedentes y aspectos generales del área de estudio

1.4.1 Localización y vías de acceso

El área de estudio se ubica en el margen Pacífico sur de la península de Baja California, entre las localidades de Punta Márquez y Punta Lobos (figura 2). Punta Márquez es un pequeño campo pesquero que se encuentra cerca del ejido de Conquista Agraria, localizado a 50 kilómetros al oeste de la ciudad de La Paz. Para acceder a esta localidad se sigue la carretera Transpeninsular, y en el Kilómetro 56 se toma un camino de terracería al oeste, que conduce a la población de la Conquista Agraria. Punta Lobos comprende el extremo sur del área de estudio y está ubicada a 2.5 km al sur de la población de Todos Santos la cual se ubica a 85 km al sursuroeste de la ciudad de La Paz. Las principales localidades en el área (de norte a sur) son: Punta Márquez, San Isidro de Las Palmas, San Rafael de Los Inocentes, Santa Martha, Melitón Albañez, Boca el Palmarito, Agua Blanca, Boca de La Muela y Punta Lobos.

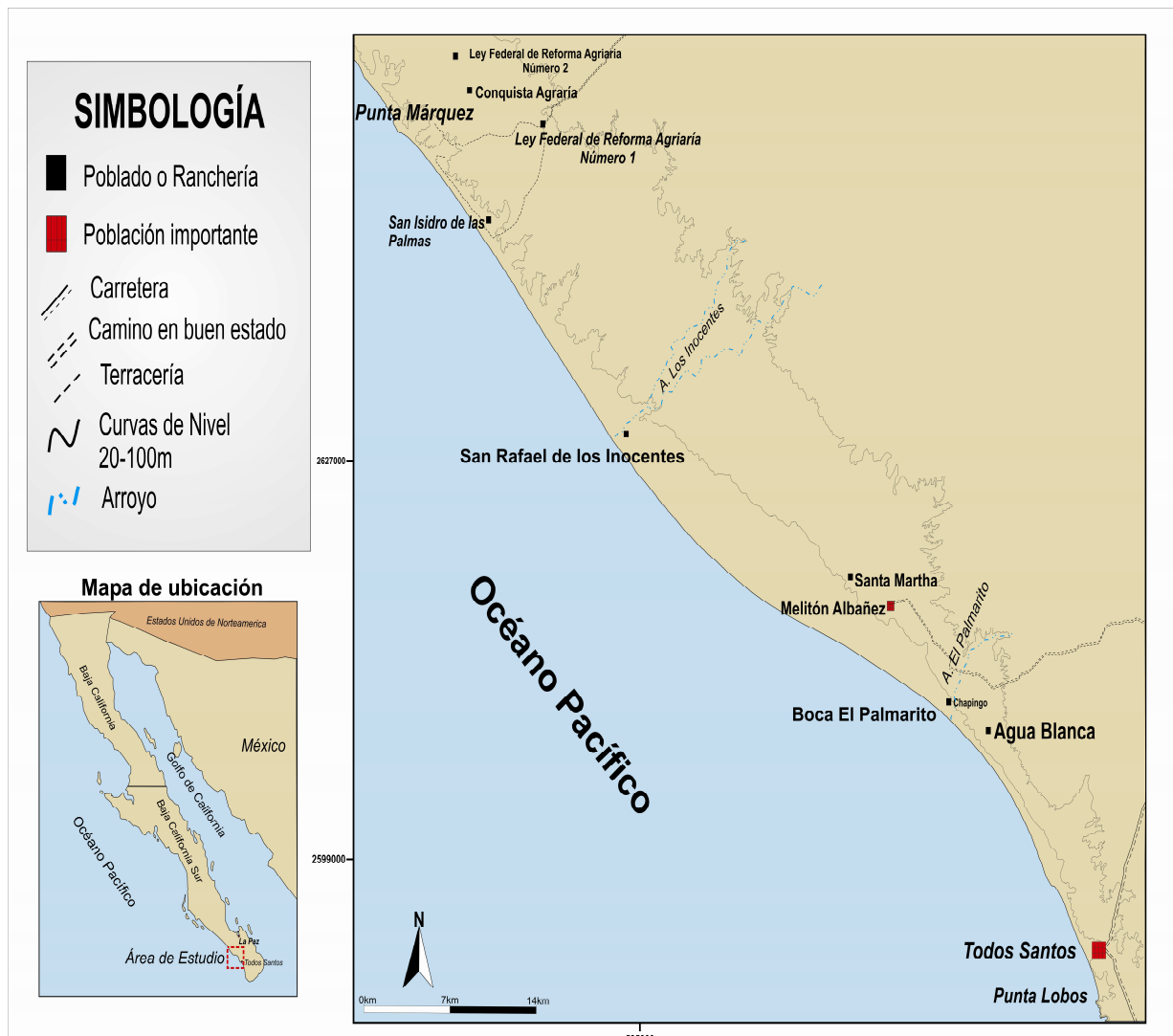


Figura 2. Mapa de localización del área de estudio, localizada en la península de Baja California entre las localidades de Punta Márquez al Norte y Punta Lobos.

1.4.2 Clima e hidrodinámica costera

El clima predominante para la región sur de la península de Baja California es seco y extremo con lluvias escasas, clasificado como árido semi-árido (clasificación de Köppen, en Murillo, 1999). Las cordilleras montañosas presentes en esta región controlan de manera importante las lluvias estacionales. Sin embargo uno de los principales factores en el origen de las escasas pero torrenciales lluvias en la región, es la presencia de ciclones tropicales, típicos

entre los meses de agosto – octubre. El promedio anual de evapotranspiración potencial es mayor a 200 mm, con una precipitación promedio anual de 100 mm (Murillo, 1999). Para las llanuras cercanas al Océano Pacífico donde se encuentra el área de estudio el clima va de muy seco templado a seco templado con una temperatura media anual entre 18 a 22° C y con una precipitación media anual de 100 a 150 mm (Informe de la carta Geológico-Minera, La Paz G12-10-11, 1999).

La costa del área de estudio está expuesta directamente al régimen de alta energía del Océano Pacífico. En general para la costa de Baja California los vientos en el verano tienen una dirección sureste – noroeste, siendo inversa para el invierno, noroeste – sureste (Troyo, 2003). A finales del verano y durante el otoño se recibe la influencia de ciclones tropicales, con mayor actividad entre agosto y septiembre; hacia fines de septiembre los vientos alisios producen lluvias ocasionales (Troyo, 2003). En la franja litoral los vientos son afectados por un sistema de brisas tierra – mar, las cuales producen una pronunciada variabilidad diurna en la fuerza y dirección del viento (Wright et al., 1973). El viento dominante del noroeste produce una dirección resultante del oleaje hacia el sureste, con variaciones estacionales menores (Murillo, 1999). El régimen de oleaje está dominado por *swell* y en menor proporción por oleaje de viento y de infragravedad (Troyo, 2003). Las mareas astronómicas a lo largo de la costa Pacífico son de tipo mixtas presentando una pronunciada desigualdad diurna. Los rangos de marea presentan variabilidad espacial a lo largo de la costa, sin embargo, los valores promedios se encuentran entre 1.3 m a 1.85 m. La onda de marea a la largo de la costa Pacífico de la Península de Baja California y sur de California se propaga hacia el noroeste (Wright et al., 1973).

1.4.3 Tipos de costas

La República Mexicana se compone por diversas unidades costeras que presentan diferenciaciones a gran escala, que pueden deberse a factores

tectónicos, genéticos y geomorfológicos. Según Gutiérrez Estrada (1987), basado en Inman y Nordstrom (1971) y Shepard (1973), las costas mexicanas se clasifican en nueve unidades regionales de acuerdo con sus características más representativas. Así el área de estudio corresponde a costas de colisión, subtipo costas de colisión continental. Las costas de colisión se presentan en los márgenes continentales cuando una placa oceánica delgada choca con una placa continental más gruesa. No obstante, cabe mencionar que este ambiente tectónico no está presente en la actualidad, sin embargo existen evidencias geológico-tectónicas como el Complejo Ofiolítico de Magdalena, que suponen para esta región un sistema convergente que estuvo activo hace varios millones de años.

1.4.4 Morfodinámica de playas

El estudio morfodinámico del ambiente litoral considera que no es posible estudiar separadamente el efecto del oleaje, la corriente en el litoral y la morfología del perfil costero, pues dichos aspectos interactúan estrechamente (Komar, 1998). Bajo esta perspectiva, se ha considerado que el comportamiento del litoral respecto al oleaje incidente puede ser disipativo, reflectivo o intermedio entre ambos y que el predominio de un determinado comportamiento es función de la morfología del litoral (Komar, 1998). En zonas costeras donde la pendiente es suave ó existen barras de arena, las olas rompen mucho antes de llegar a la playa y la energía del oleaje que alcanza la orilla es muy inferior al original. En este caso se habla de playas disipativas, que suelen presentar una rompiente de la ola en la barra situada en la parte exterior del perfil, la ola se reforma a su paso por el canal y vuelve a romper en la playa (figura 3). Cuando la pendiente de la playa es mayor y no existen barras de arena en el perfil litoral, las olas se propagan hasta la orilla sin sufrir modificación, de forma que la playa recibe todo el impacto del oleaje y puede reflejar buena parte de esta energía. En este caso, se denominan playas reflectivas (figura 3), donde existe una rompiente única en la playa, que puede generar una berma ó topografía rítmica de pequeña escala. Entre ambos comportamientos extremos se han definido una serie de estadios

intermedios, como el estadio de "barra transversal y corriente de retorno", en los que se presentan simultáneamente características disipativas y reflectivas, con presencia de barras, formación de topografía rítmica a lo largo de la playa y desarrollo de corrientes de retorno.

Para cuantificar el grado de disipación de energía del oleaje en una playa y el estado morfodinámico al que corresponde, se ha propuesto la utilización de dos parámetros (Komar, 1998): parámetro de no linealidad del oleaje ó de "surf-scaling" (**ss**) y un parámetro adimensional (**S**). El parámetro de "surf-scaling" se define como:

$$ss = \frac{(ab * w^2)}{(g * \tan^2 \beta)}$$

Siendo **ab** la amplitud de la ola en el punto de rompiente; **w**= $2*3.1416*T$; **T**= **período** del oleaje; **beta** la pendiente de la playa y **g** la aceleración de la gravedad. Para el cálculo del parámetro adimensional del estado morfodinámico (**S**) se incluye una variable que define el tamaño del sedimento (**ws**) en la forma:

$$S = \frac{H_b}{(T * ws)}$$

Siendo **H_b** la altura de la ola en la rompiente; **T** el período y **ws** la velocidad de sedimentación de las partículas.

Los dos parámetros definidos varían de una playa a otra. Considerando una misma playa, varían en función de las condiciones del oleaje en un momento determinado y de la posición en el perfil litoral donde se calculen los parámetros (Komar, 1998). Considerando la distribución de ambos parámetros a través del perfil litoral se ha desarrollado el modelo descriptivo de evolución. En este modelo se define un estado completamente disipativo y un estado altamente reflectivo y, entre ambos extremos, se presentan cuatro estados intermedios. Los estados morfodinámicos intermedios están caracterizados por un perfil litoral más complejo, en el que se desarrollan sistemas de barra y canal. Cada estado morfodinámico está definido por su morfología, procesos hidrodinámicos y de transporte de sedimento determinados (Komar, 1998).

1.4.4.1 Procesos de la zona de surf y de rompiente

Cuando las olas alcanzan una profundidad cercana a su altura, inician un proceso de inestabilidad la cual finaliza con la creación de la rompiente. Las olas reducen su velocidad, lo cual produce que ganen altura y cambien de forma. A una profundidad a la mitad su longitud de onda, las olas redondeadas comienzan a elevarse y sus crestas se hacen más cortas. Aunque su periodo sea el mismo, las olas reducen su velocidad y la longitud de la ola global se acorta. Finalmente la ola rompe cuando la profundidad es menor a 1.3 veces de su altura. El cambio de forma de la ola en aguas profundas depende de la longitud de onda, pero en aguas someras depende de su altura. Así, en aguas someras la altura depende de la longitud de onda y la pendiente de la playa.

1.4.4.2 Tipos de rompiente

- Rompiente *spilling*.

Este tipo de rompiente se origina cuando olas de pendiente suave (oleaje de periodo largo) llegan a playas con poca pendiente. Esto ocasiona filas de rompientes que se enrollan hacia a la playa (figura 3).

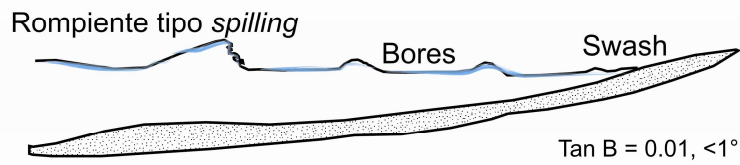
- Rompiente *plunging*.

Cuando las olas llegan a playas con pendientes moderadas a fuertes. La pendiente de una playa es muy variable y puede cambiar con la acción de las mareas. Algunas playas presentan mayor inclinación en pleamar, en contraste otras lo hacen en bajamar. Este oleaje es muy peligroso para los nadadores ya que es intensificado por el *backwash* de su predecesora (figura 3).

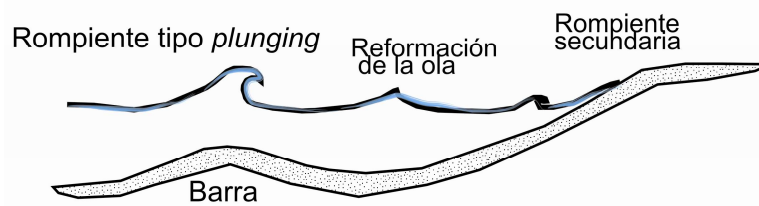
- Rompiente *surging*

Donde la pendiente de la ola es menor a la pendiente de la playa. Esto se da en playas de pendiente muy fuerte. La ola no se riza y rompe, pero corre contra la orilla, produciendo espuma y grandes oleadas de agua.

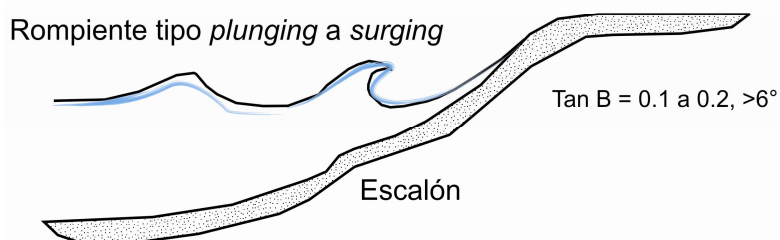
A. Playa disipativa



B. Playa intermedia



C. Playa reflectiva



Con el incremento de la pendiente de la rompiente los tipos de playa se hacen más reflectivos.

Figura 3. Características de los tres principales perfiles de playa: disipativo, intermedio y reflectivo; y tipos de rompiente (modificado de Komar, 1998).

1.4.5 Geomorfología

La morfología de la plataforma continental de la costa Pacífico de la península de Baja California es típicamente estrecha muy similar a la observada en la costa sur de California (figura 4). En el área de estudio su amplitud varía desde algunos cuantos kilómetros en el sur hasta alcanzar aproximadamente 35 km hacia la porción central (Wright et al., 1973).

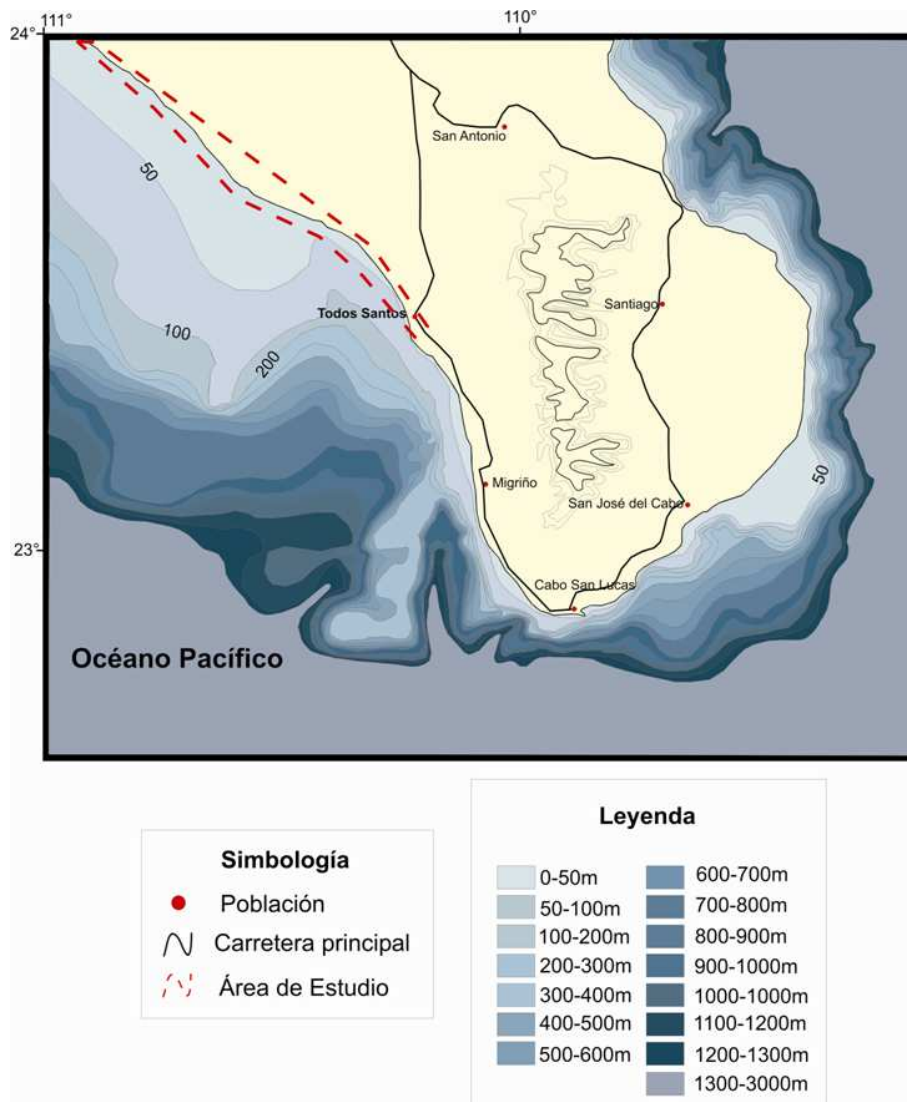


Figura 4. Batimetría de la plataforma continental del margen Pacífico Sur de la Península de Baja California (Modificada de carta batimétrica).

El área de estudio está ubicada en la Provincia Fisiográfica de Baja California, la cual se divide en 4 subprovincias, Discontinuidad del desierto de Vizcaíno, Discontinuidad de Llanos de Magdalena, Sierra de La Giganta y Región del Cabo, siendo la subprovincia de la Discontinuidad de Llanos de Magdalena donde se encuentra el área de estudio (figura 5) (Carta Geológica Minera La Paz, 1999). Esta subprovincia se caracteriza por ser una extensa llanura con algunos lomeríos bajos aislados, constituida por rocas sedimentarias y volcanosedimentarias (Carta Geológica Minera La Paz, 1999). En la zona de Todos Santos, en el extremo sur del área de estudio, afloran rocas graníticas y metamórficas. No obstante, el área de estudio limita al este con la subprovincia fisiográfica de la Región del Cabo, la cual ejerce una gran influencia a lo largo del área, debido a que en la Región del Cabo se originan las principales corrientes fluviales que atraviesan y desembocan en la parte sur del área de estudio. Estas corrientes son la principal fuente de aporte de material sedimentario (arenas, gravas principalmente) que finalmente es depositado dentro del área de estudio. La Región del Cabo se caracteriza por presentar un conjunto de sierras de origen plutónico, con orientación norte –sur (figura 6).

Wright y colaboradores (1973) realizaron un estudio de procesos geomorfológicos de la línea de costa de la península de Baja California, en el cual dividieron la península en dos zonas primarias; Zona I Costa del Pacífico y Zona II Golfo de California. Cada zona fue subdividida en varias provincias. El área de estudio se encuentra dentro de la provincia 9, la cual está ubicada entre Punta Tosca al norte y la población de Todos Santos al sur. Esta provincia se caracteriza por presentar series de playas continuas. La fuerza de oleaje se incrementa hacia el sur donde las barreras arenosas se hacen más estrechas y las playas convergen con acantilados bajos de rocas sedimentarias del Cuaternario. La mayoría de los acantilados son sólo activos en épocas de tormenta (Wright et al., 1973). Estos acantilados se pueden observar en la porción norte del área de estudio, desde la localidad de San Isidro de las Palmas hasta Punta Márquez.

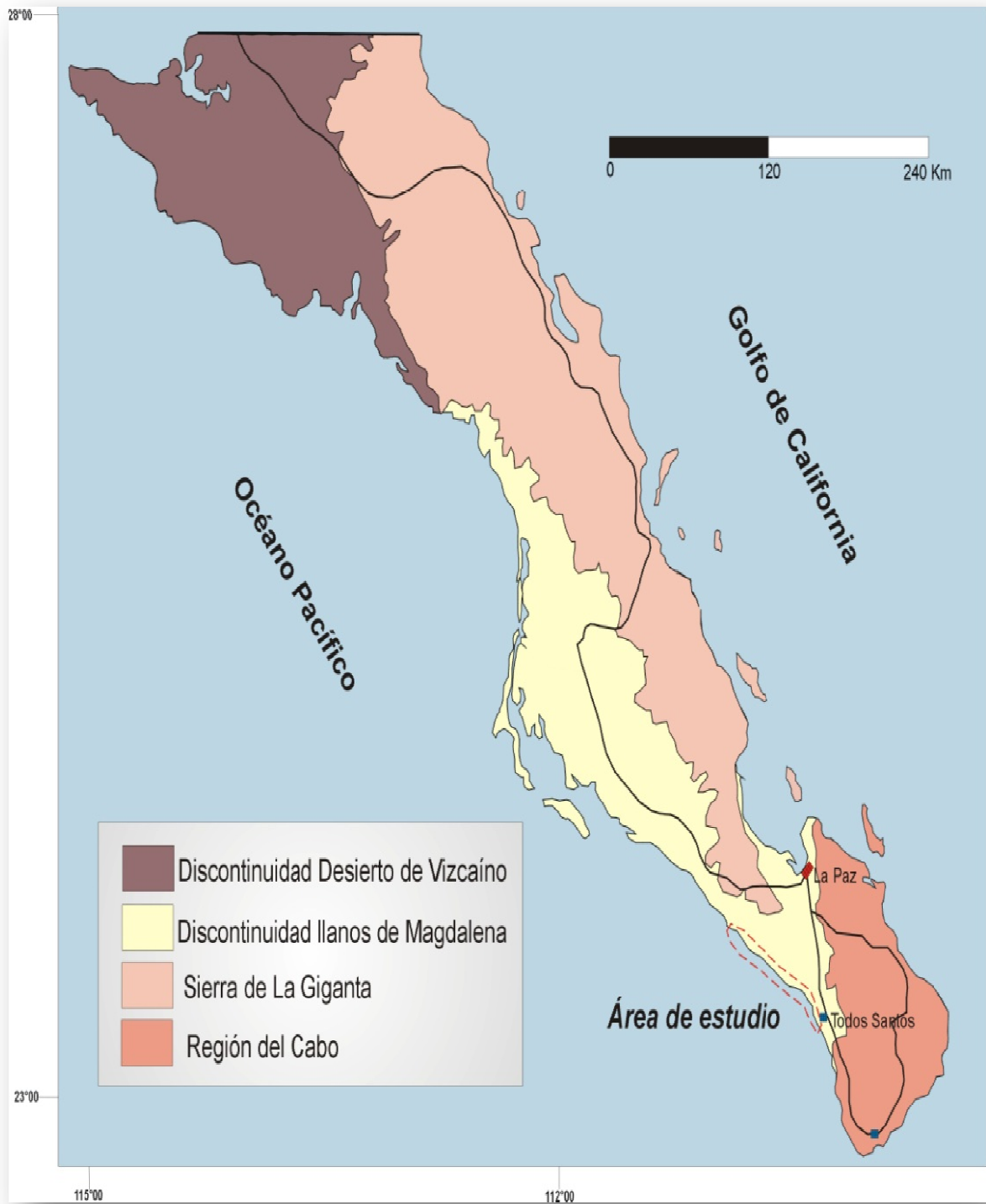


Figura 5. Subprovincias fisiográficas de Baja California Sur (Modificado de Informe de la Carta Geológica minera San José del Cabo, 2002). El área de estudio se localiza en la Subprovincia Discontinuidad Llanos de Magdalena.

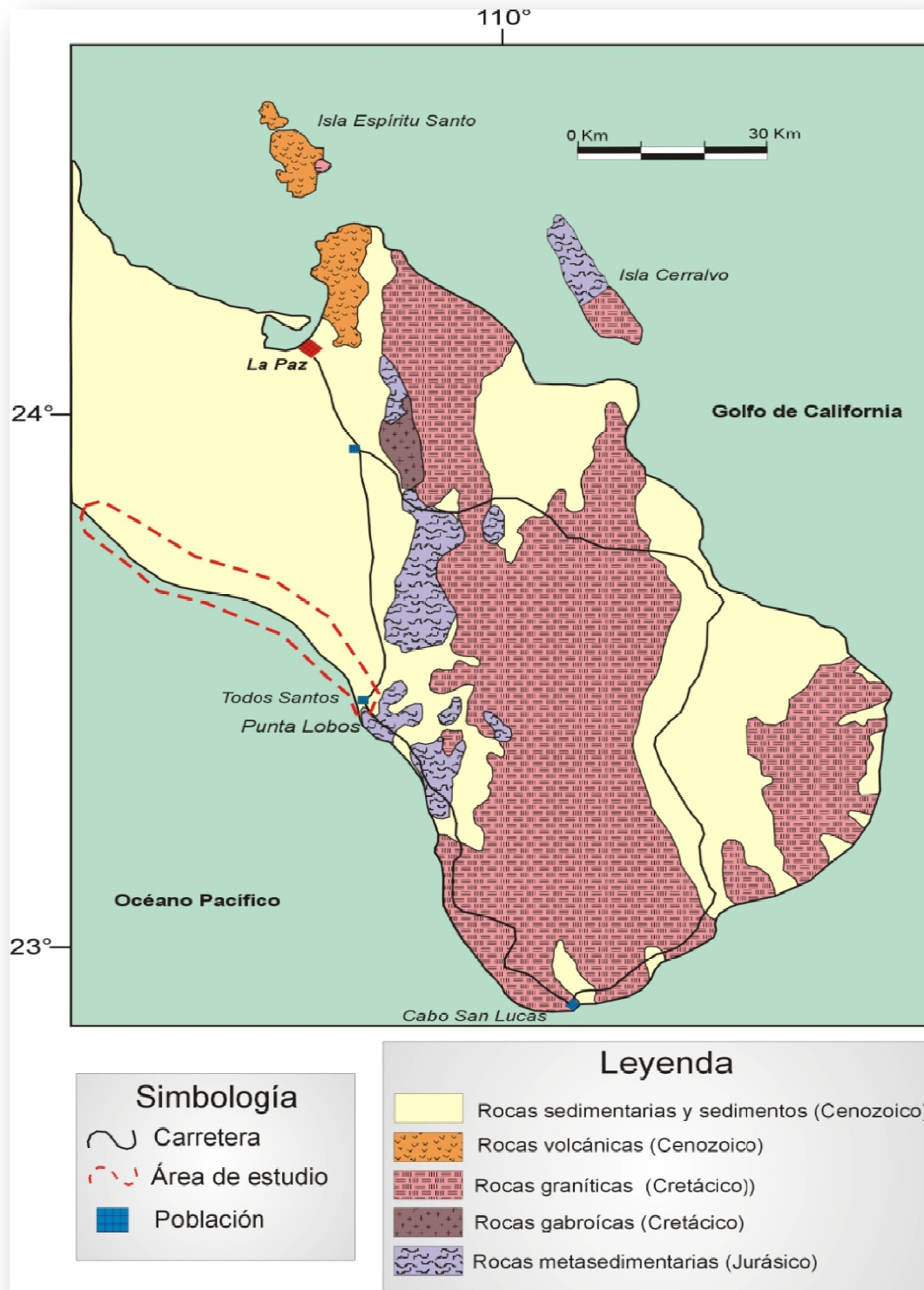


Figura 6. Litología general del Bloque Tectónico de Cabo San Lucas o Región del Cabo (Modificado de Shaaf et al., 2000). Nótese que el área de estudio se localiza sobre rocas sedimentarias del Cenozoico y sedimentos del Cuaternario.

1.4.6 Periodo Cuaternario y Época Pleistocénica

El término Cuaternario fue introducido por Desnoyers en el año de 1829 para describir unos depósitos marinos más recientes que los considerados del Terciario en la Cuenca del Río Sena. Posteriormente, Charles Lyell en 1839 introdujo los términos Pleistoceno y Holoceno como subdivisiones del Cuaternario. Desde entonces se ha cuestionado la presencia del periodo Cuaternario, centrándose en la discusión en si los procesos y depósitos cuaternarios son suficientemente particulares y distintivos como para considerarlo un periodo dentro de la escala del tiempo geológico, claramente diferenciable del Terciario, o si habría que incluirlo en el Neógeno. Los depósitos marinos del Pleistoceno se subdividen en función de las variaciones en la proporción isotópica de O^{16}/O^{18} . Estas variaciones reflejan los cambios del volumen de hielo como consecuencia de cambios de temperatura.

El Pleistoceno Inferior es caracterizado por la alternancia de eventos climáticos abruptos (episodios glaciares e interglaciares) con ciclos dominantes de 41 ka y 23 ka. A partir de los 900 ka los ciclos climáticos ampliaron su periodicidad a 100 ka. Dentro de los ciclos de 100 ka, según el registro isotópico, ocurre un crecimiento lento y oscilante de los casquetes de hielo, seguido de un rápido derretimiento del hielo con duración de unos 10 ka. Las pequeñas oscilaciones de 41 ka y 23 ka no desaparecen, sino que persisten como oscilaciones ocultas bajo el ciclo de 100 ka. El inicio del Pleistoceno Medio se establece a los 780 ka, coincidente con la inversión paleomagnética Matuyama / Brunhes y el estadio isotópico 19. Durante el Pleistoceno Medio hay seis fases de gran crecimiento de los casquetes de hielo (estadios isotópicos 18, 16, 14, 12, 10 y 8) y seis fases de desglaciación (estadios isotópicos 17, 15, 13, 11, 9 y 7).

El comienzo del Pleistoceno Tardío se establece a los 128 ka, coincidiendo con la base del estadio isotópico 5, conocido como el último periodo interglaciar. A escala global el nivel del mar alcanzó entre 6 y 7 m por encima del nivel medio

actual (Chappell y Shackleton, 1986). El último periodo interglacial está subdividido en cinco subestadios isotópicos (figura 7), 2 subestadios fríos y 3 cálidos, los cuales corresponden a periodos de calentamiento y enfriamiento global. El subestadio 5e marca el máximo interglacial y se le denomina Eemiano en Europa y Sangamoniano en Norteamérica (figura 7). El subestadio 5e se caracteriza por un calentamiento global, reflejado en el registro isotópico, el cual dio lugar a una reducción importante del casquete glaciar de la Antártida y a la desaparición de parte del casquete glaciar de Groenlandia.

A lo largo de la línea de costa del sur de Baja California afloran depósitos marinos del Cuaternario atribuidos al último interglacial. En algunas localidades el espesor de las terrazas puede alcanzar más de 7 m; sin embargo, son comunes espesores menores de 1m. Las variaciones del espesor de los depósitos reflejan las variaciones de la paleotopografía al inicio del interglacial (DeDiego – Forbis et al., 2004).

Los estadios isotópicos 4, 3 y 2 corresponden al ciclo glaciar Wurmense (Europa) o Wisconsiniano (región de Norteamérica) (figura 7), última glaciación del Cuaternario, que inició hace 74, 000 años AP y culminó hace aproximadamente 10,000 años AP. Entre el final del subestadio 5a y el principio del estadio isotópico 4 (74-59 ka), se registra una rápida glaciación con fuerte acumulación de hielo en el hemisferio norte debido a una baja insolación en verano y alta insolación en invierno que favorecen el crecimiento de los casquetes de hielo. En tanto que en el estadio isotópico 3 (59-28 ka) el clima global fue frío pero con un patrón climático muy complejo, encabezado por los ciclos Dansgaard-Oeschger (D/O). Un periodo de calentamiento entre el estadio 4 y el estadio 3 hace 60 ka parece ser evidente por la presencia de paleosuelos en Europa del este y Rusia. En el estadio isotópico 2 se alcanza el máximo crecimiento de los casquetes glaciares en el hemisferio norte que comienza hace unos 28,000 años AP. Durante este estadio isotópico, el nivel del mar descendió unos 120 m con respecto al nivel actual. Alrededor de los 18,000 años AP se alcanzó el volumen máximo de los hielos.

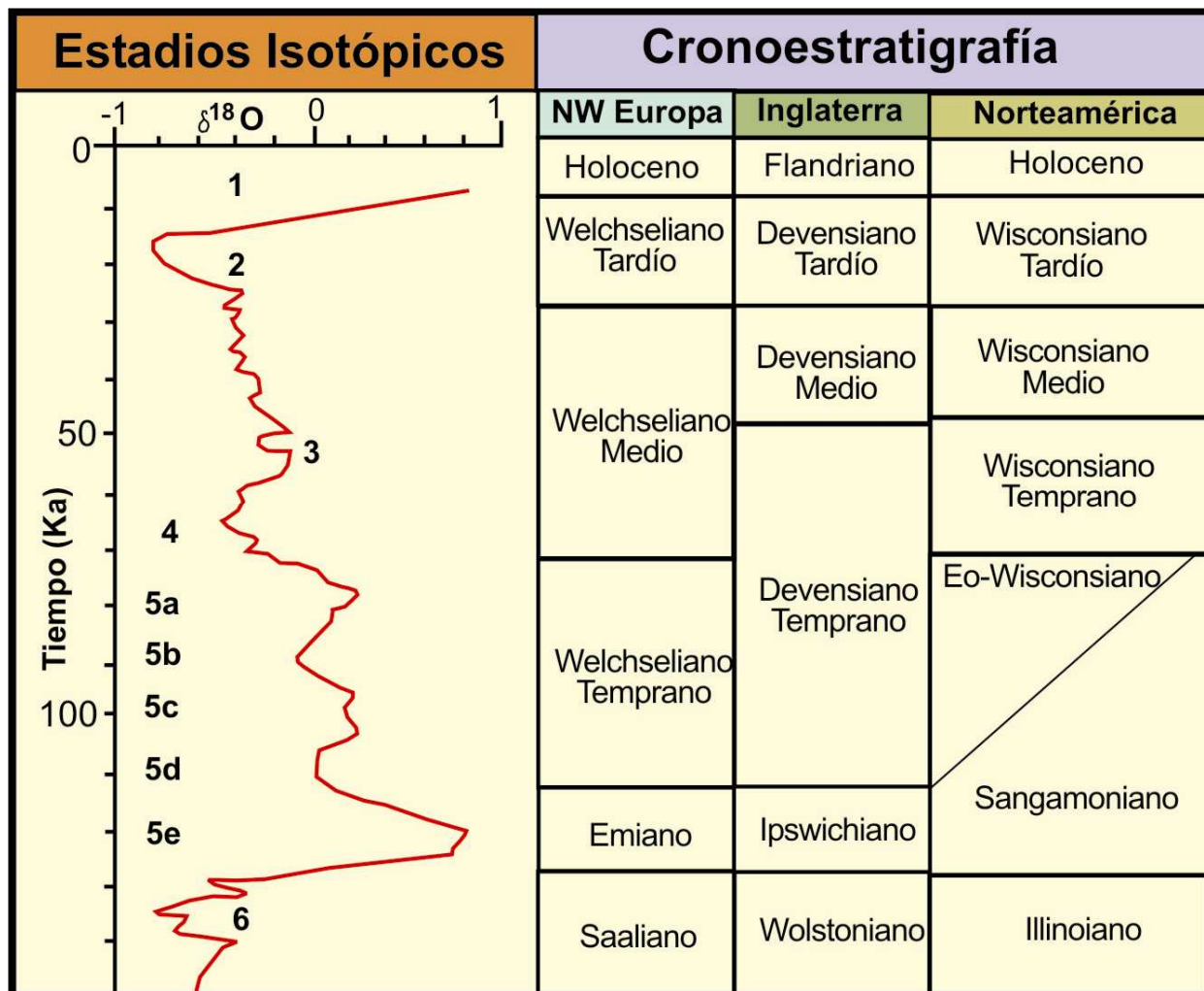


Figura 7. Estadios isotópicos marinos y cronoestratigrafía del Pleistoceno Tardío (Modificado de Martinson et al. 1987 y Lowe & Walker 1997).

1.4.7 Clima del Pleistoceno Tardío y Holoceno

Durante el Cuaternario el planeta Tierra ha pasado por varios intervalos de tiempo, durante los cuales el clima se hace relativamente más frío, estos periodos son conocidos como glaciaciones. El tiempo entre la ocurrencia de una era glacial y otra es conocida como interglacial, durante la cual el clima es más cálido. En los periodos glaciares el nivel del mar tiende a bajar, por la acumulación del agua en las masas de hielo, mientras que en los periodos interglaciares tiende a elevarse

debido al deshielo de los casquetes polares. Durante los periodos interglaciares debido al ascenso del nivel del mar se forman depósitos marinos y costeros, que actualmente se encuentran en zonas topográficamente más elevadas.

Entre los 60 a los 30 ka ocurrieron abruptas fluctuaciones climáticas conocidas como los ciclos de Dansgaard-Oeschger (D/O). Este periodo de tiempo corresponde al Estadio Isotópico 3 o MIS 3 por sus siglas en inglés *Marine Isotope Stage* (Meerbeeck, 2007). Registros de proxys climáticos recabados de núcleos marinos, terrestres y de hielo de la región del Atlántico norte muestran claras evidencias de los ciclos D/O (Meerbeeck, 2007). Las evidencias de dichas fluctuaciones consisten en un fuerte y abrupto calentamiento durante la transición de periodos fríos a periodos cálidos, seguidos por una fase de enfriamiento gradual. Información de depósitos sedimentarios del estadio isotópico 3 es escasa, debido a que el último máximo glacial (MIS 2) erosionó las evidencias del MIS 3 (Fiebig, 2006).

Durante el Holoceno estas fluctuaciones no han sido tan contrastantes como las ocurridas a finales del Pleistoceno. Sin embargo han ocurrido ligeros cambios climáticos que han quedado registrados en depósitos sedimentarios. De acuerdo a estudios palinológicos las condiciones climatológicas para el Holoceno Temprano eran más frías que las actuales, con una variación para la región noroeste de México entre templado-seco y templado-húmedo para la zona de Baja California Sur (Sirkin, 1994). Este intervalo de clima templado ha sido correlacionado con muestras de sedimento tomadas en el Golfo de California, las cuales mostraron un clima frío a templado para este periodo de tiempo (Sirkin, 1994). Aunque, estudios realizados en costas estadounidenses señalan un gran contraste estacional para el Holoceno Temprano, es decir los veranos eran más cálidos y los inviernos mucho más fríos que en la actualidad (Fairbridge, 1992). Para los 7000 años AP el clima se tornó cálido-seco alcanzando un máximo entre los 5000 y 4000 años AP (Óptimo Climático del Holoceno). Finalmente en el

Holoceno Tardío (alrededor de los 2000 años AP), fue distinguida una fluctuación climática templada-cálida-templada para el noroeste de México (Sirkin, 1994).

1.4.7.1 Óptimo Climático del Holoceno

El óptimo climático del Holoceno fue un periodo cálido que abarcó entre los 9,000 – 6,000 años AP. Este evento también es conocido con otros nombres como: Termal Máximo del Holoceno y Megatermal del Holoceno. Durante este tiempo la temperatura se elevó cerca de 4°C en el hemisferio norte. El Megatermal fue un período prolongado de clima cálido y relativamente estable, caracterizado por temperaturas de verano mayores que las actuales, aún en los intervalos fríos. La temperatura promedio durante el invierno entre los 60° y 70° sur se mantuvo por encima de los 0° C (Walther *et al.* 2004), el intervalo de temperatura de la superficie del océano fue mayor que la actual y el patrón de circulación océano-atmósfera se desplazó hacia el sur. Se ha encontrado que cuando aumenta la temperatura de la superficie del océano se acrecienta la precipitación pluvial (Watt *et al.* 2000). En la costa del Atlántico sudamericano se encontró que los taxones de moluscos de temperatura cálida fueron más abundantes para este periodo de tiempo (Aguirre, 2002).

1.4.8 Cambios eustáticos durante el Holoceno

El cambio relativo del nivel del mar durante el Holoceno es particularmente importante debido a que exhibe una variación considerable en diversos puntos geográficos alrededor del planeta. Durante el Holoceno Temprano se registró, en Norteamérica, un rápido incremento de la insolación durante el verano, ocasionando el derretimiento masivo de las grandes capas de hielo situadas en latitudes medias. Este fenómeno ocasionó una transgresión marina conocida como Flandriana (Fairbridge, 1992) ó Transgresión Marina del Cuaternario Tardío. Algunos modelos de la Transgresión Flandriana basados sólo en algunos datos simples dan como resultado una curva suave de transgresión (figura 8).

Resultados más completos basados en estudios climáticos, geomorfológicos y estratigráficos definieron de manera más certera la curva eustática post-glacial (figura 8), lo cual permitió para antes de los 6000 años AP identificar cuatro fluctuaciones importantes. Durante ese tiempo se dio un rápido ascenso en el nivel del mar del orden de varios metros, especialmente antes de los 6000 años AP (Fairbridge, 1992).

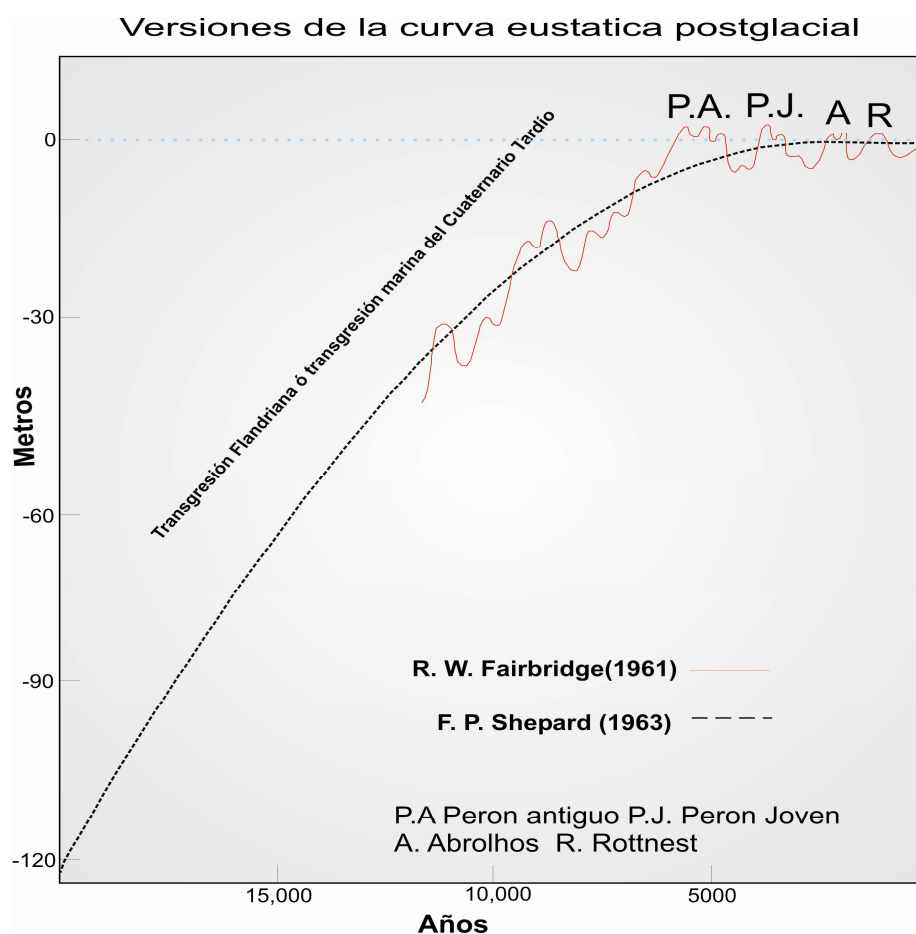


Figura 8. Curvas de la transgresión Flandriana ó transgresión marina del Cuaternario Tardío (Modificado de Fairbridge, 1992).

1.4.9 Geología Regional

El extremo sur de la península de Baja California se caracteriza geológicamente por presentar afloramientos de rocas metasedimentarias, plutónicas y sedimentarias. Las primeras pueden agruparse en un complejo metamórfico formado por orto y paragneis de alto grado de metamorfismo, anfibolitas, secuencia de calcosilicastos (skarn) y migmatitas, que en conjunto representan remanentes de una secuencia sedimentaria y plutónica (Shaaf, P. et al., 2000). Las rocas plutónicas comprenden gabros, tonalitas, granodioritas y granitos cortados por varios sistemas de diques diabásicos, pegmatíticos, andesíticos e intermedios. Las rocas sedimentarias son principalmente conglomerados y areniscas pertenecientes a depósitos de abanicos aluviales. Sin embargo pueden encontrarse pequeños afloramientos de rocas marinas del Cenozoico como la Formación Salada y más al norte la Formación Tepetate de edad Paleoceno – Eoceno. Además existen abundantes depósitos cuaternarios como terrazas marinas, eólicos, lacustres, litorales y aluviales. El área de estudio colinda con el Bloque Tectónico de Los Cabos conformado por varias sierras, entre ellas La Laguna, La Victoria, La Trinidad. Estas sierras forman parte del Batolito Peninsular conformado por rocas ígneas y metamórficas principalmente. Sin embargo las rocas más comunes que afloran en el área de estudio son de origen sedimentario como conglomerados, areniscas conglomerádicas y areniscas de diferentes edades.

En la zona se han realizado trabajos de cartografía geológica por parte del antiguo Consejo de Recursos Minerales (actualmente Servicio Geológico Mexicano) (figura 9). Sin embargo estos trabajos son regionales (escala 1:250,000), y no se trata con detalle el área de estudio.

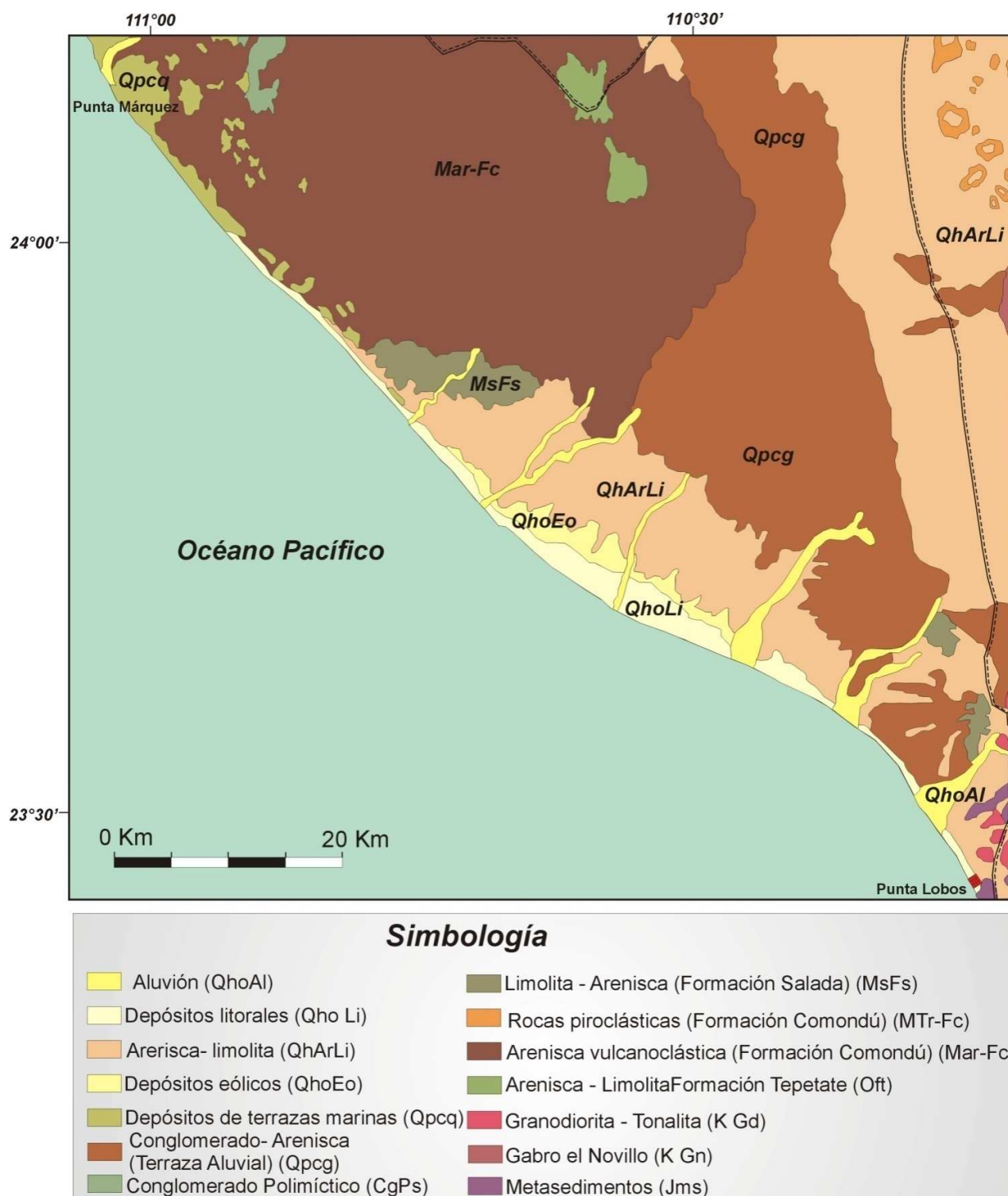


Figura 9. Mapa geológico general del área de estudio (Modificado de la Carta Geológica minera La Paz, escala 1:250,000 y San José del Cabo, escala 1:250,000).

- Rocas metasedimentarias (Jurásico?)

En el extremo sur de la península de Baja California, se presentan afloramientos aislados de rocas metasedimentarias asociadas con la intrusión del Batolito Peninsular durante el Mesozoico.

Cerca de la población de Todos Santos (extremo sur del área de estudio) afloran rocas sedimentarias metamorizadas que constituyen el terreno en que fueron emplazados plutones sin y post tectónicos (Aranda Gómez y Pérez Venzor, 1989). Estas rocas metamórficas principalmente filita y anfibolitas, están expuestas en afloramientos aislados. Con base en la composición global y mineralógica, estructural y aspectos generales de las rocas, el sistema metasedimentario fue dividido en tres litodemas a los que se les ha dado los siguientes nombres informales: Gneis Punta Lobos, mármol Todos Santos y filita Cardonozo (Aranda Gómez y Pérez Venzor, 1989). El protolito de estas pantallas metasedimentarias corresponde a una secuencia sedimentaria de edad desconocida compuesta por intercalaciones de lutitas, arcosas, margas y calizas depositadas en un margen continental (Aranda Gómez y Pérez Venzor, 1989). Posiblemente se originaron mediante metamorfismo regional en zonas de temperatura alta y presión baja. Se encuentra en la parte media de la facies anfibolita (Aranda Gómez y Pérez Venzor, 1988).

- Rocas ígneas intrusivas (Cretácico)

La península de Baja California está constituida por rocas cristalinas cretácicas que conforman el basamento. Aranda Gómez y Pérez Venzor (1988) reportaron estas rocas como los afloramientos más antiguos en Punta Coyotes y en la isla Espíritu Santo. Estas rocas se consideran como parte de lo que se ha nombrado Complejo Cristalino de La Paz que presenta una composición granítica bastante uniforme. El fechamiento por K - Ar en rocas como tonalita de La Buena Mujer y el granito de las Cruces muestran edades entre 95 – 87 Ma (Aranda

Gómez y Pérez Venzor, 1989). Las rocas más abundantes en el Bloque de los Cabos son rocas intrusivas graníticas y tonalítica no deformadas.

Estas rocas presentan como principales minerales formadores de roca: Plagioclasa (Oligoclasa) + cuarzo + alkalifeldespatos + biotita + hornblenda y como minerales accesorios: mica blanca, apatito, esfena, zircón, magnetita y minerales opacos (Schaaf et. al, 2000).

- Rocas Cenozoicas Terciarias

Según los mapas Geológicos correspondientes a las cartas La Paz y San José del Cabo escala 1:250,000 (Consejo de Recursos Minerales, 1999), dentro del área de estudio afloran rocas sedimentarias y vulcanoclásticas del Terciario. Las rocas más antiguas corresponden a la Formación Tepetate, la cual sólo aflora en una pequeña área en el extremo norte del área de estudio (figura 4). Esta formación fue propuesta por Heim en 1922, la cual consiste principalmente de areniscas, limolitas de color beige, con proporciones menores de fangolitas y calizas. Esta formación tiene una distribución amplia en el lado occidental de la sierra La Giganta; desde la región de los arroyos El Conejo y El Aguajito en el sur hasta la región de Santa Rita en el norte. Petrográficamente, corresponden a sedimentos ricos en cuarzo y feldespato. Estudios paleontológicos sugieren una edad Paleoceno Inferior – Eoceno Medio (Informe de la Carta geológico – minero, La Paz, 1999).

En la porción central del área de estudio afloran areniscas vulcanoclásticas y tobáceas pertenecientes a la Formación Comondú del Mioceno Medio (figura 4), la cual fue definida por Heim en el año de 1922 como una secuencia de areniscas y conglomerados que afloran a lo largo del arroyo Comondú, cerca del poblado de San José de Comondú. Hausback (1984), restringe el nombre de Formación Comondú al arco miocénico representado por rocas vulcanoclásticas y volcánicas que conforman el grueso de la Sierra la Giganta, pero excluye los derrames más

jóvenes, relacionados a actividad post-arco. La Formación Comondú es una secuencia de rocas volcánicas y volcanoclásticas que en la sierra La Giganta pueden sobrepasar los 1200 m de espesor (Hausback, 1984). Está constituida por intercalaciones de areniscas volcánicas y conglomerados, brechas volcánicas de composición andesítico - dacítico – riolítica, toba riolíticas, derrames de lava andesíticos generalmente masivos y brechas andesíticos. La litología más abundante en la Formación Comondú son areniscas vulcanoclásticas y conglomerados. Las areniscas están compuestas por fragmentos de rocas volcánicas, presentan fragmentos de pómez y de vidrio volcánico.

En la porción norte del área de estudio aflora una secuencia sedimentaria marina conocida como Formación Salada, la cual fue propuesta por Heim en 1922 para rocas que afloran en el arroyo Santa Rita. (Informe de la Carta geológico – minero, La Paz, 1999). Esta formación se distribuye principalmente en la planicie costera occidental de la península. Los afloramientos más al sur se ubican en el área de Ley Federal de Reforma Agraria #1 (Informe de la Carta geológico – minero, La Paz, 1999). La secuencia está compuesta principalmente por limolitas, areniscas e intercalaciones de coquinas, con colores que varían de beige y beige verdoso a amarillo. Generalmente, son rocas blandas con poca resistencia a la erosión. Mineralógicamente tienen una composición volcanoclástica o cuarzo-feldespática, indicando un retrabajamiento del sedimento. Las limolitas y areniscas se encuentran intercaladas con capas ricas en coquina, con espesores que van desde varios decímetros, hasta más de un metro. Estos estratos están mejor cementados y por esto presentan una mayor resistencia al intemperismo (Informe de la carta Geológico – minero, La Paz, 1999). La Formación Salada sobreyace discordantemente a las formaciones Tepetate y Comondú y está sobreyacida por terrazas marinas y aluviales y depósitos eólicos del Pleistoceno – Holoceno (Informe de la Carta geológico – minero, La Paz, 1999). Heim (1922) propuso una edad de Plioceno para la Formación Salada.

- Rocas y depósitos del Cuaternario

En el área de estudio afloran principalmente rocas sedimentarias poco consolidadas, como es el caso de conglomerados y areniscas pertenecientes a depósitos de abanicos aluviales antiguos. Además, abundan depósitos cuaternarios como terrazas aluviales, terrazas marinas, depósitos eólicos, lacustres, litorales y aluviales.

A lo largo de la costa de la península de Baja California afloran depósitos de terrazas marinas del Pleistoceno. Las terrazas presentan un mayor espesor en la costa del Pacífico. Estos depósitos se presentan principalmente en el extremo norte del área de estudio, cerca de Punta Márquez. Las terrazas están compuestas por areniscas de color beige, areniscas conglomerádicas, areniscas coquinoides y coquina arenosa (Informe de la Carta geológico – minero, La Paz, 1999).

Los depósitos eólicos antiguos localmente alcanzan espesores de varios metros. Están compuestos por arenas bien seleccionadas y normalmente todavía no consolidadas. Por lo general, la morfología original de las dunas no se ha preservado bien, debido a la erosión por el viento y la lluvia. Estos depósitos cubren de manera discordante a depósitos más antiguos como la Formación Salada y terrazas marinas (Informe de la Carta geológico – minero, La Paz, 1999).

En los cauces de los arroyos se presentan depósitos aluviales activos, su espesor es variable y puede alcanzar pocos metros en los arroyos principales. Se caracterizan por ser sedimento suelto y mal seleccionado, variando de arena a grava arenosa (Informe de la Carta geológico – minero, La Paz, 1999). Los depósitos eólicos se componen de arena bien seleccionada. Estos depósitos son del Holoceno y por lo general se encuentran cubriendo depósitos más antiguos como abanicos aluviales y terrazas marinas del Pleistoceno.

2. METODOLOGÍA

La metodología que se utilizó para cumplir con los objetivos del presente trabajo de tesis está conformada por las actividades siguientes:

2.1 Trabajo de campo

El trabajo de campo consistió en visitas y recorridos a lo largo del área de estudio. Para definir los límites del área de estudio fueron realizadas dos salidas de reconocimiento (febrero de 2007) con duración de un día cada una. Durante estas salidas se determinó dividir en tres zonas el área de estudio (zonas Sur, Central y Norte). Esta división se realizó a partir de las características geológicas y geomorfológicas, lo cual facilitó el trabajo de campo. El trabajo de campo se realizó en un periodo de un año entre los meses de febrero de 2007 a febrero de 2008. En cada sitio o localidad visitada se elaboró una descripción detallada de los rasgos geomorfológicos y geológicos presentes, además de realizar la colecta de muestras correspondientes.

Durante estas visitas al campo se realizaron caminamientos y recorridos en cada una de las zonas del área de estudio con ayuda de un vehículo 4x4 y en los sitios de difícil acceso por medio de una cuatrimoto. En total se recolectaron 96 muestras de sedimentos (Tabla 1).

Las muestras de playa, dunas bajas y duna frontal fueron obtenidas por medio de trincheras de 25 cm de profundidad, haciendo la colecta del sedimento mediante un cubo de plástico, con el cual se obtenían aproximadamente 500 gr de sedimento (figura 10). En cambio para las muestras de ambientes antiguos las trincheras se hicieron a mayor profundidad (40 cm) para evitar tomar el material superficial, el cual ha estado expuesto a los factores ambientales. Las muestras de sedimento de arroyo se tomaron cavando una trinchera de poca profundidad (10 cm aprox.) transversal al cauce del arroyo. Además se mezcló el sedimento con la finalidad de homogeneizarlo, en total se tomaron 500 g de muestra.

Tabla 1. Muestras obtenidas en campo

Ambiente	Número de muestras
Playa (cara de la playa)	18
Cordón de duna bajo (nabkhas)	7
Duna frontal	20
Arroyo	6
Planicie de inundación	1
Dunas antiguas	29
Planicie de inundación-sabkhas antiguos	6
Columnas estratigráficas	9
TOTAL	96

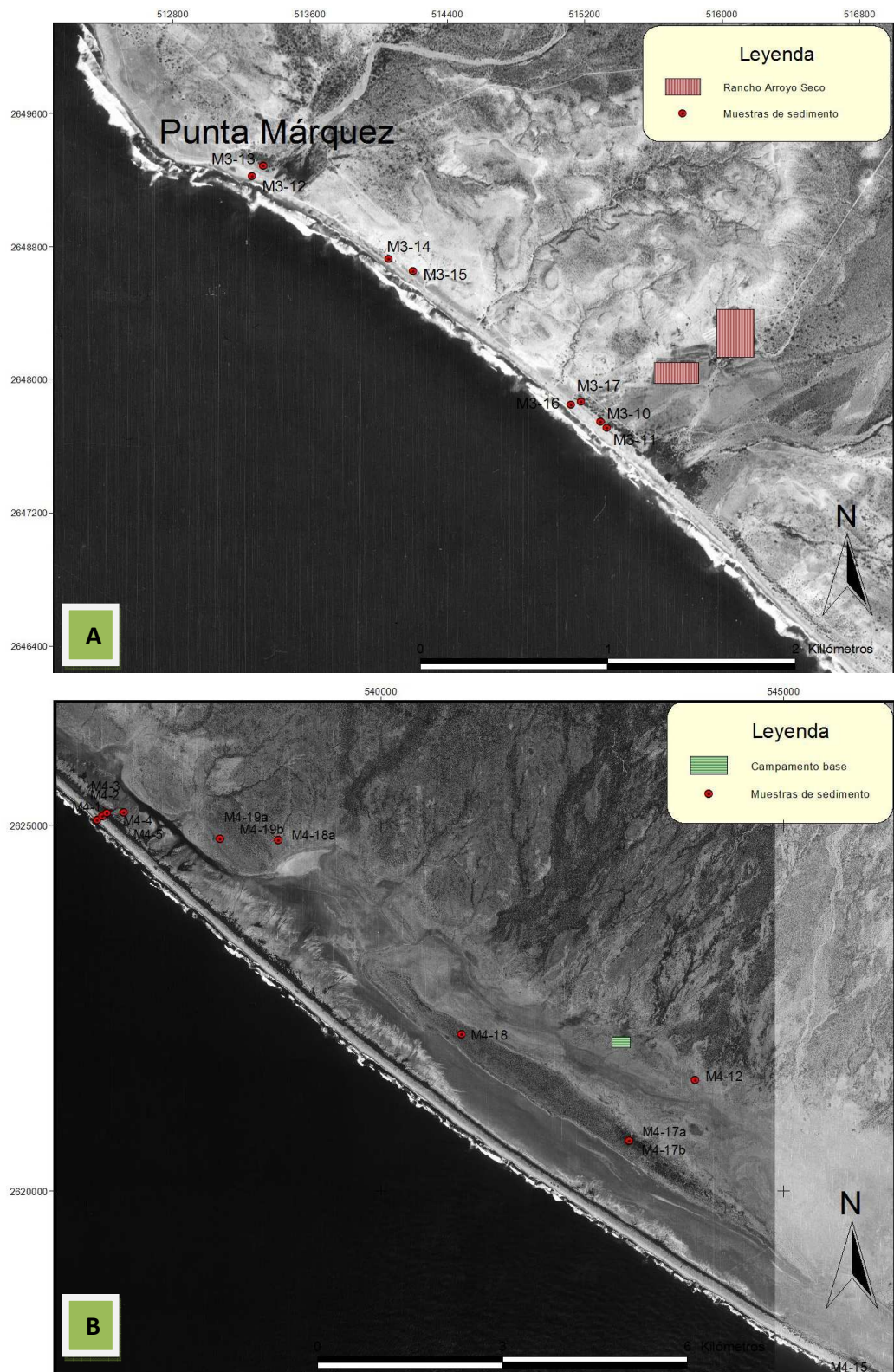
Se localizaron 3 sitios adecuados para la realización de columnas estratigráficas: (1) arroyo El Carrizal próximo a su desembocadura (Zona Central), (2) Arroyo Los Inocentes y (3) arroyo El Cuñaño (Zona Norte, en las inmediaciones del rancho San Isidro de las Palmas). En cada una de las columnas, con ayuda de cinta métrica, se midió el espesor de las capas de la secuencia sedimentaria. Posteriormente se describió a detalle cada una de las capas tomando en cuenta todas las estructuras sedimentarias que se pudieran reconocer, tales como el tipo de estratificación, icnofósiles, ritzolitos, entre otras estructuras. Además se detalló el contenido de moluscos, vestigios arqueológicos etc.



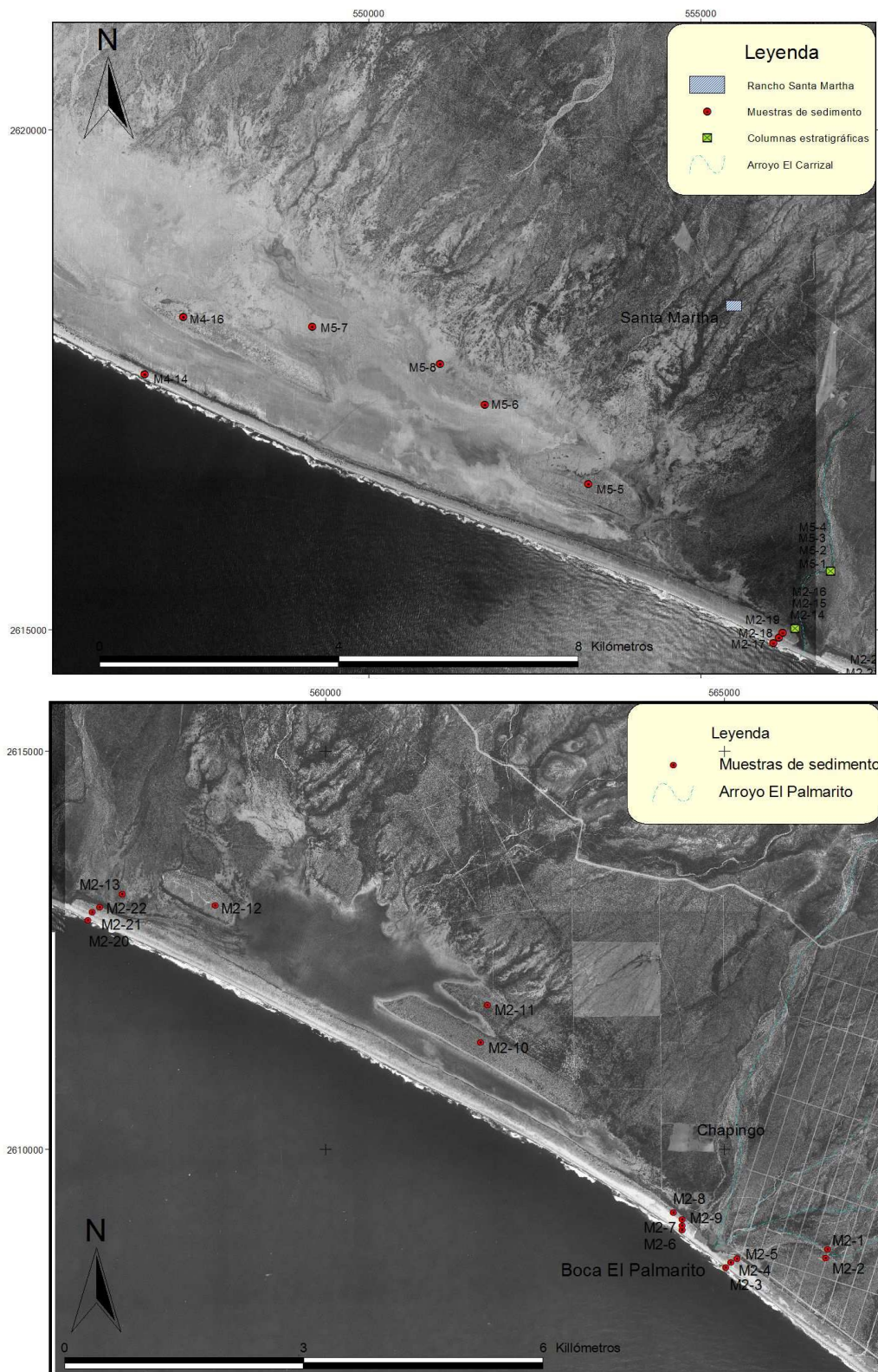
Figura 10. Actividades realizadas en campo, A y B colecta de muestras de sedimentos de duna antigua y cara de la playa, C y D afloramientos de depósitos Holocénicos.

2.2 Mapas de localización de muestras

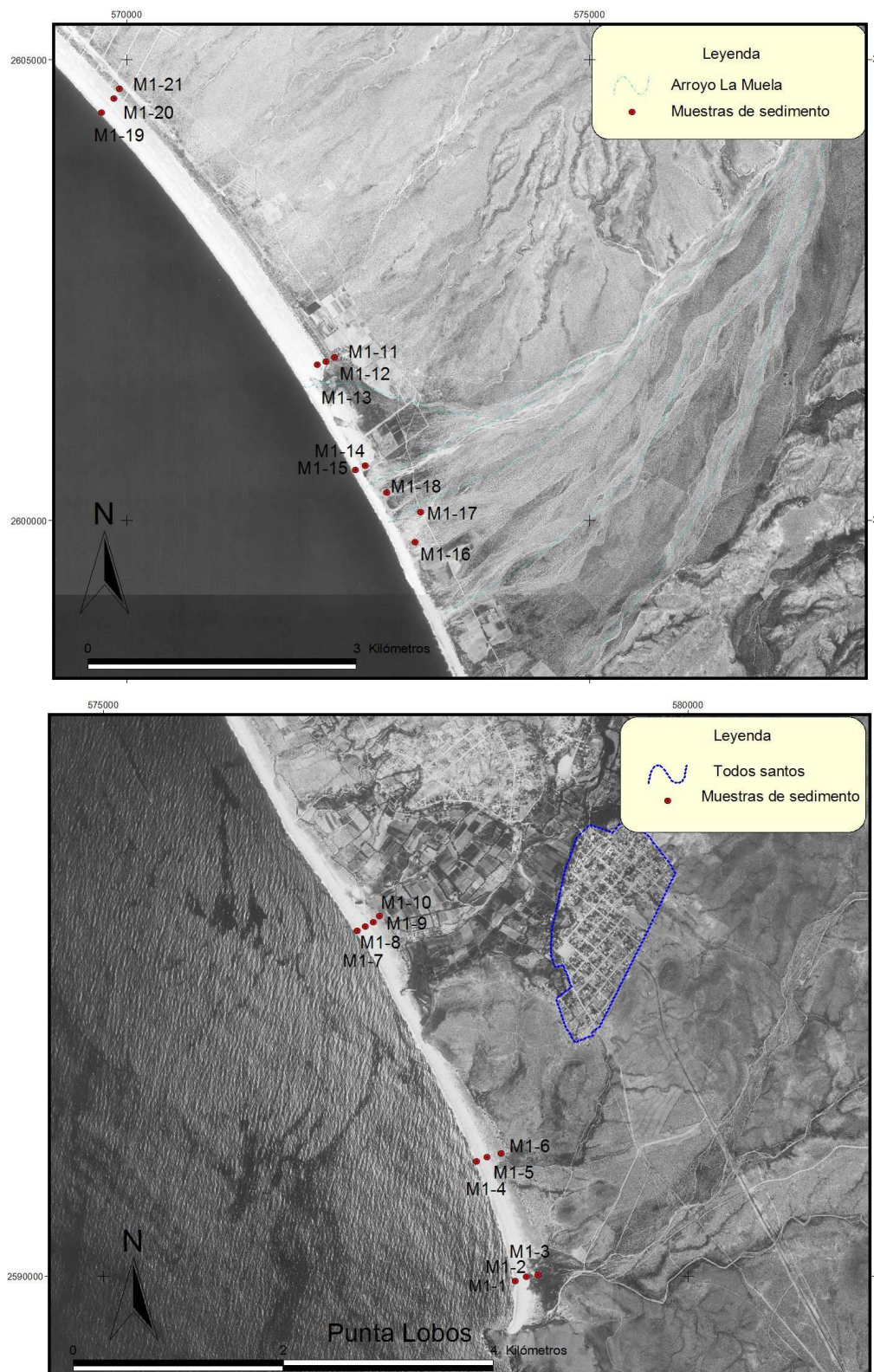
Con ayuda de ortofotos se realizaron mapas de localización de las 96 muestras de sedimento (ver tabla 1 y figuras 11 a 13) recolectadas lo largo del área de estudio. Cada sitio de muestreo fue georreferenciado con ayuda de GPS, en coordenadas UTM (Universal Transversal Mercator). Las referencias y características de cada una de las muestras se presentan en el ANEXO A. Debido a la extensión del área de estudio (más de 90 km), se presentan mapas por zona en secuencia de norte a sur.



Figuras 11. Mapas de localización de las muestras tomadas en la Zona Norte (A) y central del área de estudio (B).



Figuras 12. Mapas de Localización de las muestras de sedimento recolectadas en la Zona Central y Sur del área de estudio.



Figuras 13. Mapas de localización de las muestras de sedimento tomadas en la Zona Sur.

2.3 Perfiles topográficos

En algunas sitios de interés fueron realizados perfiles topográficos con la finalidad de conocer las diferencias morfológicas del sistema playa-duna entre cada una de las tres zonas del área de estudio. Los perfiles se realizaron perpendiculares a la línea de costa, iniciando en la cara de la playa y culminando en la zona más elevada de la duna frontal, esto con ayuda de cinta métrica, estatal, GPS y nivel de mano (figura 14). En la Zona Central, dentro de la localidad La Lagunita y La Laguna Grande se tomaron dos perfiles con la estación topográfica (marca Sokkia) y GPS para obtener mayor precisión, esto con la finalidad de conocer la altura y la posición sobre el nivel medio del mar de los depósitos eólicos antiguos (figura 15).



Figura 14. Los perfiles de playa fueron realizados con ayuda de cinta métrica, nivel de mano y estatal.



Figura 15. En la Zona Central del área de estudio se realizaron 2 perfiles con estación topográfica, con la finalidad de conocer la altura de los depósitos eólicos antiguos.

2.4 Muestreo para fechación

Durante el mes de abril de 2008, fueron seleccionados tres sitios en los cuales se tomaron tres muestras de depósitos eólicos antiguos para ser fechadas por la técnica de termoluminiscencia; 2 sitios ubicados dentro de la Zona Central (localidad de la Lagunita) y otro más ubicado en la Zona Sur (cercano al Campestre Agua Blanca) (figura 16). Las tres muestras se etiquetaron como BC1-04/08 (2do cordón de dunas antiguas), BC2-04/08 (3er cordón de dunas antiguas) y BC3-04/08 (1er cordón de dunas antiguas). Las muestras fueron tomadas con un nucleador de pvc de 40 cm de largo y 3 pulgadas de diámetro a 38 cm de la superficie del terreno (figura 17). Antes de extraer el núcleo se cuidó que la base no fuera expuesta a la luz y se protegió con plástico negro. Posteriormente se enviaron a la Universidad Australiana de Wollongong para su análisis.

La termoluminiscencia (TL) se define como la emisión de luz, continua y uniforme, por parte de un sólido de naturaleza aislante o semiconductora, cuando se ve sometido a una fuente de calor. A diferencia de otros tipos de procesos luminiscentes, la termoluminiscencia es una emisión térmicamente estimulada, que se produce en un sólido después de haber absorbido energía. La luz emitida

procede de ciertos minerales y la intensidad de la emisión de luz, es proporcional al tiempo transcurrido desde que sus cristales fueron sometidos a un calentamiento anterior (Santana, 2001). Las ventajas del método de datación por termoluminiscencia son notables, porque no necesita calibración, puede fechar muestras de hasta 500.000 años de antigüedad.

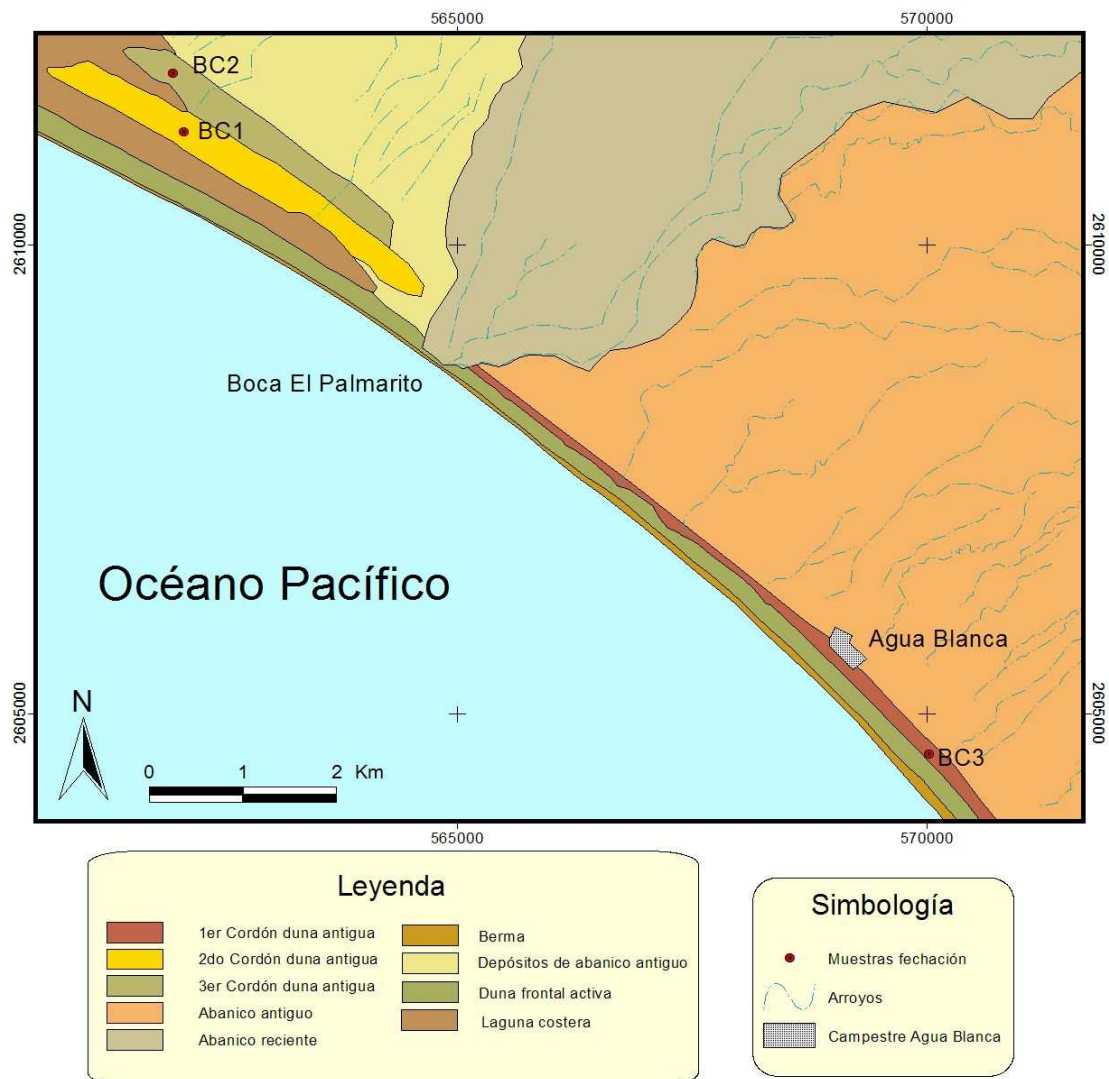


Figura 16. Mapa geomorfológico del límite entre la Zona Central y Sur. Dentro de esta zona fueron tomadas tres muestras de depósitos eólicos para fechación por termoluminiscencia.



Figura 17. Procedimiento para la colecta de núcleos de sedimentos de dunas antiguas para fechación por termoluminiscencia. (A) se excava una trinchera; (B y C) a la profundidad de 38 cm de la superficie del terreno se introduce un nucleador de pvc; (D) se extrae el tubo de pvc, cubriéndolo con plástico negro para evitar el contacto de la luz.

2.5 Trabajo de laboratorio

Las muestras de sedimento húmedo (cara de la playa) fueron puestas a secar en el horno durante 24 h. Posteriormente las muestras fueron cuarteadas para homogenizar el material, hasta obtener aproximadamente 100 g de muestra.

2.5.1 Granulometría

Para conocer las características granulométricas de las muestras se siguieron las técnicas de tamizado (para muestras de tamaño de grano grueso, gránulos y arenas) y analizador de partículas laser Beckman Coulter LS 13320 (para muestras de grano fino, limos y arcillas) (figura 18). El método del tamizado consiste en poner 100 g de muestra en una serie de 25 tamices con intervalo de 0.25ϕ , de acuerdo con la escala de tamaños de Wentworth (1922) (del -2ϕ gránulos al 4ϕ limo, ver tabla 2), y se tamiza durante un tiempo de 10 minutos en el rotap. Posteriormente el material retenido en cada uno de los tamices fue pesado en una balanza analítica; el peso obtenido fue convertido a porcentaje. Además, el sedimento que se encontró en las fracciones de 0 a 0.5ϕ y de 2 a 2.75ϕ fue colocado en cajas de plástico para posteriormente realizar el análisis mineralógico.

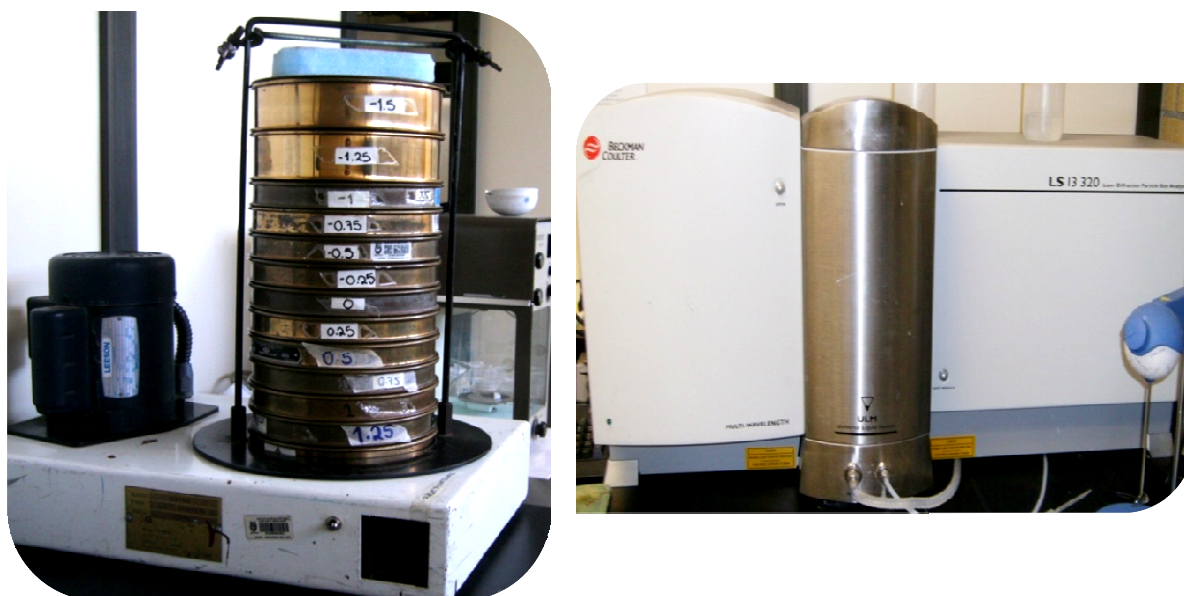


Figura 18. Para determinar la granulometría de los sedimentos se siguieron las técnicas del tamizado para muestras gravo-arenosas (-2ϕ a 4ϕ) (izquierda) y analizador de partículas laser Beckman Coulter LS 13320 para muestras limo-arcillosas ($>4 \phi$) (derecha).

Tabla 2. Escala de tamaños de Wentworth (1922) basada en la escala logarítmica con unidades phi ϕ (1/4 phi ϕ).

Milímetros	Phi ϕ	Clase
4	-2	Gránulo
3.36	-1.75	Gránulo
2.83	-1.5	Gránulo
2.38	-1.25	Gránulo
2.00	-1.00	Arena muy gruesa
1.68	-0.75	Arena muy gruesa
1.41	-0.5	Arena muy gruesa
1.19	-0.25	Arena muy gruesa
1.00	0	Arena gruesa
0.84	0.25	Arena gruesa
0.71	0.5	Arena gruesa
0.59	0.75	Arena gruesa
0.50	1	Arena Media
0.42	1.25	Arena Media
0.35	1.5	Arena Media
0.30	1.75	Arena Media
0.25	2	Arena fina
0.210	2.25	Arena fina
0.177	2.5	Arena fina
0.149	2.75	Arena fina
0.125	3	Arena muy fina
0.105	3.25	Arena muy fina
0.088	3.5	Arena muy fina
0.074	3.75	Arena muy fina
0.0625	4	Limo grueso
0.053	>4	

2.5.1.1 Procesamiento Estadístico

Para conocer el comportamiento estadístico de las muestras se utilizó el programa GRADISTAT (Blott y Pye, 2001). Este programa está desarrollado en una hoja de cálculo de Excel con macros en lenguaje Visual Basic para la aplicación de las fórmulas y obtención de los gráficos (Navarro, 2006). A partir de la fórmula de los momentos en unidades phi ϕ el programa determina los parámetros estadísticos como media, desviación estándar, sesgo y curtosis de la distribución de tamaños. La media del sedimento nos indica el tamaño de grano que domina en la muestra; la desviación estándar es la expresión matemática del

grado de selección del sedimento; el sesgo muestra el grado de asimetría de la curva de distribución de tamaños (un sesgo positivo, indica que la muestra tiende a ser de grano fino y un sesgo negativo muestra que tiende a ser de grano grueso); y la curtosis o picudez es una medida de la concentración de la distribución en torno a la media (Camacho, 2003). Las fórmulas para determinar los parámetros estadísticos anteriormente mencionados se muestran en la tabla 3. Las gráficas de distribución de tamaño de grano y los diagramas de dispersión fueron elaborados en el programa de EXCEL, a partir de los datos obtenidos en el programa GRADISTAT. La terminología utilizada por el programa GRADISTAT para cada uno de los parámetros estadísticos se presenta en la tabla 4.

Tabla 3. Fórmulas utilizadas para determinar los parámetros estadísticos.

<i>Media (1er momento)</i>	x_{φ}	$\frac{\sum f m_{\varphi}}{n}$
<i>Desviación Estándar (2do momento)</i>	σ_{φ}	$\sqrt{\frac{\sum f (m_{\varphi} - x_{\varphi})^2}{100}}$
<i>Sesgo (3er momento)</i>	S_{φ}	$\sqrt{\frac{\sum f (m_{\varphi} - x_{\varphi})^3}{100\sigma_{\varphi}^3}}$
<i>Cúrtosis (4to momento)</i>	K_{φ}	$\sqrt{\frac{\sum f (m_{\varphi} - x_{\varphi})^4}{100\sigma_{\varphi}^4}}$

En donde:

f = peso en porcentaje (frecuencia) de cada una de las clases de tamaño

m = punto medio del intervalo de clase

n = el valor de 100 sustituye a n cuando el peso de la fracción se convierte a porcentaje

Tabla 4. Terminología utilizada por el programa GRADISTAT (modificado de Navarro, 2006).

Desviación Estándar o selección		Sesgo		Curtosis	
<0.35	Muy bien seleccionada	>+1.30	Muy sesgado a los finos	<1.70	Muy platicúrtica
0.35-0.50	Bien seleccionada	+0.43 a +1.30	Sesgado hacia los finos	1.70-2.55	Platicúrtica
0.50-0.70	Moderadamente Bien Seleccionada	-0.43 a +0.43	simétrico	2.55-3.70	Mesocúrtica
0.70-1.00	Moderadamente seleccionada	-0.43 a -1.30	Sesgado a los gruesos	3.70-7.40	Leptocúrtica
1.00-2.00	Pobremente seleccionada	<-1.30	Muy sesgados a los gruesos	>7.40	Muy leptocúrtica
2.00-4.00	Muy pobremente seleccionada				
>4.00	Extremadamente mal Seleccionada				

2.5.2 Mineralogía

El análisis mineralógico fue realizado a través de mineralogía estereoscópica, utilizando la técnica de conteo de 300 granos. El análisis se aplicó a una fracción gruesa y una fracción fina de las arenas, con el fin de precisar la identificación de fragmentos líticos y minerales accesorios. Los componentes que se cuantificaron fueron el cuarzo, feldespatos, micas y anfíboles. Asimismo, también fueron considerados los fragmentos líticos y fragmentos de moluscos, ya que se consideran muy significativos en la interpretación de los depósitos antiguos. Posteriormente los resultados de los conteos mineralógicos se pasaron a porcentajes y se graficaron en diagramas ternarios de cuarzo, feldespato y

fragmentos líticos, con la finalidad de conocer sus características mineralógicas y ambiente de depósito correspondiente (figura 19). Estos diagramas ternarios se obtuvieron en el programa TRIPILOT, versión 4.1.1 de Todd Thompson.

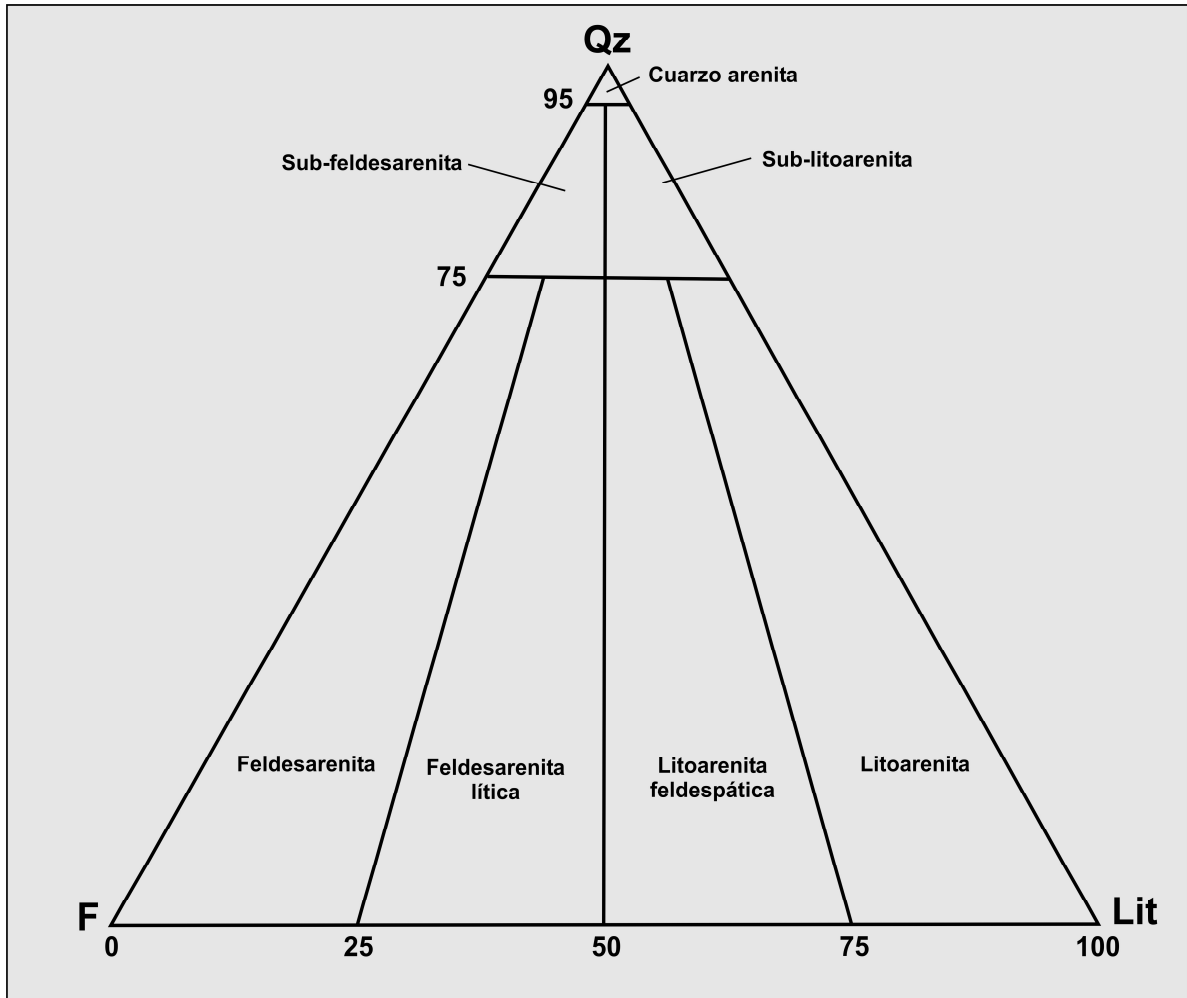


Figura 19. Diagrama ternario de clasificación mineralógica de las arenas (modificado de Carranza, 1980).

3. RESULTADOS

El área de estudio fue dividida en tres zonas de acuerdo a las características geomorfológicas y geológicas que se presentan en cada una de las zonas (figura 20): (1) Zona Norte (entre las localidades de Arroyo de Los Inocentes y Punta Márquez), caracterizada por la presencia de corrientes de retorno y acantilados bajos, activos sólo durante épocas de tormenta; (2) Zona Centro (desde Boca El Palmarito hasta Los Inocentes), con cordones de dunas frontales bien desarrollados y depósitos de abanicos aluviales antiguos y (3) Zona Sur (desde Punta Lobos hasta Boca El Palmarito), donde pueden observarse playas de pendiente pronunciada y afloramientos de rocas graníticas y metamórficas.

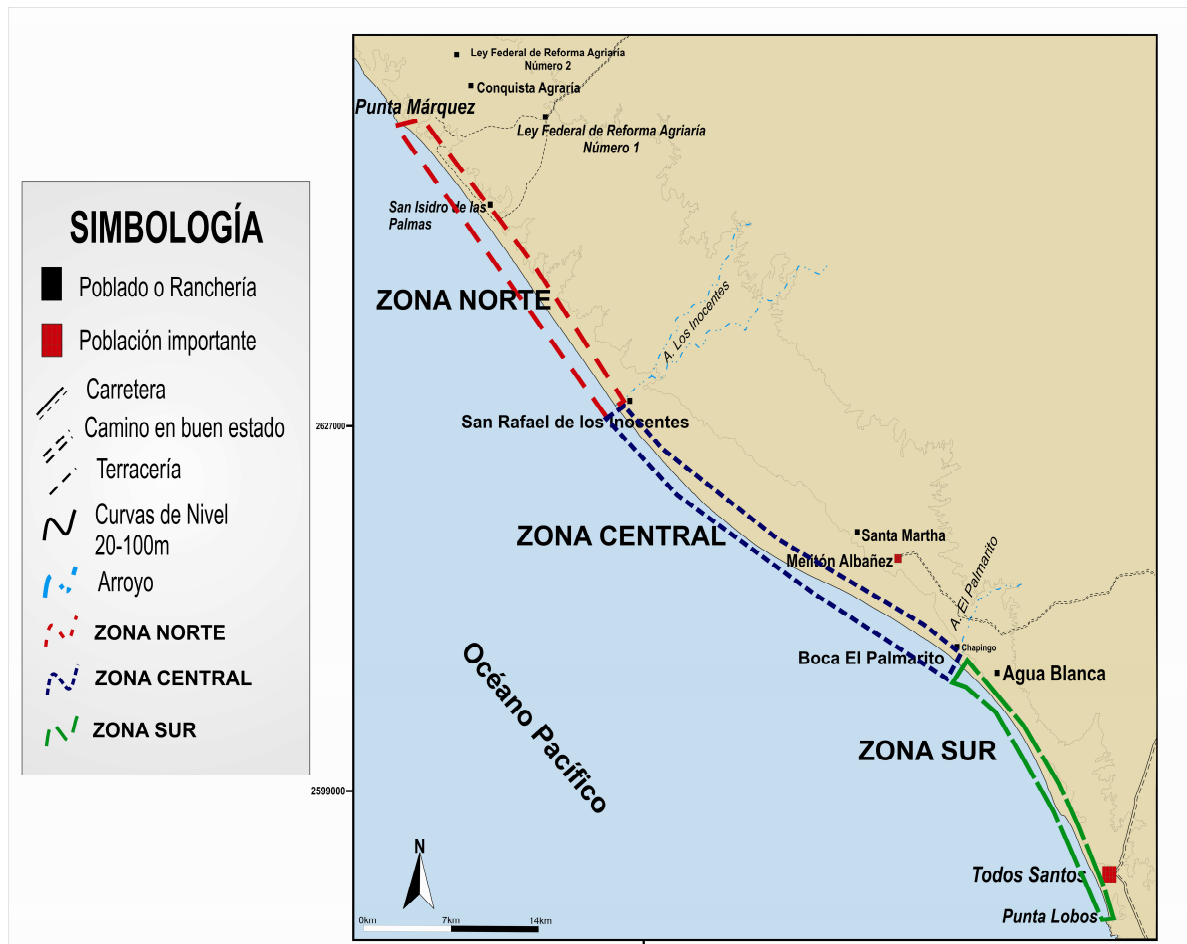


Figura 20. Zonas geomorfológicas que componen el área de estudio. El área de estudio se dividió en tres zonas: Zona Norte, Zona Central y Zona Sur.

3.1 Principales unidades geomorfológicas

Con ayuda de cartas topográficas escala 1:50,000 (INEGI), ortofotos 1:20,000 e imágenes de satélite (Google Earth) se reconocieron más de 10 geoformas depositacionales de las cuales 6 corresponden a geoformas costeras recientes como berma, dunas bajas o nabkhas, dunas frontales, sabkhas, lagunas y esteros; 3 geoformas fluviales como abanico aluvial activo, cauce inactivo y abanico aluvial antiguo; y 2 geoformas costeras antiguas tales como cordones de dunas y depósitos de sabkha o lagunares. En total se elaboraron 3 mapas geomorfológicos del área de estudio (figuras 21, 22 y 23). Estos mapas fueron complementados con descripciones geomorfológicas obtenidas en las salidas de campo. Los mapas cubren las zonas de mayor interés geomorfológico y sedimentológico, donde afloran principalmente depósitos costeros antiguos (Zona Central del área de estudio). El primer mapa geomorfológico cubre las localidades del arroyo La Muela y Agua Blanca, donde fue posible distinguir 7 geoformas. El segundo mapa corresponde a la zona de La Lagunita, localidad aledaña a la población de Melitón Albañez, en el cual fue posible reconocer 8 geoformas. Finalmente el tercer mapa cubre la porción central del área de estudio localidad conocida informalmente como la Laguna Grande donde se diferenciaron 8 geoformas.

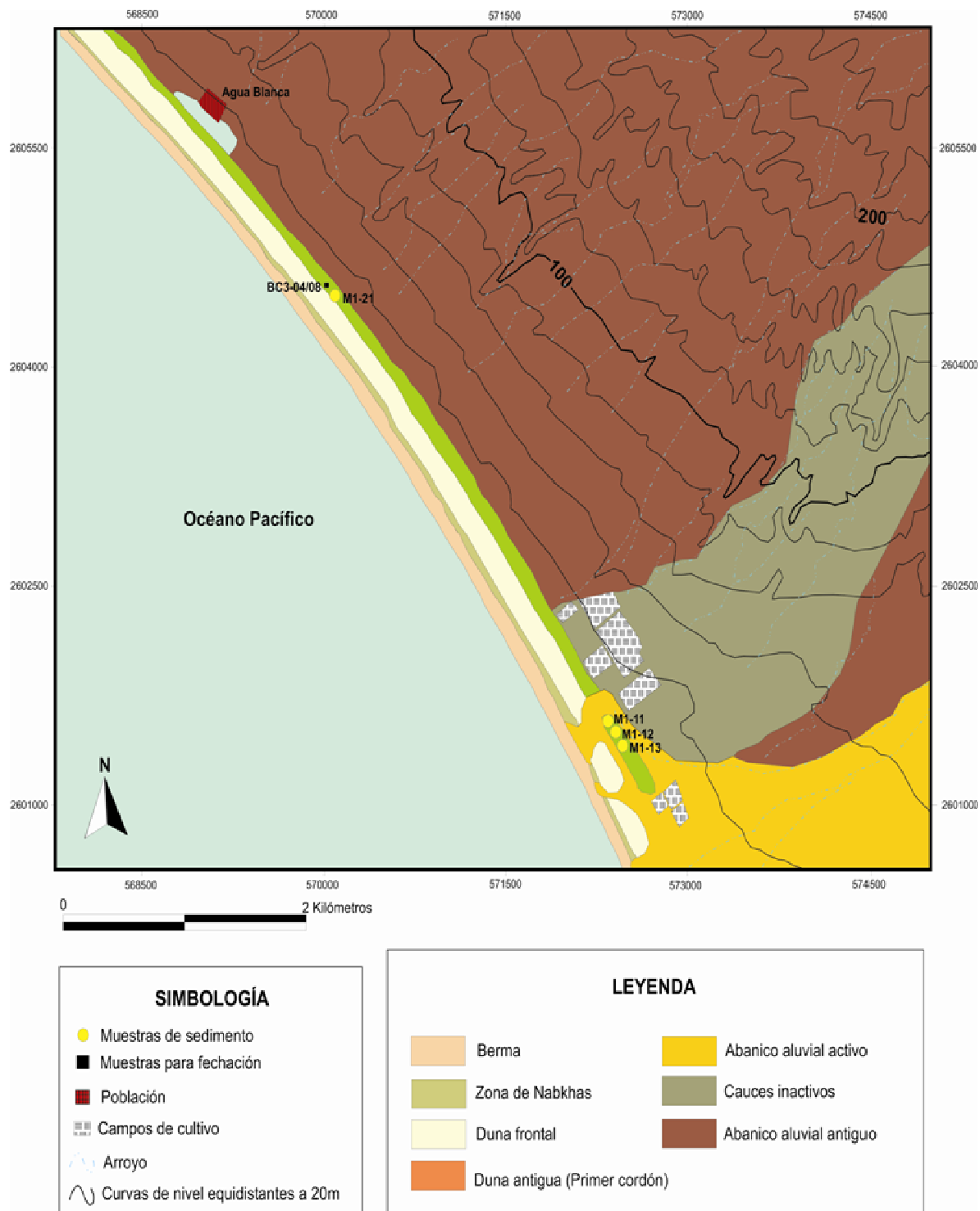


Figura 21. Mapa geomorfológico del área aledaña a la localidad de Agua Blanca (Zona Sur).

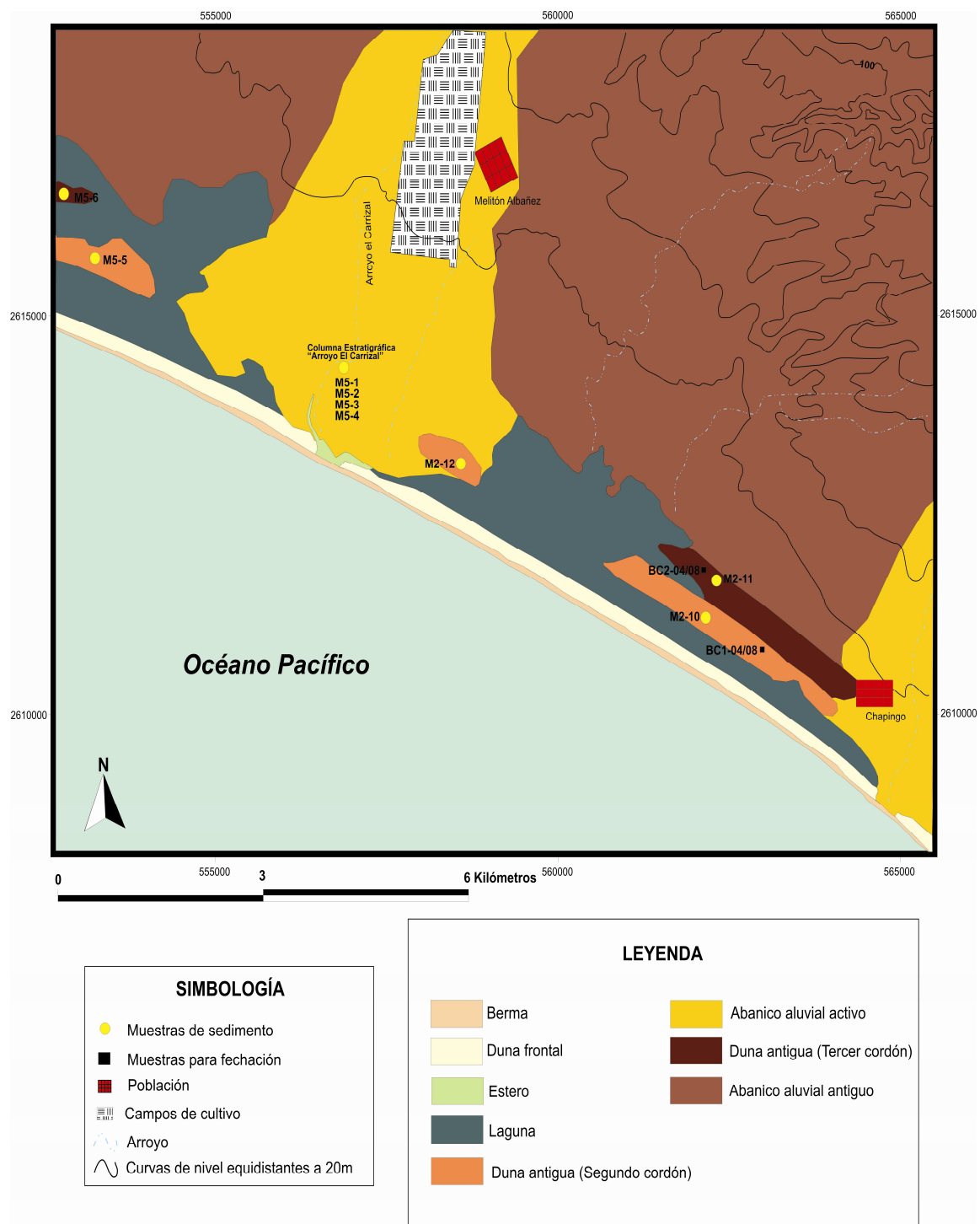


Figura 22. Mapa geomorfológico de la localidad La Lagunita en la zona central del área de estudio.

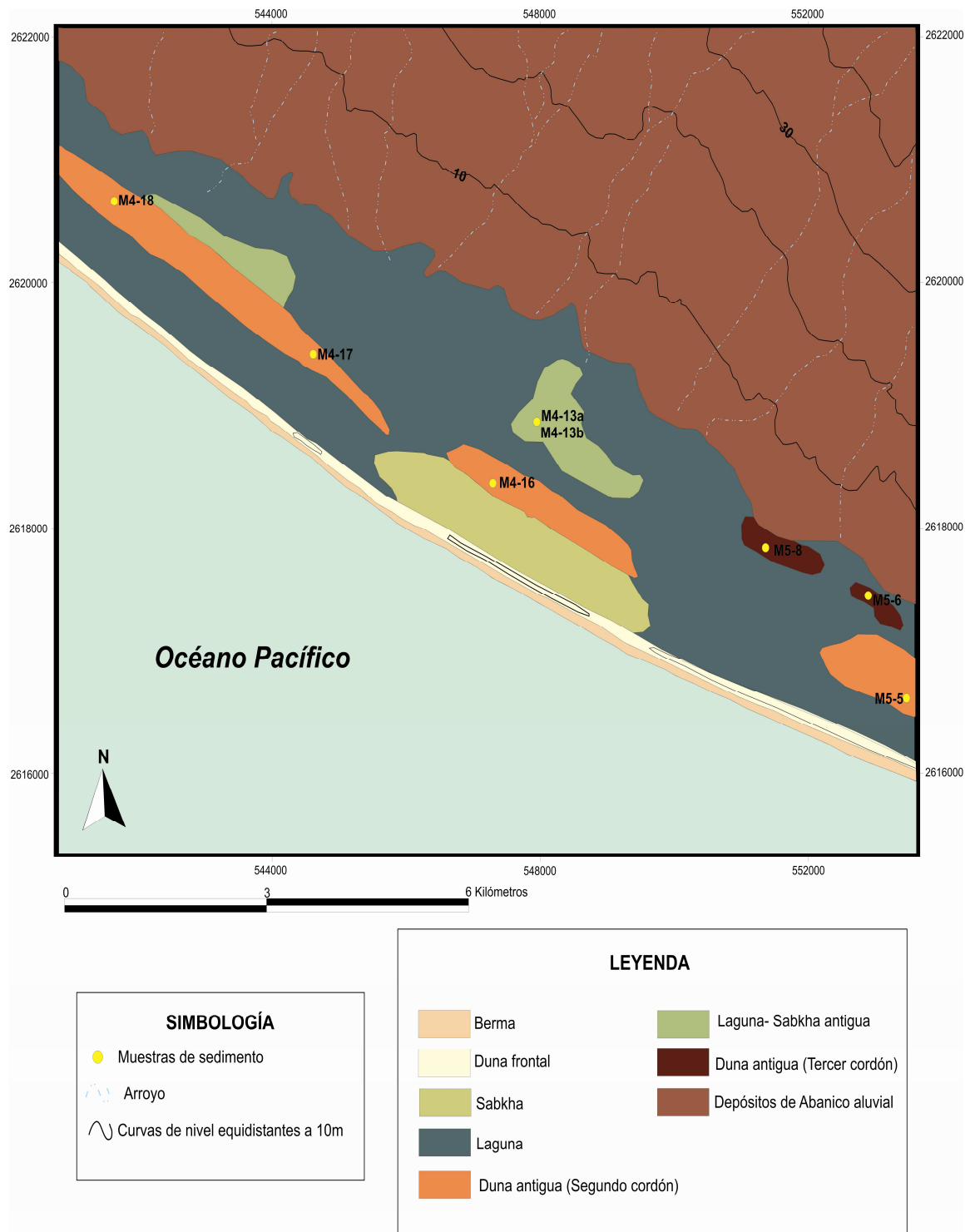


Figura 23. Mapa geomorfológico de la localidad Laguna Grande, Zona Central.

A través de los mapas geomorfológicos se reconoció que son siete unidades geomorfológicas principales: (1) Abanicos aluviales antiguos, (2) abanicos aluviales activos, (3) Planicies de inundación o lagunas efímeras, (4) sabkha, (5) laguna o sabkha antiguo, (6) dunas antiguas y (7) depósitos costeros actuales.

(1) **Abanicos aluviales antiguos.** Éstos se presentan principalmente en la Zona Sur y Central del área, se encuentran en proceso de erosión (figura 24) y son una fuente importante de abastecimiento de sedimentos para estas zonas del área de estudio.

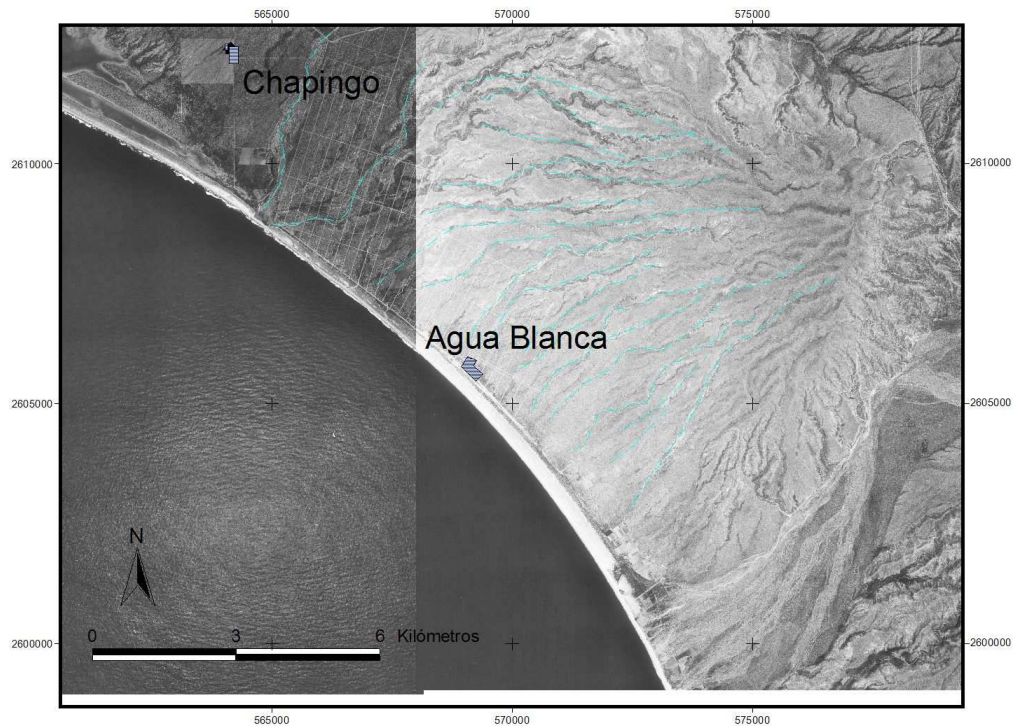


Figura 24. Abanico aluvial antiguo en estado de erosión. Este abanico se encuentra ubicado en la Zona Sur del área de estudio.

(2) **Abanicos aluviales activos.** Corresponden a los abanicos de los arroyos La Muela ubicado en la Zona Sur y El Carrizal ubicado en la Zona Central del área de estudio (figura 25).

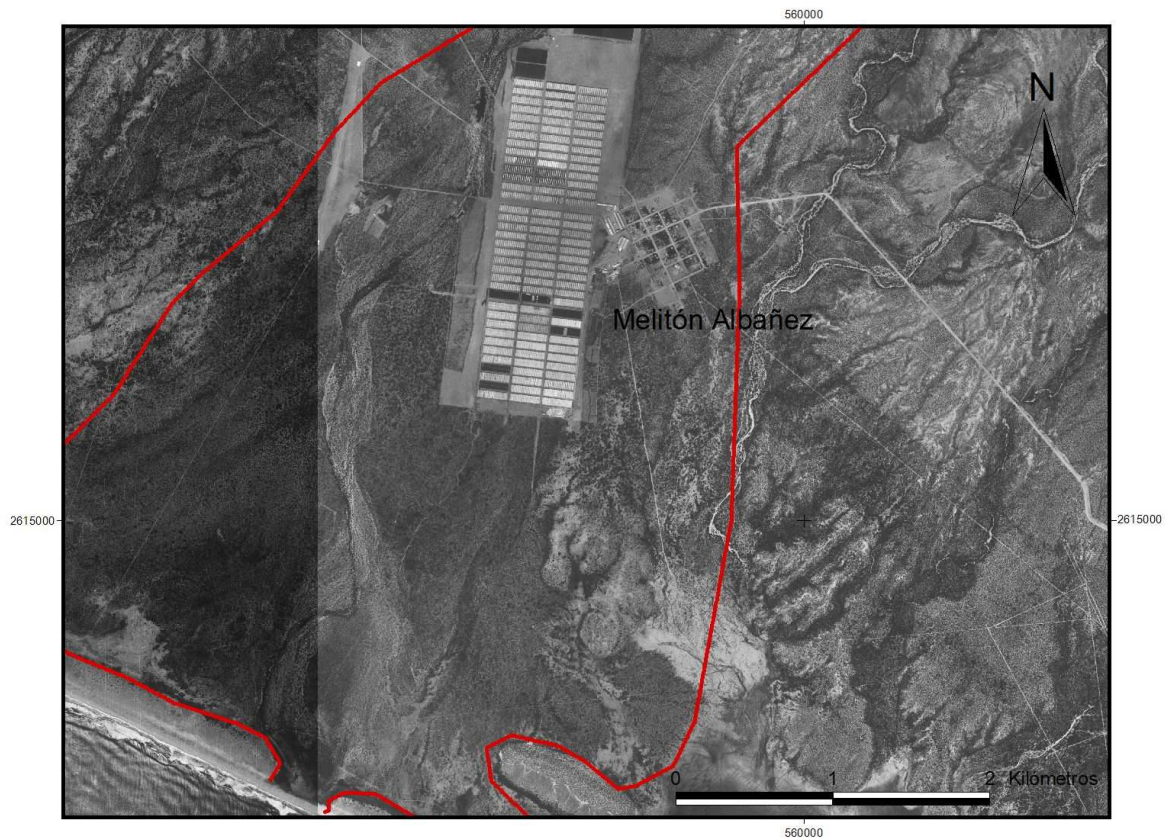


Figura 25. Abanico aluvial activo del Arroyo El Carrizal, ubicado en la Zona Central del área de estudio. La población de Melitón Albaladejo se encuentra asentada sobre este abanico.

- (3) **Planicies de inundación o lagunas efímeras.** Esta unidad se extiende en la Zona Central, desde la localidad de Santa Martha hasta El Faro de Los Inocentes. Esta zona lagunar presentan una acumulación de agua durante la estación de lluvias, tras el paso de huracanes en los meses de verano. Sin embargo cerca de San Rafael de Los inocentes, una extensión de la Laguna Grande presentó agua durante los meses de invierno (figura 26).



Figura 26. Laguna cercana a la ranchería del San Rafael de Los Inocentes. Fotografía tomada durante Enero de 2008.

(4) **Sabkhas.** En la Zona Central del área de estudio se encuentra una laguna de desecación o sabkha (figuras 27 y 28). Tras la lenta evaporación del agua acumulada sobre las planicies de inundación o lagunas de la Zona Central, inicia la precipitación de sales y así se da paso a la formación de un sabkha.



Figura 27. Laguna de desecación o sabkha ubicado en la Zona Central. Este sabkha presenta una extensión mayor a 3 kilómetros.



Figura 28. El sabkha está conformado por costras de minerales evaporíticos como la halita (sal).

- (5) **Laguna antigua o sabkha.** Los depósitos de laguna antiguos se encuentran por arriba de un metro y medio de la laguna actual, dentro de la Zona Central.
- (6) **Dunas antiguas.** Corresponden a depósitos costeros antiguos, ubicados a lo largo del área de estudio. Estos depósitos son tratados con mayor detalle en el capítulo de paleoambientes.
- (7) **Depósitos costeros actuales.** Son los depósitos correspondientes a dunas, berma y cara de la playa. Las características geomorfológicas de cada uno se presentan a detalle en el capítulo de geomorfología y depósitos costeros.

3.2 Geomorfología y sedimentos costeros

El área de estudio se caracteriza por la presencia de playas continuas, limitadas por las puntas rocosas de Punta Márquez (Norte) y Punta Lobo (Sur). Asimismo cordones de dunas con variaciones geomorfológicas son comunes para esta región.

3.2.1 Clasificación de la costa

Dentro del área de estudio, según la clasificación geomorfológica y genética propuesta por Shepard (1973), se presentan dos clases de costa:

- A. Costas secundarias por erosión del oleaje, promontorios cortados por olas, costas de línea de playa y costas de terrazas elevadas y cortadas por oleaje. Este tipo de costas están presentes principalmente en el norte del área de estudio (figura 29).
- B. Costas secundarias por depositación marina, playas extensas y cordones de dunas bien desarrollados. Estas costas pueden apreciarse en la Zona Sur y Central del área de estudio.



Figura 29. (A) Costas secundarias por erosión. Zona de acantilados en el extremo norte del área de estudio. Los acantilados son de rocas sedimentarias del Plioceno sobreyacidas por terrazas marinas del Cuaternario. (B) Costas secundarias por depositación marina. Duna frontal estabilizada por pastos en la localidad la Laguna Grande (Zona Central).

3.2.2 Zona sur

La Zona Sur del área de estudio comprende de Punta Lobos a Boca El Palmarito, ubicada al norte del Campestre Agua Blanca. Esta zona se caracteriza por una geomorfología costera de playas con pendientes fuertes donde se presenta una rompiente de tipo *surging* – *plunnging*. En esta zona pueden diferenciarse dos cordones de dunas activas, (1) dunas incipientes o nabkhas y (2) cordón de dunas frontales.

- *Playas*

Las playas presentes a lo largo de la Zona Sur son de alta energía. Durante todo el año estas playas presentan una pendiente muy pronunciada y pueden alcanzar cerca de los 20° durante el periodo de huracanes (figura 30). Durante las visitas de campo no se observó el desarrollo de una barra en la zona de rompiente, pero fue posible distinguir una rompiente de tipo *surging* – *plunnging*. Con base en la clasificación del comportamiento morfodinámico de las playas (Komar 1996), las playas de la Zona Sur, pueden clasificarse como reflexivas (figura 31), en las cuales domina una alta energía de oleaje en la mayor parte del año que resulta en una cara de la playa de pendiente muy pronunciada. Además, las playas pueden desarrollar formas cuspidas (figura 32), con una cara de la playa muy bien definida y una berma extensa (de varias decenas de metros de amplitud). En los meses de verano se observan pequeñas corrientes de retorno con poco desarrollo (imágenes de satélite de Google Earth).

Las playas de la Zona Sur sedimentológicamente están compuestas por arenas ligeramente gravosas, moderadamente bien seleccionadas con un sesgo predominantemente simétrico (tabla 5).

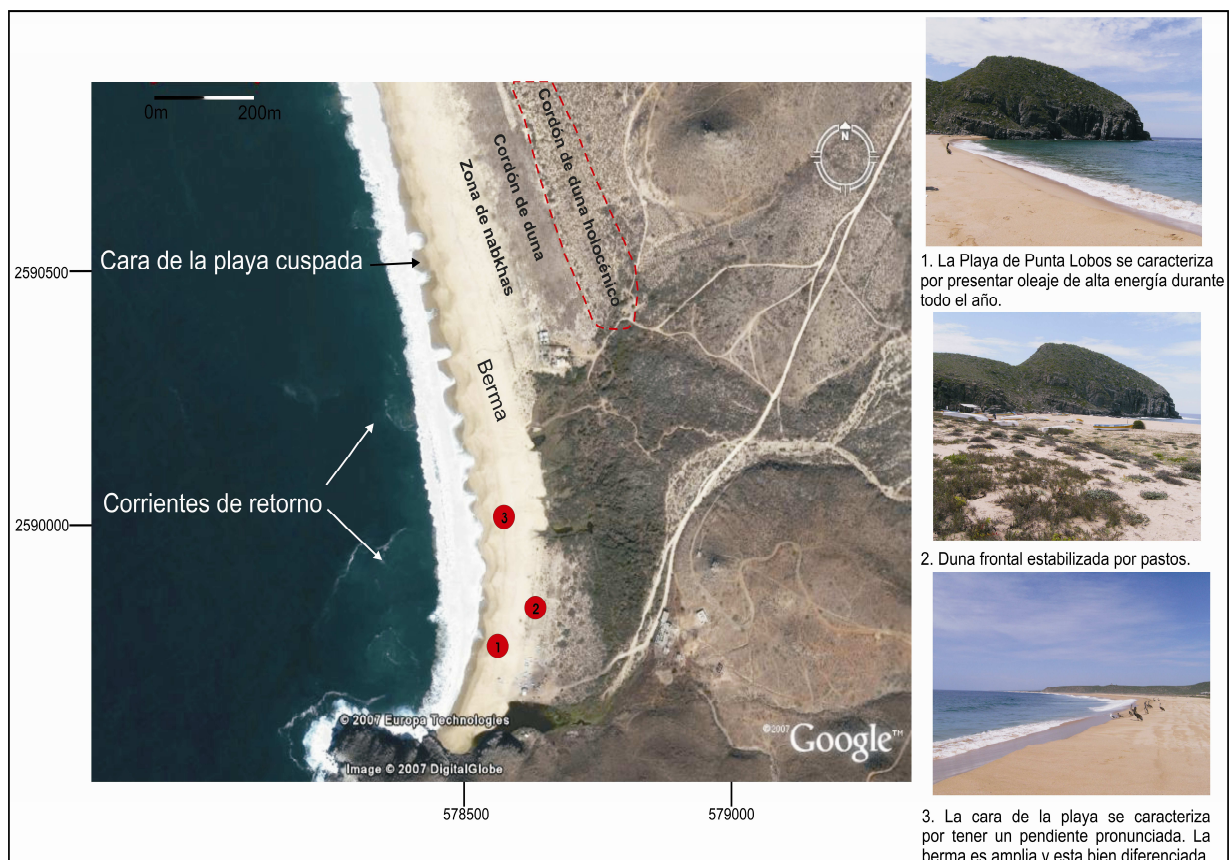


Figura 30. Imagen de satélite captada en otoño de 2006 (Google Earth) después del paso del Huracán John. Fotografías 1,2 y 3 tomadas en febrero de 2007.



Figura 31. Playa reflectiva, cuspada, en la Zona Sur del área de estudio, en las cercanías de la población de Todos Santos (imagen tomada de Google Earth, 2008).



Figura 32. La playa de Punta Lobos presenta una cara de la playa pronunciada y es de muy alta energía durante todo el año. A. Fotografía tomada en febrero de 2007. B Fotografía tomada en septiembre de 2007 días después del paso del huracán Henriette.

Tabla 5. Características sedimentológicas de las muestras de playa de la Zona Sur.

Localidad	Tipo de muestra	Grupo Textural	Nombre del sedimento	% Grava	% Arena	Sesgo
M1-1 Playa Punta Lobos	Bimodal moderadamente bien seleccionada	Arena	Arena gruesa moderadamente bien seleccionada	0	100	Simétrica
M1-15 Playa boca Arroyo La Muela	Unimodal moderadamente bien seleccionada	Arena ligeramente gravosa	Arena gruesa moderadamente bien seleccionada	0.65	99.35	Sesgada hacia los gruesos
M1-19 Playa Agua Blanca	Unimodal moderadamente bien seleccionada	Arena ligeramente gravosa	Arena gruesa ligeramente gravosa muy fina	0.03	99.97	Simétrica
M2-3 Boca El Palmarito	Unimodal bien seleccionada	Arena ligeramente gravosa	Arena gruesa ligeramente gravosa muy fina	0.01	99.99	Simétrica

- Cordones de dunas

Dentro de la Zona Sur fue posible diferenciar dos cordones de dunas activas.

- A. Cordón de dunas incipientes o nabkhas. Caracterizado por dunas pequeñas en desarrollo. Estas dunas conocidas también como embrionarias se observaron semiestabilizadas por pastos (figura 33). Aunque no está bien desarrollado, este cordón puede reconocerse como el cordón de dunas frontales. Usualmente se le dice dunas frontales, a las dunas inmediatamente atrás de la playa, o sea en la trasplaya. La amplitud de estas dunas incipientes puede variar desde 30 a 60 m.

- B. Cordón corresponde a la duna frontal. Las dunas frontales de esta zona se encuentran estabilizadas por arbustos bajos y pueden observarse muy bien desarrolladas, con alturas superiores a los 4 m. El cordón frontal llega a tener una amplitud máxima de 120 m en la playa de Punta Lobos y una mínima de 40 m al sur del arroyo La Muela.

Las características granulométricas y texturales del sedimento de los dos cordones de dunas activas de la Zona Sur, son muy similares. El sedimento de las dunas corresponde a arenas gruesas ligeramente gravosas moderadamente bien seleccionadas (tablas 6 y 7). La mayoría de las muestra presentan un sesgo simétrico (figura 34 y 35).

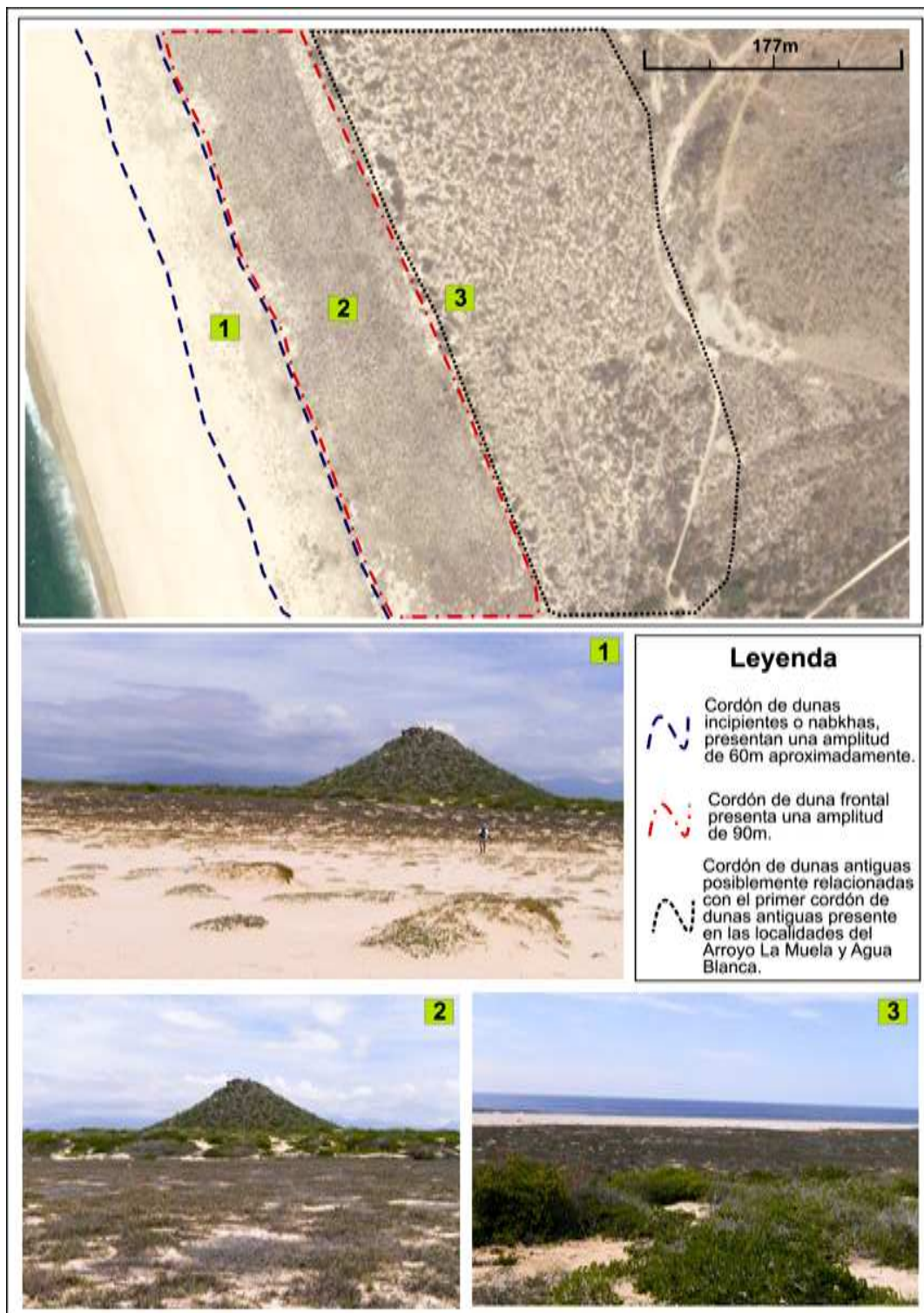


Figura 33. En la Zona Sur se presentan dos cordones de dunas activas, (1) dunas incipientes o nabkhas y (2) cordón de dunas frontales. Además en algunas localidades como Punta Lobos y La Muela se presenta un tercer cordón de dunas antiguas.

Tabla 6. Características sedimentológicas del cordón de dunas bajas o nabkhas.

Localidad	Tipo de muestra	Grupo Textural	Nombre del sedimento	% Grava	% Arena	Sesgo
M1-2 Nabkha Punta Lobos	Unimodal moderadamente bien seleccionada	Arena ligeramente gravosa	Arena gruesa ligeramente gravosa muy fina	0.26	99.74	Simétrica
M1-5 Nabkha Punta Lobos	Unimodal moderadamente bien seleccionada	Arena ligeramente gravosa	Arena media moderadamente bien seleccionada	0.2	99.8	Simétrica
M2-4 Boca El Palmarito	Unimodal moderadamente bien seleccionada	Arena ligeramente gravosa	Arena gruesa ligeramente gravosa muy fina	0.3	99.7	Simétrica

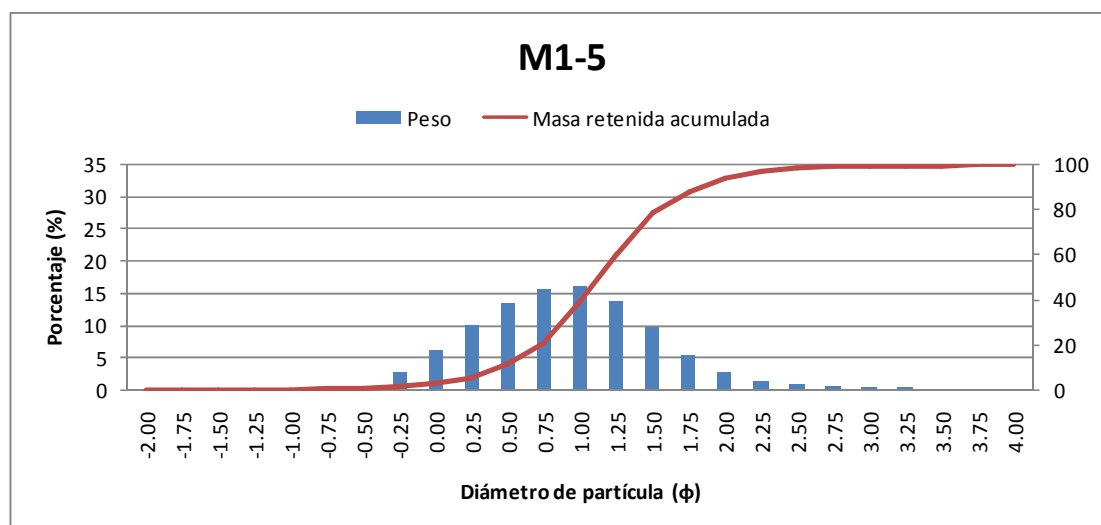


Figura 34. Histograma de porcentaje por tamaño de partículas de la muestra M1-5 (nabkha de Punta Lobos). La mayoría de las muestras son simétricas moderadamente bien seleccionadas.

Tabla 7. Características sedimentológicas del cordón de duna frontal de la Zona Sur.

Localidad	Tipo de muestra	Grupo Textural	Nombre del sedimento	% Grava	% Arena	Sesgo
M1-3 Frontal Punta Lobos	Bimodal moderadamente bien seleccionada	Arena ligeramente gravosa	Arena gruesa ligeramente gravosa muy fina	0.67	99.33	Simétrica
M1-8 Frontal San Ignacio	Unimodal moderadamente bien seleccionada	Arena ligeramente gravosa	Arena gruesa moderadamente bien seleccionada	0.01	99.99	Simétrica
M1-20 Frontal Agua Blanca	Unimodal moderadamente bien seleccionada	Arena ligeramente gravosa	Arena gruesa ligeramente gravosa muy fina	0.64	99.36	Simétrica
M2-5 Frontal Boca El Palmarito	Unimodal moderadamente bien seleccionada	Arena ligeramente gravosa	Arena gruesa ligeramente gravosa muy fina	0.5	99.5	Simétrica

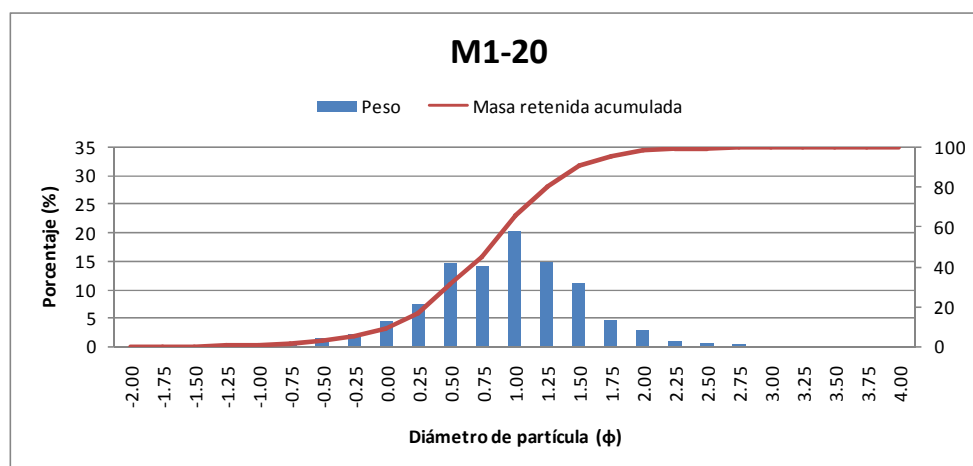


Figura 35. Histograma de porcentaje por tamaño de partículas de la muestra M1-20 (duna frontal Agua Blanca). La mayoría de las muestras son simétricas moderadamente bien seleccionadas.

3.2.3 Zona Central

La Zona Central se localiza entre las localidades de Boca El Palmarito y la ranchería de San Rafael de los Inocentes. La geomorfología costera está definida por playas con pendiente moderada a suave, distinguida por una barra arenosa en la zona de rompiente, la cual se da en forma de rizadura o *plunnging*, a varios metros de distancia de la cara de la playa. Al igual que en la Zona Sur fue posible diferenciar dos cordones de dunas activas.

- *Playas*

En esta zona la dinámica de la playa y la zona de rompiente difieren a la observada en el sur del área de estudio. En toda la Zona Central se distinguió la presencia de una barra litoral, esta barra está situada en la zona de rompiente a 60 m promedio de la cara de la playa. Imágenes de satélite 2004 (Google Earth) y ortofotos de 1993 (INEGI) muestran que en un periodo de 11 años la barra litoral ha estado presente en esta zona (figura 36). La presencia de la barra arenosa en la zona de rompiente provoca un cambio en la configuración de la costa. El oleaje rompe directamente sobre la barra con una rompiente de tipo *plunnging*, tras la rompiente principal las olas se reforman en olas más pequeñas con menor energía (bores) y originan múltiples rompientes de tipo *spilling* (figura 37). Este fenómeno provoca que el oleaje llegue a la cara de la playa con menor energía, lo cual a su vez desarrolla una pendiente suave. La berma aumenta su extensión hacia el norte y su amplitud varía entre 30 a 80 m. Las playas observadas dentro de la Zona Central se pueden clasificar como playas intermedias (figura 38).

El sedimento de las playas de la Zona Central está representado granulométricamente por arenas gruesas moderadamente bien seleccionadas, con un sesgo simétrico (Tabla 8 y figura 39).

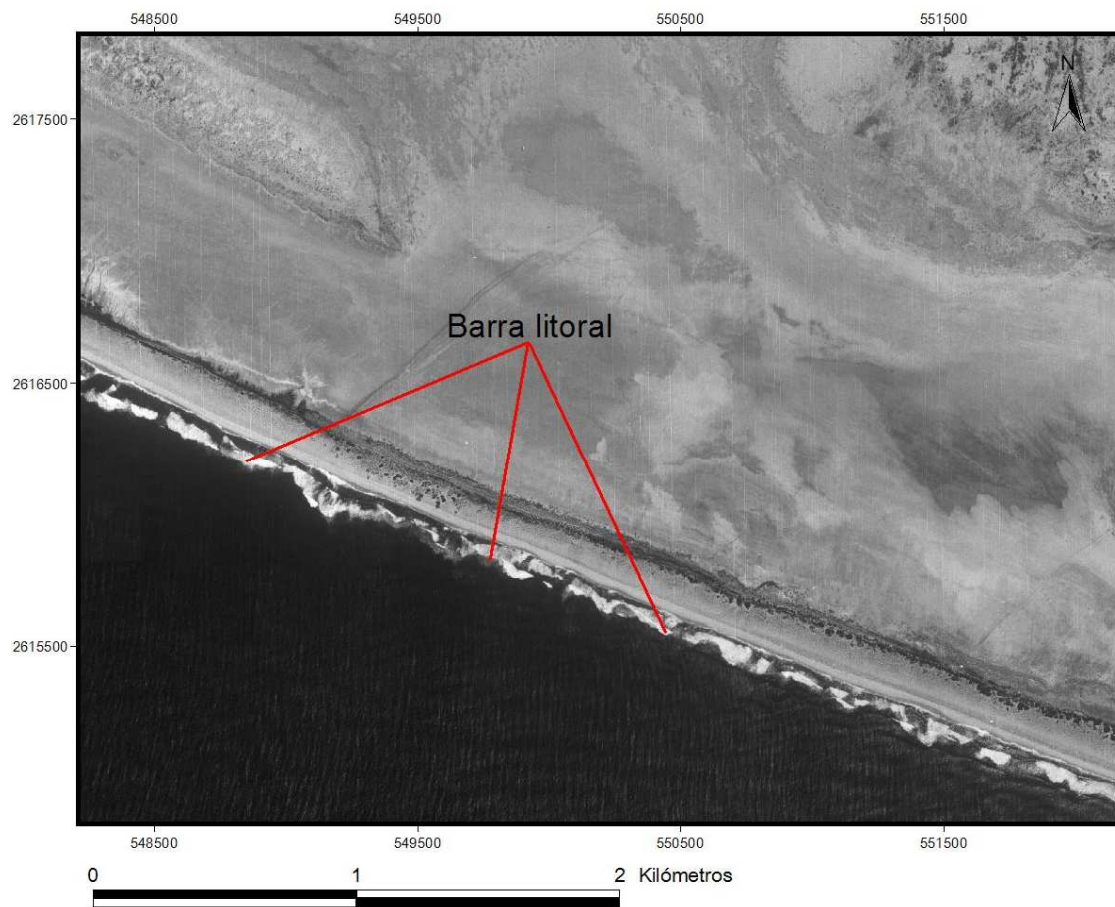


Figura 36. La rompiente del oleaje se da en la barra litoral no sobre la cara de la playa.



Figura 37. La rompiente es de tipo *plunnging* sobre la barra arenosa y de tipo *spilling* en la cara de la playa.

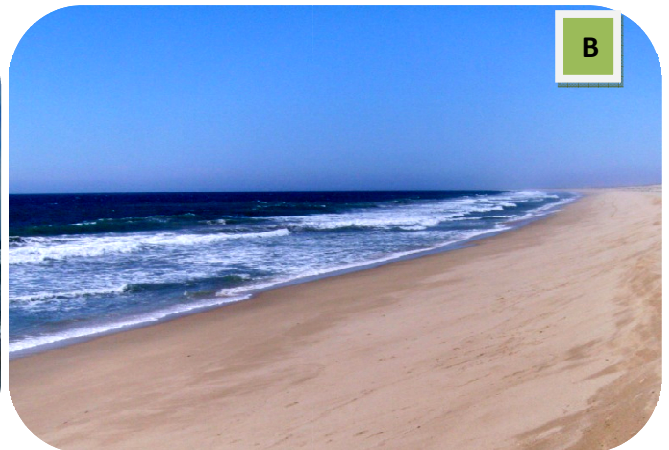


Figura 38. Las playas de la Zona Central se caracterizan por tener pendiente moderada a suave. A. Fotografía tomada en el mes de febrero de 2007 al oeste de la localidad de Santa Martha. B. Fotografía captada en noviembre de 2007 cerca de la desembocadura del arroyo Carrizal. C. Fotografía tomada en enero 2008 al sur del faro de Los Inocentes.

Tabla 8. Características texturales de las muestras de playa de la Zona Central.

Localidad	Tipo de muestra	Grupo Textural	Nombre del sedimento	% Grava	% Arena	Sesgo
M2-17 La Lagunita	Unimodal bien seleccionada	Arena ligeramente gravosa	Arena gruesa ligeramente gravosa muy fina	0.2	99.98	Simétrica
M2-20 La Lagunita	Unimodal moderadamente bien seleccionada	Arena ligeramente gravosa	Arena media moderament e bien seleccionada	0.6	99.4	Simétrica
M4-14 Laguna Grande	Unimodal moderadamente bien seleccionada	Arena	Arena media moderament e bien seleccionada	0	100	Simétrica

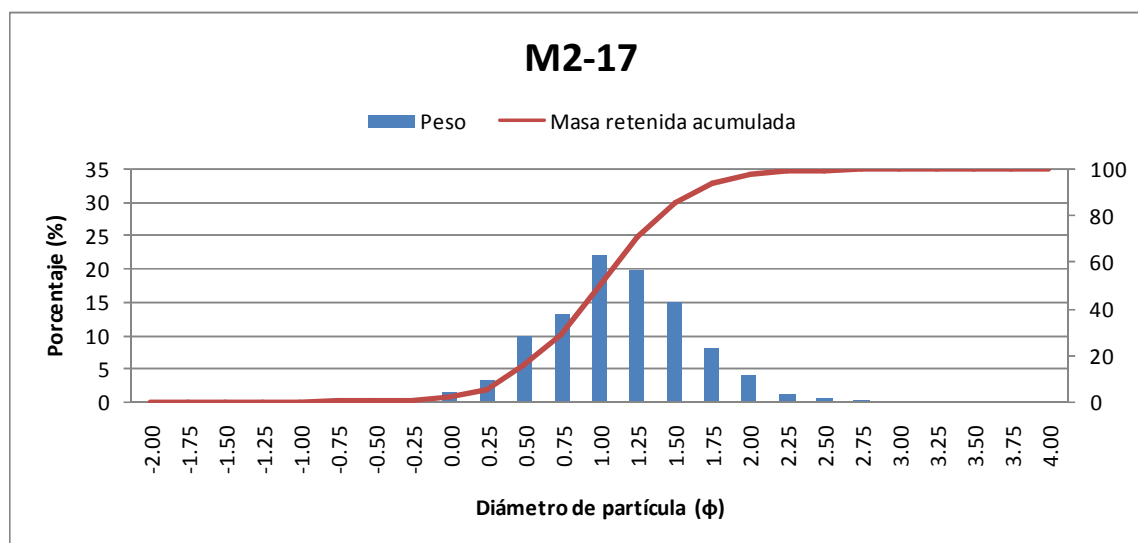


Figura 39. Histograma de la muestra M2-17 (playa en la localidad de La Lagunita), la mayoría de las muestras presentan un sesgo simétrico.

- *Dunas activas*

Al igual que en la Zona Sur en esta zona puede observarse el desarrollo de dos cordones de dunas activas.

1. Dunas bajas. Las dunas incipientes de la Zona Central tiene una altura menor a 1.5 m y tienen una amplitud que varía entre 10 y 40 m. En contraste con la Zona Sur estas dunas no están bien diferenciadas del cordón de duna principal o duna frontal.
2. La duna frontal alcanza más de 7 m de altura y está muy bien desarrollada (figura 40). Estas dunas se encuentran estabilizadas por vegetación baja (pastizales) en el barlovento y escasa vegetación rastrera en el sotavento (figura 41). Las dunas frontales presentan una amplitud máxima de 250 m en las cercanías a la localidad La Lagunita y mínima de 50 m en la localidad de la Laguna grande. Las dunas frontales están compuestas por arena media a gruesa moderadamente bien seleccionada (tabla 9 y figura 42).



Figura 40. Dentro de la Zona Central el cordón de duna frontal presenta alturas mayores de 10 metros. Fotografía tomada en la localidad de La Lagunita.



Figura 41. La duna frontal se encuentra estabilizada por pastos y vegetación rastrera, como es el caso de enredaderas y arbustos pequeños.

Tabla 9. Características texturales de las muestras de dunas de la Zona Central.

Localidad	Tipo de muestra	Grupo Textural	Nombre del sedimento	% Grava	% Arena	Sesgo
M2-19 La Lagunita	Unimodal moderadamente bien seleccionada	Arena ligeramente gravosa	Arena gruesa ligeramente gravosa muy fina	0.1	99.99	Simétrica
M2-22 La Lagunita	Unimodal moderadamente bien seleccionada	Arena ligeramente gravosa	Arena media moderadamente bien seleccionada	0.2	99.8	Simétrica
M4-14 Laguna Grande	Unimodal bien seleccionada	Arena ligeramente gravosa	Arena media ligeramente gravosa muy fina	0.1	99.99	Simétrica

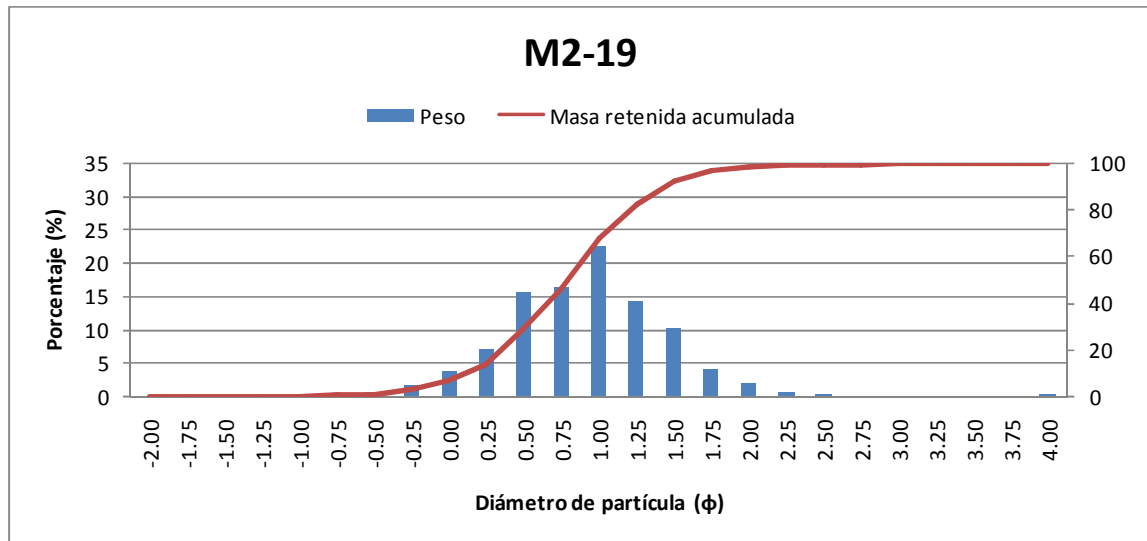


Figura 42. Histograma de la muestra M2-19 (duna frontal en la localidad de La Lagunita), la mayoría de las muestras de dunas de la Zona Central tienen un sesgo simétrico y se encuentran de bien a moderadamente seleccionadas.

3.2.4 Zona norte

Localizada entre las localidades de San Rafael de los Inocentes y Punta Márquez, en el extremo norte del área de estudio. La zona costera se caracteriza por playas de pendiente muy suave, donde las olas rompen sobre la barra litoral y se reforman en *bores*. La morfología de las dunas es en forma de montículos estabilizados por arbustos bajos. Otra particularidad de esta zona es la presencia de corrientes de retorno, las cuales están activas durante todo el año. Estas corrientes fueron observadas en distintas épocas del año a través de imágenes de satélite (Google Earth) y ortofotos (figuras 43 y 44). Las corrientes de retorno son perpendiculares a la línea de costa con un espaciamiento entre 300 y 800 m y con longitudes superiores a los 100 m.

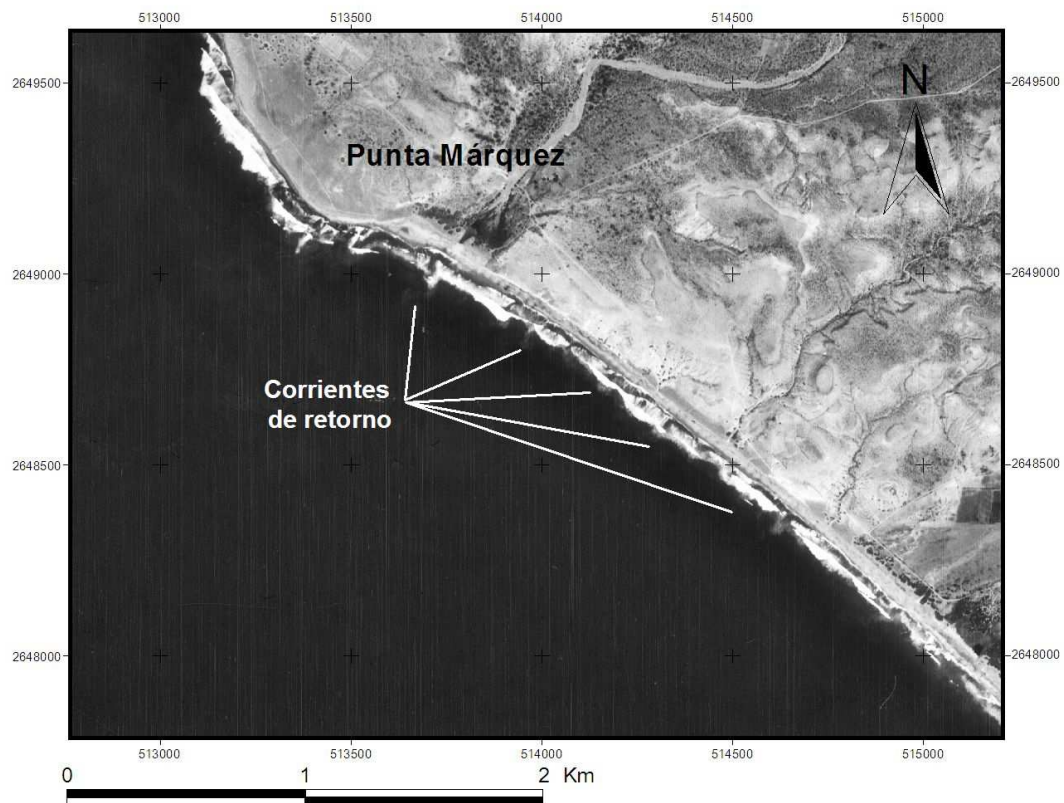


Figura 43. Corrientes de retorno presentes en el área de Punta Márquez (Ortofotos 1993).

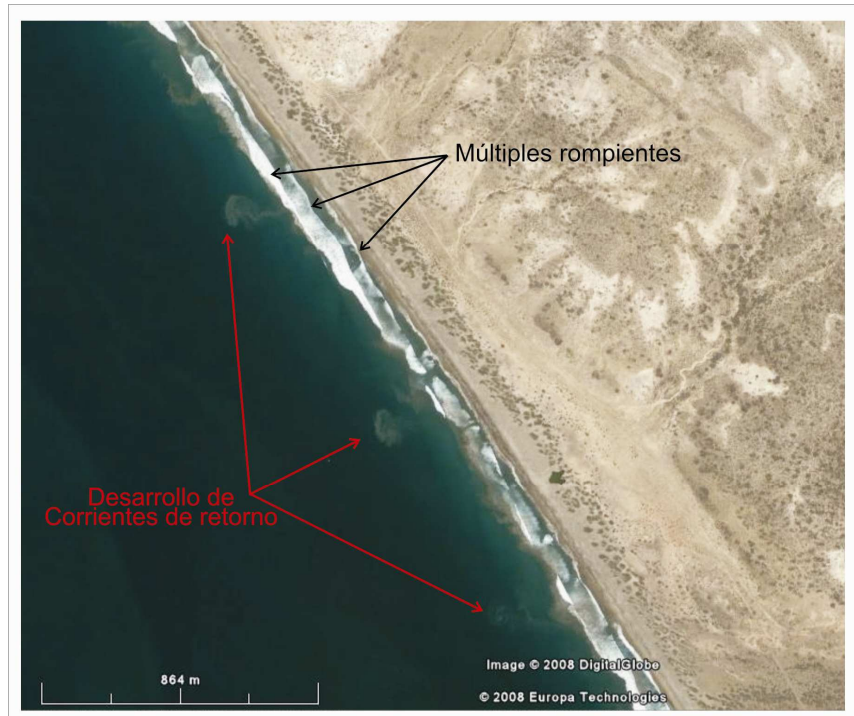


Figura 44. La Zona Norte se distingue por la formación de corrientes de retorno. Estas corrientes son perpendiculares a la línea de costa y presentan una longitud mayor a 100 m (Google Earth).

- Playas

En la zona de rompiente fue posible distinguir la presencia de una a dos barras litorales. Estas barras se ubican a más de 20 m de la línea de costa. La presencia de estas barras arenosas ocasiona que el oleaje rompa directamente sobre ellas lo que origina que el oleaje pierda energía, las olas no rompen directamente sobre la cara de la playa y se reforma en pequeños bores (figura 45). En las visitas de campo fue posible observar que el oleaje presenta una forma de rompiente de tipo *plunnging-spilling* en la zona de la barra litoral y de tipo *spilling* o rizadura en la cara de la playa, originado cuando olas de periodo largo llegan a playas de pendiente suave (figura 46). Por tanto, las playas de la Zona Norte se pueden clasificar como intermedias a disipativas.). Las playas de la Zona Norte se distinguen por una cara de la playa de pendiente suave a moderada.

El sedimento de las playas corresponde a las arenas medias moderadamente bien seleccionadas, con un sesgo simétrico (tabla 10).



Figura 45. El oleaje rompe a una distancia de 20 m de la cara de la playa (localidad ubicada al oeste de la ranchería de San Isidro de Las Palmas).

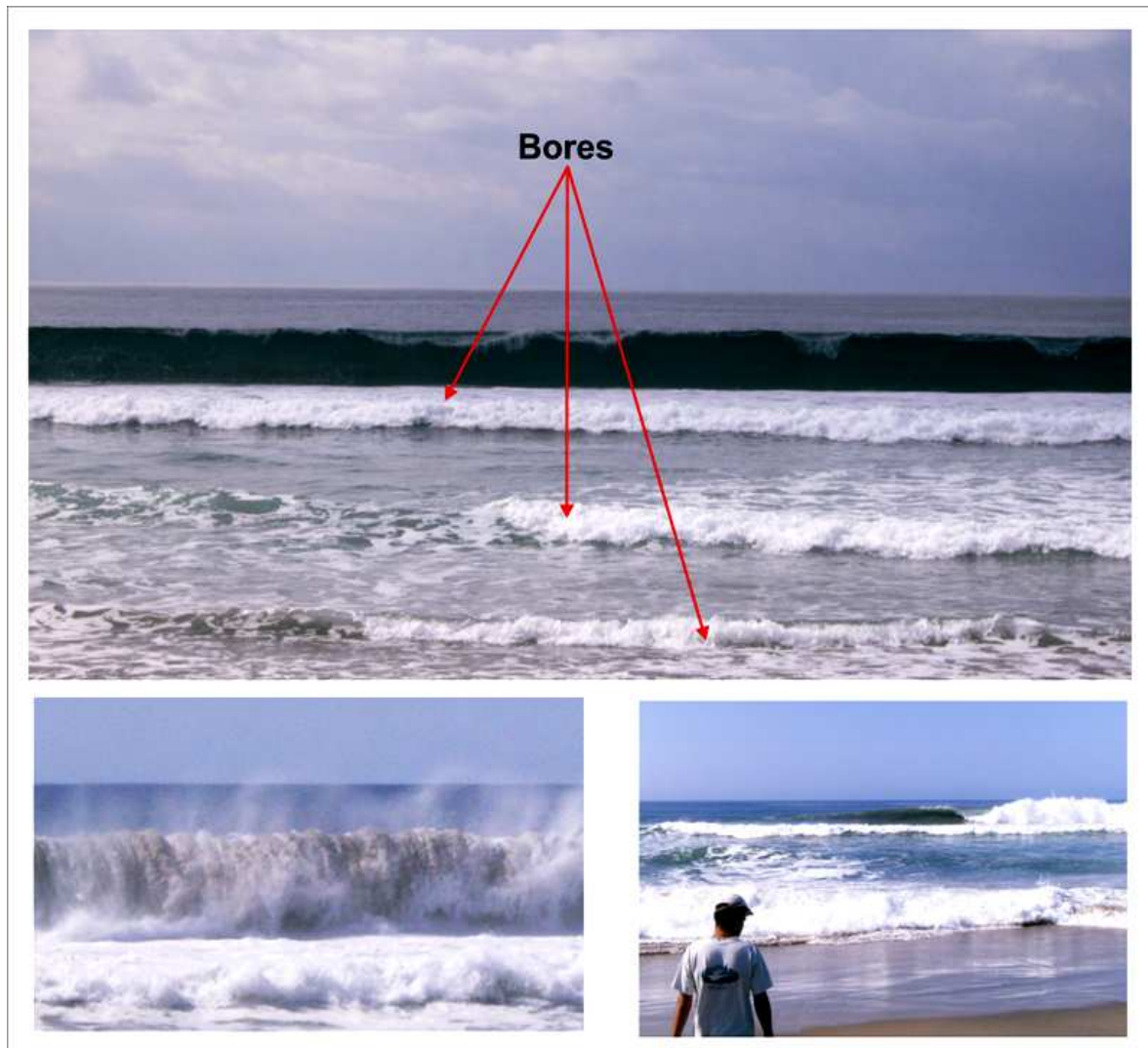


Figura 46. En la Zona Norte el oleaje rompe en forma de *plunnging* – *spilling* sobre la barra litoral y en forma de *spilling* sobre la cara de la playa. Además en oleaje tras romper en la barra se reforma en pequeñas olas o *bores*.

En las playas de la Zona Norte se observó contraste en la composición mineralógica de los sedimentos. Mientras que las playas del sur y centro del área de estudio muestran en mayor proporción minerales félsicos, las playas ubicadas hacia el norte del área de estudio presentan un enriquecimiento de minerales máficos y fragmentos líticos metamórficos de color verde (figura 47). El sedimento

de las playas y dunas ubicadas al sur de Punta Márquez, se caracteriza por presentar abundante magnetita (óxido de fierro).



Figura 47. Las playas de la Zona Norte presentan sedimento de color más oscuro debido a la presencia de minerales ferromagnesianos como la magnetita (localidad al NW de la ranchería de San Isidro de Las Palmas).

Tabla 10. Características sedimentológicas de las muestras de playa de la zona norte.

Localidad	Tipo de muestra	Grupo Textural	Nombre del sedimento	% Grava	% Arena	Sesgo
M3-1 San Isidro de las Palmas	Unimodal bien seleccionada	Arena	Arena media moderadamente bien seleccionada	0	100	Simétrica
M3-6 Los Inocentes	Unimodal moderadamente bien seleccionada	Arena ligeramente gravosa	Arena media moderadamente bien seleccionada	0.3	99.7	Simétrica
M3-10 Zona de acantilados	Unimodal moderadamente bien seleccionada	Arena	Arena media	0	100	Simétrica

- Dunas activas

En la Zona Norte, las dunas presentan una morfología característica, diferente a las observadas en la Zona Central y Sur del área de estudio. Las dunas presentan una forma de montículos semicirculares aislados estabilizados por vegetación baja (arbustos pequeños). En contraste, las dunas de las zonas Sur y Central se presentan en forma de un cordón frontal principal. Esta morfología en montículos se puede apreciar tanto en campo como en imágenes de satélite y ortofotos (figura 48). Además pudieron reconocerse pequeñas dunas incipientes montadas en acantilados (zona de acantilados, extremo norte del área de estudio). Estas dunas pequeñas también se encuentran estabilizadas por vegetación baja (figura 49). El sedimento de las dunas corresponde a arenas moderadamente bien seleccionadas, con un sesgo hacia los gruesos (tabla 11).



Figura 48. Dunas con una morfología característica de montículos o semicírculos. Este tipo de dunas se presentan solamente en la Zona Norte del área de estudio.



Figura 49. Dunas incipientes montadas sobre acantilados presentes en el extremo norte del área de estudio.

Tabla 11. Características sedimentológicas de las dunas de la Zona Norte.

Localidad	Tipo de muestra	Grupo Textural	Nombre del sedimento	% Grava	% Arena	Sesgo
M3-7 Los Inocentes	Unimodal bien seleccionada	Arena	Arena media bien seleccionada	0	100	Simétrica
M3-11 Arroyo Seco	Bimodal moderadamente seleccionada	Arena	Arena media moderadamente seleccionada	0	100	Sesgada hacia los gruesos
M3-13 Punta Márquez	Bimodal moderadamente bien seleccionada	Arena	Arena media moderadamente bien seleccionada	0	100	Sesgada hacia los gruesos

- Zona de acantilados

En el extremo norte del área de estudio se presenta una zona de acantilados bajos de aproximadamente 6 km de longitud, compuestos por rocas sedimentarias y depósitos de terraza marina. Estos acantilados son rectos tiene una altura promedio de 5 a 6 m y en su base no se observaron plataformas de abrasión, en su lugar se observan bloques caídos y removidos por oleaje de alta energía (figura 50).



Figura 50. Acantilados localizados en el extremo norte del área de estudio. Fotografía tomada en la cercanía al faro de Punta Márquez.

Los acantilados están conformados por rocas sedimentarias pertenecientes a la Formación Salada del Plioceno Superior (Informe de la carta Geológico – minero, La Paz, 1999) y depósitos correspondientes a terrazas marinas del Pleistoceno. La formación Salada únicamente aflora en el norte del área de estudio y se caracteriza por la presencia de limolitas, areniscas e intercalaciones de coquinas. Estas rocas son de color claro y presentan estratificación paralela. Las rocas presentes en los acantilados del área de estudio, son rocas semiconsolidadas con poca resistencia a la erosión. Los acantilados de la Zona Norte sólo son activos durante tormentas intensas y oleaje de *swell* de tormenta típico durante los meses de invierno en esta región (figura 51).



Figura 51. (A) En la Zona Norte se presentan acantilados bajos, los cuales no superan los 6 m de altura. Los acantilados están formados sobre rocas sedimentarias de la Formación Salada del Plioceno Superior y depósitos de terraza marina del Pleistoceno.

3.3 Mineralogía

Para el análisis mineralógico se consideraron 70 muestras provenientes de diversos ambientes sedimentarios. Para cada una de las muestras se separó la fracción gruesa (entre 0 y 0.5 ϕ) y 70 la fracción fina (de 2 a 2.75 ϕ) (tabla 12). La fracción gruesa fue separada con el fin de precisar de una mejor manera las fuentes de aporte del material y para distinguir minerales y fragmentos líticos con mayor facilidad. En cambio la fracción fina fue utilizada para conocer el contenido de minerales ferromagnesianos como la hornblenda y turmalina, micas como muscovita y biotita, y finalmente la proporción de magnetita presente en cada una de las muestras. En total se consideraron cinco componentes mineralógicos: cuarzo, feldespato, fragmentos líticos, micas y anfíboles - piroxenos y/o magnetita. Además se considera los fragmentos biógenos como pedacería de conchas de moluscos.

Tabla 12. Muestras analizadas mineralógicamente por el método de conteo de 300 granos a través de microscopio estereoscópico.

Muestras	Fracción gruesa (entre 0 y 0.5 ϕ)	Fracción fina (entre 2 a 2.75 ϕ)
Cara de la Playa	19	19
Duna frontal reciente	25	25
Arroyo	7	7
1° y 2° cordón de dunas	15	15
3er Cordón de dunas	4	4

3.3.1 Arroyos

Dentro del área de estudio fueron recolectadas 7 muestras en arroyos: (1) arroyo El Cedro (Punta Márquez), (2) arroyo Seco (3.5 km al sur de punta Márquez), (3) arroyo de Los Inocentes en la Zona Norte, (4) arroyo El Carrizal dentro de la Zona Central y (5 y 6) arroyo La Muela y (7) arroyo El Palmarito en la Zona Sur. Los arroyos de la Zona Sur aportan principalmente cuarzo, feldespato (plagioclasa y ortoclasa) y en menor proporción fragmentos líticos (de origen granítico y metasedimentario) (figura 52). Al igual que en el sur, los arroyos de la Zona Central son fuente de aporte de cuarzo (mayor proporción), feldespato y fragmentos líticos de origen granítico (figura 52). En cambio, en la Zona Norte la muestra de sedimento del arroyo El Seco reveló, que el principal aporte de este arroyo son fragmentos líticos, de origen volcánico y sedimentario (figura 52). El arroyo Seco es uno de los arroyo de mayor importancia del área de estudio, junto con el arroyo El Carrizal y El Arroyo La Muela. Sin embargo la muestras del Arroyo El Cedro ubicado muy cercano a Punta Márquez, mostró como componente principal al cuarzo. Este cambio en el aporte mineralógico de los arroyos de la Zona Norte parece deberse a la variación en el tamaño de las cuencas de drenaje. La cuenca de drenaje del arroyo El Cedro es mucho más pequeña que la del Arroyo Seco.

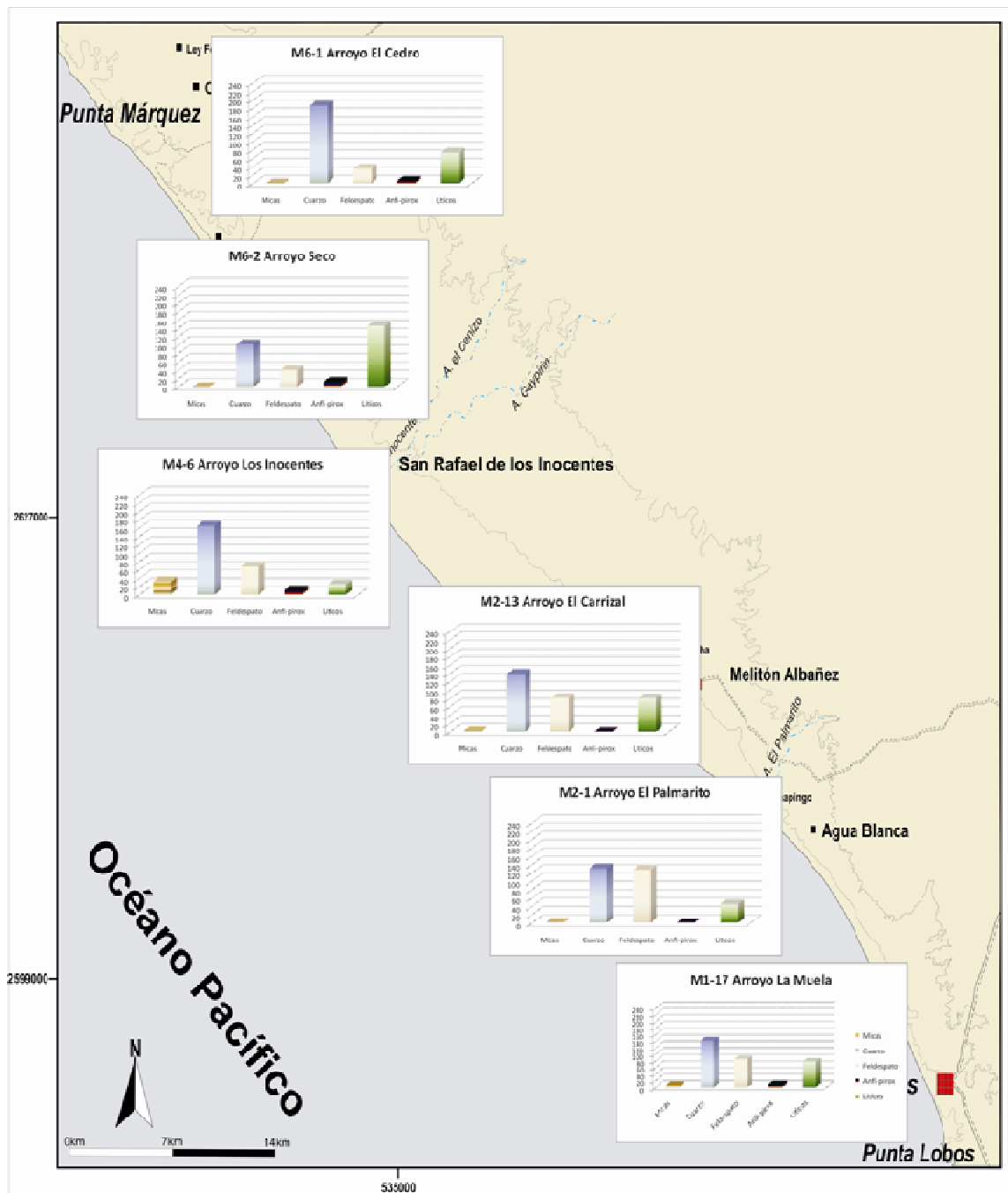


Figura 52. Gráfico de los principales componentes mineralógicos (fracción gruesa) de las muestras de arroyos del área de estudio. Los arroyos abastecen a la costa principalmente de cuarzo, feldespatos y fragmentos líticos.

- Clasificación mineralógica del sedimento de arroyos del área de estudio.

Las muestras de la Zona Sur se clasificaron como feldesarenitas líticas (figura 53). Los arroyos presentes en la Zona Sur aportan material sedimentario de origen granítico principalmente, este sedimento es muy rico en cuarzo, ortoclasa, plagioclasa y en menor proporción fragmentos líticos de origen granítico y metasedimentario (filita y gneis). La muestra del arroyo El Palmarito (M2-1) ubicado en la Zona Central del área de estudio, aporta material rico en cuarzo y en feldespato en cambio el arroyo El Carrizal (M4-6) aporta más fragmentos líticos debido a que este arroyo corta depósitos de abanicos aluviales antiguos muy ricos en fragmentos líticos de origen granítico. En contraste las muestras de los arroyos de la Zona Norte aportan menos feldespato, pero más fragmentos líticos, estos de origen volcánico y sedimentario.

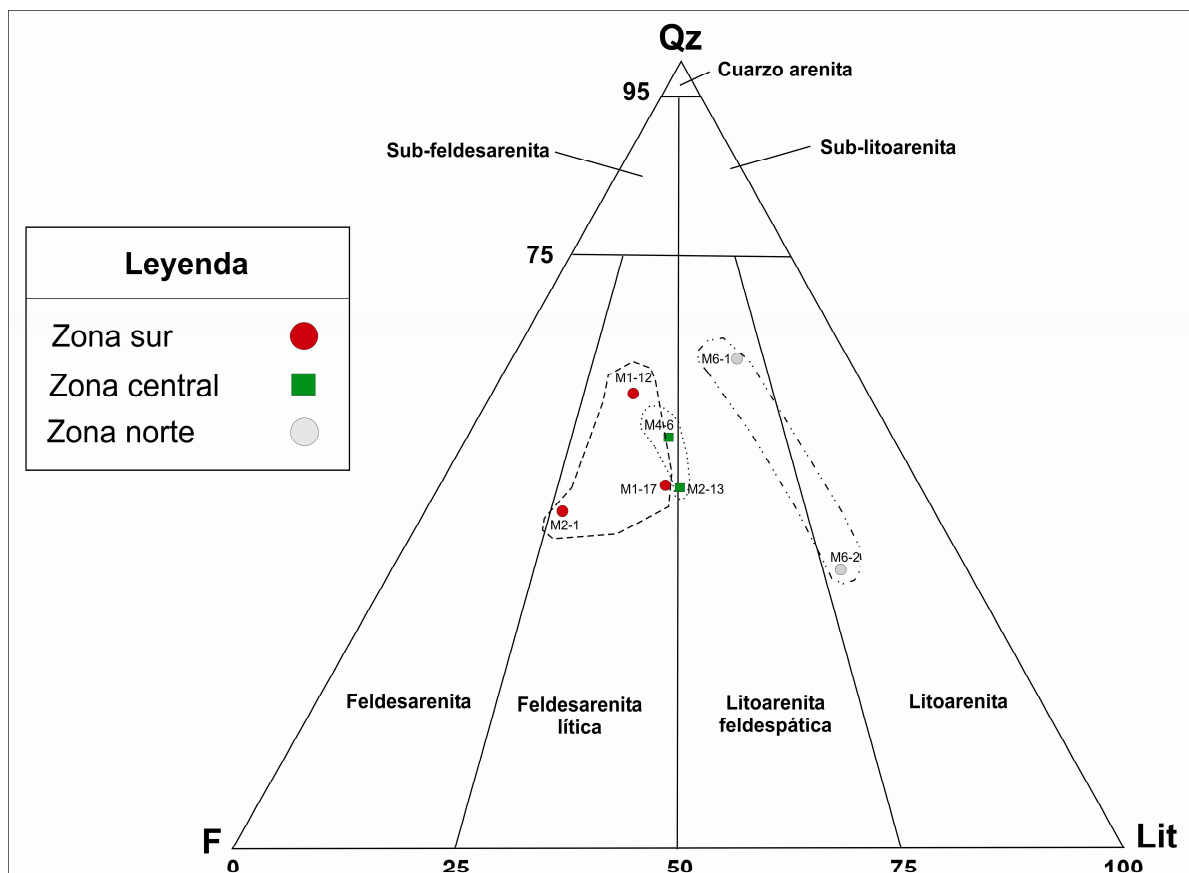


Figura 53. Clasificación mineralógica de las muestras de arroyo del área de estudio.

3.3.2 Playas

- Zona Sur

En total fueron analizadas 38 muestras correspondientes a sedimento tomado en cara de la playa. Las muestras de la Zona Sur en general presentan un enriquecimiento en cuarzo, feldespato (básicamente ortoclasa) y minerales ferromagnesianos como hornblenda y turmalina. Los fragmentos líticos son de origen granítico, pegmatíticos y metamórfico (figura 54). El granito muy rico en ortoclasa y las rocas pegmatíticas compuestas principalmente por cuarzo, plagioclasa y turmalina son provenientes de la sierra La Laguna. Los fragmentos metamórficos están representados por filita la cual es transportada por los arroyos hacia la zona costera. La filita se presenta como pantallas metasedimentarias en el área aledaña a la población de Todos Santos. Las muestras de la Zona Sur se pueden clasificar mineralógicamente como Feldesarenita Lítica.

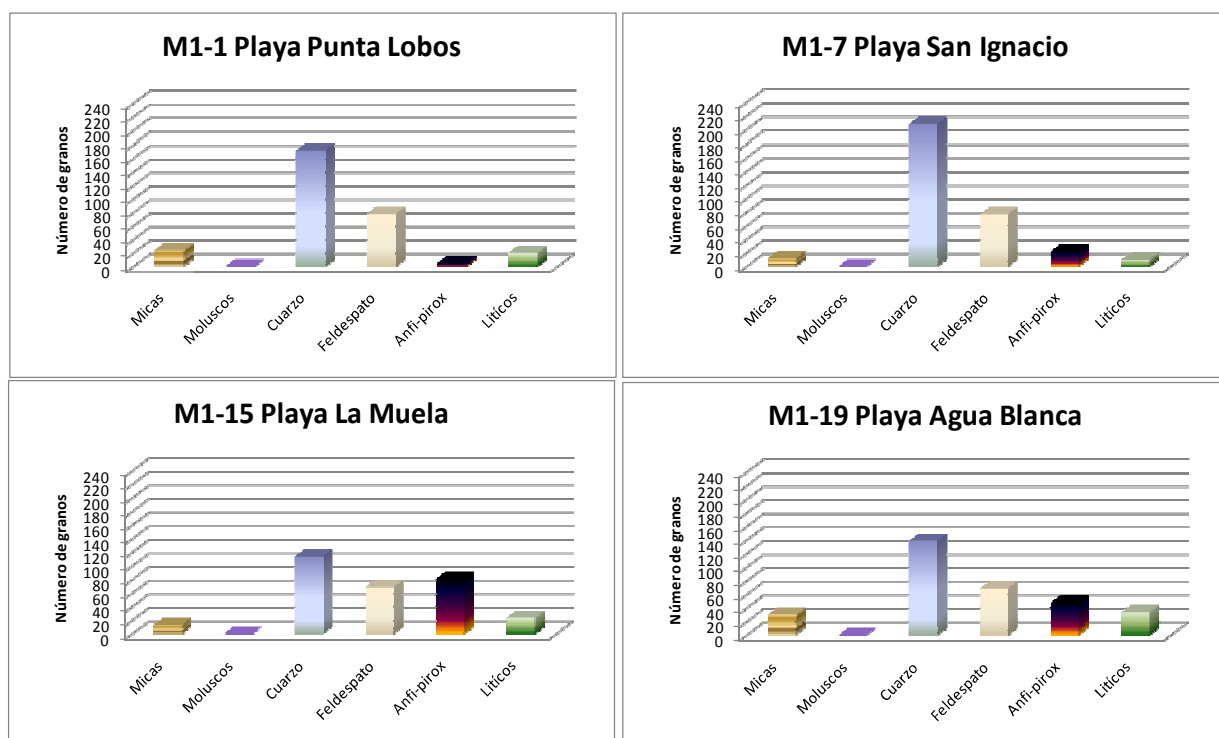


Figura 54. Gráficos de granos contados para cada componente mineralógico para muestras de la Zona Sur. Nótese la abundancia de cuarzo y feldespatos.

- Zona Central

Las playas de la Zona Central muestran como componentes principales el cuarzo y feldespatos potásicos (ortoclasa), sin embargo las muestras cercanas a desembocaduras de arroyos (M2-17) presentan componentes mineralógicos como hornblenda, piroxenos y turmalina (figura 55). En estas muestras el contenido de micas como la biotita y la muscovita es menor que en las muestras de la Zona Sur, esto se origina debido al incremento de la distancia de la fuente de aporte de las micas (granitos y rocas pegmatíticas) conforme se avanza hacia el norte.

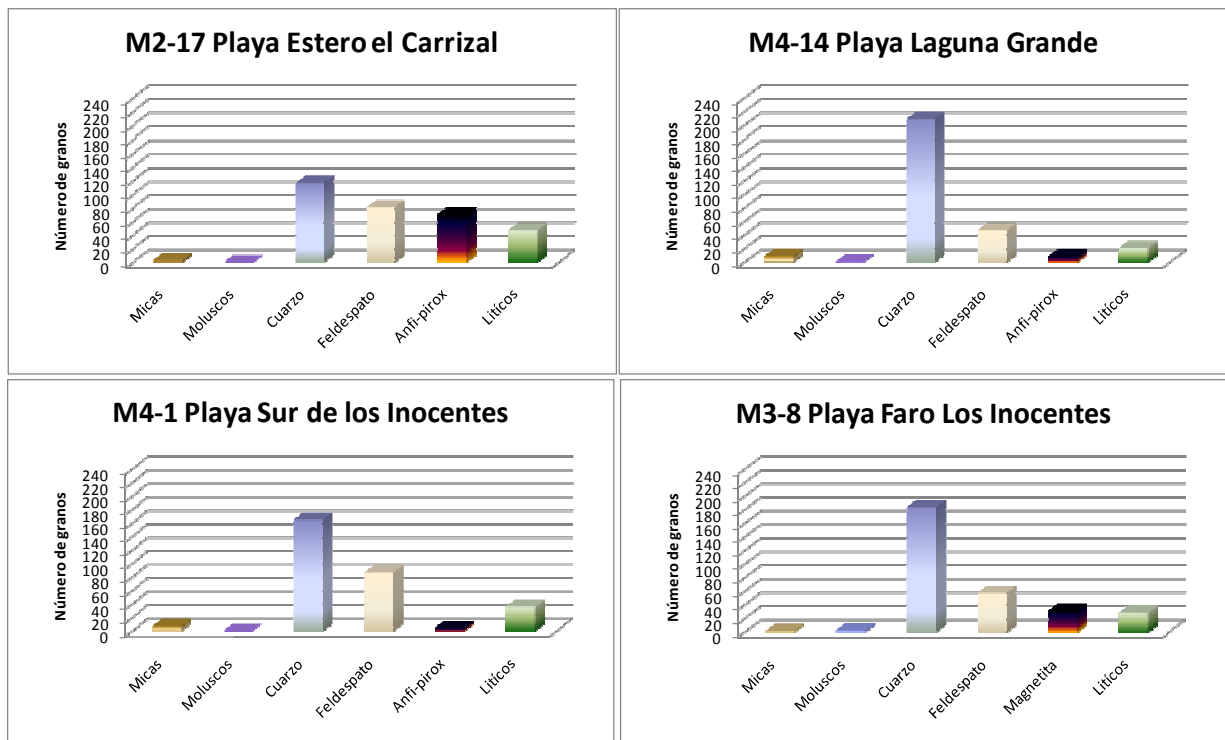


Figura 55. Gráficos de granos contados para cada componente mineralógico para las muestras de la Zona Central. En todas las muestras el componente principal fue el cuarzo, seguido por los feldespatos (en especial el feldespato potásico).

- Zona Norte

En contraste con las zonas Sur y Central, el sedimento de las playas de la Zona Norte presenta como componentes principales cuarzo, magnetita, plagioclasas y fragmentos líticos de origen volcánico y metamórfico (figura 56). En las playas de esta zona es muy abundante la magnetita y minerales verdes de origen metamórfico, por lo que se puede inferir que este material es transportado por corrientes litorales desde Bahía Magdalena ubicada aproximadamente a 90 km al norte del área de estudio. La playa de Punta Márquez presenta un enriquecimiento en cuarzo debido a que se encuentra muy cercana a la desembocadura de un arroyo.

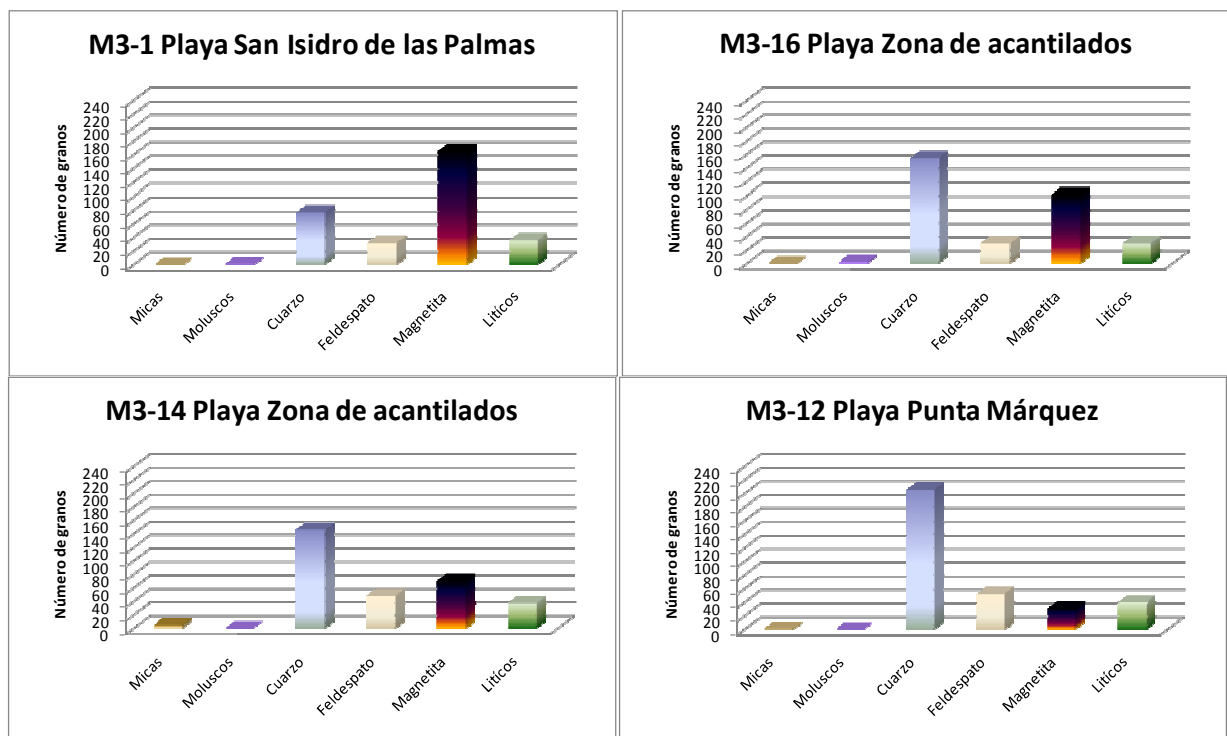


Figura 56. Gráficos de granos contados para cada componente mineralógico para muestras de la Zona Norte. En esta zona la magnetita es un componente mineralógico de interés.

- Composición mineralógica del sedimento de las playas del área de estudio.

En el programa Triplot fueron realizados diagramas ternarios con los 3 principales componentes mineralógicos (cuarzo, feldespato y fragmentos líticos) presentes en cada una de las muestras. Como se puede observar en la figura 57, las muestras de la zona sur y central se pueden clasificar mineralógicamente como feldesarenita lítica. Estas muestras son ricas en cuarzo y feldespatos (principalmente feldespato potásico como la ortoclasa), debido a que se encuentran cercanas a la fuente de aporte sedimentario, primordialmente rocas sedimentarias derivadas de rocas graníticas. El sedimento granítico es aportado por las principales corrientes fluviales como los arroyos la Muela y El Carrizal, teniendo su origen en las sierras graníticas del Bloque de Los Cabos, ubicadas hacia el este y sureste del área de estudio.

En contraste, las muestras de las playas encontradas en la Zona Norte, se clasifican mineralógicamente como litoarenita feldespática, en excepción la muestra M3-1 que se clasificó como litoarenita. Las playas de la Zona Norte presentan como componentes principales el cuarzo y fragmentos líticos. Los fragmentos líticos que se observaron a través del microscopio estereoscópico son del color verde de tonalidades que varían desde verdes claros (clorita) translucidos hasta verdes muy oscuros opacos (serpentinatas) (figura 58). Estos fragmentos son de origen metamórfico, los cuales tiene su fuente de aporte en el complejo insular de Bahía Magdalena, 90 km al norte del área de estudio. En esta zona de la península de Baja California afloran rocas correspondientes a una secuencia ofiolítica del Mesozoico. La secuencia está conformada litológicamente por anfibolitas, esquistos, esquistos verdes, metagabro y metadiabasa Jurásico Superior (Informe de la carta Geológico – minero, La Paz, 1999). Los esquistos son muy abundantes en esta área y presentan una composición mineralógica de serpentinita (crisotilo), clorita, calcita, tremolita.-actinolita y abundante magnetita (Informe de la carta Geológico – minero, La Paz, 1999).

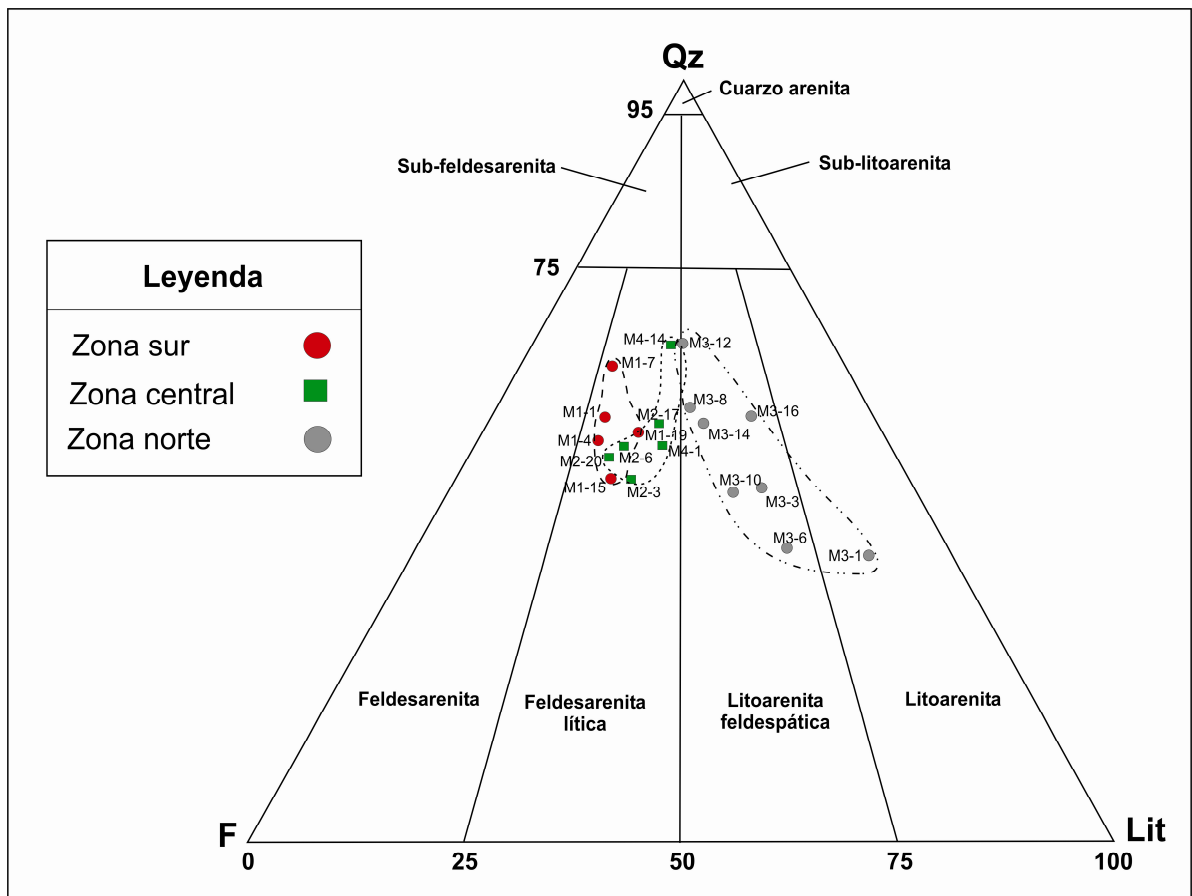


Figura 57. Diagrama ternario donde se puede observar la clasificación mineralógica de las muestras de cara de la playa.

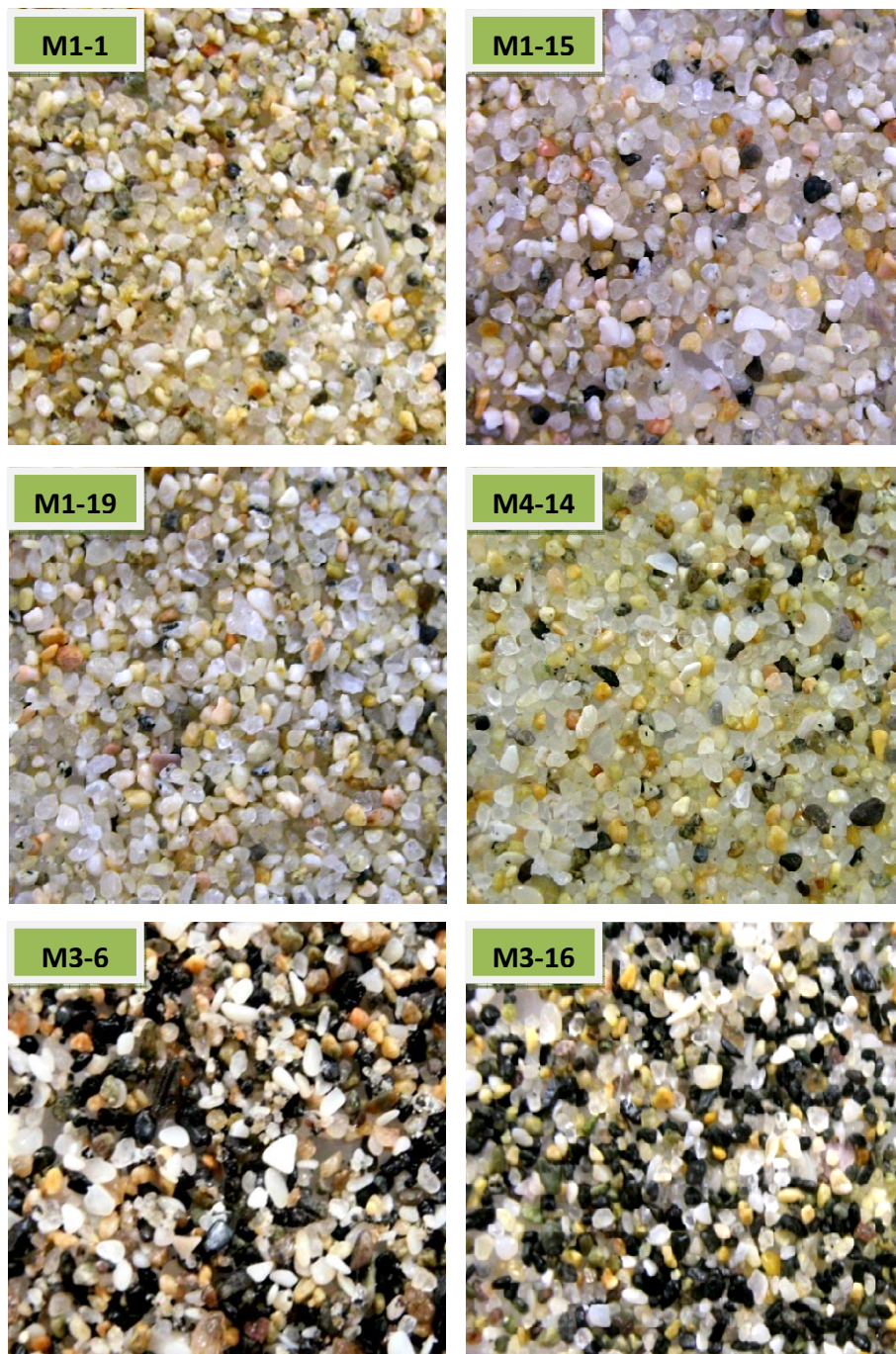


Figura 58. En la Zona Sur (M1-1, M1-15 y M1-19) y central del área de estudio (M4-14) el color de las muestras tomadas en la cara de la playa son de color más claro que las encontradas en la Zona Norte (M3-6 y M3-16). Esta heterogeneidad en el color del sedimento es causado por una variación gradual en el contenido mineralógico (variación observada de sur a norte).

3.3.3 Dunas recientes

En total fueron analizadas 50 muestras de dunas recientes tanto del cordón de duna frontal como el de dunas incipientes o nabkhas.

- Zona Sur

El cordón de dunas activas de la Zona Sur se caracteriza mineralógicamente por presentar cuarzo en abundancia junto con una cantidad importante de feldespato (ortoclasa), minerales ferromagnesianos (hornblenda y turmalina) y fragmentos líticos de origen granítico, pegmatíticos y metamórfico (figura 59). Los fragmentos metamórficos son más abundantes en la localidad de Punta Lobos y en las cercanías al arroyo La Muela, litológicamente estos fragmentos corresponden a filita y gneis. Además las muestras de duna, presentan en menor proporción mica biotita y muscovita, estos filosilicatos se presentan como minerales formadores en las rocas graníticas y metamórficas ubicadas en la porción sur del área de estudio y son transportadas de manera muy fácil por las corrientes fluviales, el oleaje y el viento.

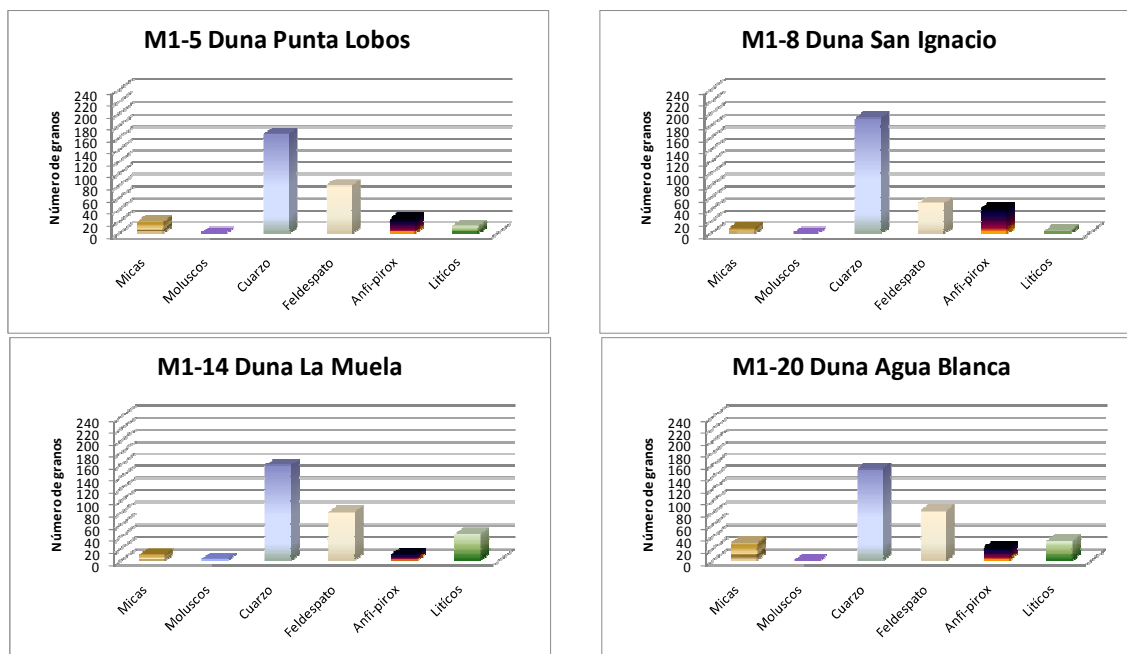


Figura 59. Gráficos de granos contados para cada componente mineralógico en las muestras de dunas activas de la Zona Sur. El cuarzo es el componente mineralógico más importante.

- Zona Central

El cuarzo es el componente mineralógico de mayor relevancia en las dunas de la Zona Central (figura 60), sin embargo, es posible distinguir un cambio transicional en la mineralogía. Es decir, de sur a norte de una manera progresiva las muestras comienzan a enriquecerse en óxido de hierro (magnetita). Este cambio en la mineralogía se cree que es originado por un cambio de dirección en la corriente litoral, es decir el transporte litoral cambia de norte a sur. Los feldespatos siguen siendo en mayor proporción ortoclasa y los fragmentos líticos son en mayor proporción de origen granítico y esporádicamente fragmentos metamórficos de color verde (en especial en las muestras cercanas al límite entre la Zona Central y Norte).

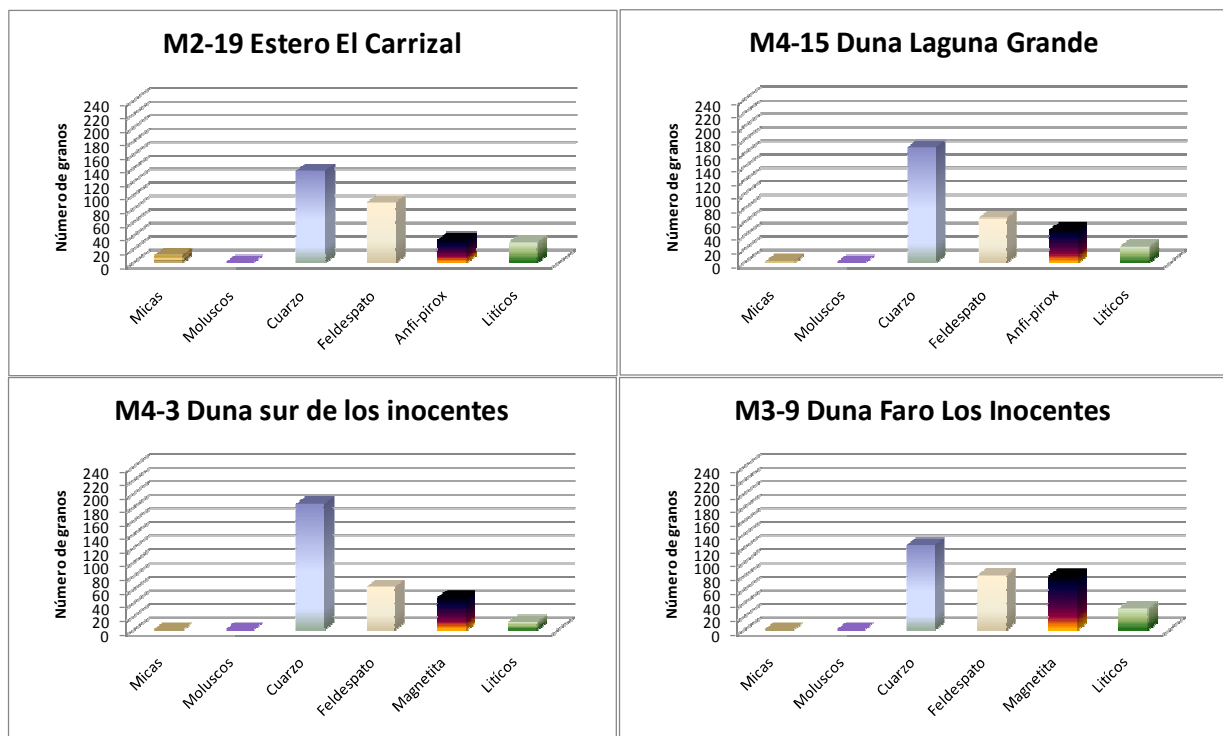


Figura 60. Gráficos de granos contados para cada componente mineralógico de las muestras de la Zona Central. Las dunas activas de la Zona Central presentan como componentes principales cuarzo, feldespato (plagioclasas y ortoclasa) y ferromagnesianos.

- Zona norte

Las dunas activas localizadas en la Zona Norte son geomorfológica y mineralógicamente distintas a las observadas en las Zonas Sur y central del área de estudio. En las muestras de las dunas de la Zona Norte el componente mineralógico más importante sigue siendo el cuarzo, sin embargo, la magnetita se vuelve un componente de importancia en el sedimento de las dunas, relevando al feldespato (figura 61).

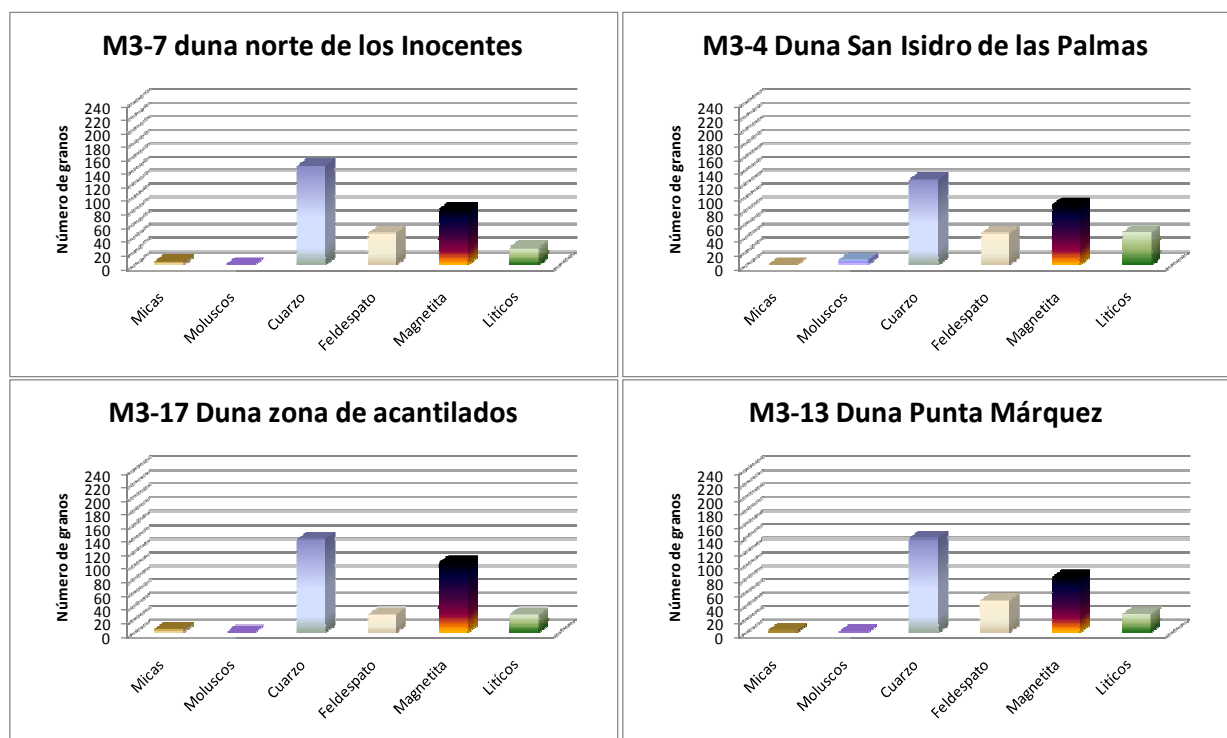


Figura 61. Gráficos de granos contados para cada componente mineralógico para muestras de la Zona Norte. En esta zona el cuarzo y la magnetita son los componentes mineralógicos de mayor interés.

- Clasificación mineralógica del sedimento de dunas recientes del área de estudio.

Las muestras de sedimento de las dunas recientes fueron graficadas en un diagrama ternario (figura 62). Las dunas de la Zona Sur se clasifican como Feldesarenita lítica, estas muestras están enriquecidas en cuarzo y feldespato potásico como la ortoclasa. La mayoría de las muestras de la Zona Central al igual que en la Zona Sur mineralógicamente se pueden clasificar como feldesarenita lítica, en cambio las muestras de la Zona Norte presentan un mayor contenido en fragmentos líticos y por lo tanto se clasifican como litoarenita feldespática (figura 63). Sin embargo dos muestras (M3-2 y M3-9) de la Zona Norte se clasificaron como feldesarenita lítica.

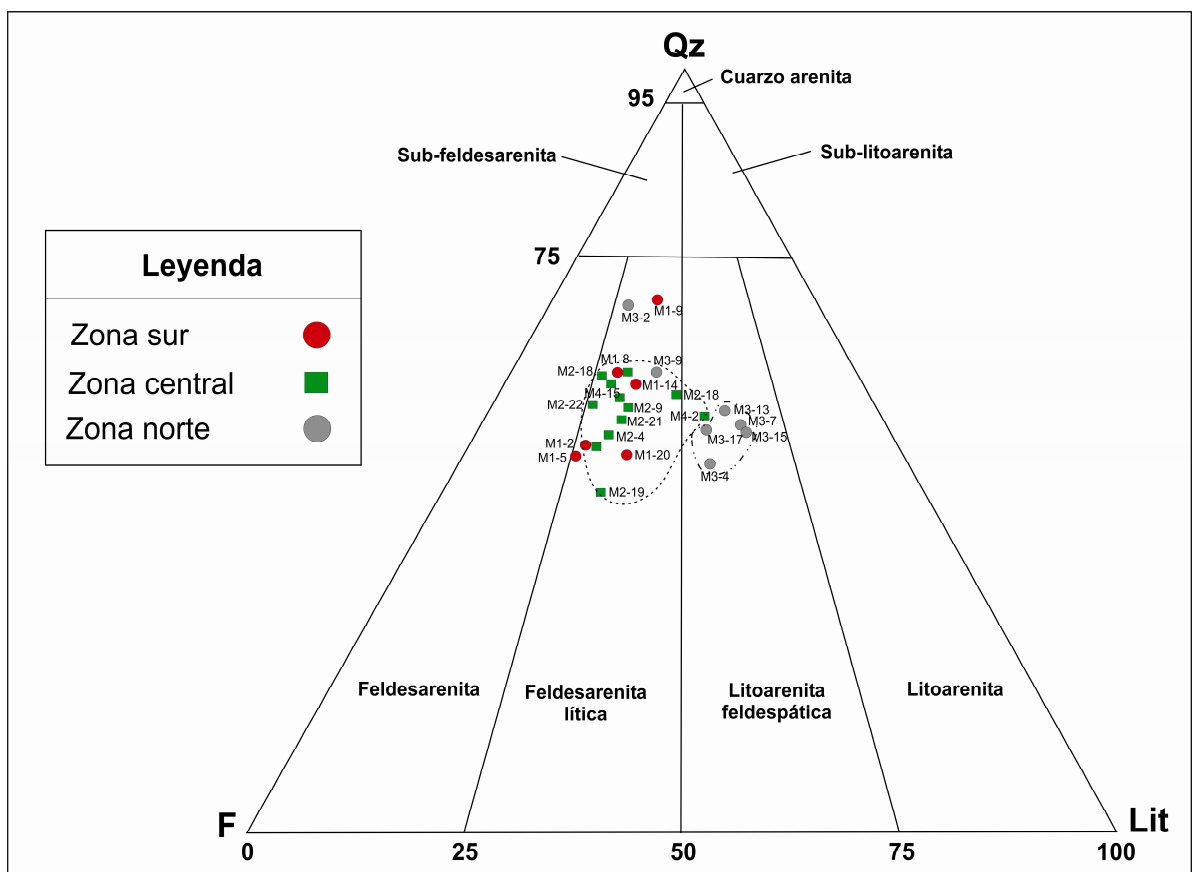


Figura 62. Diagrama ternario donde se presenta la clasificación mineralógica las muestras de dunas activas que fueron tomadas en el área de estudio. Nótese que la mayoría de las muestras de la zona sur y central se clasifican como feldesarenitas líticas.

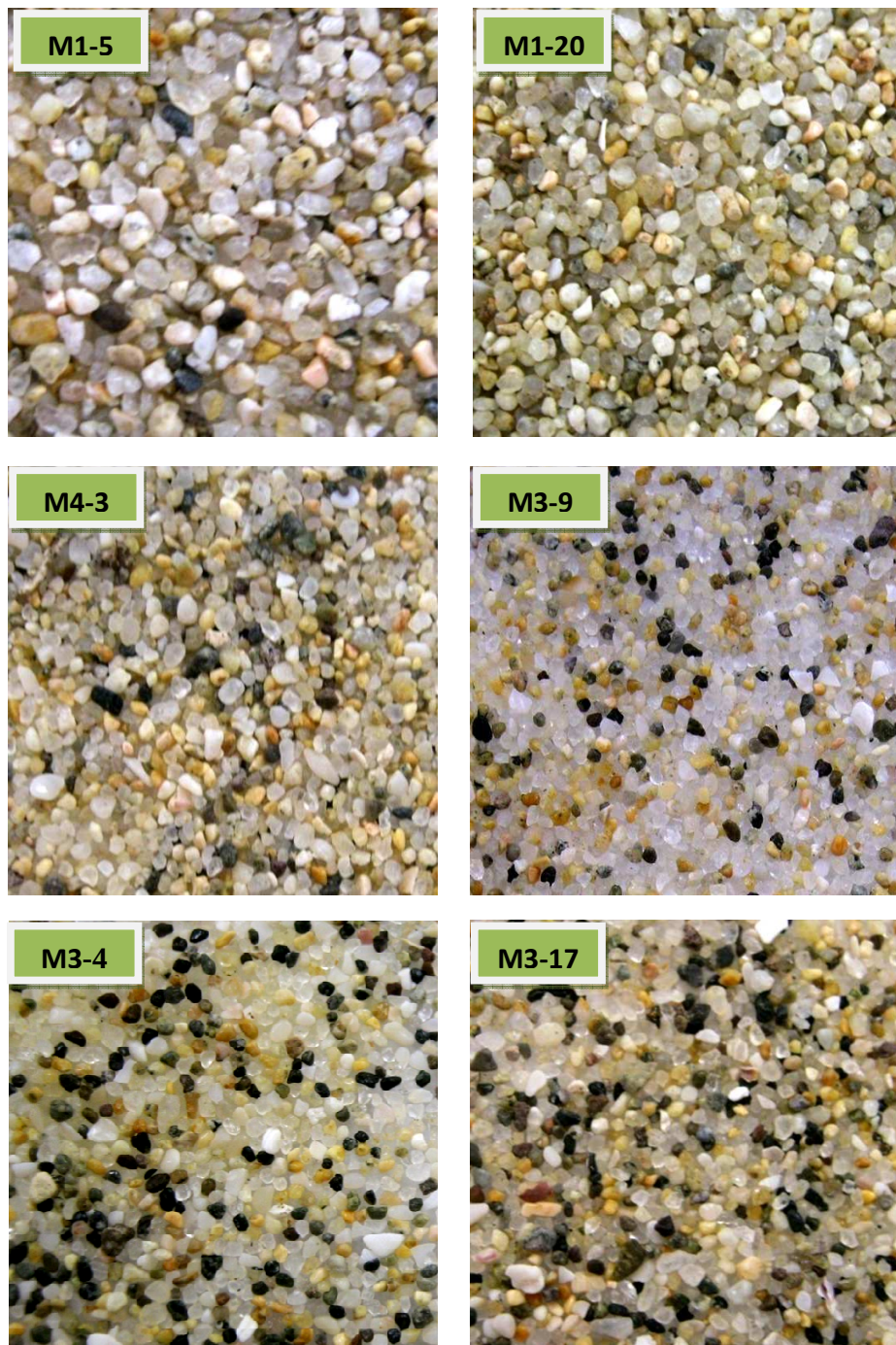


Figura 63. Al igual que el sedimento de las playas del área de estudio, las dunas presentan un cambio gradual en la mineralogía, es decir el material se va enriqueciendo hacia el norte de líticos y ferromagnesianos.

3.3.4 Primer cordón de dunas antiguas

El primer cordón de dunas antiguas puede localizarse a lo largo de la zona sur y de manera aislada en la Zona Norte. El material sedimentario de esta duna se caracteriza por presentar cuarzo como componente principal acompañado de feldespato potásico, minerales ferromagnesianos y en menor proporción fragmentos líticos (figura 64).

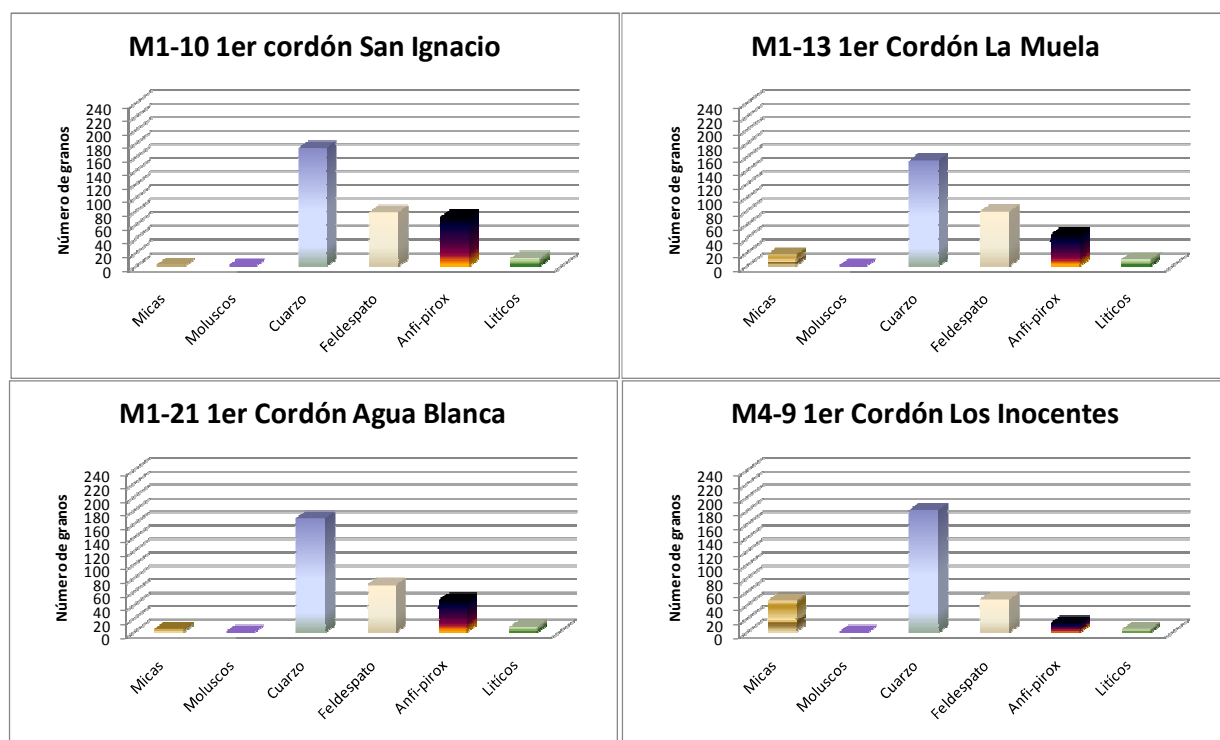


Figura 64. Gráficos de granos contados para cada componente mineralógico en muestras del primer cordón de dunas antiguas, ubicado en la Zona Sur y Norte del área de estudio. El principal componente mineralógico en las muestras del primer cordón es el cuarzo seguido por los feldespatos y los minerales ferromagnesianos.

3.3.5 Segundo cordón de dunas antiguas

El segundo cordón de dunas antiguas se presenta de manera muy continua a lo largo de la Zona Central del área de estudio. Al igual que el primer cordón de dunas antiguas, esta duna se caracteriza mineralógicamente por presentar un alto contenido en cuarzo (figura 65). Además se presenta feldespatos y ferromagnesianos en menor proporción. En las muestras tomadas en la Laguna Grande (M4-16, M4-17, M4-18, M5-5) fue posible distinguir la presencia de magnetita.

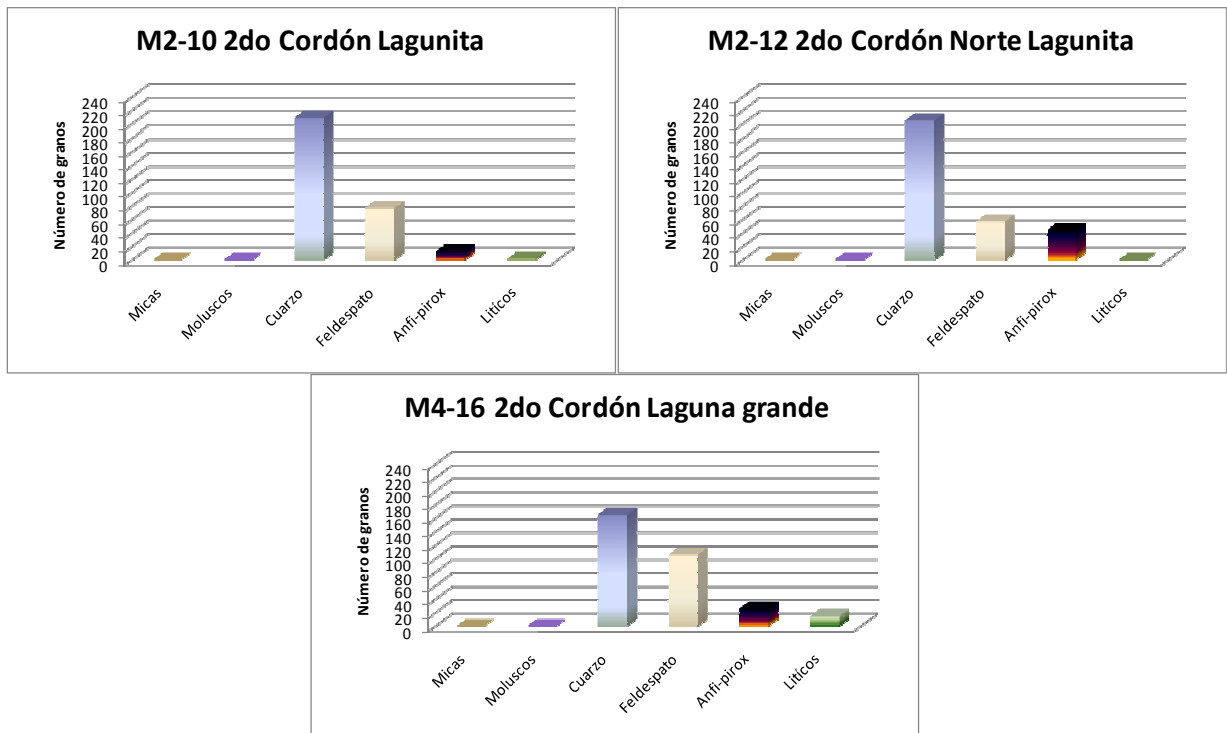


Figura 65. Gráficos de granos contados para cada componente mineralógico para muestras del segundo cordón de dunas antiguas, dentro de la zona central del área de estudio.

- Clasificación mineralógica del sedimento de dunas antiguas

El primer y segundo cordón de dunas antiguas son mineralógicamente similares, ambas muestras se clasificaron principalmente dentro del diagrama ternario como feldesarenitas líticas y en menor proporción como feldesarenitas y subfeldesarenitas (figura 66). Los dos cordones de dunas antiguas presentan el cuarzo como principal componente mineralógico.

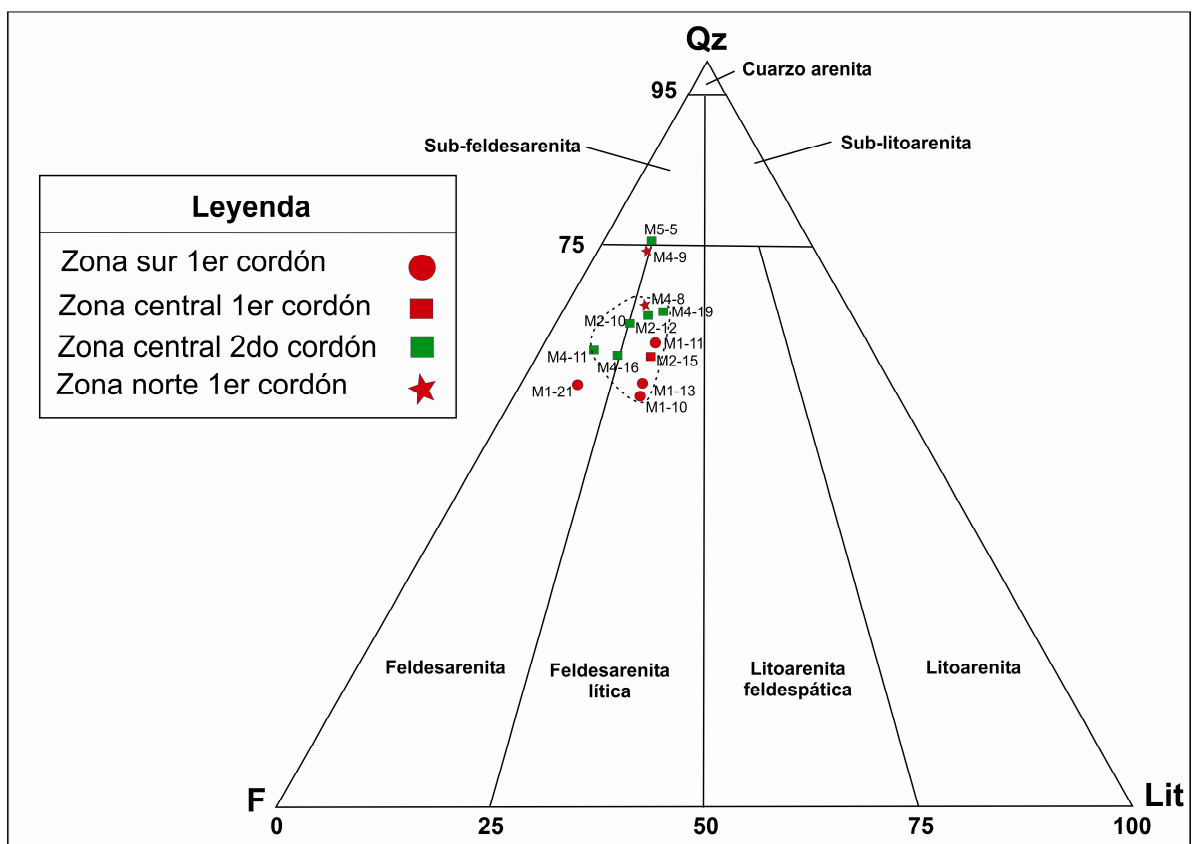


Figura 66. Diagrama ternario de clasificación mineralógica para las muestras del primer y segundo cordón de dunas antiguas. Estas dunas son muy ricas en cuarzo y feldespatos.

3.3.6 Tercer cordón de dunas antiguas

El tercer cordón de dunas antiguas se presenta de manera discontinua dentro de la Zona Central y Norte del área de estudio. Esta duna es la más antigua y se caracteriza mineralógicamente por estar enriquecida en cuarzo (figura 67). Sin embargo, los feldespatos, distinguidos por la ortoclasa, siguen estando presentes en las muestras de sedimento del tercer cordón de dunas antiguas.

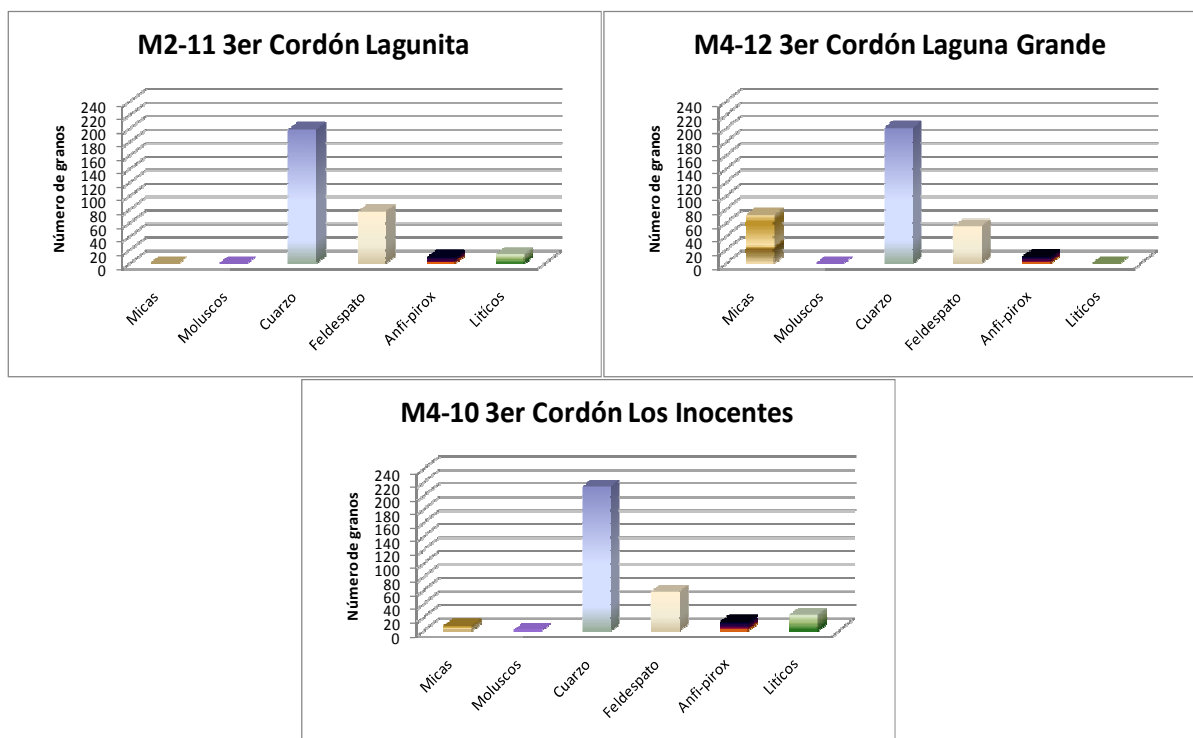


Figura 67. Gráficos de granos contados para cada componente mineralógico para muestras del tercer cordón de dunas antiguas. Esta duna antigua presenta un enriquecimiento en cuarzo.

- Clasificación mineralógica del sedimento de dunas antiguas.

Las cuatro muestras de sedimento del tercer cordón de dunas presentan como componente principal el cuarzo. Las muestras se clasifican como feldesarenitas, subfeldesarenita y feldesarenita lítica (figura 68).

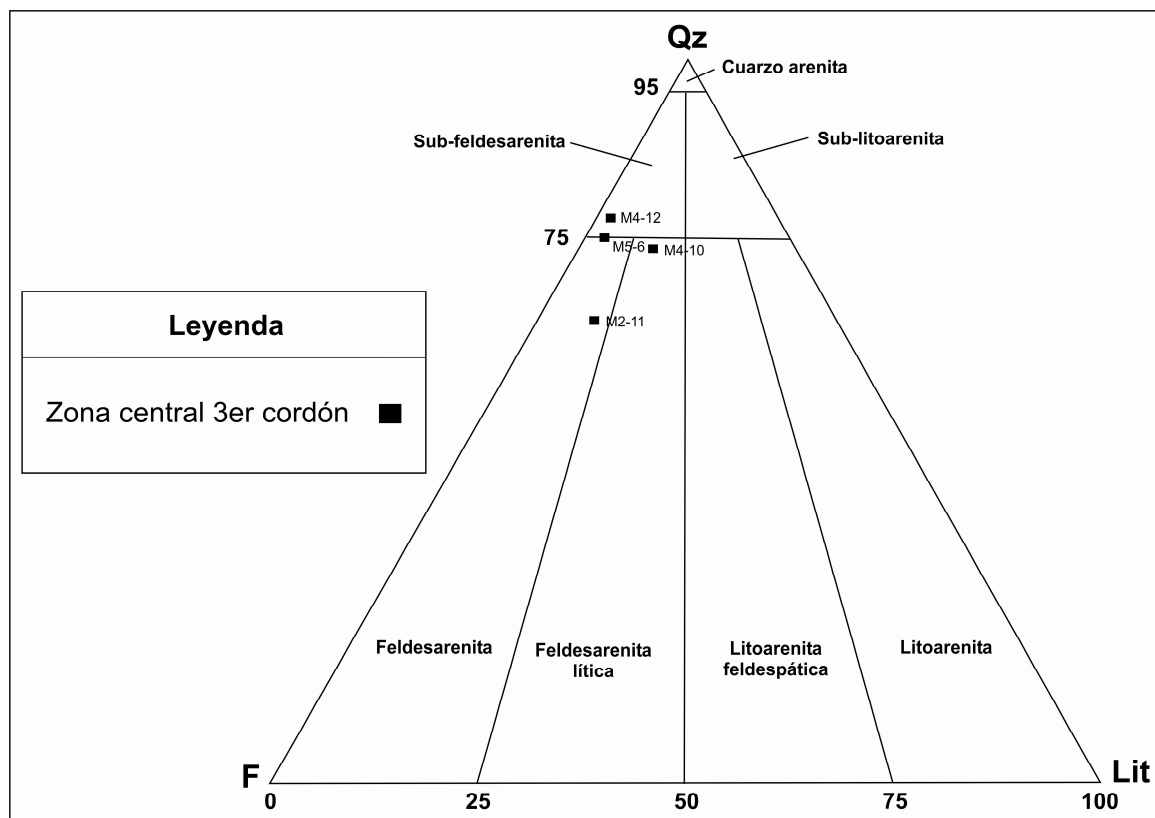


Figura 68. Diagrama ternario de clasificación mineralógica para las muestras del tercer cordón de dunas antiguas. Esta duna antigua presenta como componente principal al cuarzo.

3.4 Paleoambientes y fechaciones

Dentro del área de estudio se pudieron reconocer depósitos de ambientes costeros antiguos como cordones de dunas, planicies de inundación y planicies de marea. En total se describieron tres cordones de dunas antiguas ubicadas dentro de la Zona Sur, Zona Central y en los límites de la Zona Central y Norte. Los depósitos de planicie de inundación se ubicaron en la localidad de la Laguna Grande, estos depósitos se encuentran entre 1 y 1.5 m aproximadamente por encima de los depósitos de la laguna actual (figura 69). Estos depósitos están constituidos por sedimentos de origen evaporítico. Al microscopio estereoscópico este material se presenta en forma cristalina y se identificaron cristales de yeso. El material sedimentario superficial es de color claro, mientras que el material de fondo es de color más rojizo (figura 70).



Figura 69. Los depósitos de laguna o planicie de inundación se encuentran mayormente cubiertos por vegetación baja como pastizales, sin embargo también se pueden encontrar cactáceas como cardones y choyas.



Figura 70. El sedimento lagunar es de color claro en la superficie y rojizo en el fondo, este sedimento está compuesto en su mayoría por cristales de minerales de origen evaporítico.

Los cordones de dunas se presentan principalmente a lo largo de la Zona Central del área de estudio, sin embargo se presentan afloramientos menos continuos tanto en la Zona Sur (localidades de Agua Blanca y Boca del Arroyo La Muela) como en la Norte (localidad de Los Inocentes). Para conocer a detalle la morfología de los cordones de dunas se realizó un perfil en la localidad de La Lagunita dentro de la Zona Central (Anexo B).

3.4.1 Primer cordón de dunas antiguas

Este cordón de dunas se presenta en la Zona Sur del área de estudio, principalmente en los arroyos La Muela y Agua Blanca, aunque también se presenta de manera discontinua dentro de la Zona Central y Norte. Algunos afloramientos fueron localizados en la zona del arroyo Carrizal (Zona Central) y en la localidad del arroyo de Los Inocentes (Zona Norte). Este cordón limita hacia el oeste con las dunas frontales activas y hacia el este con un abanico aluvial antiguo. Geomorfológicamente esta duna se observa como un cordón de duna frontal (figura 71) y presenta una extensión de más de 11 km. En promedio estas dunas están localizadas a 300 m de la línea de costa actual y se encuentran estabilizadas por abundante vegetación como arbustos y cactáceas (figura 72). El material sedimentario está caracterizado mineralógicamente por contener abundante cuarzo, feldespato potásico, minerales ferromagnesianos y en menor

proporción fragmentos líticos. Este sedimento está poco compactado y es de color claro. Además, el sedimento de estas dunas se encuentra texturalmente compuesto por arenas moderadamente bien seleccionadas, con un sesgo que va de simétrico a sesgado a los finos (figura 73 y tabla 13). El primer cordón de dunas antiguas limita hacia el oeste con las dunas frontales activas y hacia el este con un abanico aluvial antiguo.

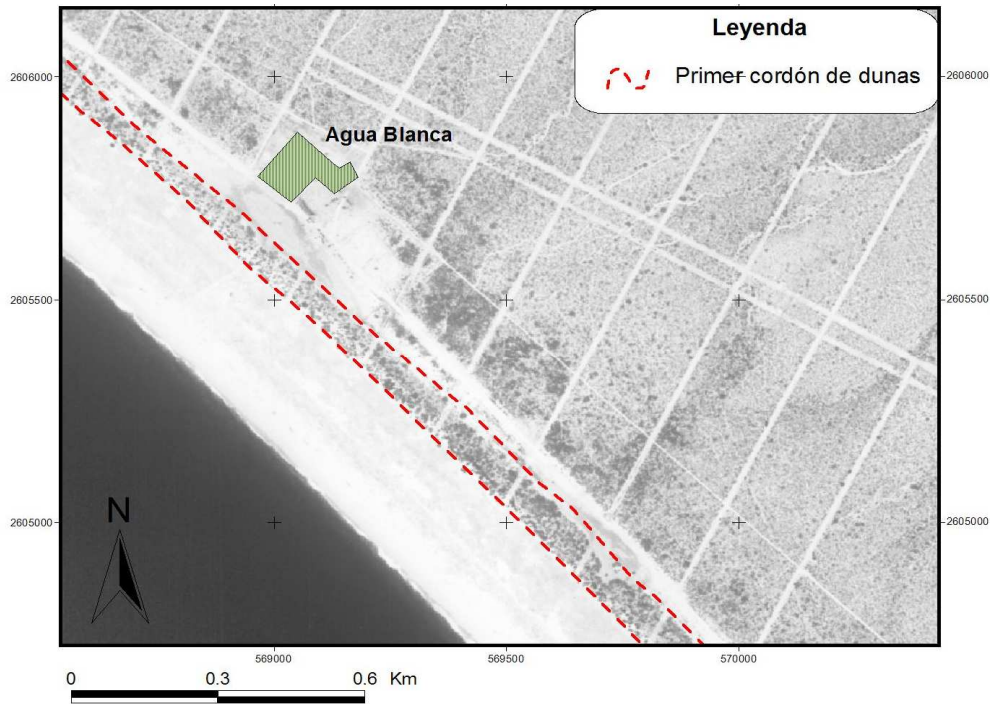


Figura 71. Primer cordón de dunas antiguas ubicada en la localidad de Agua Blanca, esta duna se presenta en promedio a 300 m de la línea de costa.



Figura 72. Primer cordón de dunas antiguas en la localidad de Agua Blanca, estas dunas se encuentran estabilizadas por abundante vegetación como arbustos y cactáceas (foto tomada en septiembre de 2007).

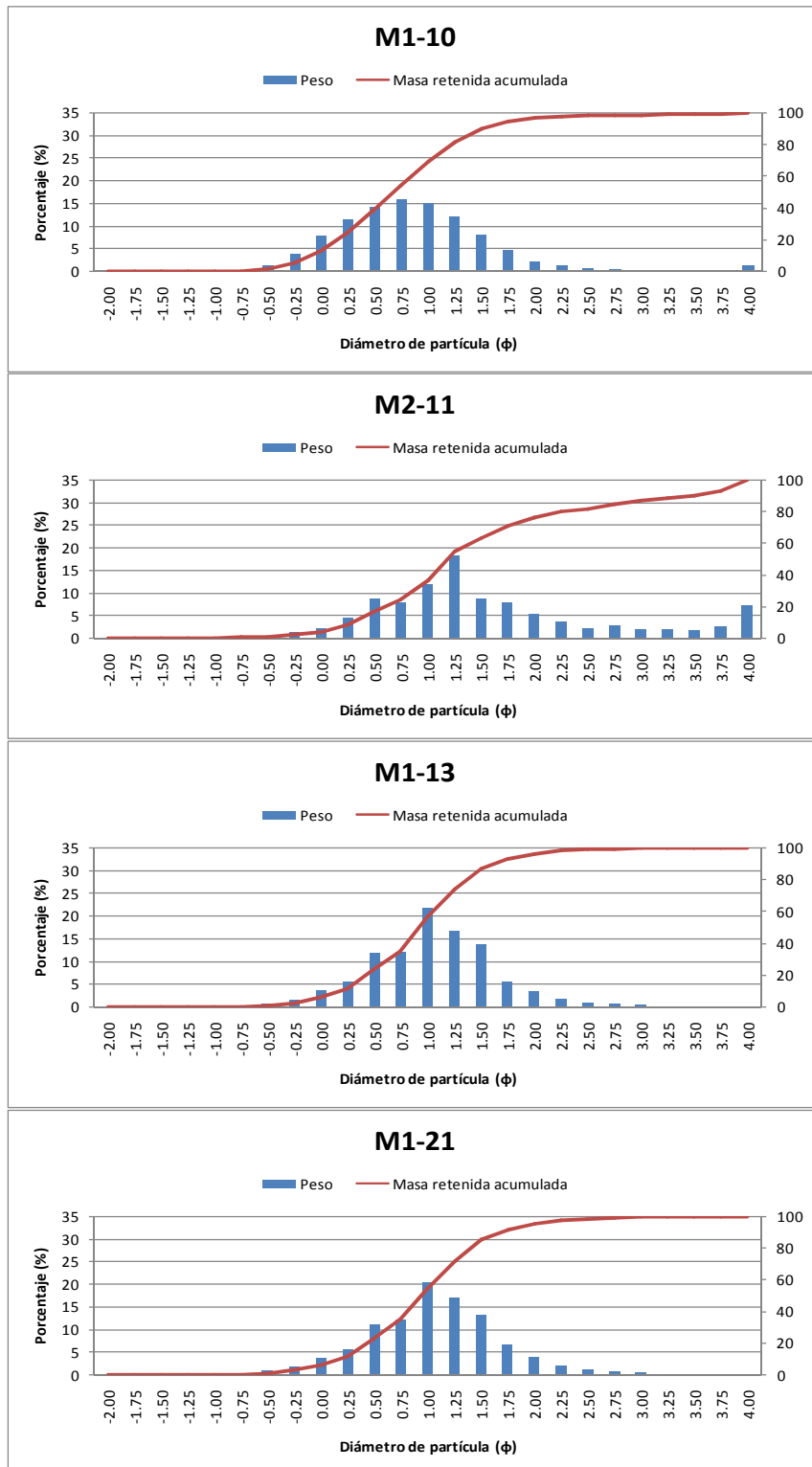


Figura 73. Histogramas de peso (%) y masa retenida acumulada (%) de las muestras tomadas en el primer cordón de dunas antiguas dentro de la localidad La Lagunita. Las muestras presentan un sesgo hacia las partículas finas.

Tabla 13. Componentes texturales de las muestras del primer cordón de dunas.

Localidad	Tipo de muestra	Grupo Textural	Nombre del sedimento	% Grava	% Arena	Sesgo
M1-10 San Ignacio	Unimodal moderadamente bien seleccionada	Arena	Arena gruesa moderadamente bien seleccionada	0	100	Simétrica
M1-11 Boca del arroyo La Muela	Unimodal moderadamente bien seleccionada	Arena	Arena gruesa moderadamente bien seleccionada	0	100	Sesgada hacia los finos
M1-13 Boca del arroyo la Muela	Unimodal moderadamente bien seleccionada	Arena ligeramente gravosa	Arena gruesa ligeramente gravosa muy fina	0.08	99.92	Simétrica
M1-21 Agua Blanca	Unimodal moderadamente bien seleccionada	Arena ligeramente gravosa	Arena gruesa ligeramente gravosa muy fina	0.102	99.89	Simétrica

3.4.2 Segundo cordón de dunas antiguas

Geomorfológicamente la Zona Central se caracteriza por presentar cordones de dunas antiguos muy bien preservados, los cuales se pueden apreciar claramente en las localidades de la Lagunita y la Laguna Grande, en las cercanías al Ejido de Melitón Albañez y la empresa camaronera Organic Shrimp (figura 74). En estas localidades se presentan el segundo y tercer cordón de dunas antiguas.

El segundo cordón de dunas se presenta de una manera muy continua a lo largo de la Zona Central del área de estudio y se encuentra entre 800 – 1100m de la línea de costa actual, aunque también se reconocieron afloramientos del segundo cordón desde el norte de la localidad de Agua Blanca (límite entre la

Zona Sur y Zona Central) hasta las inmediaciones del rancho San Rafael de los Inocentes (límite entre la Zona Central y Norte del área de estudio). La extensión del segundo cordón de dunas antiguas dentro del área de estudio es de aproximadamente 35 km (figura 74). Geomorfológicamente se presenta como un cordón de duna frontal (figura 75), el cual está estabilizado por arbustos bajos y cactáceas como cardones y choyas (figura 76). Las dunas correspondientes al segundo cordón presentan una altura aproximada entre 8 y 12 m SNMM. En la localidad de La Lagunita es donde presenta una altitud mayor, la cual es cercana a los 12 m. El sedimento es de color café claro ligeramente compactado, texturalmente se caracteriza por ser arenas ligeramente gravosas, sesgadas hacia los finos (figura 77 y tabla 14). En una corte de arroyo en la localidad de San Isidro de Las Palmas, se encontró una secuencia estratigráfica conteniendo depósitos eólicos posiblemente correlacionables con esta duna. Este afloramiento se ubicó a 800 m de la actual línea de costa. En la localidad La Laguna Grande este cordón limita con depósitos lagunares y depósitos de sabkha actuales.

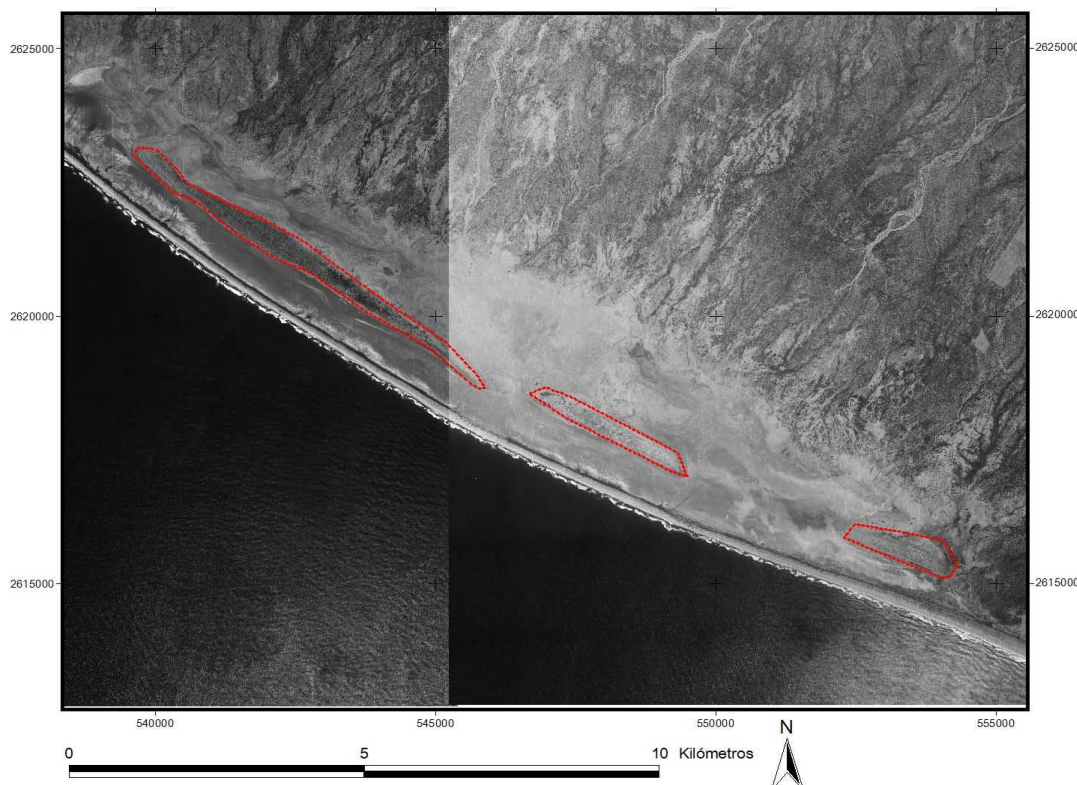


Figura 74. El segundo cordón de dunas antiguas se extiende por kilómetros a lo largo de la porción central del área de estudio. Ortofoto, localidad Laguna Grande.



Figura 75. Localidad Laguna Grande, vista desde la cima del segundo cordón de dunas antiguas hacia el sabkha, nótese hacia el fondo el cordón de dunas activas.



Figura 76. El segundo cordón de dunas antiguas se encuentra estabilizado por arbustos y cactáceas (Localidad La Lagunita).

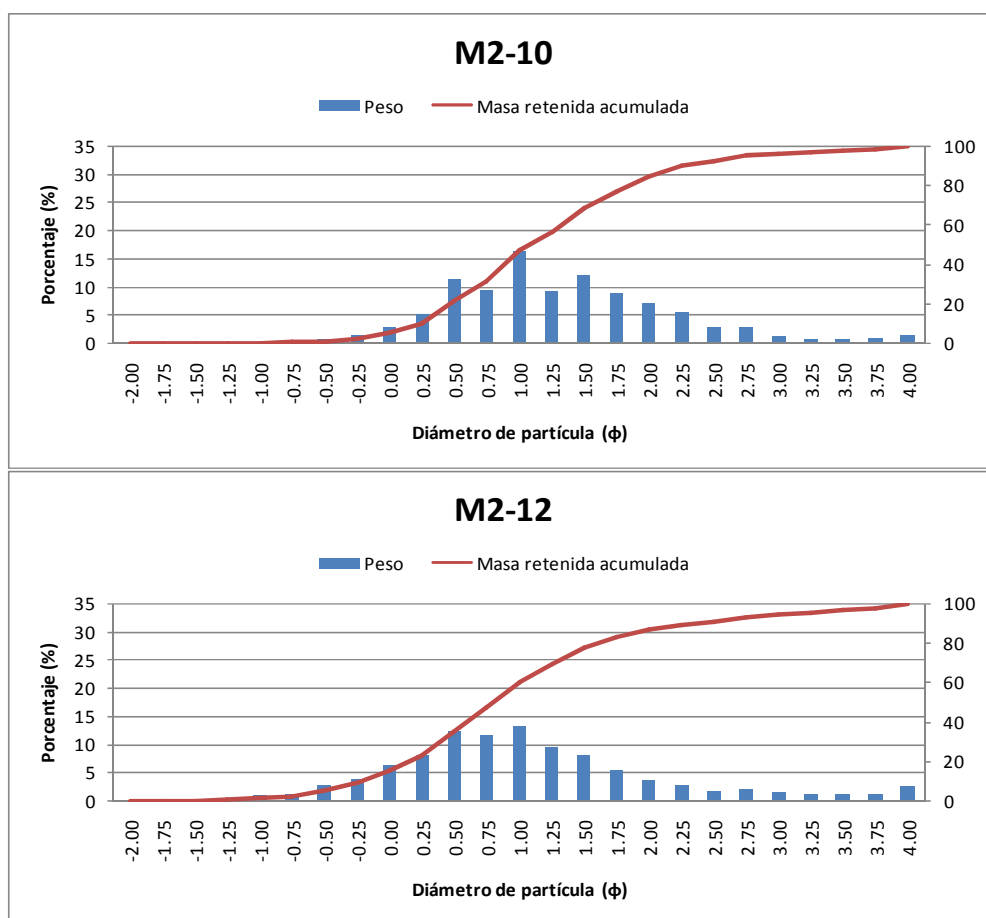


Figura 77. Histogramas de peso (%) y masa retenida acumulada (%) de las muestras M2-10 y M2-12 tomadas en la localidad de la Lagunita dentro de la Zona Central del área de estudio. Las muestras presentan un sesgo hacia las partículas finas.

Tabla 14. Componentes texturales de las muestras del segundo cordón de dunas

Localidad	Tipo de muestra	Grupo Textural	Nombre del sedimento	% Grava	% Arena	Sesgo
M2-10 La Lagunita	Trimodal moderadamente seleccionada	Arena ligeramente gravosa	Arena gruesa ligeramente gravosa muy fina	0.1%	99.9%	Sesgado a hacia los finos
M2-12 Lagunita Norte	Bimodal pobremente seleccionada	Arena ligeramente gravosa	Arena gruesa moderadamente bien seleccionada	1.3%	98.7%	Sesgado hacia los finos

3.4.3 Tercer cordón de duna antiguo

Este cordón se ubican en la localidad de la Lagunita al SE del ejido Melitón Albañez, en donde está mejor preservado y presenta una extensión de 3.2 km con una altura de 6 m SNMM y se ubica entre los 1200m -1500m (figuras 78). El material sedimentario superficial es de color café claro a medio, llegando a ser rojizo en el fondo y se encuentra muy compactado. Texturalmente el sedimentos está compuesto por arenas de grano medio, mal seleccionadas con un fuerte sesgo hacia los finos (figura 78 y Tabla 15). La mal selección se debe a la alteración de algunos minerales poco estables en arcillas. Este cordón antiguo no presenta la continuidad que posee el segundo cordón de dunas antiguas, ya que suele presentarse en forma discontinua a lo largo de la Zona Central. En la localidad de la Lagunita, esta duna antigua limita hacia el NE con depósitos de abanicos aluviales antiguos y hacia el SW con el segundo cordón de dunas antiguas.

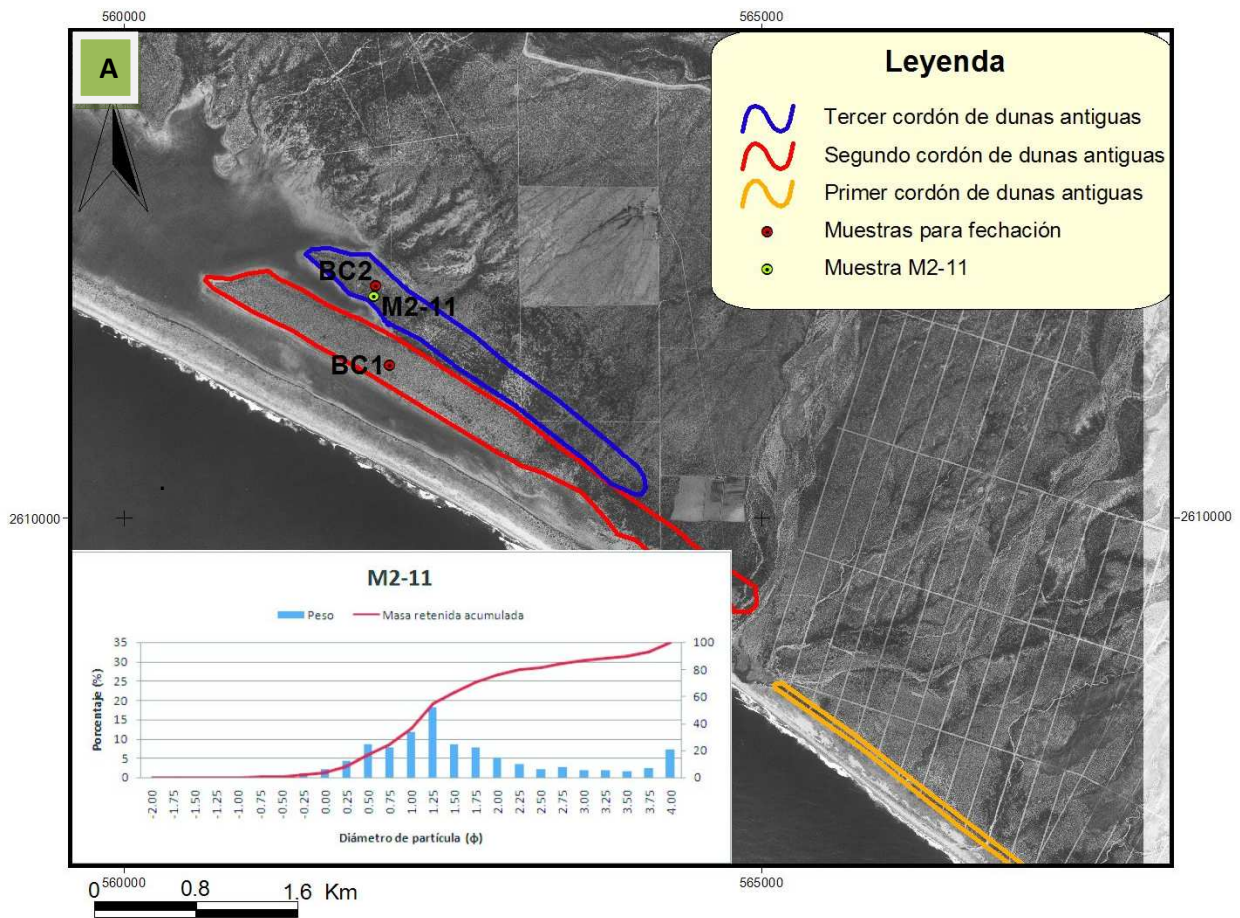


Figura 78. (A) Ubicación del tercer cordón de dunas antiguas en la localidad La Lagunita e histogramas de peso (%) y masa retenida acumulada (%) de la muestra M2-11. La muestra presenta un sesgo muy pronunciado hacia las partículas finas. (B) Fotografía de la cresta de la duna donde se aprecia una superficie compacta.

Tabla 15. Componentes texturales de la muestra M2-11.

Localidad	Tipo de muestra	Grupo Textural	Nombre del sedimento	% Grava	% Arena	Sesgo
M2-11 La Lagunita	Trimodal pobremente seleccionada	Arena ligeramente gravosa	Arena media ligeramente gravosa muy fina	0.1%	99.9%	Sesgado hacia los finos

3.4.4 Vestigios arqueológicos

Cabe mencionar que en los tres cordones de dunas antiguas se encontraron vestigios arqueológicos, tales como rocas pulidas, fragmentos de puntas de flecha, caracoles y conchas (figura 79), lo que nos hace suponer que estas dunas fueron habitadas o visitadas en el pasado por grupos indígenas.

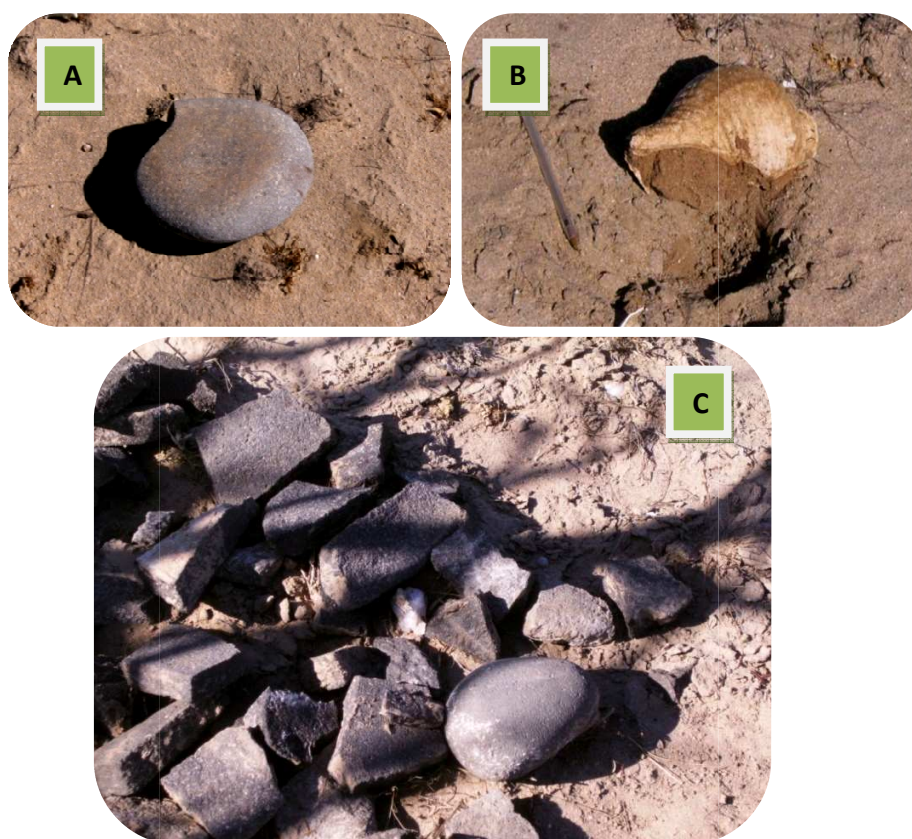


Figura 79. (A) Roca pulida y (B) caracol encontrado sobre el segundo cordón de dunas antiguas en la localidad de la Laguna Grande. (C) Material arqueológico acumulado por saqueadores, este material es abundante y se puede encontrar sobre el primer cordón de dunas antiguas, en la localidad del arroyo Los Inocentes en la Zona Norte del área de estudio.

3.5 Fechaciones

Como se mencionó en el capítulo de metodología dentro del área de estudio fueron seleccionadas tres localidades para coleccionar material sedimentario para ser fechado por la técnica de termoluminiscencia. Los resultados de las fechaciones obtenidas fueron las siguientes:

Tabla 16. Resultados de fechación por la técnica de termoluminiscencia

Duna	Clave	Localidad	Localización	Edad
Primer cordón de dunas antiguas	BC3-04/08	Agua Blanca	570010 2604563	8.9+/-1.0ka
Segundo cordón de dunas antiguas	BC1-04/08	La Lagunita	562559 2611013	8.3+/-0.5ka
Tercer cordón de dunas antiguas	BC2-04/08	La Lagunita	562019 2611852	61.6+/-5.6ka

Así el primero y segundo cordón de dunas antiguas presentan una edad similar, es decir, es muy probable que estas dos dunas se hayan formado bajo el mismo evento transgresivo, ocurrido hace aproximadamente 8 ka. En cambio el tercer cordón de dunas es mucho más antiguo, su edad, de aproximadamente 60 ka lo remonta al Pleistoceno Tardío, tiempo en el cual imperaron condiciones climáticas y ambientales extremas.

3.6 Estratigrafía

Se levantaron tres columnas estratigráficas en afloramientos de secuencias sedimentarias cuaternarios presentes en cortes de arroyos.

- Columna 1. Arroyo El Carrizal

Esta columna se levantó en el área próxima a la desembocadura del arroyo El Carrizal, bajo el primer cordón de dunas. La secuencia está compuesta por tres capas e inicia con una capa de arena limosa (arenisca muy fina – limolita) en su base, color café rojizo la cual tiene un espesor de 40 cm (figura 80). Esta capa no presenta estratificación y se puede interpretar como un ambiente de planicie de inundación. El límite superior de esta capa es muy marcado. La capa dos está conformada por un depósito de arena con fragmentos de conchas de bivalvos (con tamaños de -1.25 a -1.75 phi). Presenta estratificación paralela difusa y tiene un espesor de 1.10 m. El material sedimentario está poco compactado por lo que es susceptible a la erosión. Esta capa se asocia con un ambiente intermedio entre dunas bajas (nabkhas) y berma. El límite superior de la capa se da con un pequeño horizonte de caliche que no sobre pasa los 10 cm de espesor. Finalmente en la cima de la secuencia se presenta una capa de arena fina-limosa de color café claro, cuyo espesor es de 1m, la cual se puede interpretar ambientalmente como una planicie de inundación.

Dentro de esta secuencia de depósitos sedimentarios se distingue un evento de transgresión – regresión marina, la cual se asocia al primer cordón de dunas antiguas. La primera capa de arena-limosa (capa basal) se relaciona con un nivel del mar bajo, la segunda capa representa un ambiente entre dunas y berma asociado a un ascenso del nivel del mar y la tercera capa representa una planicie de inundación que corresponde a un retroceso del nivel del mar.

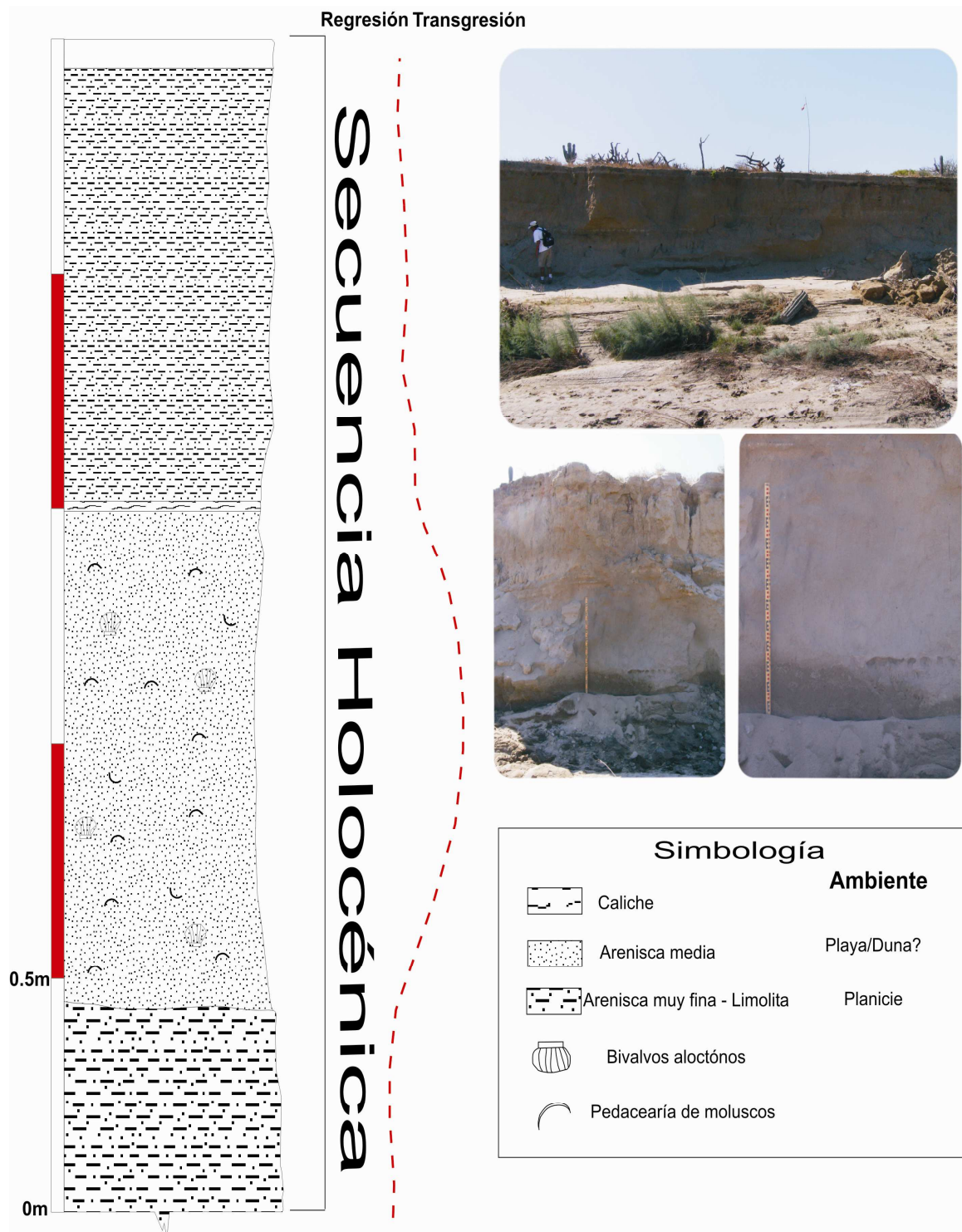


Figura 80. Secuencia estratigráfica observada en el talud del arroyo El Carrizal, en el área próxima a la descarga (Zona Central del área de estudio).

- Columna 2. Arroyo Los Inocentes

En el talud del arroyo Los Inocentes se encontró el afloramiento de una secuencia compuesta por limolita arenosa en la base sobreyacida por un depósito de arena de grano medio correspondiente al primer cordón de dunas antiguas (figura 81). Esta secuencia puede ser interpretada como un evento de transgresión marina en donde un ambiente de planicie de inundación - laguna pasa a ser un ambiente de duna frontal.

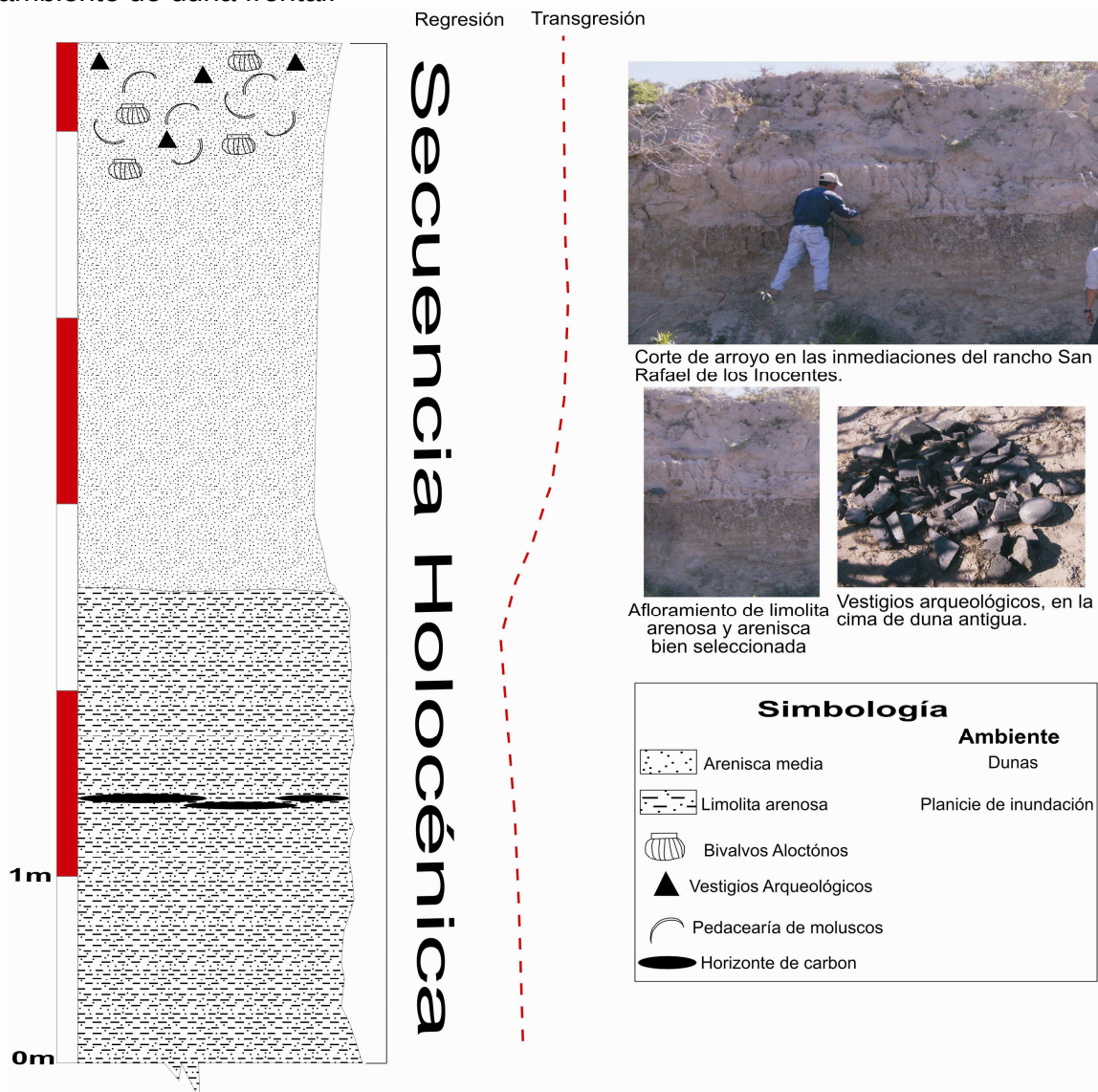


Figura 81. Columna estratigráfica levantada en las inmediaciones al rancho San Rafal de los Inocentes, en el límite entre la Zona Central y Norte.

Columna 3. San Isidro de Las Palmas

Esta secuencia estratigráfica muestra un episodio transgresivo-regresivo, es decir, el ambiente de depositación de ser costero (playa-dunas), representado por la capa basal, pasa a costero con influencia continental (laguna-planicie de inundación), representado por los depósitos de limolita y evaporitas, sobreyacidas por un conglomerado aluvial (figura 82). Los depósitos eólicos pueden ser correlacionados con el segundo cordón de dunas antiguas.

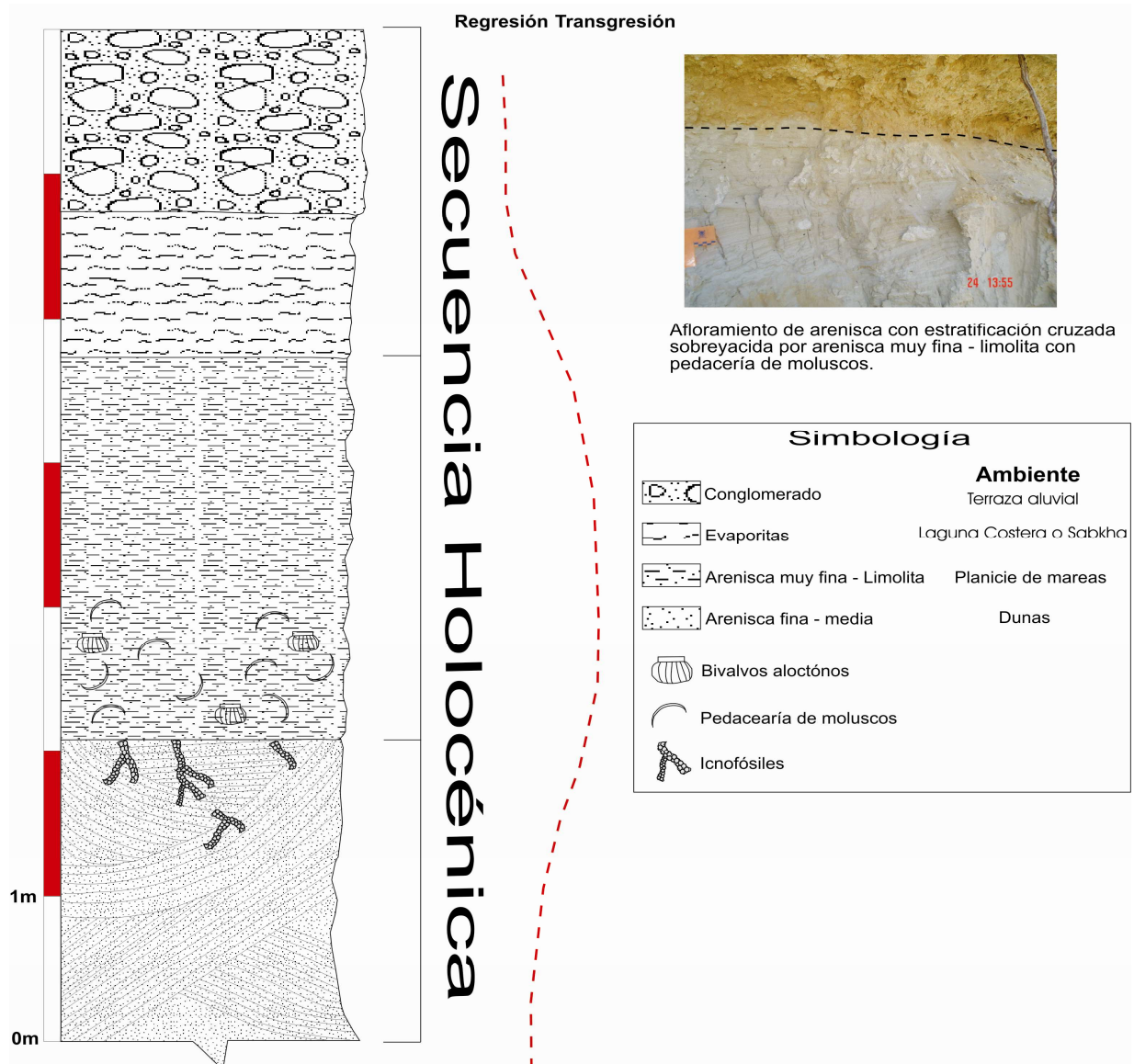


Figura 82. Secuencia estratigráfica observada en el Arroyo el Cuñaño, en las inmediaciones del rancho San Isidro de Las Palmas.

4. DISCUSIONES

El área de estudio demostró ser un sitio de interés. Las características geomorfológicas, sedimentológicas y estratigráficas denotan un cambio gradual en las geoformas, parámetros y ambientes de depósito que evidencian la transición entre las subprovincias fisiográficas Discontinuidad de Llanos de Magdalena y Bloque de Los Cabos. También se observó la presencia de depósitos costeros antiguos del Pleistoceno y Holoceno localizados a lo largo de la región del pacífico sur de la península de Baja California. Estos depósitos al igual que los recientes están conformados por playa, dunas, planicies de inundación y sabkhas, entre otros.

4.1 Geomorfología costera actual

La dinámica litoral dominada por el oleaje, el transporte litoral y el viento modelan los rasgos morfológicos presentes en cada una de las zonas del área de estudio. A lo largo de toda el área de estudio se observó que la energía marina que arriba a la línea de costa aumenta paulatinamente de norte a sur, alcanzando su máximo en las playas de Todos Santos y Punta Lobos.

Las playas de la Zona Sur se caracterizan por presentar una pendiente pronunciada durante todo el año, la rompiente del oleaje se origina directamente en la cara de la playa. Olas con alturas superiores a los dos metros y rompientes de tipo *surging* y *plunging* descargan de manera directa su energía en la línea de costa. En contraste las playas de la Zona Central se caracterizan por presentar una pendiente de moderada a suave, modelada por rompientes secundarias de menor energía. En esta zona la rompiente principal del oleaje se origina a varios metros de distancia de la línea de costa, debido a la presencia de una barra arenosa. Esta barra provoca un oleaje secundario, el cual llega a la cara de la playa con menor energía.

En la Zona Central existen descargas fluviales importantes, como los arroyos La Muela y El Carrizal, entre otros. Estos arroyos son una importante fuente de aporte de material sedimentario de origen granítico (constituido principalmente por cuarzo y feldespato potásico) que aunado al aumento en el ancho de la plataforma continental en esta zona, favorece la formación de un cordón de dunas frontales bien desarrolladas y con alturas superiores a los 12 m (localidad de La Lagunita y Laguna Grande).

En la Zona Norte el cordón de dunas cambia morfológicamente, las dunas se presentan en forma de montículos estabilizados por arbustos bajos. Este cambio morfológico se puede apreciar tanto en campo como en imágenes de satélite y ortofotos. Dicho cambio es originado por una disminución en el abastecimiento de material sedimentario por parte de corrientes fluviales y el cambio de dirección en el transporte litoral. Las playas son de pendiente más suave y se llegan a presentar hasta dos barras arenosas litorales, abastecidas por el transporte litoral, las corrientes de retorno son comunes en esta zona.

4.1.2 Diferencias en el transporte litoral

En el área de estudio fue observado un cambio en la dirección predominante de la corriente litoral, este fenómeno oceanográfico es relevante para el transporte y distribución del material sedimentario a lo largo de la Zona Norte. Este cambio en dominio de la dirección fue apreciado a partir de la localidad de Los Inocentes en el límite entre las zonas norte y central. Las playas de la Zona Norte están compuestas por sedimento de color más oscuro que las playas de la Zona Central y Sur, presentan abundante magnetita, fragmentos de roca metamórficos, cuarzo y feldespato. Este tipo de minerales y fragmentos líticos proviene del complejo insular de Magdalena-Margarita ubicado a 80 km al norte de Punta Márquez. Estos cambios en la mineralogía de playas y dunas en la Zona Norte con respecto de las zonas Central y Sur son ocasionados por cambios en la dirección del transporte litoral.

El cambio mineralógico fue más evidente durante una visita de campo en el mes de noviembre de 2008, cuando fue observado un depósito de tormenta (Dejado tras el paso del huracán Norbert a principios de octubre de 2008) en la localidad de Punta Márquez, el cual está compuesto en su totalidad por magnetita (figura 83). Además en esta misma localidad fueron encontradas semillas de manglar (figura 83), los cuales sólo se pueden encontrar en el complejo lagunar Magdalena, a la cual pertenece el mismo complejo insular del cual proviene la magnetita.



Figura 83. Evidencias de un cambio en la dirección predominante del transporte litoral. Mientras que en la Zona Central y Sur la dirección dominante era de sur a norte, en la Zona Norte la dirección es de norte a sur. Estas imágenes fueron tomadas en la localidad de Punta Márquez.

4.2 Mineralogía

Las playas del área de estudio pueden clasificarse en tres grupos conforme a su contenido mineralógico.

Grupo I: playas compuestas esencialmente por cuarzo, ortoclasa y plagioclasa; y en menor proporción fragmentos líticos, plagioclasa, mica (biotita y muscovita), hornblenda, piroxenos y turmalina (figura 84). Estas playas se ubican en la Zona Sur y parte de la Zona Central del área de estudio (desde la localidad Punta Lobos hasta la desembocadura del arroyo El Carrizal) y están compuestas por sedimento de color claro. Las playas de este grupo son abastecidas principalmente por material sedimentario de origen granítico y metasedimentarios. Este material es aportado por corrientes fluviales desde la sierra La Laguna y distribuido por el oleaje y el transporte litoral a lo largo de estas zonas costeras.

Grupo II (zona de mezcla): playas constituidas por cuarzo, plagioclasa, ortoclasa, fragmentos líticos y en menor proporción magnetita (figura 84). Este grupo de playas se localiza dentro de la Zona Central desde la desembocadura del arroyo El Carrizal hasta la desembocadura del arroyo Los Inocentes y se caracteriza por presentar sedimento de tonalidad clara a media. El material sedimentario es abastecido tanto por arroyos que disectan abanicos aluviales antiguos, como por el transporte litoral de material a lo largo de la costa. Hay evidencias de transporte desde el sur por el oleaje y el transporte litoral con dirección predominante sur –norte el cual abastece principalmente fragmentos de origen granítico y desde el norte por el transporte litoral con dirección predominante norte – sur, abasteciendo a la costa primordialmente magnetita y fragmentos de rocas metamórficas.

Grupo III: playas constituidas por cuarzo, plagioclasas, magnetita, fragmentos líticos y ortoclasa. Estas playas se localizan en la Zona Norte del área de estudio y se caracterizan por tener sedimento en tonalidades medias a oscuras,

debido a su alto contenido en magnetita. El sedimento de estas playas es abastecido por arroyos que cortan secuencias de rocas volcánicas y sedimentarias y por el transporte litoral con dirección dominante norte - sur.

En cuanto a los depósitos de dunas, mineralógicamente presentan una similitud con los resultados obtenidos de las playas. Las dunas de la Zona Sur y Central son ricas en cuarzo y en plagioclasas (ortoclasa); en contraste las dunas de la Zona Norte presentan además de cuarzo, magnetita y fragmentos líticos de origen metamórfico.

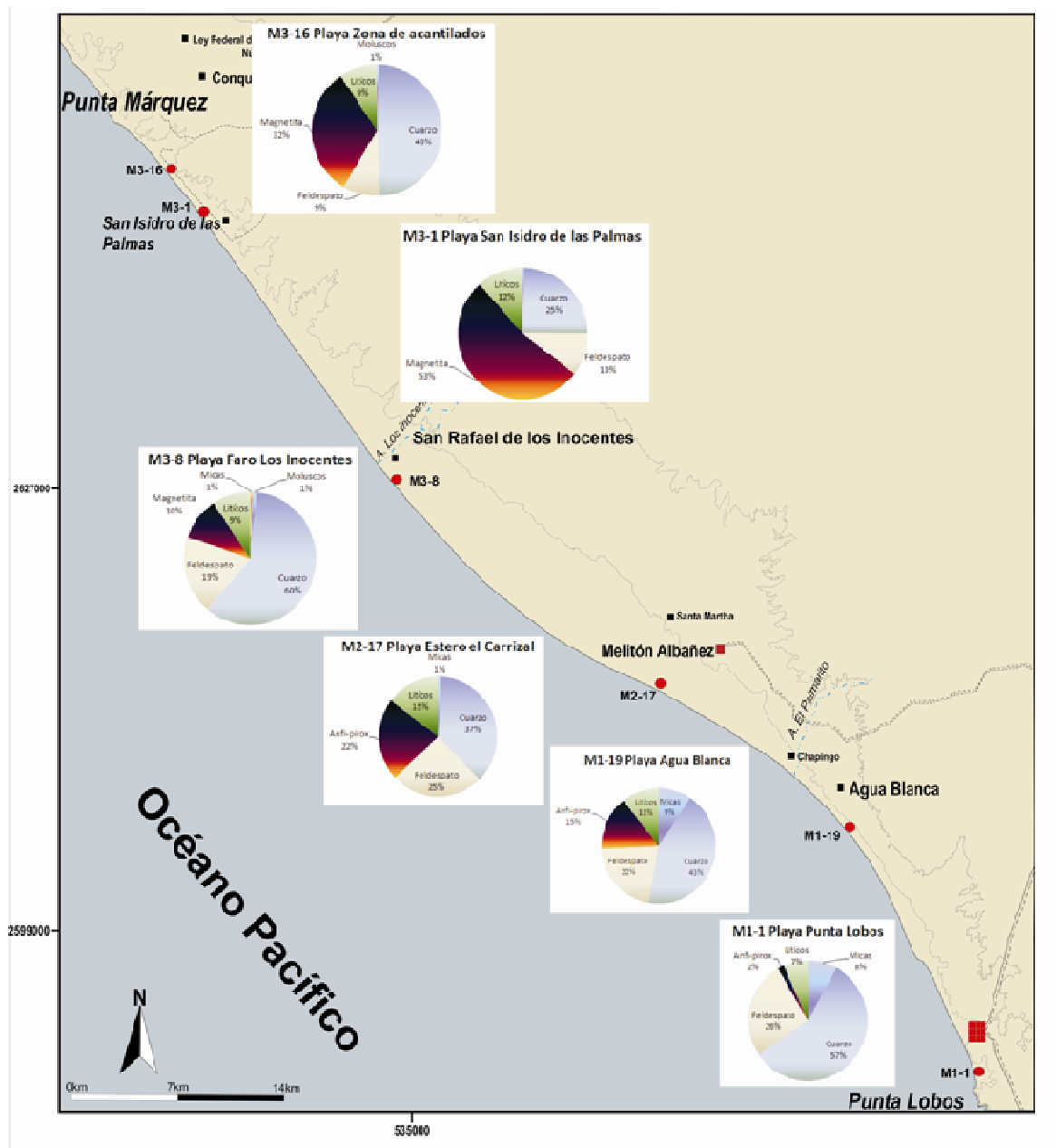


Figura 84. Variación de los componentes mineralógicos a lo largo del área de estudio.

4.3 Paleoambientes y fechación

Los depósitos costeros antiguos son indicadores de la dinámica litoral y la evolución costera que operó en las costas del Pacífico de la península de Baja California durante los últimos miles de años. En el área de estudio fueron localizados tres cordones de dunas antiguas las cuales fueron fechadas por la

técnica de termoluminiscencia. El primer y segundo cordón de dunas se observa claramente en la Zona Sur y central del área de estudio. Las fechaciones dieron como resultado una edad similar, correspondiente al Holoceno: 8.9+/-1.0 ka para el primer cordón y 8.3+/-0.5 ka para el segundo cordón. Durante este tiempo ocurrieron eventos climáticos de importancia a nivel mundial. Es decir la formación de estas dunas puede estar asociada a un mismo evento climático ambiental ocurrido entre los 9000-8000 años AP. Con base en imágenes de satélite, observaciones de campo, resultados de fechación y columnas estratigráficas; se elaboró un mapa de la costa del área de estudio para el Holoceno Temprano (figura 85).

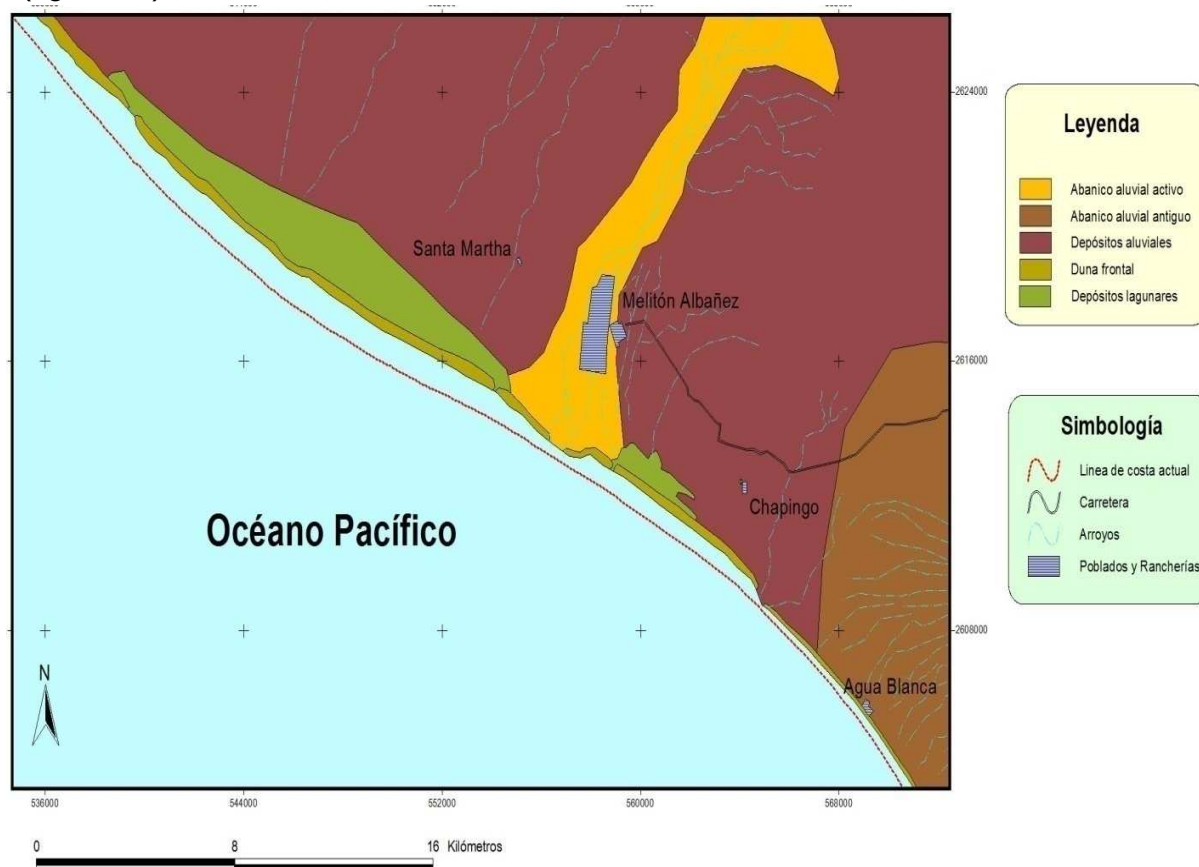


Figura 85. Paleocosta del Holoceno Temprano. Además el mapa muestra las principales geoformas para ese tiempo.

Diversos autores (Fairbridge, 1992, Schulz, 2002, Davis et al., 2003, Jason, et al., 2006, Kendall et al., 2008, entre otros) sugieren que entre los 9000-6000

años AP ocurrieron eventos climáticos de importancia en el planeta, los cuales quedaron registrados en secuencias sedimentarias. Evidencias de cambios climáticos y eustático (durante el Holoceno Temprano y Medio), basados en proxys de polen, registros lacustres, núcleos de hielo y secuencias sedimentarias han sido reportados para el continente Europeo y Norteamérica, en especial para el océano Atlántico. Jason et al., (2006) con base en estudios de sedimentos lacustres en la isla de Baffin sugirieron un incremento en la temperatura de hasta 5°C (por arriba de los datos históricos de temperatura para los meses de verano) entre los 10,000 – 8,500 años AP seguido de un rápido enfriamiento después de los 8500 años AP. Schulz et al., (2002) asocian estos cambios climáticos a oscilaciones orbitales de 0.9 ka ocurridas durante el Holoceno entre los 8.5 y 3 ka. En la figura 86 se muestran estos ciclos u oscilaciones, los cuales se han podido correlacionar mediante proxys climáticos como variaciones isotópicas de $\delta^{18}\text{O}$ en núcleos de hielo en Groenlandia. Dichos ciclos provocaron cambios en la temperatura de los meses de verano en Escandinavia y modificaciones en el equilibrio lineal en la altitud de los glaciares en el sur de Noruega (conocido por las siglas ELA) (Schulz et al., 2002). ELA es una medida del cambio en el crecimiento neto de los glaciares (Schulz et al., 2002). Además, en la figura 86 se puede observar una buena correlación entre la temperatura de verano de Escandinavia y los registros de $\delta^{18}\text{O}$ en Groenlandia. Por lo anterior se sugiere que el primer y segundo cordón de dunas presente en la zona sur y central se formó durante un evento climático- ambiental mundial ocurrido entre los 9000 -8000 años AP (círculo azul dentro de la figura 86).

En cuanto al tercer cordón de dunas antiguas (localizado en la localidad La Lagunita en la Zona Central, atrás del segundo cordón), presentó una edad de 61.6+/-5.6 ka. Por lo tanto esta duna antigua se formó durante el Pleistoceno Tardío, tiempo correspondiente al estadio isotópico 3, durante el cual se presentaron fluctuaciones climáticas de importancia en nuestro planeta, las cuales quedaron registradas en depósitos sedimentarios alrededor del mundo.

4.4 Validación de la hipótesis planteada

Con base en lo anterior la hipótesis planteada para este trabajo la cual expresa lo siguiente: “Los cordones de dunas antiguos que se presentan a lo largo del área de estudio pueden ser indicadores paleoambientales del Cuaternario”, es aceptada ya que el primer y segundo cordón de dunas antiguas se asocian con un evento climático ocurrido entre los 9000 – 8000 Ka y el tercer cordón de dunas antiguas al inicio del estadio isotópico 3.

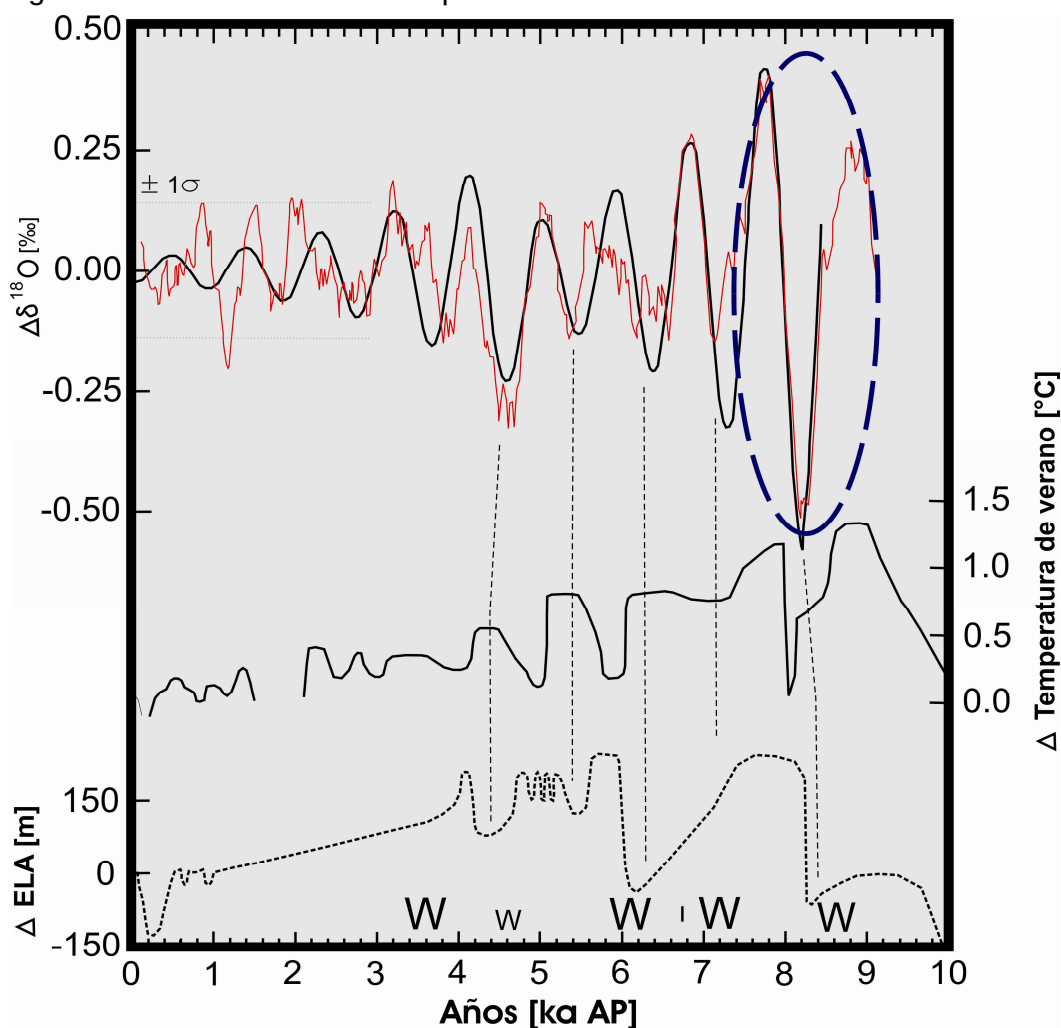


Figura 86. Gráfico de correlación entre tres proxys climáticos: variaciones isotópicas de $\delta^{18}\text{O}$ en núcleos de hielo en Groenlandia, cambios en la temperatura de los meses de verano en Escandinavia y modificaciones en el equilibrio lineal en la altitud de los glaciares en el sur de Noruega (ELA) (Modificado de Schulz et al., 2002). Las W indican periodos húmedos en Europa Central. El círculo de color azul indica el periodo de tiempo en el que muy posiblemente se formaron las dunas antiguas del primer y segundo cordón.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

1. La Zona Sur se caracteriza por una alta energía marina, reflejándose en la morfología de sus playas, bermas y dunas. La cara de la playa es de pendiente pronunciada donde el oleaje rompe directamente casi sin perder energía.
2. En contraste la Zona Central y Norte se caracterizan por presentar caras de la playa menos pronunciadas y el desarrollo de una barra litoral en la zona de rompiente. Esta barra genera múltiples rompientes y por lo tanto el oleaje pierde energía.
3. En la Zona Norte del área de estudio fueron observadas corrientes de retorno activas durante la mayor parte del año. Estas corrientes presentan una longitud mayor de 100 m y espaciamientos entre ellas de 300 -800 m.
4. Dentro del área de estudio fue percibida una diferencia en la dirección predominante del transporte litoral, resultado del análisis mineralógico de las muestras de sedimento tomadas en las playas y dunas. En la Zona Sur el transporte litoral es dominante hacia el norte, en la Zona Central no está bien definido y en la Zona Norte domina la dirección al sur.
5. Con base en el contenido mineralógico, las playas del área de estudio pueden ser clasificadas dentro de tres grupos. (1) Grupo I: constituidas por material de origen granítico (cuarzo, ortoclasa, plagioclasa) ubicadas en la Zona Sur y parte de la Zona Central. (2) Grupo II: (zona de mezcla): conformadas principalmente por cuarzo, plagioclasas y en menor proporción magnetita y se localizan en la Zona Central. (3) Grupo III:

integradas por cuarzo, magnetita y fragmentos de roca de origen metamórfico, localizadas en la Zona Norte.

6. En el área de estudio fueron distinguidos tres cordones de dunas antiguas.
1er. Cordón de Dunas ubicadas a 300 m de la línea de costa, presente principalmente en la zona sur del área de estudio. 2do. Cordón de Dunas encontradas a lo largo de la zona central del área de estudio, su extensión es de aproximadamente 35 km. 3er.cordón de dunas en la zona central ubicado entre los 1200-1300 m de distancia de la línea de costa.
7. Con base en los resultados sedimentológicos y cronológicos (fechaciones por termoluminiscencia) se puede establecer que el 1er y 2do cordón de dunas son contemporáneas y que se originaron por el mismo evento ambiental ocurrido hace entre los 9000 y 8000 años AP (Holoceno Temprano), periodo en el cual ocurrieron cambios climáticos registrados en diversas partes del mundo (principalmente en Europa y Norteamérica).
8. El 3er cordón de dunas resultó ser más antiguo con una edad aproximada de 60,000 años AP (Pleistoceno Tardío) y puede ser un indicador paleoambiental del estadio isotópico 3.

5.2 Recomendaciones

- Realizar más fechaciones de los depósitos eólicos para extender su correlación, tanto dentro del área de estudio como hacia el norte de la misma.
- Realizar estudios oceanográficos costeros más profundos para conocer con más detalle los cambios en el transporte litoral observados en la Zona Central del área de estudio.

- Además sería de interés realizar un análisis de las corrientes de retorno activas en el norte del área de estudio (Punta Márquez), ya que mostraron continuidad a través del tiempo. Estas corrientes de retorno fueron observadas para esta área tanto en ortofotos de 1993 como en imágenes de satélite recientes, con una longitud y equidistancia similar.

6. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

Aguirre, M. L., 2002. Óptimo climático en el Holoceno marino de la Argentina: evidencias malacológicas. *Actas del 15 Congreso Geológico Argentino*. Artículo 159. 5pp.

Aranda, G. J. y J. Pérez Venzor, 1989. Estratigrafía del Complejo Cristalino de La Región de Todos Santos, Estado de Baja California Sur. En *UNAM, Inst. Geología, Revista*, 8: 149 – 170.

Aranda Gómez J. J., y Pérez Venzor J. A, 1988. Estudio Geológico de Punta Coyotes, Baja California Sur. En *UNAM, Inst. Geología, Revista*, 7: 1 – 21.

Bird E. 2001., *Coastal Geomorphology an introduction*. John Wiley and Sons, LTD: 322 p.

Blott, J. S. y Pye, K., 2001. Gradistat: A grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26: 1237-1248.

Boggs, S. Jr. 1995. *Principles of Sedimentology and Stratigraphy*. Segunda Edición. Prentice may. Englewoods Cliffs, New Jersey. 774 p.

Camacho, V. 2003. *Características morfodinámicas y texturales de los depósitos eólicos de Cabo Falso; Baja California Sur, México*. Tesis de Maestría CICIMAR, La Paz, B.C.S. 139 p.

Cann J. H. 1999. Evolution of Holocene Coastal environments near Robe, southeastern South Australia. En *Quaternary International*, 56: 81-79.

Carranza-Edwards A. 1980. Ambientes sedimentarios recientes de la llanura costera del sur del Istmo de Tehuantepec. En *Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM*.

Carranza-Edwards A. 1987. Características Sedimentológicas de las Playas de La Isla Clarion, Colima, México. En *Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM*.

Chappell, J. y Shackleton, N. J. 1986. Oxygen isotopes and sea level. En *Nature*, 324: 137-140.

Davis, B., et al. 2003. The Temperature of Europe during the Holocene reconstructed from the pollen data. En *Quaternary science reviews*, 22:1701-1716.

DeDiego – Forbis, T., et al. 2004. Late Pleistocene (Last Interglacial) terraces deposits, Bahía Coyotes, Baja California Sur, México. En *Quaternary Internacional*, 120: 29 – 40.

Fairbridge R. W. 1992. Holocene Marine Coastal Evolution of the United States. En *Quaternary Coasts of the United States. Special publications N. 48*.

Gutiérrez Estrada M. 1987. Unidades Morfo – Tectónica de las costas mexicanas. *Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM*.

Hausback, B.P. 1984. Cenozoic volcanic and tectonic evolution of Baja California Sur, México, en *Geology of de Baja California*. En V.A. Frizzel, ed., *Geology of the Baja California Peninsula: Society of Economic Paleontologist and Mineralogist Pacific Section*, 39: 219 – 236.

INEGI 2003. Imagen digital Carta topográfica Conquista Agraria f12b11 escala 1:50,000.

INEGI 2003. Imagen digital Carta topográfica La Victoria f12b12 escala 1:50 000.

INEGI 2003. Imagen digital Carta topográfica Melitón Albáñez Domínguez f12b22 escala 1:50 000.

INEGI 2003. Imagen digital Carta topográfica El Rosario f12b23 escala 1:50 000.

INEGI 2003. Imagen digital Carta topográfica Todos Santos f12b33 escala 1:50 000.

Informe de la carta Geológica-Minera “La Paz”, escala 1:250,000, Consejo de Recursos Minerales, 1999.

Informe de la carta Geológica-Minera “San José del Cabo”, escala 1:250,000, Consejo de Recursos Minerales, 2002.

Inman, D. L. y Nordstrom, C. E. 1971. In the tectonic and morphologic classification of coasts. *Jour. Geol*, 79: 1-21.

Jason, P. B., et al. 2006. A mult-proxy lacustrine record of Holocene climate change on northeastern Baffin island, Arctic Canada. En *Quaternary Research*, 65:431-442.

Kendall, R. et al. 2008. The sea-level fingerprint of the 8.2 ka climate event. En *The Geological Society of America*, 36(5): 423-426.

Komar, P. D. 1976. *Beach Processes and Sedimentation*. Englewood Cliff, NJ: Prentice Hall. 429p.

Komar, P. D. 1998. *Beach Processes and Sedimentation (2nd edition)*. Englewood Cliff, NJ: Prentice Hall. 429p.

Lowe, J.J. y Walker, M.J.C. 1997. *Reconstructing Quaternary Environments (2nd edition)*. Logman. 466 p

Martinson et al. 1987. Age Dating and the Orbital Theory of the Ice Ages: Development of a High-Resolution 0 to 300,000-year Chronostratigraphy. En *Quaternary Research*, 27: 1-29.

Meerbeeck, V. 2007. Marine Isotope Stage 3 in a three – dimensional coupled earth system model: equilibrium climate simulations reveal the importance of freshwater forcing. En *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 9.

Murillo, J.M., Gorsline, D. S., Goodfriend, G. A., Vlasov, V. K., & Cruz-Orozco, R. 1999. Evidence of Holocene Climatic Changes from Aeolian Deposits in Baja California Sur, México. En *Quaternary International*, 56:141-154.

Navarro, J. 2006. *Caracterización sedimentológica y geomorfológica de los ambientes costeros en la Bahía de San Lucas, Baja California Sur México*. Tesis de Maestría CICIMAR, La Paz B.C.S: 144 p.

Ramos Velásquez, E., 1998, *Características de la deformación en las rocas cristalinas cretácicas de la región E – SE de la ciudad de La Paz, Baja California Sur, México*. En tesis CICESE, P. 15 – 25.

Shaaf, P., et al., 2000. Pre-Miocene palaeogeography of the Los Cabos Block, Baja California Sur: geochronological and palaeomagnetic constraints. En *Tectonophysics*, 318: 53 – 69.

Shackleton, J., et al., 2003. Marine Isotope Substage 5e and the Emian Interglacial. En *Global and Planetary Change* 36:151-155.

Schulz, M. y Paul, A. 2003. Holocene climate variability on centennial and millennial time scales: Climate records from the North Atlantic Realm. En: Wefer G. et al., (Ed.) *Climate Development and history from the North Atlantic Realm*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 41-54p.

Sirkin L., et al. 1994. *Holocene Vegetation and climate of Baja California Sur, México*. En *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 11: 79-86.

Troyo, S. 2003. *Oleaje de viento y ondas de infragravedad en la zona costera de Baja California Sur*. Tesis doctoral, CICIMAR, La Paz, B.C.S: 239p.

Walther, A.M., Orgeira, M.J. & Lippai, H.F. 2004. Magnetismo de rocas en sedimentos cenozoicos tardíos en San Antonio de Areco, provincia de Buenos Aires. *Rev. Asoc. Geol. Argent.*, 59 (3): 433-442.

Watt, W. A., Allen, J. R. M. & Huntley, B. 2000. Palaeoecology of three interstadial events during oxygen-isotope Stages 3 and 4: a lacustrine record from lago Grande di Nonticchio, southern Italy. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 155: 83-93.

Wentworth, C. K., 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. En *jour. Geol*, 30: 377-392.

Wright, L., Roberts, J., Coleman, R. y Bowden, L. 1973. Process-form variability of multiclass coasts. Baja California. *Coastal Studies Institute*. Louisiana State University. 54 p.

Woodroffe, C.D., 2002. *Coasts: form, process and evolution*. Cambridge University Press: 623 p.

ANEXO A

LATITUD Coordenadas UTM	LONGITUD Coordenadas UTM	MUESTRA	TIPO	LOCALIDAD	ZONA
578571	2589742	M1-1	Cara de la playa	Punta Lobos	Sur
578675	2589741	M1-2	Cordón de duna bajo	Punta Lobos	Sur
578756	2589719	M1-3	Cordón de duna frontal	Punta Lobos	Sur
578602	2590420	M1-5	Cordón de duna bajo	Faro Punta Lobos	Sur
578710	2590446	M1-6	Cordón antiguo	Faro Punta Lobos	Sur
576767	2593650	M1-7	Cara de la playa	San Ignacio #2	Sur
576321	2593667	M1-8	Cordón de duna frontal	San Ignacio #2	Sur
576831	2593678	M1-9	Cordón de duna frontal	San Ignacio #2	Sur
576788	2593847	M1-10	Cordón antiguo	San Ignacio #2	Sur
572494	2601152	M1-11	1do Cordón antiguo	Boca de la muela	Sur
572457	2601140	M1-12	Arroyo	Boca de la muela	Sur
572433	2601110	M1-13	1er Cordón antiguo	Boca de la muela	Sur
572437	2600902	M1-14	Cordón de duna frontal	Boca de la muela	Sur
572339	2600775	M1-15	Cara de la playa	Boca de la muela	Sur
572755	2600214	M1-16	Antigua planicie de inundación	Boca de la muela	Sur
572737	2600535	M1-17	Arroyo de la muela	Boca de la muela	Sur
572612	2600535	M1-18	Planicie de inundación	Boca de la muela	Sur
569813	2604362	M1-19	Cara de la playa	Agua Blanca	Sur
569917	2604484	M1-20	Cordón de duna frontal	Agua Blanca	Sur

569990	2604602	M1-21	1er Cordón antiguo	Agua Blanca	Sur
566174	2608778	M2-1	Arroyo el Palmarito	Agua Blanca	Sur
566306	2608577	M2-2	Cordón de duna antiguo	Agua Blanca	Sur
565007	2608527	M2-3	Cara de la playa	Perfil sur el Palmarito	Central
565057	2608562	M2-4	Cordón de duna bajo	Perfil sur el Palmarito	Central
565084	2608632	M2-5	Cordón de duna frontal	Perfil sur el Palmarito	Central
564439	2608944	M2-6	Cara de la playa	Perfil Norte el Palmarito	Central
564467	2608977	M2-7	Cordón de duna bajo	Perfil Norte el Palmarito	Central
564526	2609035	M2-8	Cordón de duna frontal	Perfil Norte el Palmarito	Central
564538	2609059	M2-9	Cima del cordón de duna frontal	Perfil Norte el Palmarito	Central
562026	2611313	M2-10	2do Cordón de duna antiguo	La Lagunita	Central
562219	2611759	M2-11	3er Cordón de duna antiguo	La Lagunita	Central
558734	2613098	M2-12	2do Cordón de duna antiguo	La Lagunita Norte	Central
557300	2613476	M2-13	Muestra de arroyo	Estero la lagunita	Central
556310	2613551	M2-14	Columna arroyo estero	Estero la lagunita	Central
556310	2613555	M2-15	Columna arroyo estero	Estero la lagunita	Central
556310	2613560	M2-16	Columna arroyo estero	Estero la lagunita	Central
556171	2613272	M2-17	Cara de la playa	Perfil norte estero la lagunita	Central
556204	2613328	M2-18	Cordón de duna bajo	Perfil norte estero la lagunita	Central
556258	2613412	M2-19	Cordón de duna frontal	Perfil norte estero la	Central

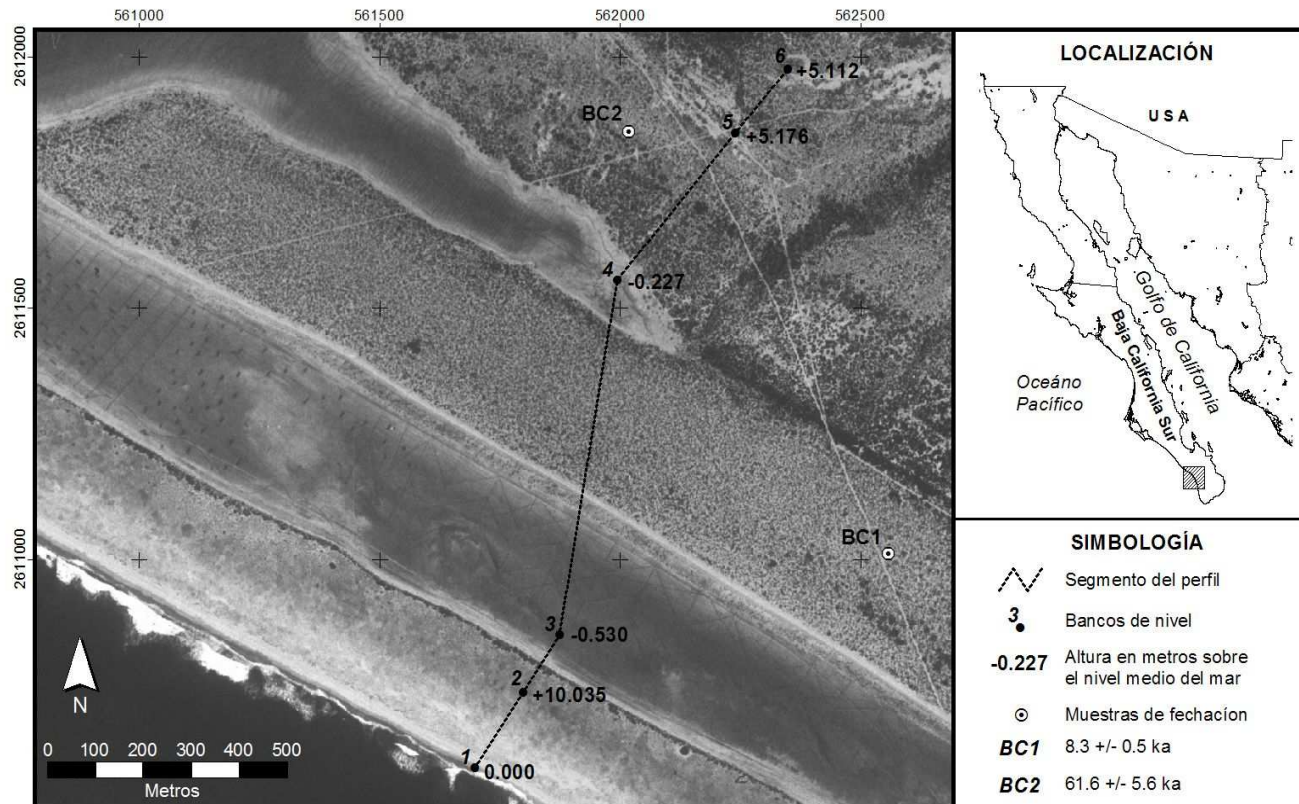
				lagunita	
556887	2612962	M2-20	Cara de la playa	Perfil sur estero la lagunita	Central
556914	2613017	M2-21	Cordón de duna bajo	Perfil sur estero la lagunita	Central
556951	2613075	M2-22	Cordón de duna frontal	Perfil sur estero la lagunita	Central
519226	2643684	M3-1	Cara de la playa	Norte de San Isidro de las palmas	Norte
529251	2643718	M3-2	Duna en montículos	Norte de San Isidro de las palmas	Norte
522066	2640515	M3-3	Cara de la playa	Sur de San Isidro de las Palmas	Norte
522089	2640533	M3-4	Duna en montículos	Sur de San Isidro de las Palmas	Norte
522214	2640581	M3-5	Duna antigua	Sur de San Isidro de las Palmas	Norte
523539	2638811	M3-6	Cara de la playa	Norte de San Rafael de los Inocentes	Norte
523558	2638825	M3-7	Duna frontal	Norte de San Rafael de los Inocentes	Norte
533655	2627268	M3-8	Cara de la playa	Faro Los Inocentes	Norte
533705	2627294	M3-9	Duna en montículos	Faro Los Inocentes	Norte
515279	2647732	M3-10	Cara de la playa	Sur Zona de acantilados	Norte
515311	2647709	M3-11	Duna en montículos	Sur Zona de acantilados	Norte
513269	2649215	M3-12	Cara de la playa	Punta Márquez	Norte
513321	2649266	M3-13	Duna en montículos	Punta Márquez	Norte
514036	2648739	M3-14	Cara de la playa	Zona de acantilados	Norte

514195	2648636	M3-15	Dunas sobre acantilados	Zona de acantilados	Norte
515121	2647847	M3-16	Cara de la playa	Inicio de zona de cantiles	Norte
515152	2647861	M3-17	Duna en montículos	Inicio de zona de cantiles	Norte
536317	2624786	M4-1	Cara de la playa	Sur Faro los Inocentes	Central
536356	2624813	M4-2	Nabkhas	Sur Faro los Inocentes	Central
536382	2624836	M4-3	Duna frontal	Sur Faro los Inocentes	Central
535966	2625442	M4-4	Sabkha antigua superficie	Laguna grande	Central
535966	2625442	M4-5	Sabkha antigua fondo	Laguna grande	Central
533337	2629017	M4-6	Arroyo los inocentes	Los Inocentes	norte
533104	2628853	M4-7	Escarpe arroyo capa 1	Arroyo los inocentes	norte
533104	2628853	M4-8	Escarpe arroyo capa 2	Arroyo los inocentes	norte
533139	2628847	M4-9	Cima de duna antigua	Arroyo los inocentes	norte
534380	2629460	M4-10	Duna antigua (tercer cordón)	al Este del los inocentes	Central
536254	2626367	M4-11	Duna antigua	Sur Faro los Inocentes	Central
545910	2621168	M4-12	3er cordón Duna antigua	Laguna grande	Central
547694	2619301	M4-13a	Sabkha-evaporitas antiguas	Laguna grande	Central
547694	2619301	M4-13b	Sabkha-evaporitas antiguas	Laguna grande	Central
546113	2617593	M4-14	Cara de la playa	Laguna grande	Central
546148	2617667	M4-15	Duna frontal	Laguna grande	Central
547246	2618285	M4-16a	Duna antigua fondo	Laguna grande	Central
547246	2618285	M4-16b	Duna antigua superficie	Laguna grande	Central
544136	2620026	M4-17a	Duna antigua fondo	Laguna grande	Central

544136	2620026	M4-17b	Duna antigua superficie	Laguna grande	Central
539970	262457	M4-18a	Duna muy antigua	Detrás de laguna grande	Central
541173	2622044	M4-18	Duna antigua 2do cordón	Mitad laguna grande	Central
538051	2625069	M4-19a	Duna antigua superficie	Laguna grande	Central
		M4-19b	Duna antigua fondo	Laguna grande	Central
557029	2614394	M5-1	Capa 1	Corte arroyo el Carrizal	Central
557029	2614394	M5-2	Capa3 Grietas de desecación	Corte arroyo el Carrizal	Central
557029	2614394	M5-3	Capa3 Grietas de desecación	Corte arroyo el Carrizal	Central
557029	2614394	M5-4	Capa 4	Corte arroyo el Carrizal	Central
553434	2615671	M5-5	Duna antigua 2do cordón	inicio laguna grande	Central
553574	2616341	M5-6	Duna antigua 3er cordón	Laguna grande	Central
549347	2618248	M5-7	Sabkha antiguo	Laguna grande	Central
552079	2617269	M5-8	Duna antigua 3er cordón	Laguna grande	Central
562019	2611852	M6-1	Duna antigua 3er cordón	Lagunita	Central
562019	2611852	M6-2	Duna antigua 3er cordón	Lagunita	Central

ANEXO B

Perfil La Lagunita



ANEXO C

Mineralogía de Playas

M1-1	playa Punta Lobos	
	Gruesa	Fina
Micas	0	24
Moluscos	3	0
Cuarzo	165	172
Feldespato	92	78
Anfi-pirox	2	5
Litícos	38	20

M1-7	Playa San Igancio #2	
	grueso	fino
Micas	3	12
Moluscos	2	0
Cuarzo	187	208
Feldespato	81	77
Anfi-pirox	6	22
Litícos	31	10

M1-19	Playa agua blanca	
	Gruesa	Fina
Micas	0	30
Moluscos	4	0
Cuarzo	159	139
Feldespato	83	69
Anfi-pirox	1	48
Litícos	52	34

M2-6	Playa zona central	
	Gruesa	Fina
Micas	1	4
Moluscos	5	0
Cuarzo	153	155
Feldespato	90	79
Anfi-pirox	2	29
Litícos	50	32

M2-20	playa perfil sur La Lagunita	
	Gruesa	Fina
Micas	0	12
Moluscos	17	0
Cuarzo	150	112
Feldespato	98	74
Anfi-pirox	3	96
Litícos	47	16

M1-4	playa Norte Punta Lobos	
	Gruesa	Fina
Micas	0	6
Moluscos	0	0
Cuarzo	158	141
Feldespato	100	86
Anfi-pirox	2	75
Litícos	41	9

M1-15	Playa la muela	
	Gruesa	Fina
Micas	0	13
Moluscos	2	0
Cuarzo	142	114
Feldespato	102	69
Anfi-pirox	2	81
Litícos	53	24

M2-3	Playa zona central	
	Gruesa	Fina
Micas	0	21
Moluscos	5	0
Cuarzo	147	142
Feldespato	99	83
Anfi-pirox	2	28
Litícos	62	34

M2-17	Playa perfil norte La Lagunita	
	Gruesa	Fina
Micas	0	3
Moluscos	16	0
Cuarzo	154	117
Feldespato	70	81
Anfi-pirox	5	71
Litícos	55	47

M3-1	playa norte San Isidro Palma	
	Gruesa	Fina
Micas	0	0
Moluscos	44	1
Cuarzo	58	77
Feldespato	15	32
Magnetita	106	165
Litícos	81	36

M3-3	Playa sur de san isidro	
	Gruesa	Fina
Micas	0	0
Moluscos	50	8
Cuarzo	94	107
Feldespatos	36	60
Anfi-pirox	51	63
Litícos	72	68

M3-6	playa norte los inocentes	
	Gruesa	Fina
Micas	0	0
Moluscos	49	9
Cuarzo	66	119
Feldespatos	32	35
Anfi-pirox	88	118
Litícos	73	55

M3-8	Playa faro Los Inocentes	
	Gruesa	Fina
Micas	0	2
Moluscos	33	3
Cuarzo	153	184
Feldespatos	55	58
Magnetita	12	32
Litícos	59	29

M3-10	Playa sur Punta Márquez	
	Gruesa	Fina
Micas	0	0
Moluscos	42	0
Cuarzo	110	107
Feldespatos	50	39
Anfi-pirox	20	134
Litícos	78	24

M3-12	playa Punta Márquez	
	Gruesa	Fina
Micas	0	1
Moluscos	21	0
Cuarzo	154	206
Feldespatos	41	53
Magnetita	44	31
Litícos	40	40

M3-14	playa zona de Cantiles	
	Gruesa	Fina
Micas	0	5
Moluscos	40	0
Cuarzo	123	146
Feldespatos	45	48
Magnetita	42	70
Litícos	55	37

M3-16	Playa inicio de Cantiles	
	Gruesa	Fina
Micas	0	0
Moluscos	40	2
Cuarzo	108	154
Feldespatos	28	30
Magnetita	80	101
Litícos	57	30

M4-1	playa perfil sur Faro Inocentes	
	Gruesa	Fina
Micas	0	7
Moluscos	20	0
Cuarzo	144	165
Feldespatos	73	87
Anfi-pirox	1	5
Litícos	60	36

M4-14	playa perfil Laguna Grande	
	Gruesa	Fina
Micas	0	9
Moluscos	17	1
Cuarzo	191	209
Feldespatos	54	47
Anfi-pirox	5	9
Litícos	46	21

Mineralogía de dunas

M1-2	Duna Punta Lobos	
	Gruesa	Fina
Micas	0	29
Moluscos	3	6
Cuarzo	137	154
Feldespatos	95	71
Anfi-pirox	0	22
Litícos	35	17

M1-5	Duna Punta Lobos	
	Gruesa	Fina
Micas	1	20
Moluscos	0	0
Cuarzo	158	166
Feldespatos	119	80
Anfi-pirox	5	24
Litícos	39	13

M1-8	Duna San Ignacio #2	
	Gruesa	Fina
Micas	0	9
Moluscos	3	0
Cuarzo	181	193
Feldespatos	82	51
Anfi-pirox	0	43
Litícos	34	5

M1-9	Duna San Ignacio #2	
	Gruesa	Fina
Micas	2	1
Moluscos	0	0
Cuarzo	209	214
Feldespatos	53	59
Anfi-pirox	4	27
Litícos	31	6

M1-14	Duna Boca la Muela	
	Gruesa	Fina
Micas	1	10
Moluscos	0	3
Cuarzo	184	159
Feldespatos	81	81
Anfi-pirox	11	11
Litícos	44	44

M2-4	Duna baja	
	Gruesa	Fina
Micas	0	15
Moluscos	4	0
Cuarzo	156	131
Feldespatos	96	70
Anfi-pirox	2	64
Litícos	43	20

M2-7	Duna frontal	
	Gruesa	Fina
Micas	0	13
Moluscos	8	0
Cuarzo	179	151
Feldespatos	78	57
Anfi-pirox	2	50
Litícos	37	21

M2-8	Nabkhas zona central	
	Gruesa	Fina
Micas	4	22
Moluscos	0	0
Cuarzo	150	131
Feldespatos	103	85
Anfi-pirox	2	51
Litícos	41	19

M2-9	duna Zona Central	
	Gruesa	Fina
Micas	0	22
Moluscos	16	0
Cuarzo	162	160
Feldespatos	82	61
Anfi-pirox	1	61
Litícos	44	36

M2-18	duna baja norte La Lagunita	
	Gruesa	Fina
Micas	0	18
Moluscos	11	0
Cuarzo	169	154
Feldespatos	64	66
Anfi-pirox	0	62
Litícos	58	3

M2-19	Duna estero norte Lagunita	
	Gruesa	Fina
Micas	0	11
Moluscos	6	0
Cuarzo	132	136
Feldespatos	109	89
Anfi-pirox	2	34
Litícos	51	30

M1-20	Duna Agua Blanca	
	Gruesa	Fina
Micas	0	30
Moluscos	8	0
Cuarzo	145	153
Feldespatos	93	83
Anfi-pirox	2	22
Litícos	52	33

M2-21	Duna baja estero Lagunita	
	Gruesa	Fina
Micas	0	8
Moluscos	2	0
Cuarzo	160	148
Feldespatos	89	71
Anfi-pirox	1	72
Litícos	45	25

M2-22	duna perfil 2 Lagunita	
	Gruesa	Fina
Micas	0	3
Moluscos	3	2
Cuarzo	168	164
Feldespatos	95	76
Anfi-pirox	3	61
Litícos	32	6

M3-2	Norte San Isidro de las P.	
	Gruesa	Fina
Micas		0
Moluscos		0
Cuarzo		151
Feldespatos		47
Anfi-pirox		74
Litícos		18

M3-4	Sur San Isidro de las Palmas	
	Gruesa	Fina
Micas	0	0
Moluscos	60	7
Cuarzo	107	125
Feldespatos	50	45
Anfi-pirox	28	87
Litícos	62	46

M3-7	Duna norte Los Inocentes	
	Gruesa	Fina
Micas	0	5
Moluscos	28	0
Cuarzo	139	145
Feldespatos	43	45
Anfi-pirox	16	81
Litícos	76	24

M3-9	Duna faro Los Inocentes	
	Gruesa	Fina
Micas	0	0
Moluscos	15	0
Cuarzo	175	124
Feldespatos	66	81
Anfi-pirox	4	80
Litícos	46	32

M3-13	faro sur Punta Márquez	
	Gruesa	Fina
Micas	0	3
Moluscos	19	1
Cuarzo	152	138
Feldespatos	48	47
Anfi-pirox	12	82
Litícos	72	27

M3-15	Duna montada en cantiles	
	Gruesa	Fina
Micas	0	3
Moluscos	24	0
Cuarzo	119	142
Feldespatos	37	75
Anfi-pirox	7	57
Litícos	67	32

M4-2	Sur faro Los Inocentes	
	Gruesa	Fina
Micas	0	5
Moluscos	7	0
Cuarzo	151	159
Feldespato	56	63
Anfi-pirox	2	49
Litícos	67	30

M4-3	duna frontal	
	Gruesa	Fina
Micas	0	0
Moluscos	13	0
Cuarzo	156	185
Feldespato	75	64
Anfi-pirox	17	48
Litícos	29	12

M4-15	duna frontal Laguna Grande	
	Gruesa	Fina
Micas	0	2
Moluscos	7	0
Cuarzo	164	169
Feldespato	81	66
Anfi-pirox	8	49
Litícos	38	24

Mineralogía Arroyos

M1-17	Arroyo La Muela	
	Gruesa	Fina
Micas	6	41
Cuarzo	141	159
Feldespato	85	59
Anfi-pirox	8	43
Litícos	77	0

M2-1	Arroyo El Palmarito	
	Gruesa	Fina
Micas	1	29
Cuarzo	131	143
Feldespato	127	108
Anfi-pirox	0	21
Litícos	45	24

M2-13	Arroyo El Carrizal	
	Gruesa	Fina
Micas	1	53
Cuarzo	139	141
Feldespato	81	71
Anfi-pirox	0	28
Litícos	80	10

M4-6	Arroyo Los Inocentes	
	Gruesa	Fina
Micas	0	32
Cuarzo	158	165
Feldespato	75	67
Anfi-pirox	1	11
Litícos	67	25

M6-1	Arroyo El Cedro	
	Gruesa	Fina
Micas	0	0
Cuarzo	0	186
Feldespato	0	35
Anfi-pirox	0	6
Litícos	0	73

M6-2	Arroyo Seco	
	Gruesa	Fina
Micas	0	0
Cuarzo	0	101
Feldespato	0	39
Anfi-pirox	0	12
Litícos	0	145

M1-12	Tributario Arroyo La Muela	
	Gruesa	Fina
Micas	5	75
Moluscos		
Cuarzo	173	156
Feldespatos	77	46
Anfi-pirox	1	24
Litícos	45	0

Mineralogía de dunas antiguas

M1-11	1er cordón boca La Muela	
	Gruesa	Fina
Micas	0	13
Moluscos	3	0
Cuarzo	183	194
Feldespatos	75	56
Anfi-pirox	4	18
Litícos	37	26

M1-21	1er cordón dunas antiguas	
	Gruesa	Fina
Micas	0	5
Moluscos	0	0
Cuarzo	167	169
Feldespatos	110	70
Anfi-pirox	3	48
Litícos	20	8

M1-10	1er cordón antiguo San Ignacio	
	Gruesa	Fina
Micas	0	1
Moluscos	5	0
Cuarzo	164	173
Feldespatos	90	78
Anfi-pirox	2	71
Litícos	43	12

M1-13	1er cordón antiguo La Muela	
	Gruesa	Fina
Micas	0	17
Moluscos	1	0
Cuarzo	169	155
Feldespatos	88	79
Anfi-pirox	1	45
Litícos	42	10

M2-10	2do cordón antiguo Lagunita	
	Gruesa	Fina
Micas	0	0
Moluscos	0	0
Cuarzo	191	209
Feldespatos	79	77
Anfi-pirox	5	13
Litícos	25	2

M2-12	2do cordón Lagunita Norte	
	Gruesa	Fina
Micas	0	0
Moluscos	0	0
Cuarzo	197	205
Feldespatos	72	57
Anfi-pirox	1	45
Litícos	30	0

M2-15	Columna Arroyo El Carrizal	
	Gruesa	Fina
Micas	0	39
Moluscos	0	0
Cuarzo	176	175
Feldespatos	78	52
Anfi-pirox	10	35
Litícos	39	0

M4-8	1er Cordón Arroyo Inocente:	
	Gruesa	Fina
Micas	5	73
Moluscos	3	0
Cuarzo	4	163
Feldespatos	4	59
Anfi-pirox	0	2
Litícos	0	23

M4-9	duna antigua Los Inocentes	
	Gruesa	Fina
Micas	0	47
Moluscos	1	0
Cuarzo	101	181
Feldespatos	39	49
Anfi-pirox	10	14
Litícos	19	5

M2-11	3er cordón La Lagunita	
	Gruesa	Fina
Micas	0	0
Moluscos	0	0
Cuarzo	187	199
Feldespatos	83	77
Anfi-pirox	1	10
Litícos	20	14

M4-10	3er cordón Los Inocentes	
	Gruesa	Fina
Micas	0	8
Moluscos	0	1
Cuarzo	224	214
Feldespatos	51	58
Anfi-pirox	2	14
Litícos	26	24

M4-12	3er cordón Laguna Grande	
	Gruesa	Fina
Micas	18	72
Moluscos	1	0
Cuarzo	191	201
Feldespatos	48	55
Anfi-pirox	0	11
Litícos	4	0