



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



AMBIENTES GEOLÓGICOS COSTEROS DEL LITORAL DE LA BAHÍA DE LA PAZ, BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO

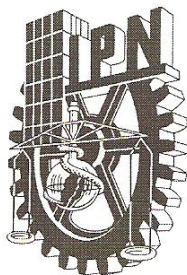
TESIS

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

PRESENTA:

JUAN AGUSTÍN VELASCO GARCÍA

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 10 del mes Junio del año 2009, el (la) que suscribe GEÓL. JUAN AGUSTÍN VELASCO GARCÍA alumno(a) del Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS con número de registro A070354 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: “AMBIENTES GEOLÓGICOS COSTEROS DEL LITORAL DE LA BAHÍA DE LA PAZ, BAJA CALIFORNIA SUR, 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: agusgeo23@hotmail.com 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. JUAN AGUSTÍN VELASCO GARCÍA

nombre y firma



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

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12:00 horas del día 10 del mes de Junio del 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:

"AMBIENTES GEOLÓGICOS COSTEROS DEL LITORAL DE LA BAHÍA DE LA PAZ, BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO"

Presentada por el alumno:

VELASCO
Apellido paterno

GARCÍA
materno

JUAN AGUSTÍN
nombre(s)

Con registro:

A	0	7	0	3	5	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. BERNARDO SHIRASAGO GERMÁN

SEGUNDO VOCAL

DRA. JANETTE MAGALÍ MURILLO JIMÉNEZ
2. DIRECTORA

TERCER VOCAL

DR. RODOLFO CRUZ OROZCO

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

DR. RAFAEL CERVANTES DUARTE



IPN
CICIMAR
DIRECCION

DEDICATORIA

A MIS PADRES:

Ma. Elena García García
Juan Velasco Sánchez (†)

A MI ESPOSA:

Reyna Marcela Lira Beltrán

A MI HERMANOS:

JC
R3N3

A MIS DEMÁS FAMILIARES Y AMIGOS

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Enrique Nava por darme la oportunidad de desarrollar este trabajo bajo su dirección. Y darme todas las facilidades para llevarlo a cabo.

A los miembros del comité: Dra. Murillo, Dr. Cruz, Dr. Shirasago y Dr. Silverberg; por sus comentarios y sugerencias a este trabajo.

De manera muy especial a Bernardo Shirasago, que en ausencia de mi padre, me ha dado consejos y apoyado moralmente para conseguir mi superación tanto personal como académica.

A todo el personal del CICIMAR: allá arriba (en servicios escolares) a Humberto y Cesar, a los choferes: Pallín, Manuel y Mac (sin su experiencia en todo terreno hubiera sido imposible), en la biblioteca a Juan y a todos los que actuaron de manera indirectamente durante mis actividades en el posgrado.

A los maestros y amigos que conocí: Lucio, Maclovio, Guillermo, Octavio, Paty, Griselda, Samuel y Leonardo por sus ánimos y consejos.

Al CONACYT por el apoyo económico que me brindó durante el programa de posgrado, ya que me permitió realizar mis estudios de maestría.

Al IPN por darme en repetidas ocasiones la beca PIFI y la facilidad económica para presentar este trabajo a congresos y simposios de importancia científica.

RESUMEN

La diferencia en la disposición de la línea de costa y la fisiografía entre la margen Pacífico y la del Golfo de California de la península de Baja California Sur, es notoria en mapas e imágenes de satélite. En el caso del Pacífico se observa una línea de costa casi recta con presencia de grandes lagunas y llanuras extensas, mientras que en la vertiente del litoral en el Golfo se observan amplias bahías, islas y una costa más irregular, además de un relieve topográfico muy abrupto. La Bahía de La Paz, con un perímetro costero de 194.8 km, es uno de los cuerpos costeros más grandes dentro del Golfo. Mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica, información cartográfica histórica disponible, imágenes de satélite y observaciones directas en campo se caracterizó una franja de la zona costera de dicha bahía, comprendiendo como límites Punta El Mechudo al noroeste y Punta Las Pilitas al este. De esta manera, a una escala 1:25000 fue posible delimitar y medir los segmentos de costa de 5 ambientes geológicos costeros: Playa – duna (69.2 km); acantilados, promontorios rocosos y escarpes (50.6 km); lagunas, manglares y planicies de marea (28.3 km); costas modificadas antropogénicamente (26.7 km) y abanicos delta (20.0 km). Los procesos costeros que intervienen en la formación de estos ambientes es una relación entre las condiciones oceanográficas de la bahía (oleaje, mareas, viento y corrientes litorales) con el tipo de roca, sus características estructurales, la morfología preexistente, la descarga de sedimentos al mar por corrientes fluviales y la actividad antropogénica. En base a los procesos costeros dominantes y a la presencia de ciertos ambientes geológicos, en la costa de la bahía se identificaron 5 zonas; siendo costas depositacionales B y C, en las cuales dominan los ambientes arenosos como playas, dunas y una barrera arenosa. Las costas de erosión comprenden solo a la zona A, localizada al noroeste de la bahía en donde hay acantilados verticales y plataformas de abrasión. Por último, las costas mixtas D y E presentan 3 o más ambientes geológicos costeros, donde se refleja una combinación de los procesos costeros con la morfología costera ya existente.

ABSTRACT

The difference in the disposition of the coast line and the physiographic among the margin Pacific and that of the Gulf of California of the peninsula of South Baja California is notorious in maps and satellite images. In the case of the Pacific a line of almost direct coast is observed with presence of big lagoons and extensive plains, while in the slope of the coast in the Gulf wide bays, islands and a more irregular coast are observed, besides a very abrupt topographical relief. The Bahía de La Paz, with a coastal perimeter of 194.8 km, is one of the biggest coastal bodies inside the Gulf. By means of the use of Geographical Information Systems, available historical cartographic information, satellite images and direct observations in field a fringe of the coastal area of this bay was characterized, understanding as limits Punta El Mechudo to the northwest and Punta Las Pilitas to the east. This way, to a scale 1:25000 it was possible to define and to measure the segments of coast of 5 coastal geologic environments: Beach - dune (69.2 km); cliffs, rocky promontories and escarp (50.6 km); lagoons, swamps and tide plains (28.3 km); coasts modified anthropogenic (26.7 km) and fans delta (20.0 km). The coastal processes that intervene in the formation of these environments are a relationship between the oceanographic conditions of the bay (wave, tides, wind and coast currents) with the rock type, their structural characteristics, the recent morphology, the discharge of sediments to the sea for fluvial currents and the anthropogenic activity. Based on the dominant coastal processes and to the presence of certain geologic environments, in the coast of the bay 5 areas were identified; being depositional coast B and C, in which dominate the sandy environments as beaches, dunes and a sandy barrier. The erosion coasts understand alone to the zone A, located to the northwest of the bay where there are vertical cliffs and littoral platforms. Lastly, the mixed coasts D and E they present 3 or more coastal geologic environments, where it is already reflected a combination of the coastal processes with the coastal morphology existent.

INDICE DE CONTENIDO

CAPITULO 1 - INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación.....	3
1.3 Planteamiento del problema.....	3
1.4 Objetivo general	4
1.4.1 Objetivos particulares	4
1.5 Descripción del área de estudio	4
1.5.1 Ubicación.....	4
1.5.2 Clima y fenómenos meteorológicos.....	6
1.5.3 Fisiografía e hidrografía.....	9
1.5.4 Geología	11
1.5.5 Oceanografía	15
1.5.6 Geomorfología costera	19
CAPITULO 2 - METODOLOGÍA.....	22
2.1. Actividades en gabinete	23
2.2. Trabajo de campo	25
2.3. Integración y análisis de la información.....	26
CAPITULO 3 – RESULTADOS	27
3.1. Ambientes geológicos costeros.....	28
3.1.1 Playas - dunas	29
3.1.2 Acantilados, promontorios rocosos y escarpes	45
3.1.3. Lagunas, manglares y planicies de marea	57
3.1.4. Abanicos deltas	58
3.1.5. Costa modificada.....	65
3.2. Zonificación costera	69

CAPITULO 4 – Discusiones	71
4.1. Discusiones.....	72
CAPITULO 5 – Conclusiones y recomendaciones.....	76
5.1. Conclusiones.....	76
5.2. Recomendaciones.....	77
Bibliografía consultada	78

Lista de figuras

- Figura 1. Localización de la Bahía de La Paz y su perímetro costero, el cual comprende desde Punta El Mechudo al noroeste hasta Punta Las Pilitas en el sureste. 5
- Figura 2. Distribución de tipos de climas en la región costera de la Bahía de La Paz. Modificado de Climas de México, INEGI edición 2000. 6
- Figura 3. Trayectoria de ciclones tropicales en la porción sur del estado de BCS. Datos vectoriales obtenidos en <http://www.nhc.noaa.gov/>, NOAA 2008. 8
- Figura 4. Ocurrencia de ciclones tropicales de 1958 a 2007 en un radio de 200 km con centro en la Bahía de La Paz. Bases de datos obtenidos en <http://www.nhc.noaa.gov/>, NOAA 2008. 9
- Figura 5. Subprovincias y discontinuidades fisiográficas de la región y subcuencas que drenan en la Bahía de La Paz. Modificado de Fisiografía de México, INEGI edición 2000. 10
- Figura 6. Distribución de la litología y presencia de estructuras tectónicas en la zona de la Bahía de La Paz y áreas adyacentes. Modificada de Carta Geológica La Paz G121011 INEGI, 2002. 12
- Figura 7. Sismos registrados por las redes sísmicas del NEIC y SSN en el periodo 1973 – 2008 en la porción noroeste de México. 15
- Figura 8. Batimetría de la BLP. A: Cuenca Alfonso, B: Cuenca Lobos, C: Bajos Más Allá del Espíritu Santo y D: Canal San Lorenzo. Isobatas modificadas de Del Monte et al. (2005) y Nava et al. (2001). 19

Figura 9. Ubicación de las unidades morfotectónicas continentales de las costas mexicanas. Modificado de Carranza et al., 1987.	20
Figura 10. Regionalización natural del litoral del Pacífico mexicano. Tomado de Ortiz y Lanza (2006).	21
Figura 11. Metodología llevada a cabo durante la realización de este trabajo.	22
Figura 12. Geoformas de la cuenca hidrológica de Bahía de La Paz.	27
Figura 13. Duna más alta observada en la BLP, con 25 metros de elevación.	30
Figura 14. Playas amplias y dunas al noroeste de la Bahía de La Paz.	31
Figura 15. Playas y cordones de dunas en la costa occidental de la BLP.	33
Figura 16. Presencia de dunas y playas amplias al sur de la bahía y dentro de la Laguna de La Paz.	34
Figura 17. Progradación de las playas en Las Pacas y Punta León.	35
Figura 18. Extensión de las playas y dunas sobre escarpe en Punta León.	36
Figura 19. Paleocanal aflorando en un escarpe al oeste de la localidad de El Quelele.	36
Figura 20. Evidencia del crecimiento y avance de las dunas al sureste de El Quelele, las cuales cubren parcialmente a vegetación e infraestructura urbana.	37

Figura 21. Playas y dunas Barjanas presentes en la parte más estrecha de la barrera arenosa El Mogote.	38
Figura 22. Playa estrecha asociada con un escarpe a 5 km al noroeste de Punta Coyote.	39
Figura 23. Playa estrecha con presencia de una duna frontal al norte de la localidad de El Potrero.	39
Figura 24. Playas ubicadas en las áreas adyacentes a la mina en San Juan de La Costa y Punta Camarón.	40
Figura 25. Playas estrechas compuestas de sedimentos gruesos a 0.25 km al noroeste de Punta Camarón.	41
Figura 26. Playas de tipo bolsillo al oeste de la Bahía de La Paz, entre las puntas Las Tarabillas y Las Ánimas.	43
Figura 27. Tipos de playas al oriente de la Bahía de La Paz, entre la localidad de Balandra y el Estero Puerto Gato.	44
Figura 28. Acantilados verticales de toba riolítica en el área de Punta El Mechudo.	46
Figura 29. Desplazamiento por falla de la toba riolítica (A) y derrumbe al sur de Ensenada Verde (B).	47
Figura 30. Segmentos de acantilados desde Punta El Cobre hasta Punta El Junco.	48

Figura 31. Acantilados con entalladuras localizados en Punta El Cobre (A) y Punta Las Tarabillas (B).	49
Figura 32. Acantilados costeros al sur de Punta Camarón.	50
Figura 33. Acantilados verticales al sureste de la bahía, entre Punta Camarón y Punta Los Tules.	51
Figura 34. Promontorios rocosos localizados en la margen suroriental del área de estudio.	52
Figura 35. Entalladura de 1 metro de altura en el interior de la Laguna Pichilingue (A) y nichos con bloques caídos de hasta 1 metro de diámetro en Balandra (B).	53
Figura 36. Escarpes con desarrollo de playa en su base localizados al sur de El Saladito.	54
Figura 37. Escarpe de rocas sedimentarias al sur de Punta Las Ánimas.	55
Figura 38. Plataforma de abrasión con inclinación aparente al nornoroeste en Punta Tarabillas, compuesta de fangolitas muy litificadas.	56
Figura 39. Plataforma de abrasión horizontal bioerosionada al sur de Punta El Guano.	56
Figura 40. Ubicación de lagunas, manglares y planicies de marea al sureste de la BLP.	57
Figura 41. A. Arbustos de manglar marginal en el área de El Centenario. B. Planicies de inundación por mareas enfrente de Chametla.	58

Figura 42. Abanico delta lobulado El Coyote y desarrollo de otros de formas principalmente desafiladas.	60
Figura 43. Campo de dunas al norte de Punta Coyote (A) y playas de material grueso al sur de la misma localidad (B).	61
Figura 44. Abanicos deltas cuspidos, desafilados y lobulados en la margen suroeste de la bahía.	63
Figura 45. Porción norte del abanico delta El Saladito, de forma cusgado, donde hay cordón de dunas frontales, playas de arenas y gravas y acantilados inclinados.	64
Figura 46. Porción sur del abanico delta El Sauzoso, con playa de boleos y gravas, bermas clasificadas por el tamaño de clastos debido a la variación en energía de oleaje.	64
Figura 47. Rasgos morfológicos de la costa modificados en la localidad de Punta El Guano por actividad acuícola.	65
Figura 48. A. Acarreo de bloques y escombros. B. Descarga de agua con sedimentos suspendidos y otras sustancias. C. Fallamiento en los acantilados activados por la construcción de la carretera.	66
Figura 49. Modificaciones en la línea de costa de la margen oeste de la bahía.	67
Figura 50. Segmentos de costa modificados antropogénicamente en los alrededores de la ciudad de La Paz.	68
Figura 51. Delimitación de las 5 zonas en que se clasifica la costa de BLP	70

Lista de tablas

Tabla 1. Material cartográfico y vectorial de INEGI empleado para este trabajo.	24
Tabla 2. Ambientes geológicos costeros de la Bahía de La Paz, su perímetro y porcentaje.	28
Tabla 3. Tipos de playas, número de segmentos, longitud y porcentaje.	29
Tabla 4. Tipos de formaciones rocosas, número de segmentos, longitud y porcentaje.	45
Tabla 5. Tipos de plataforma, número de segmentos, longitud y porcentaje.	55
Tabla 6. Formas, número, longitud y porcentaje de los abanicos delta.	59

CAPITULO 1 – INTRODUCCIÓN

La zona costera es donde se presenta la interacción continente – océano, en la cual están involucrados procesos que dan forma a la línea de costa. Comprende diversas áreas con características geomorfológicas particulares; como son playas, acantilados, dunas, lagunas, esteros, entre otros. Dichas áreas han sido motivo de numerosos estudios, debido a que antiguamente y hasta ahora se realizan importantes actividades humanas, principalmente en las áreas con presencia de playas.

La dinámica en la zona costera implica cambios en su geomorfología y por lo tanto la evolución (formación, modificación y destrucción) de diversos ambientes costeros a lo largo del tiempo. Los factores implicados en tal evolución son fenómenos globales como los cambios eustáticos en el nivel medio del mar y movimientos tectónicos, además de los factores locales que actúan en escalas de magnitudes menores, como el oleaje, las mareas, el viento y las corrientes litorales. Actualmente se ha sumado otra serie de factores producidos por las actividades antropogénicas, debido principalmente a la modificación de la zona costera como resultado de terrenos ganados al mar; ya sea para la construcción de marinas, zonas hoteleras, áreas de recreación públicas, etc.

En este sentido, donde haya una diversidad en el paisaje de la costa, cualesquiera de los factores involucrados en su dinámica; es de vital importancia contar con una cartografía geomorfológica sistemática que logre un lenguaje común ante la necesidad de un conocimiento creciente de las costas, que a su vez sea útil en la normatividad del manejo y/o administración de la costa (Ortiz y Lanza, 2006).

1.1 Antecedentes

Internacionalmente existen nomenclaturas y clasificaciones para la zona costera y todos los ambientes geológicos que la componen. Una de las mejores

caracterizaciones al comienzo de las primeras clasificaciones de la costa es la propuesta por Johnson en 1919 (en Finkl, 2004), quien definió costas sumergidas, emergidas, neutrales y compuestas; posteriormente fueron desarrolladas las de Shepard en 1948 y 1976, acerca de la morfología y génesis de las costas; Valentín en 1952, diferenció en costas avanzando y costas retrocediendo; Inman y Nordstrom en 1971, dividen las costas basándose en la tectónica de placas; Davis en 1980, distingue las costas del mundo de acuerdo al clima de oleaje; Bird en 2000, propone el término de costas artificiales como un nuevo elemento en la clasificación de la costa. Establecer un sistema único de clasificación costera para el litoral mundial o un área en particular ha sido complicado; sin embargo, el uso de bases de datos, sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica (SIG) permiten volúmenes de información mayores y rangos de escalas menores no vistas hace menos de 20 años.

En México, los estudios en las zonas costeras son enfocados principalmente al análisis sedimentológico de playas (Carranza, 1984; Nolasco y Carranza, 1986; Chávez y Álvarez, 2006; Kasper et al., 2007), a la cuantificación del transporte litoral (Montano, L. Y., 1983; Obeso, et al., 1997; Montano, L. Y. et al., 1984; Ortiz, et al., 2003; Martínez, D. A. et al., 2008) y a la morfodinámica local de playas, dunas y barreras arenosas (Ortiz y Pérez., 1999; Camacho, 2003; Godínez, et al., 2005; Zetina, M. C. E., et al., 2008; Nava y Cruz, 1989).

En el estado con el mayor perímetro litoral de la República Mexicana, Baja California Sur (cerca de 3681 km) no se encontraron estudios detallados de caracterización geomorfológica o zonificación costera, lo cual despertó el interés de generar este tipo de información científica útil y presentarla en un formato cartográfico listo para impresión. De esta manera, el presente proyecto de tesis de maestría tiene la finalidad de explicar los procesos marinos y continentales actuales que controlan la presencia de los diferentes ambientes geológicos costeros en el área de la Bahía de La Paz; y realizar una cartografía y zonificación a detalle de la actual franja costera de dicha área.

1.2 Justificación

Los estudios que existen en esta parte de la península de Baja California se han centrado principalmente en el campo de la biología e hidrología de la Bahía de La Paz, así como en las determinaciones de las condiciones químicas e hidrodinámicas del agua marina. Sin embargo, son escasos los trabajos aplicados a la morfodinámica y evolución de la línea de costa en la bahía.

La elaboración del presente trabajo es un antecedente con valor científico y de relevancia social, ya que la información generada podría servir en la planificación de los Programas de Ordenamiento Ecológico o en el Manejo Integral de Zonas Costeras en el estado, puesto que un buen conocimiento del ambiente ayuda a tomar mejores decisiones en cuanto a los desarrollos turísticos y asentamientos humanos en las costas. Por lo tanto, describir la morfología y evaluar la dinámica ambiental de la zona litoral de la Bahía de La Paz proveerá información útil y adecuada para futuras planeaciones y reconsiderar las áreas donde el impacto de la actividad antropogénica ya está cambiando la línea de costa.

1.3 Planteamiento del problema

La dinámica costera ha sido utilizada para evaluar, cuantificar y describir los procesos marinos y continentales (como el viento, la gravedad, el oleaje, etc.) que le dan forma a la estrecha franja océano-continente. La aplicación de esta información y los estudios derivados de ello se centran en explicar los cambios evolutivos del litoral, así como también al desarrollo de recientes formas costeras. En todos los casos de estudio, el manejo digital de la información proporcionada por los satélites es una ventaja tecnológica que ayuda y permite ubicar con precisión ciertos rasgos geomorfológicos (o geoformas) presentes en la costa, formados por la influencia de dicha dinámica. No obstante, la resolución y detalle de las geoformas dependerán de la escala a la cual se están identificando. Por ejemplo, en una escala mayor a 1:50000 se apreciarían lagunas, barreras, campos de dunas, deltas, etc.; y en una

escala menor a la mencionada pudieran observarse playas de bolsillo, parches de manglares, dunas incipientes, etc. En el caso de este trabajo, se diferenciará y zonificará el litoral de la Bahía de La Paz mediante el análisis geomorfológico de la costa, obtenido del registro histórico de la cartografía y sensores remotos del área de estudio. Ya que hasta ahora no se conocen publicaciones de una zonificación costera en el área de dicha bahía, ni tampoco una cartografía que presente los distintos ambientes geológicos costeros del reciente de dicha área.

1.4 Objetivo general

- Determinar los ambientes geológicos costeros a partir de la dinámica costera y de sus componentes morfológicos, considerando como el área de influencia la franja desde el parteaguas, hasta el quiebre de la plataforma continental.

1.4.1 Objetivos particulares

- Evaluar los procesos costeros que intervienen en el origen y evolución de cada uno de los ambientes geológicos costeros.
- Zonificar el litoral de la Bahía de La Paz en base a los ambientes y procesos geológicos costeros.
- Elaborar la cartografía temática geológica - geomorfológica de los ambientes geológicos del litoral de la Bahía de La Paz, escala 1:25,000.

1.5 Descripción del área de estudio

1.5.1 Ubicación

La Bahía de La Paz (BLP) se encuentra en la parte meridional de la península de Baja California, en el estado de Baja California Sur (BCS) y su litoral corresponde a

la margen occidental dentro del Golfo de California (GC). La zona costera de dicha bahía se ubica dentro de las coordenadas UTM (Universal Transversal Mercator, por sus siglas en inglés) 2744220 y 2662625 de latitud norte y 518875 y 577049 de longitud oeste (Figura 1). Es de forma alargada, orientada NW – SE, con una superficie aproximada de 1780 km². Su borde litoral se extiende desde Punta Mechudo al norte hasta Punta Las Pilitas en el sureste, con un perímetro costero de aproximadamente 200 km de longitud. Además, está protegida al noreste por la Isla Espíritu Santo e Isla San Francisquito al norte. Las principales localidades se distribuyen en pequeños campos pesqueros a lo largo de la costa, así como la zona urbana de la ciudad de La Paz, cabecera municipal y capital del estado de BCS. Por ello, existió mucha facilidad para acceder, ya fuera por terracería o por carretera, a los lugares y áreas de interés para este trabajo.

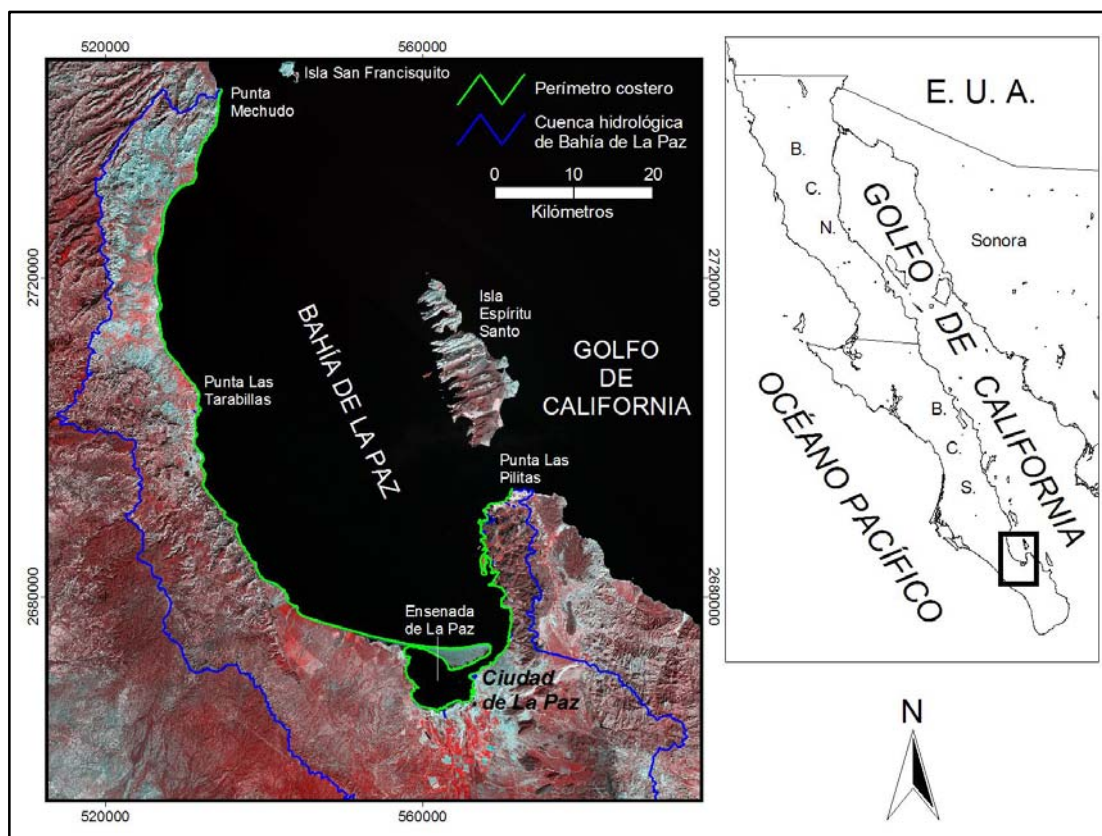


Figura 1. Localización de la Bahía de La Paz y su perímetro costero, el cual comprende desde Punta El Mechudo al noroeste hasta Punta Las Pilitas en el sureste.

1.5.2 Clima y fenómenos meteorológicos

En la vertiente del GC el clima es muy seco cálido con temperaturas promedio de 22° a 35° c y una precipitación anual de 150 a 200 mm (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI, 1995). En esta porción de la península las lluvias son escasas todo el año, aunque la máxima precipitación se presenta entre junio y octubre (Obeso Nieblas, 1987). Obeso y Jiménez (1989), reportan que la evaporación promedio anual en la Bahía de La Paz es de 215 mm y la humedad relativa entre 62% y 70%.

Según la clasificación de climas propuesta por Köppen el clima que predomina en la zona costera de la bahía es de tipo muy seco y muy cálido ($Bw(h')hw(x')$); (Figura 2), con lluvias en verano e invierno principalmente, en donde la precipitación invernal es de 10.2%. En este tipo de clima la temperatura media anual fluctúa entre 22 y 24 °C.

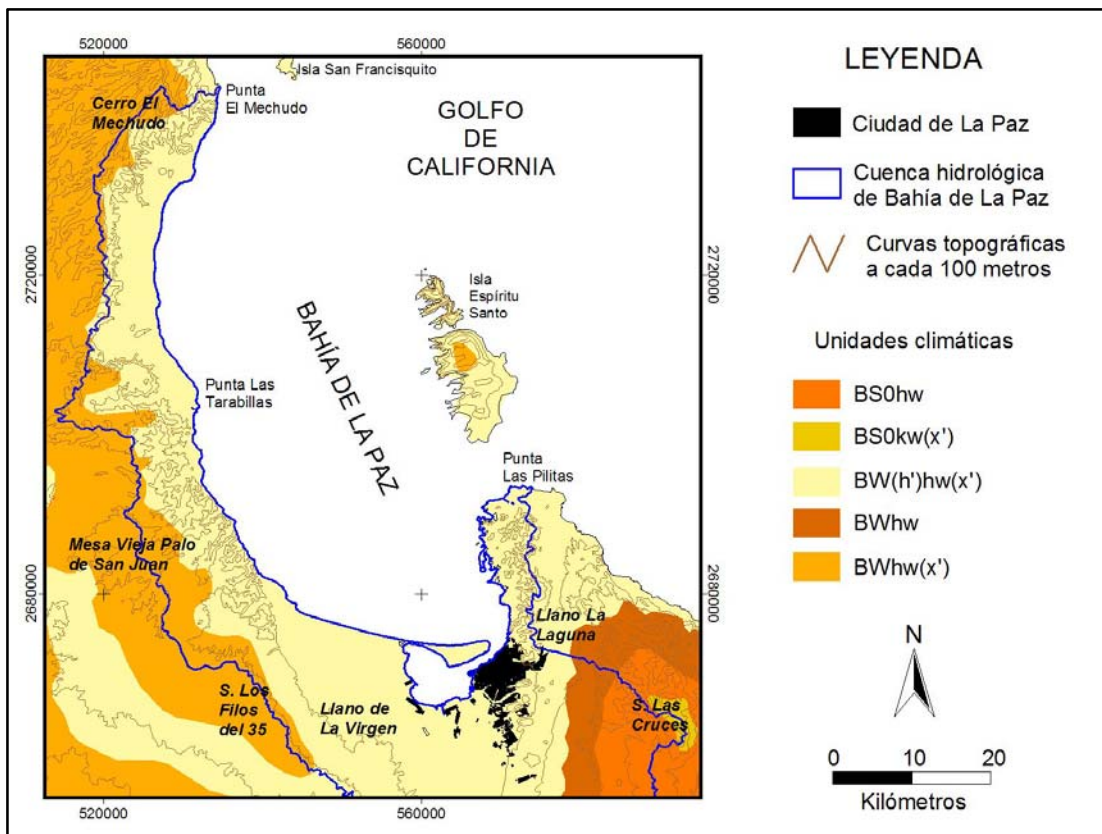


Figura 2. Distribución de tipos de climas en la región costera de la Bahía de La Paz.

Modificado de Climas de México, INEGI edición 2000.

La media mensual más alta oscila entre los 27 y 30 °C y se presenta en los meses de agosto y septiembre; mientras que, el mes más frío es enero, donde la media es aproximadamente 17 °C. La precipitación más alta se da en los meses de agosto a septiembre con medias de 45 a 49 mm mensuales, y las mínimas se registran en el mes de abril, mayo y junio, que son inferiores a los 4 mm (INEGI, 1996). Además, las áreas adyacentes a la Bahía de La Paz presentan diversos tipos de climas debido a los cambios de altitud, tales como: BWhw, muy seco semicálido; BSOhw, seco semicálido y BSOkw(x'), seco templado.

Respecto a los desplazamientos de los vientos, estos dominan con direcciones del sureste por la mañana y suroeste por la tarde, para los meses de abril a octubre; mientras que para noviembre a mayo se presentan del noroeste y del sur (Obeso Nieblas, 2003). Y de acuerdo a las mediciones de Troyo (2003), la intensidad del viento en un punto de muestreo al sur de la Bahía de La Paz tuvo variaciones desde brisa ligera hasta viento de 5 m/s en la mañana y bajando durante el día. Jiménez et al. (1997) coinciden con este valor de velocidad, añaden además que proviene del noroeste y lo consideran como el viento promedio en la Bahía de La Paz. Mencionan también que los vientos extremos llegan a ser de 10 m/s provenientes del norte.

De acuerdo a los datos meteorológicos de NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2008), el estado de BCS recibe cada año la influencia de perturbaciones atmosféricas originadas en el Océano Pacífico de tipo ciclónico, que producen precipitaciones muy intensas. Los tipos de ciclones tropicales que se han presentado en la Bahía de La Paz, varían desde depresión tropical a huracanes. Con el fin de observar la ocurrencia de estos fenómenos meteorológicos se tomó como área de afectación un círculo con centro en dicha bahía, con un radio de 200 km (Figura 3). Y en base a la información histórica disponible en la NOAA (2008) desde 1958 a 2007, se suscitaron un total de 48 eventos ciclónicos (Figura 4). Dividiendo el lapso de tiempo mencionado en periodos de 10 años, se tiene que el primer periodo de 1958 – 1967 es el de mayor ocurrencia de eventos, con 12 de estos. Mientras que el de menor número, 7 eventos, es el penúltimo periodo (1988 – 1997).

Con respecto a la categoría del ciclón tropical, las tormentas tropicales fueron las de mayor frecuencia con 21 fenómenos, seguido de los huracanes categoría 1 (escala Saffir y Simpson) con 14 y 12 de categoría 2. Dentro del área de afectación no se han presentado huracanes de categoría 5, sin embargo han ocurrido de categorías 3 y 4.

Los eventos que cobraron importancia por su efecto tanto en descargas pluviales en el sur de la entidad como en la economía estatal para tal periodo fueron; Liza en 1976 con categoría de huracán 4, Kiko en 1989 con categoría de huracán 3; en 2003 Ignacio y Marty, ambos de categoría 2 y John en el 2006 que llego a ser también de categoría 2. No obstante, todos y cada uno de los eventos ocurridos influyen directamente en la morfología de la costa debido al incremento de la energía del oleaje y viento por las condiciones climáticas extremas.

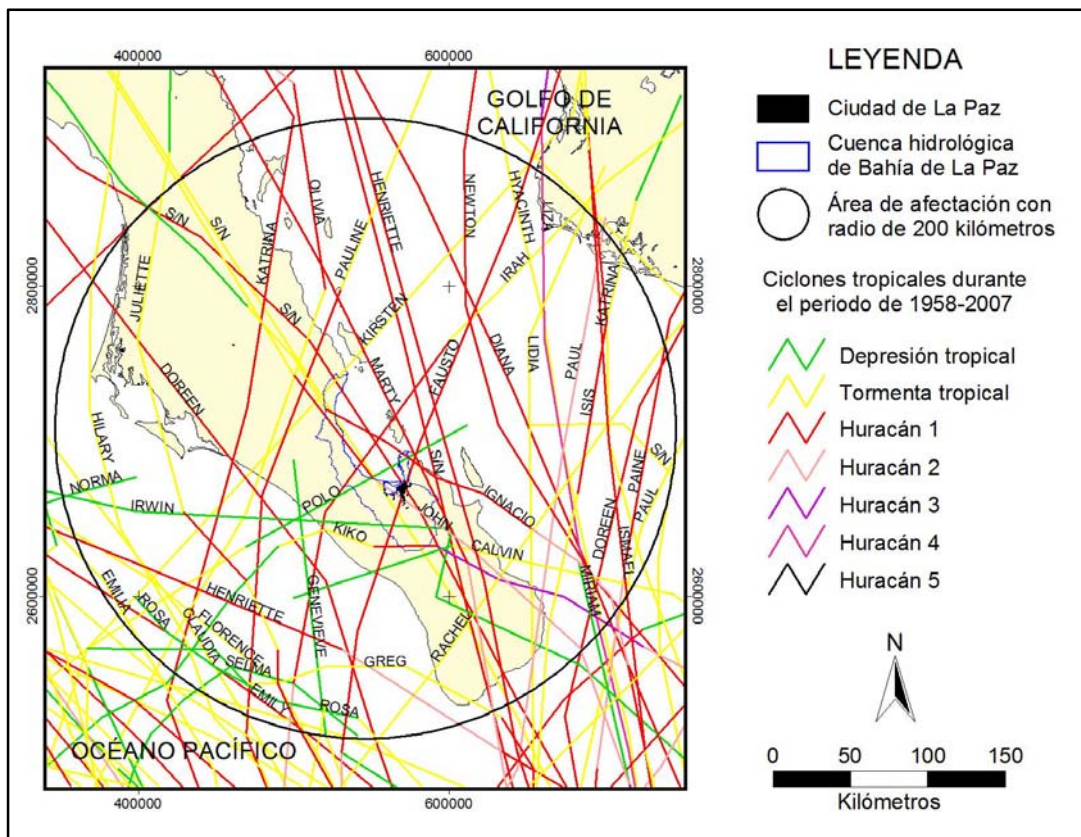


Figura 3. Trayectoria de ciclones tropicales en la porción sur del estado de BCS. Datos vectoriales obtenidos en <http://www.nhc.noaa.gov/>, NOAA 2008.

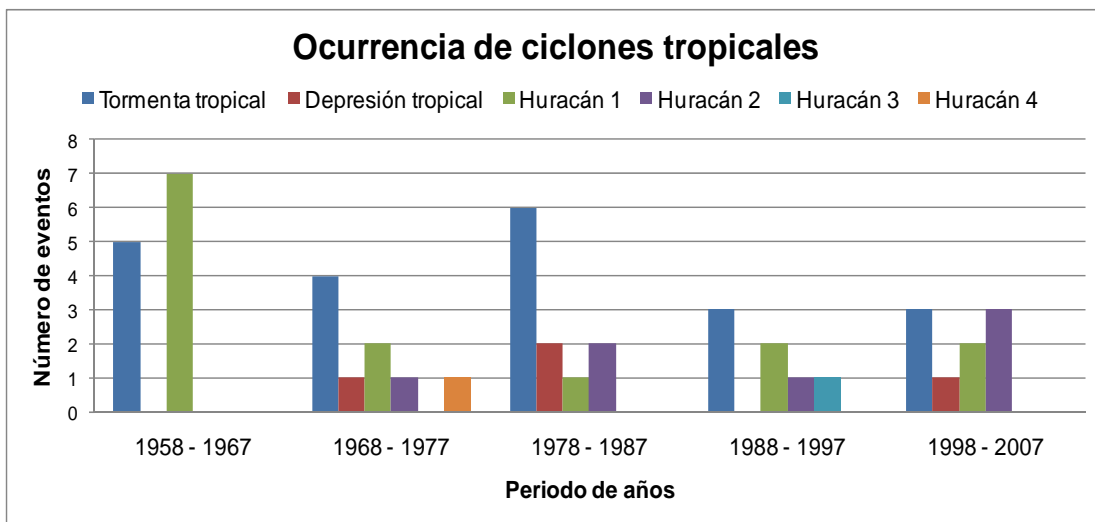


Figura 4. Ocurrencia de ciclones tropicales de 1958 a 2007 en un radio de 200 km con centro en la Bahía de La Paz. Bases de datos obtenidos en <http://www.nhc.noaa.gov/>, NOAA 2008.

1.5.3 Fisiografía e hidrografía

El área de estudio se encuentra dentro de la provincia fisiográfica de Baja California, en el límite de tres subprovincias (Figura 5): Subprovincia Sierra de La Giganta, Discontinuidad Llanos de Magdalena y Discontinuidad del Cabo (Consejo de Recursos Minerales, COREMI, 1999).

La porción que forma parte de la Subprovincia Sierra La Giganta presenta un relieve abrupto típico de rocas volcánicas, sobre todo en la parte norte, donde predominan las sierras altas, superiores a los 1000 metros. Hacia la margen norte y oeste de la Bahía de La Paz se exhiben una serie de acantilados y hacia el sur y suroeste se tiene una disminución progresiva de las elevaciones hasta terminar en lomeríos suaves. Los arroyos que disectan a esta subprovincia forman escurrimientos de régimen intermitente de corta trayectoria, que desembocan en la Bahía de La Paz. El patrón de drenaje más común es el dendrítico (INEGI, 1995).

La porción sur del área de estudio forma parte de la Discontinuidad Llanos de Magdalena y se caracteriza por ser una extensa llanura orientada norte-sur con

algunos lomeríos aislados en el sur de la ciudad de La Paz. Está constituida de material sedimentario producto de la erosión fluvial. Al sur de la BLP se encuentra una barrera arenosa conocida como El Mogote, la cual protege a la laguna costera de la Ensenada de La Paz (en adelante referida en este trabajo como Laguna de La Paz). La hidrología superficial está caracterizada por corrientes efímeras de mayor longitud en comparación con las de la anterior subprovincia, ya que estas se originan en las sierras de Las Cruces y Los Filos del 35, teniendo un patrón de drenaje tipo subdendrítico a dendrítico.

En el costado oriental de la BLP hay una porción de sierras bajas de por lo menos 200 metros de altura, correspondientes a la Discontinuidad del Cabo en esta región. Esta discontinuidad generalmente está representada por un conjunto de sierras de origen plutónico que se orientan de norte a sur como en la Sierra de Las Cruces.

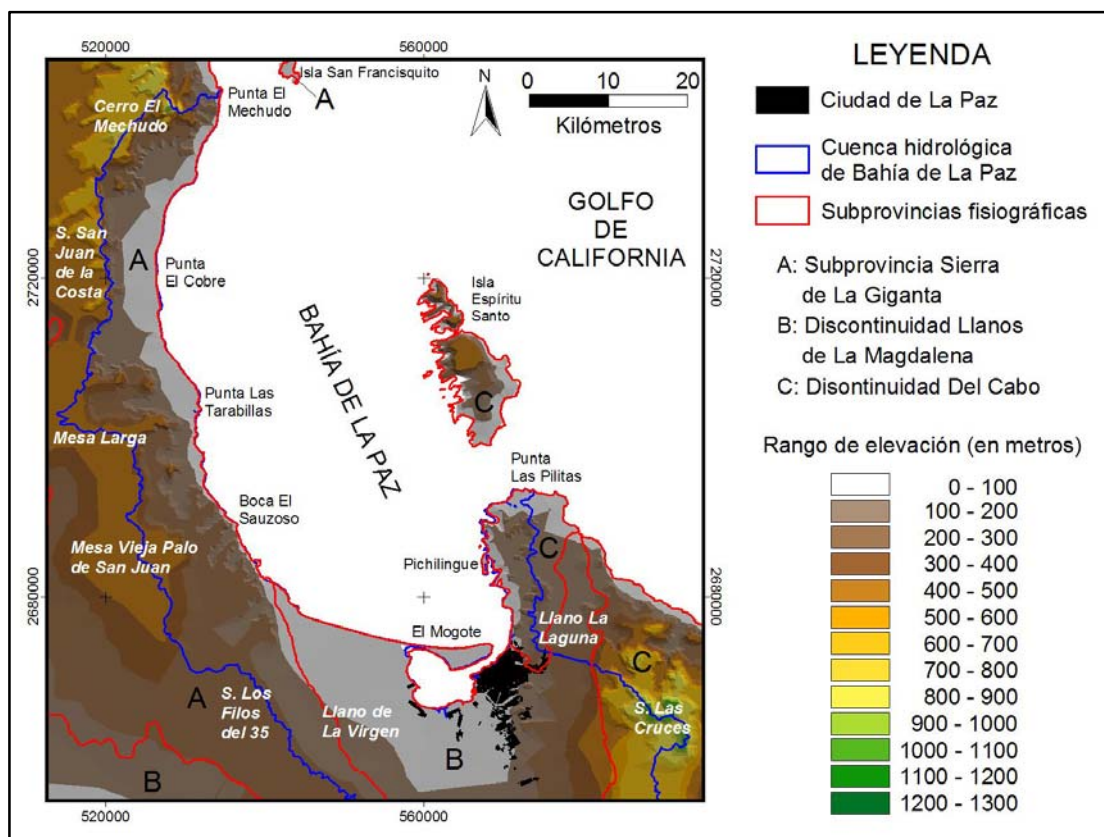


Figura 5. Subprovincias y discontinuidades fisiográficas de la región y subcuencas que drenan en la Bahía de La Paz. Modificado de Fisiografía de México, INEGI edición 2000.

1.5.4 Geología

La geología que aflora en la zona costera de la BLP consta de afloramientos de secuencias sedimentarias clásticas marinas del Mioceno, rocas ígneas extrusivas y volcanosedimentarias del Mioceno medio y depósitos continentales y marinos del Cuaternario (Figura 6). A continuación se describen formaciones que constituyen estas rocas.

1.5.4.1 *Formación El Cien*

La Formación El Cien (Fischer et al., 1995) está expuesta al oeste y noroeste de la Bahía de La Paz, donde presenta un espesor de 175 m. Por lo general se compone de rocas sedimentarias clásticas marinas. La Formación El Cien consiste de dos miembros: San Juan y Cerro Colorado (Fischer et al., 1995).

El miembro San Juan aflora en la región de San Juan de la Costa. Presenta un espesor de entre 70 – 100 m y está compuesto principalmente por fangolitas, limonitas, lutitas, areniscas, capas de fosforita, conglomerados, areniscas tobáceas y algunas intercalaciones de tobas. El miembro Cerro Colorado aflora en la zona de Punta Las Ánimas, está conformado por fangolitas, areniscas mixtas, areniscas tobáceas y conglomerados (Gidde, 1991). Representa una secuencia progradante de un ambiente costero a uno no marino (Gidde, 1991). Cerca de San Juan de la Costa el miembro Cerro Colorado presenta un espesor de entre 39 – 50 m.

1.5.4.2 *Formación Comondú*

La Formación Comondú está constituida por alternancias de areniscas volcanoclásticas y conglomerados, brechas volcánicas de composición andesítica, toba riolíticas, derrames de lava andesíticos generalmente masivos y lahares andesíticos (Hausback, 1984).

En la parte inferior de la Formación Comondú predominan areniscas tobáceas, variando de areniscas limosas a areniscas conglomeráticas, y areniscas de

composición volcanoclástica. Más arriba pero dentro del paquete de las areniscas tobáceas, se encuentran como parte de la facies proximal, brechas andesíticas de color café hasta gris oscuro, parcialmente asociadas con tobas riolíticas de color claro (Hausback, 1984), que afloran en la costa oriental de la BLP, en la isla Espíritu Santo y desde el área de San Juan de la Costa hasta Punta El Mechudo. La parte superior de la Formación Comondú está dominada por areniscas de composición volcanoclástica con intercalaciones de toba riolítica. Contemporánea a esta secuencia, existe en la porción oriental de la bahía, una secuencia de alternancias de areniscas tobáceas a volcanoclásticas, areniscas conglomeráticas, tobas, tobas redepositadas e ignimbritas. Dentro de la parte superior de la Formación Comondú se encuentra la intercalación de una toba riolítica de color rosado (toba San Juan), la cual representa una capa guía al occidente de la bahía.

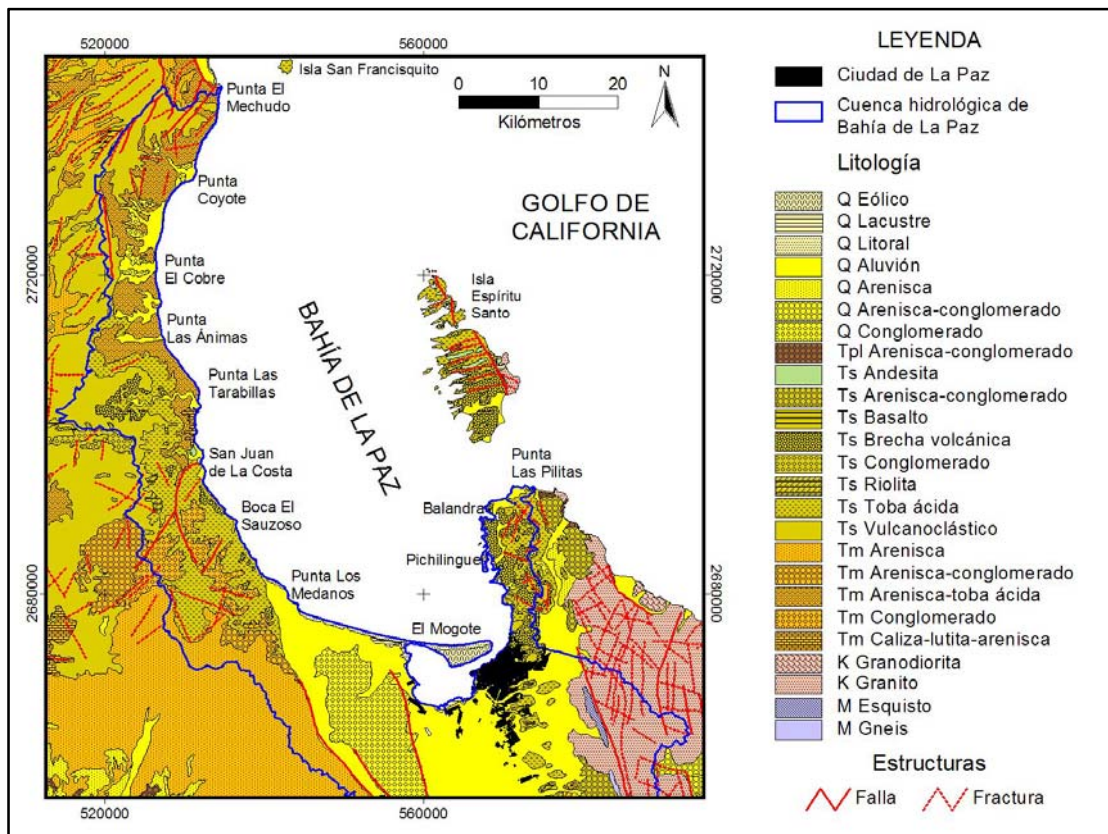


Figura 6. Distribución de la litología y presencia de estructuras tectónicas en la zona de la Bahía de La Paz y áreas adyacentes. Modificada de Carta Geológica La Paz G121011 INEGI, 2002.

Un derrame de basalto andesítico, conocido como Lava San Hilario (Hausback, 1984), forma la cima de la secuencia volcanosedimentaria aflorante al oeste de San Juan de la Costa. Tiene un espesor de aproximadamente 10 m y una edad de 12.5 ma. Es una roca dura y resistente a la erosión, por lo que marca parcialmente la cima de las mesas altas.

1.5.4.3 Depósitos pleistocénicos

Son depósitos de composición litológica muy variable, incluyendo depósitos consolidados y no consolidados. Se presentan terrazas aluviales que son depósitos aluviales poco consolidados, formando terrazas en niveles diferentes a lo largo de los arroyos y coronando mesas bajas, en el área de Las Pilitas.

Del mismo modo están expuestas terrazas marinas localizadas en posiciones elevadas en los alrededores de Punta El Cobre. Su composición varía según la localidad y el nivel de la energía marina durante su formación. Son areniscas conglomeráticas, areniscas coquinoides y coquinas arenosas (COREMI, 1999).

1.5.4.4 Depósitos holocénicos

Estos depósitos corresponden al material aluvial de los arroyos activos, en donde el espesor del material varía y puede alcanzar pocos metros en los arroyos principales (INEGI, 1995). Son sedimentos sueltos y mal seleccionados, variando de arena a grava arenosa.

Asimismo se presentan depósitos litorales, lacustres y de planicies aluviales no consolidados. La composición textural varía de arenoso-limoso en las planicies aluviales a limoso en las planicies de inundación hasta arcilloso-limoso en los ambientes litorales-lagunares, presentes tanto en la Laguna de La Paz como en el área de Balandra. Los depósitos eólicos se componen de arenas bien seleccionadas como en el caso de los campos de dunas desde Punta Los Médanos hasta la parte más oriental de El Mogote.

1.5.4.5 Geología estructural

La existencia de fallas y fracturas que cortan y limitan los contactos litológicos del área de estudio están relacionados a la evolución de la península de Baja California. Estructuralmente se presentan 3 sistemas de fallamiento, generalmente de tipo normal.

Un sistema de fallamiento considerado el más antiguo con estructuras de orientación N 42° - 60° E con inclinaciones variables de 76° a 84° al NW y SE (COREMI, 1999). Este sistema puede observarse principalmente hacia el noroeste de la BLP. El segundo sistema de fallamiento es el más importante y está relacionado con la apertura del Golfo de California. Tiene una orientación N5°E a N15°-40°W con 72° a 82° de inclinación al NE y SW (COREMI, 1999). Algunas de las fallas de este sistema están ubicadas al suroeste de la BLP y cortando a rocas del Cuaternario al occidente de la ciudad de La Paz. Un tercer sistema de fallamiento normal se observa con rumbo N 65°-80°W a E-W con inclinaciones de 76° a 80° al NE. Asimismo se tiene un fracturamiento importante que sigue este comportamiento y que se observa claramente en las islas Espíritu Santo. Este patrón corta a las estructuras anteriores y se considera el más reciente de la región. (COREMI, 1999).

1.5.4.6 Actividad sísmica

De acuerdo a la información disponible en la base de datos del National Earthquakes Information Center (NEIC) y del Servicio Sismológico Mexicano (SSN) puede apreciarse la constante actividad sísmica en el costado occidental de México. Con referencia a un radio de 200 km con centro en la BLP, se han registrado un total de 380 sismos con magnitudes que van desde 2.9 a 6.6 (en escala de Richter) y profundidades en la corteza continental de 3 a 38 km (Figura 7). Dentro del área de dicho radio fue identificado 1 evento en el rango de magnitudes bajas (< 3), los de mayor frecuencia son los que presentan magnitudes medias (3 > 6) con 373 eventos

y solo 6 sismos de magnitud alta (> 6) fueron registrados. Esta información sustenta la evidencia de la actividad sísmica de la región y de las áreas adyacentes a la BLP.

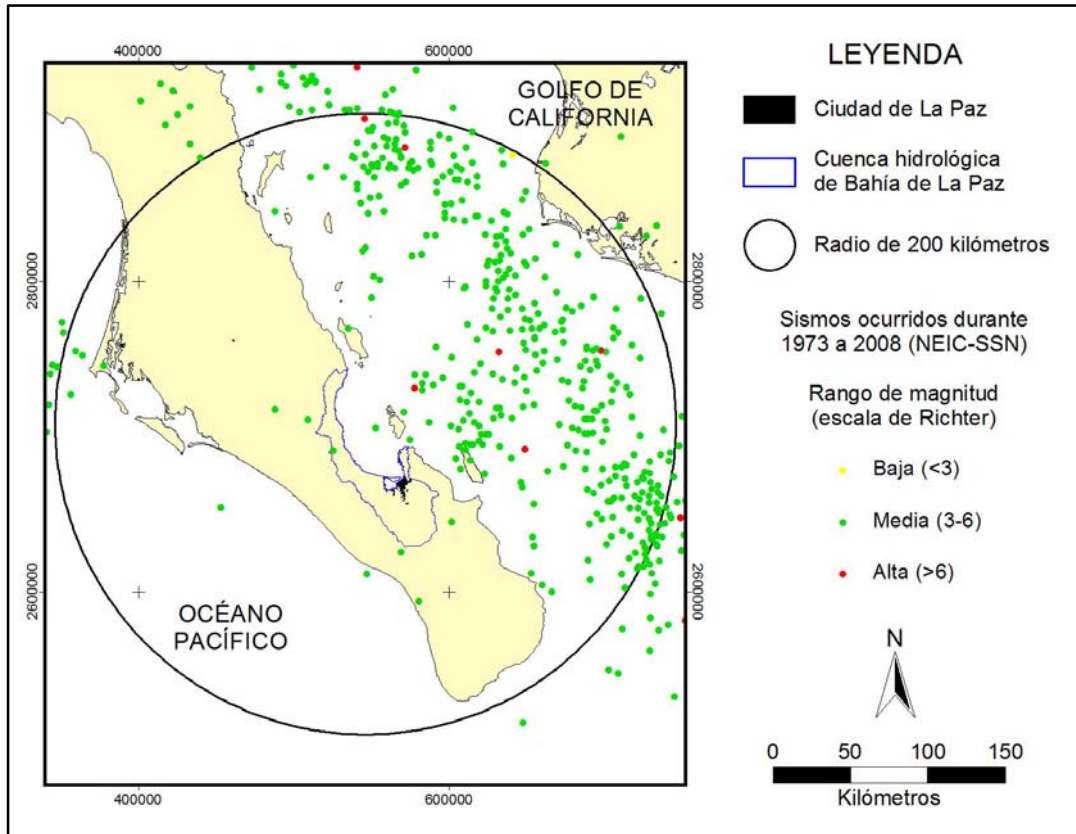


Figura 7. Sismos registrados por las redes sísmicas del NEIC y SSN en el periodo 1973 – 2008 en la porción noroeste de México.

1.5.5 Oceanografía

1.5.5.1 Viento y oleaje

En la Bahía de La Paz, durante los meses de noviembre a mayo, los vientos soplan por la mañana del noroeste y después del crepúsculo cambian a vientos del sur; durante el resto del año los vientos del sureste y del suroeste son los dominantes (Obeso y Jiménez, 1989).

La costa del Golfo de California se caracteriza por recibir un oleaje distante menos

desarrollado que el del Pacífico, inclusive en el golfo, la energía del oleaje local es mayor que la energía del oleaje distante. Sin embargo, esta última y la energía del oleaje de infragravedad son parecidas (Troyo, 2003).

El análisis de las mediciones de oleaje en la Bahía de La Paz realizadas por Troyo (2003), muestra que las máximas alturas de oleaje en la playa El Mogote se presentan en los meses de invierno (hasta 80 cm) cuando dominan vientos del Norte y Noroeste. Mientras que en el verano los vientos del Sur y Suroeste pueden alcanzar intensidades compatibles con los de invierno, de tal manera que el oleaje en la playa El Mogote no alcanza alturas significantes por falta de Fetch, pero puede desarrollar oleaje en la costa occidental de las islas. El oleaje en el canal San Lorenzo casi no tiene variabilidad estacional. La estructura espectral de oleaje muestra, que en todas las mediciones dominaron las componentes de oleaje local de viento, los efectos de swell en la playa El Mogote son mínimos y ocasionales por la protección de la zona por las islas Espíritu Santo, Partida y San José (Troyo, 2003).

En el área de San Juan de la Costa en marzo de 1997, se ha llegado a registrar una altura máxima de hasta 150 cm con periodo de 5.6 segundos y en Punta Coyote una altura máxima de 60 cm, con un periodo de 5.5 segundos en julio de 1997 (Obeso, 2003).

1.5.5.2 *Mareas*

Con respecto al régimen de mareas para el cuerpo costero de la BLP, estas son mixtas, predominantemente semidiurnas (Obeso Nieblas, 2003; Romero Vadillo, 2003). El reflujó que se encuentra entre la pleamar superior y la bajamar inferior es el más intenso, ocasionando corrientes de marea muy fuertes, mayores a las que se presentan en el caso del flujo, esta característica es la que hace que se mantengan sin azolve los canales de las lagunas costeras tanto en la boca de la Laguna de La Paz y en la costa oriental de la bahía (Jiménez, 1996).

Durante julio de 1997, Obeso (2003) cuantificó la variación de nivel por marea en la bahía frente a San Juan de La Costa, Canal San Lorenzo y frente a Punta Coyote. En Canal San Lorenzo encontró un rango de marea de 106.75 cm, originado por una pleamar de 44.18 cm y una bajamar de 62.57 cm. Mientras que en San Juan de La Costa la marea presenta una pleamar superior de 54.78 cm y una bajamar inferior de 59.99 cm, dando origen a un rango de marea de 114.77 cm. Entre tanto, frente a Punta Coyote registró una magnitud 111.41 cm, originado por una pleamar de 50.46 cm y una bajamar de 60.95 cm.

Los resultados de la simulación de huracanes hipotéticos presentados por Romero Vadillo (2003), muestran que las elevaciones de nivel del mar podrían sobrepasar los 2 metros en la Bahía de La Paz. Utilizando datos reales, esta autora estimó que en el caso del huracán Liza de categoría 4 generó una elevación del nivel del mar de hasta 2 metros dentro de la laguna de La Paz y 1 metro en la región costera de la bahía. Concluye además que el paso de los ciclones tropicales cerca de las costas de Baja California Sur tiene un impacto importante en la dinámica y las modificaciones morfológicas.

1.5.5.3 Corrientes

En el año 1997, durante el mes de marzo, se presentó en San Juan de La Costa una dirección de corriente norte – noroeste con una magnitud máxima de 17.51 cm/s, el movimiento del agua en este punto al parecer fue preferentemente hacia Punta Mechudo siguiendo el contorno de la costa oeste de la bahía (Obeso, 2003). Y para ese mismo año en junio, en el Canal San Lorenzo a una profundidad de 6 m se registró una magnitud máxima de la corriente de 48.56 cm/s con una dirección promedio este – noreste, el agua al parecer estuvo predominantemente saliendo de la bahía y probablemente continua su recorrido en el Golfo de California.

Por otro lado, frente a Cabeza de Mechudo en agosto de 1998 se registraron velocidades muy importantes con una magnitud máxima de 60.97 cm/s. En este lugar

la componente norte – sur es la de mayor importancia con una rapidez máxima de 59.63 cm/s. Entre tanto, frente a La Lobera la velocidad máxima registradas fue de 64.10 cm/s el día 23 de noviembre de 1999 (Obeso, 2003).

1.5.5.4 *Batimetría*

El margen continental oriental de la península consta de islas, cuencas marinas, canales, escarpes y montes submarinos de formas, tamaños y orientaciones variables; producto de la confluencia de fallas y una sedimentación generalmente activa. La morfología y las características estructurales del fondo marino en el Golfo de California han sido descritas por Nava et al. (2001), estos autores demuestran que la batimetría está relacionada al patrón estructural por la apertura tectónica del golfo. Concluyen que la BLP es una de las estructuras submarinas más grandes y profundas dentro de lo que llaman “Baja California Peninsula Borderland”, la cual presenta 8 km de ancho en la plataforma peninsular localizada al sureste de la bahía. Mencionan además una serie de bajos “Bajos más allá de Espíritu Santo” con profundidades de hasta 300 metros, los cuales encierran a la bahía en la parte submarina (Figura 8).

El relieve de la batimetría muestra también una cuenca en medio de la bahía de La Paz, llamada Cuenca Alfonso de 400 metros de profundidad; existen también otras estructuras como cuenca Lobos al noreste y el Canal San Lorenzo al este entre La Isla Espíritu Santo y Las Pilitas, presentando profundidades no mayores a los 30 metros.

Las pendientes abruptas (>8%) del fondo de la bahía en la margen occidental indican cañones y colinas, delimitadas posiblemente a trazas de fallas. Las pendientes suaves (<2%) del sur están asociadas con el régimen de aporte de sedimentos desde la parte sur de la cuenca hidrológica de la BLP. Y en la parte oriental se observa un comportamiento del relieve que sugiere una profundidad somera constante bordeando la costa (Obeso, 2003).

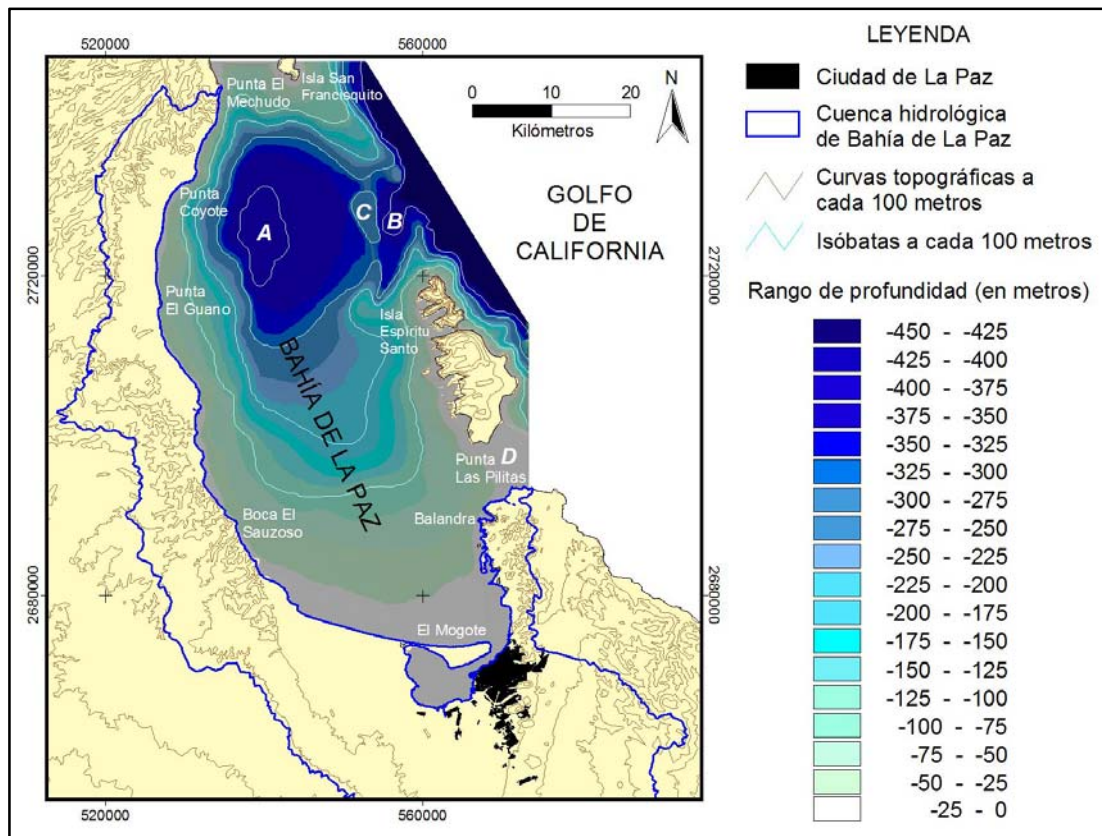


Figura 8. Batimetría de la BLP. A: Cuenca Alfonso, B: Cuenca Lobos, C: Bajos Más Allá del Espíritu Santo y D: Canal San Lorenzo. Isobatas modificadas de Del Monte et al. (2005) y Nava et al. (2001).

1.5.6 Geomorfología costera

Las publicaciones realizadas por Wright et al. (1973), Carranza et al. (1987) y Ortiz y Lanza (2006) son de los pocos trabajos que ofrecen información acerca de la geomorfología costera y su relación con los ambientes y procesos costeros.

Mediante el análisis de mapas temáticos, fotografías aéreas verticales y reconocimiento aéreo, Wright et al. (1973) identificaron las propiedades morfométricas de las costas de la península de Baja California, la cual dividieron en dos zonas: I, costas del Pacífico y II, costas del Golfo de California. Después del trabajo de gabinete y campo las zonas fueron subdivididas en varias provincias. La

BLP corresponde a la zona II, provincia 2; en donde reconocen que cerca del 80% del total de la costa de la bahía son depósitos de playa interrumpidos por acantilados, también identifican 16 abanicos deltas y planicies de inundación (dentro de la Laguna de La Paz).

Acorde a la clasificación morfotectónica continental realizada por Carranza et al. (1987), basado en Inman y Nordstrom (1971) y Shepard (1973); las costas mexicanas fueron clasificadas en nueve unidades regionales de acuerdo a sus características tectónicas, genéticas y geomorfológicas. Las costas comprendidas para el estado de BCS corresponden a la unidad V y VI (Figura 9). El área de estudio se encuentra dentro de la unidad VI, donde existe una plataforma continental muy estrecha o casi nula. Tectónicamente esta unidad corresponde a costas de arrastre de neo-eje, es decir formadas en áreas de rift (Carranza et al, 1987).

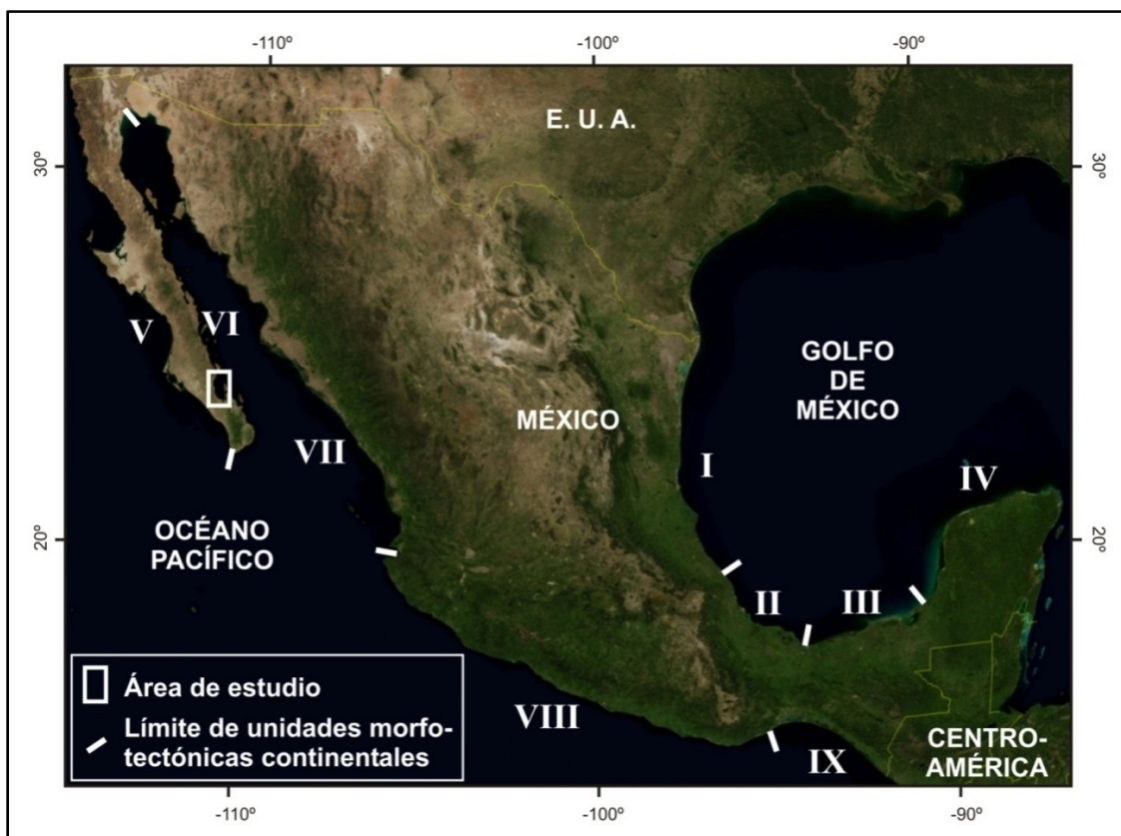


Figura 9. Ubicación de las unidades morfotectónicas continentales de las costas mexicanas.

Modificado de Carranza et al., 1987.

Una versión más actualizada de caracterización de las costas en México fue elaborada por Ortiz y Lanza (2006). Estos autores utilizaron mapas de INEGI escala 1:50000 para realizar un inventario de los elementos morfométricos de superficie e hidrodinámicos de carácter fluvio-marino. Posteriormente delimitaron y clasificaron unidades costeras de homogeneidad relativa de escala regional. Para el litoral del Pacífico se reconocieron 9 grandes regiones naturales (Figura 10) y 5 para las costas del Golfo de México. La BLP se localiza en la región llamada “Costa oriental de la península de California”, en donde la configuración de la costa es de traza irregular con entrantes y salientes que forman pequeñas bahías de bolsillo o ensenadas, flanqueadas por acantilados de diversos tamaños, entre los cuales se disponen abanicos proluviales de torrentes (Ortiz y Lanza, 2006).

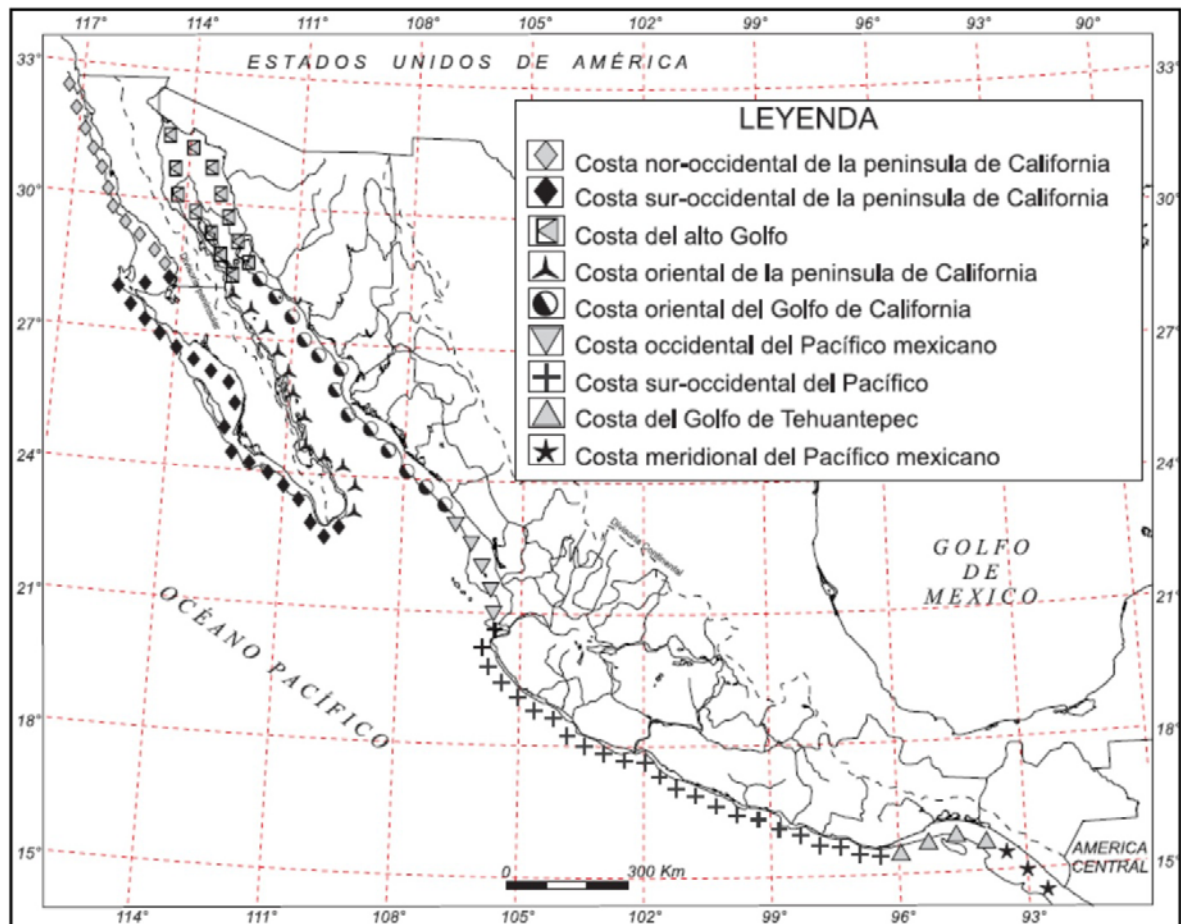


Figura 10. Regionalización natural del litoral del Pacífico mexicano. Tomado de Ortiz y Lanza (2006).

CAPITULO 2 – METODOLOGÍA

Para el cumplimiento de los objetivos de este trabajo, fue llevada a cabo la clásica metodología gabinete-campo-gabinete. No obstante, fue necesario seguir una serie de pasos y métodos debido al tamaño del área de estudio y a la constante información generada antes, durante y después de las salidas de campo.

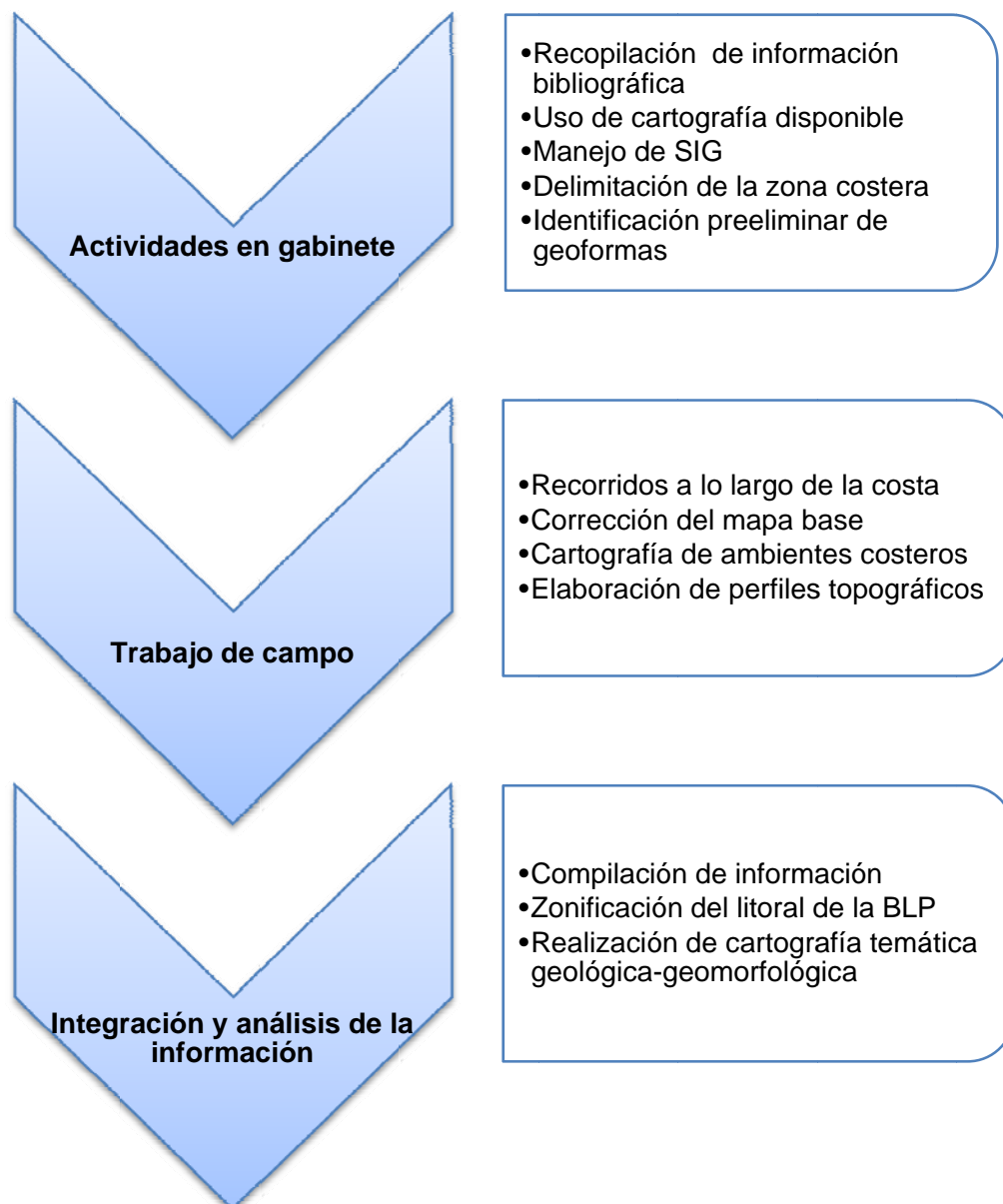


Figura 11. Metodología llevada a cabo durante la realización de este trabajo.

2.1. Actividades en gabinete

Como etapa inicial se recopiló la información bibliográfica y cartográfica disponible para la región de la península de Baja California. Algunas publicaciones de artículos y libros relacionados con el marco teórico de este trabajo se encontraron por Internet, otras están disponibles en la biblioteca y en el acervo bibliotecario del Laboratorio de Geología Ambiental del CICIMAR (Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas).

Para la cartografía base (escala 1:20,00) se utilizó la información vectorial y raster generada y editada por INEGI en diferentes años (Tabla 1), la cual se trabajó en el sistema de coordenadas UTM y en el datum ITRF92 (Marco de referencia terrestre internacional de 1992). Ésta misma fue manipulada en el sistema de información geográfica ArcVIEW 3.2a.

Un programa de manejo integrado costero tiene mayor probabilidad de éxito cuando el área adoptada es una franja estrecha de costa, como garantía de ganar mayor control y mejores resultados en su caracterización. Un excelente ejemplo para definir la franja es por medio de una coherencia hidrológica, es decir, estableciendo las principales cuencas perpendiculares a la línea de costa, siendo estas subregiones funcionales ya que sus partes están interrelacionadas con la red hidrológica (Abogados, 2003).

De esta manera, mediante la obtención de un primer análisis geológico, fisiográfico y geomorfológico del relieve fue delimitada la zona costera, la cual se consideró para este trabajo como la “Cuenca hidrológica de Bahía de La Paz”. La realización de un modelo digital de elevación (MDE) y pendientes con los datos topográficos (curvas de nivel equidistantes a 20 metros), los cuales fueron sobrepuestos en las ortofotos; permitió identificar y digitalizar aquellos elementos morfológicos (geoformas) dentro de la cuenca hidrológica de BLP. El análisis de esta información fue general y tratada a una escala de 1:50000; posteriormente, para la realización del mapa base se redujo a 1:20000 para poder facilitar la caracterización de los posibles ambientes

cartografiados a niveles más locales durante el trabajo de campo, que finalmente en algunos casos cubrieron una pequeña franja del litoral y en otros solamente el contorno del ambiente reconocido.

Tabla 1. Material cartográfico y vectorial de INEGI empleado para este trabajo.

Cartas y datos vectoriales topográficos e hidrológicos (escala 1:50,000)	Ortofotos digitales (escala 1:75,000, ed. 1993)	Otra información
G12d51, ed. 2003	G12d51f	G1211, geología, ed. 2002, escala 1:250,000
G12d61, ed. 2002	G12d61c	
G12d62, ed. 2001	G12d61f	Climas de México, ed. 2000, escala 1:1,000,00
G12d71, ed. 2003	G12d71c	
G12d72, ed. 2001	G12d71f	Fisiografía de México, ed. 2000, escala 1:1,000,00
G12d73, ed. 2001	G12d72d	
G12d81, ed. 2003	G12d73d	Topoformas de México, ed. 2000, escala 1:1,000,00
G12d82, ed. 1998	G12d82a	
G12d83, ed. 1998	G12d82b	
	G12d82c	
	G12d82e	
	G12d82f	
	G12d83a	
	G12d83d	

Se consultaron las bases de datos de acceso libre de dos organizaciones estadounidenses. En la NOAA se obtuvieron las trayectorias históricas (1958-2007) de los ciclones tropicales del Pacífico Oriental, para saber la ocurrencia de estos fenómenos meteorológicos extremos que afectan a BCS. Y del NEIC fueron extraídos los terremotos registrados en áreas continentales y oceánicas para el periodo de 1973 a 2008, con el propósito de apreciar la actividad sísmica y su ubicación en el noroeste de México.

Para el caso de la configuración batimétrica de la Bahía de La Paz, se digitalizaron las isobatas reportadas a cada 5 y 50 metros en los trabajos de Del Monte et al. (2005) y Nava et al. (2001), respectivamente. Después de georeferenciarlas se creó un MDE para tener una idea del relieve submarino en tal bahía para incluirlo en la caracterización de la zona costera. Cabe mencionar que existe un rango de error en la ubicación de las isobatas, encontrándose estas desplazadas hasta unos 10 metros, ya que estas fueron escaneadas directamente de los artículos de dichos autores.

También fue posible conseguir imágenes de satélite de buena resolución para la identificación de geoformas recientes, esto mediante el software de uso libre Google Earth (el tamaño del pixel varía según el área), disponible en la red. Las imágenes compiladas fueron georeferenciadas en ArcVIEW 3.2a para compararlas con las ortofotos de 1993 de INEGI.

2.2. Trabajo de campo

El trabajo de campo se llevó a cabo en aproximadamente 1 año y medio. Constó de 1 salida de reconocimiento general al área de estudio, así como de otras 11 salidas con duración de 10 horas cada una. El traslado fue siempre en vehículo partiendo del CICIMAR. Los recorridos se realizaron caminando sobre la costa auxiliándose de una moto de montaña si un área muy extensa aparentaba una configuración morfológica similar o cuando era necesario llegar a áreas poco accesibles.

Durante el trabajo de campo se anotaron observaciones y tomaron fotografías de las condiciones actuales de la costa, posteriormente y mediante el uso de un GPS (Global Position System) marca GARMIN modelo e-trex, fueron delimitados sobre el mapa base del área y georreferenciados los posibles ambientes geológicos costeros. Esto para poder ir generando la caracterización geológica - geomorfológica del litoral de la Bahía de La Paz. Además se utilizó un GPS (GARMIN) para corregir la cartografía base realizada previamente a escala 1:20,000.

En esta misma etapa fueron utilizados un nivel de mano y un estadal graduado a cada centímetro para el levantamiento de perfiles topográficos con el objetivo de calcular la pendiente actual de las playas observadas durante los recorridos.

2.3. Integración y análisis de la información

Una vez obtenida la delimitación en campo de los ambientes geológicos costeros del litoral desde Punta El Mechudo hasta Punta Las Pilitas, en gabinete se procedió a comparar y complementar con la información existente obtenida en proyectos pasados del Departamento de Oceanología en el área de Geología.

Se elaboró la cartografía temática geológica – geomorfológica del litoral de la Bahía de La Paz, la cual contiene el resultado de la zonificación del litoral de dicha bahía y de dichos ambientes presentes a lo largo de la misma.

CAPITULO 3 – RESULTADOS

Los resultados preliminares en la etapa de gabinete del análisis conjunto de la fisiografía, geomorfología y geología dentro la cuenca hidrológica de la BLP delimitada para este trabajo, permitieron identificar 13 geoformas (Figura 12). Encontrándose adyacentes a la costa: 1 abanico aluvial, 1 barrera arenosa, 15 cañadas y 5 abanicos deltas. Así como también áreas amplias de planicies costeras y aluviales, montañas y sierras.

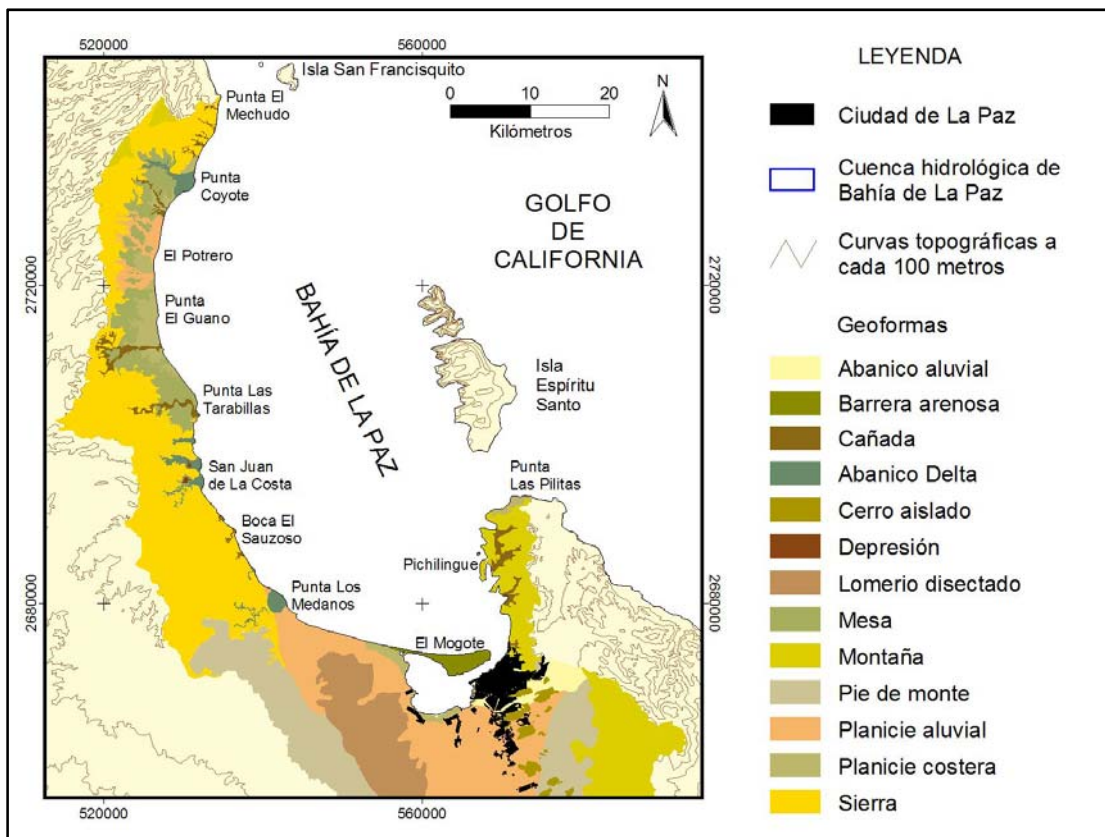


Figura 12. Geoformas de la cuenca hidrológica de Bahía de La Paz.

Al occidente de la bahía desde Punta Mechudo hasta Punta Las Tarabillas predomina la presencia de cañadas producto de la erosión fluvial de los arroyos, mesas y planicies costeras extensas con pendientes de inclinación menores a 3°. y en Punta Coyote un abanico delta de tamaño considerable. En las áreas adyacentes de San Juan de La Costa hacia el sur hasta Punta Los Médanos, se mostraron una

serie de pequeños abanicos delta separados por sierras y cañadas pobremente desarrolladas. En el extremo septentrional de la bahía resaltó la existencia de una barrera arenosa orientada oeste – este que protege a una planicie costera, la cual está en contacto con otra planicie pero de origen aluvial. Por último, la costa comprendida entre donde termina la ciudad de La Paz en su parte norte hasta Punta Las Pilitas, pudieron diferenciarse montañas cortadas por anchas cañadas y áreas de planicies costeras. Como una geoforma especial se observó un abanico aluvial en el cual está casi en su totalidad cubierto por la mancha urbana de la ciudad de La Paz.

3.1. Ambientes geológicos costeros

Las geoformas anteriormente mencionadas fueron la base para tener un panorama de la variabilidad geomorfológica del litoral en la BLP, que posteriormente en las campañas de campo fue rectificada y registrado los atributos morfológicos presentes en la costa. Como resultado de esto, fue posible diferenciar y caracterizar el contorno de 6 ambientes geológicos costeros (AGC) en la bahía (Tabla 2) que de manera descendente en cuanto al tamaño de su longitud son: playas – dunas; acantilados, promontorios rocosos y escarpes; costa modificada; lagunas, manglares y planicies de mareas; y abanicos delta.

Tabla 2. Ambientes geológicos costeros de la Bahía de La Paz, su perímetro y porcentaje.

AGC	Longitud (km)	Porcentaje (%)
Playas – dunas	69.2	35.5
Acantilados, promontorios rocosos y escarpes	50.6	26.0
Costa modificada	26.7	13.7
Lagunas, manglares y planicies de mareas	28.3	14.5
Abanicos delta	20.0	10.3
TOTAL	194.8	100

A continuación se describen los atributos geomorfológicos, la distribución a lo largo de la BLP y las características litológicas predominantes de cada AGC en el orden

presentado en la Tabla 2, exceptuando al correspondiente a “Costa modificada”, dejando la explicación de este ambiente hasta lo último.

3.1.1 Playas - dunas

Las playas son elementos muy dinámicos de la costa que pueden cambiar su forma en planta y perfil, en periodos cortos de tiempo (2 o tres horas con oleaje de alta energía o en términos de minutos con un tsunami). Estos cambios de forma, conllevan un transporte de arena, el cual es el resultado de la interacción del oleaje, viento, marea y el material disponible. Las dunas costeras consisten en depósitos eólicos en donde su evolución y forma están relacionados a una fuente de sedimento, las características del viento local (velocidad y dirección) y las tasas de erosión y depositación por oleaje (Bird, 2000). En condiciones extremas de erosión en la playa (por oleaje de tormenta o incremento en el transporte litoral), la duna actúa como un reservorio de arena para recuperar en condiciones ambientales naturales el volumen perdido (Woodroffe, 2002).

A lo largo de la línea de costa de la Bahía de La Paz el ambiente que ocupa el mayor perímetro de su litoral es el de playas – dunas, con 69.2 kilómetros equivalentes al 36%. Son depósitos de material sedimentario no consolidado, los cuales varían en su anchura y en el tamaño de grano del sedimento. Se identificaron 58 segmentos de playas asociadas generalmente a la presencia de dunas, aunque en algunas existen pequeños escarpes. De acuerdo a la forma y dimensión de las playas encontradas fueron propuestos los siguientes tipos: de bolsillo, estrecha y amplia (Tabla 3).

Tabla 3. Tipos de playas, número de segmentos, longitud y porcentaje.

Tipo de playa	# de segmentos	Longitud (km)	Porcentaje (%)
Amplia	15	46.2	66.7
Estrecha	21	16.3	23.6
De bolsillo	22	6.7	9.7
TOTAL	58	69.2	100

3.1.1.1. Playas amplias

Este tipo de playas son las de mayor anchura, de segmentos de costa más extensos y de una cara de la playa texturalmente más constante en cuanto a la selección del tamaño del sedimento. La cartografía de estos ambientes resultó en la identificación de 15 playas que ocupan el 67%, cerca de 46.2 kilómetros dentro de este ambiente.

Al noroeste de la BLP próximos a la localidad de Punta Coyote se localizan segmentos de playa separados por acantilados. En esta misma área hay cordones de dunas, dunas estabilizadas e incipientes. Aproximadamente a 1.5 kilómetros al noreste del Cerro Colorado se encontró fue encontrada la duna más alta dentro de la bahía nombrada “Duna El Portugués”, con cerca de 25 metros de altura desde su base hasta la cima (Figura 13 y 14) y una playa de 15 metros de ancho enfrente de ella. Además fue observado que en el extremo norte de la duna esta ha comenzado a sepultar parte del cerro adjunto a ella, comportándose como una duna trepadora.



Figura 13. Duna más alta observada en la BLP, con 25 metros de elevación.

Hacia el sur se observó 1.3 kilómetros de longitud de playas que varía entre 15 y 20 metros de ancho, con un campo extenso de dunas incipientes que no sobrepasan los 2 metros de elevación, En el área donde desemboca uno de los arroyos formados en las estribaciones de la Mesa El Alambre hay aparentes cordones de dunas de hasta 3 metros de altura (Figura 14).

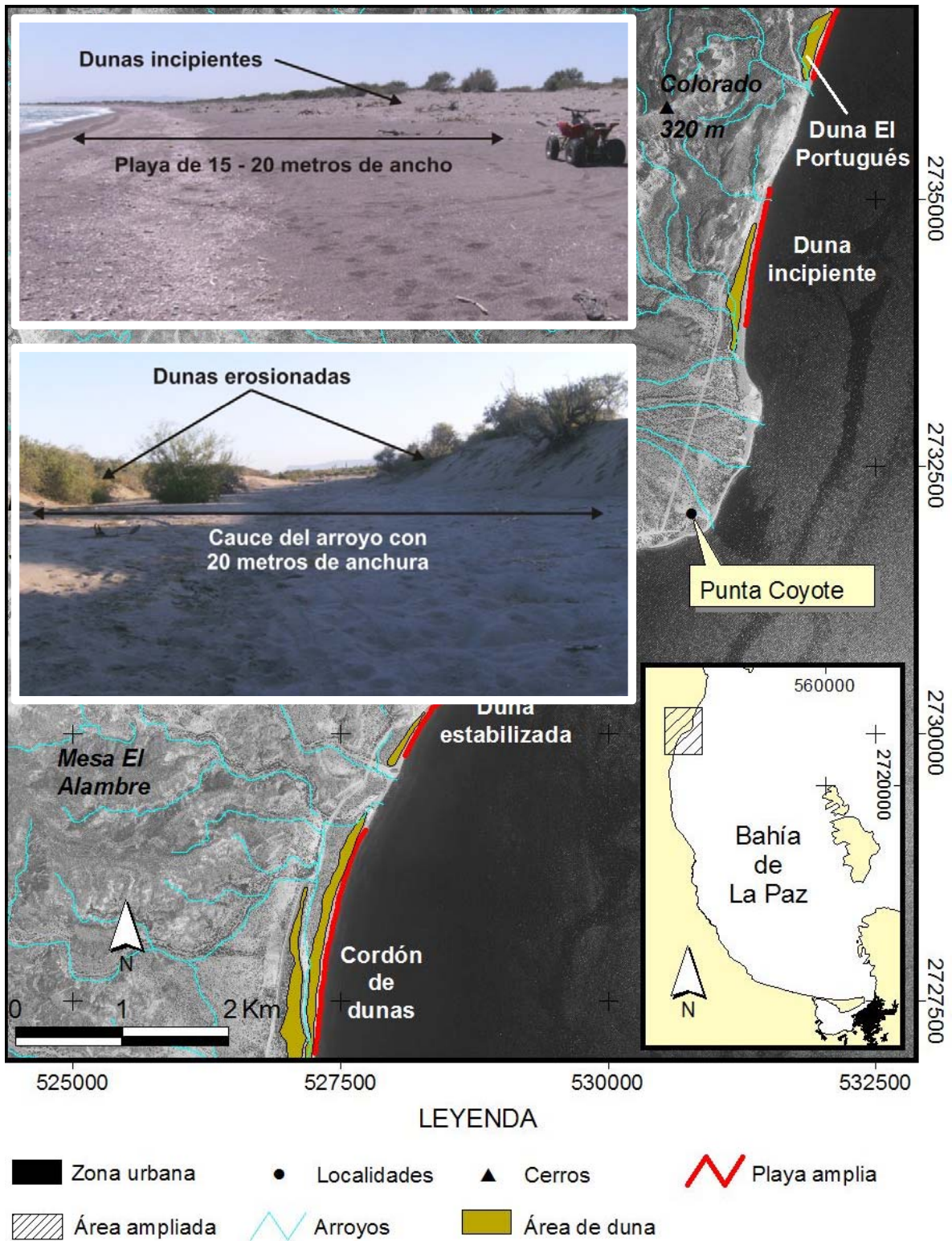


Figura 14. Playas amplias y dunas al noroeste de la Bahía de La Paz.

La existencia de estos cordones en el área anteriormente mencionada no se debe a eventos transgresivos de la costa, sino más bien al producto de la erosión de los arroyos que dividió a una o más dunas.

Entre las localidades de El Potrero y Punta El Cobre se halla un cordón de dunas que alcanza una extensión de 3.3 km (Figura 15), sin embargo en su parte media esta erosionado por el cauce de un arroyo con ancho promedio de 10.5 metros. De esta manera, para el caso del área de El Potrero la desembocadura del arroyo se ha cerrado por un potente volumen de sedimentos que conforma a una playa con 25 metros de anchura.

Al parecer en ambos casos, las dunas erosionadas al sureste de Mesa El Alambre y El Potrero, las depresiones que hay entre un cordón de duna y otro favorecen al encauzamiento y conducción del agua durante las lluvias, permitiendo la erosión hasta desarrollar un cauce paralelo a la duna, para luego romperla en un punto para y desembocar en el mar.

Al sur de la granja camaronera ubicada en Punta El Guano existen otros cordones de dunas con presencia de una playa que varía entre 20 y 25 metros de ancho (Figura 15). Hay un primer cordón de dunas activo con 1 metro de elevación y vegetación semifija (pionera); y otro cordón de dunas estable con 3.5 metros de altura y vegetación más compleja como matorrales y arbustos. Este último cordón se extiende 1.6 km hasta formar parte del depósito de una duna trepadora ubicada hacia el sur.

El segmento de mayor longitud en la BLP pertenece al tipo de ambiente playa amplia, el cual mide 25.9 kilómetros y corresponde al ubicado en la parte austral de la bahía, desde la localidad de Las Pacas hasta el extremo oriental de la barrera arenosa El Mogote (Figura 16). En todo este tramo costero el ancho de la playa varía entre 15 y 25 metros.

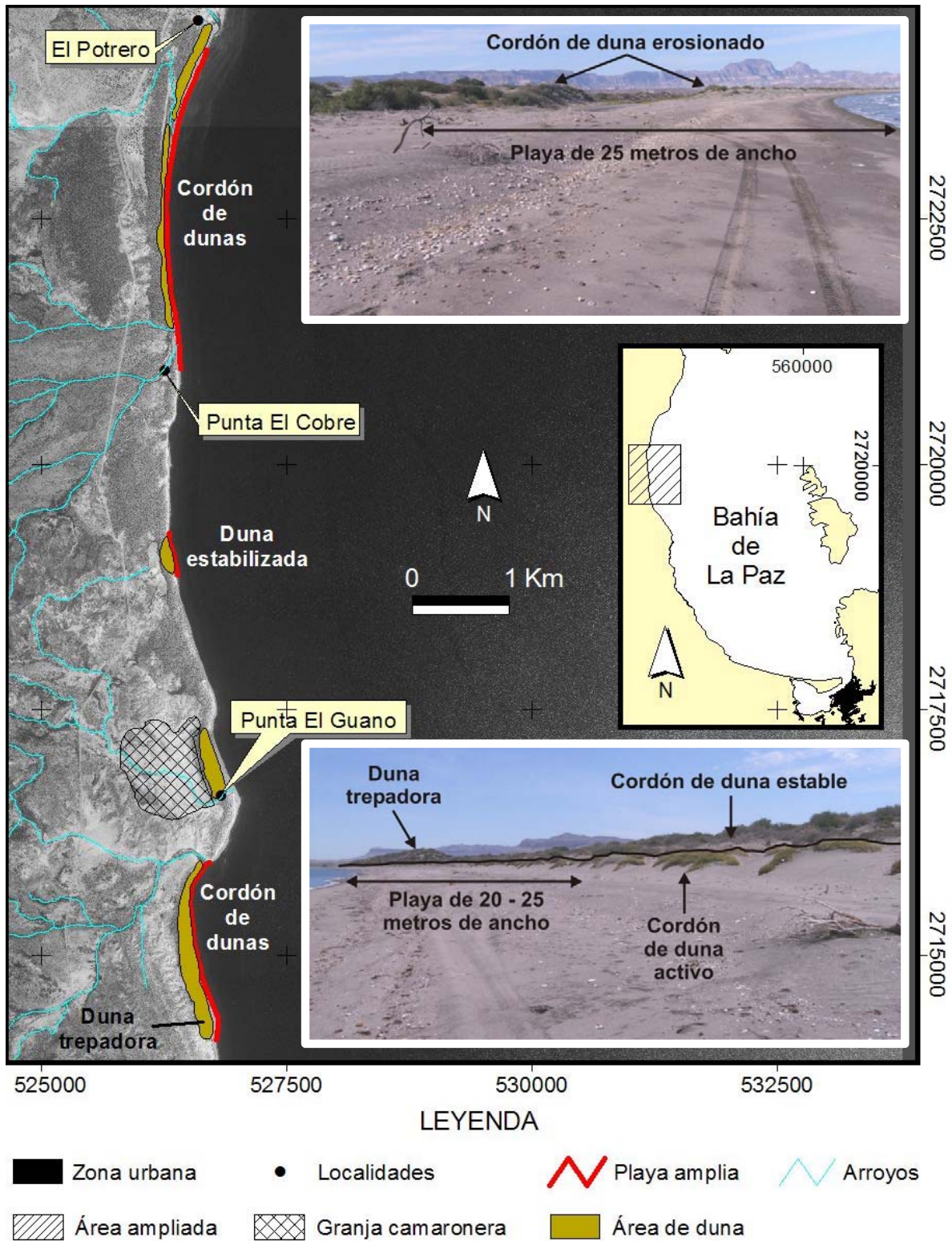
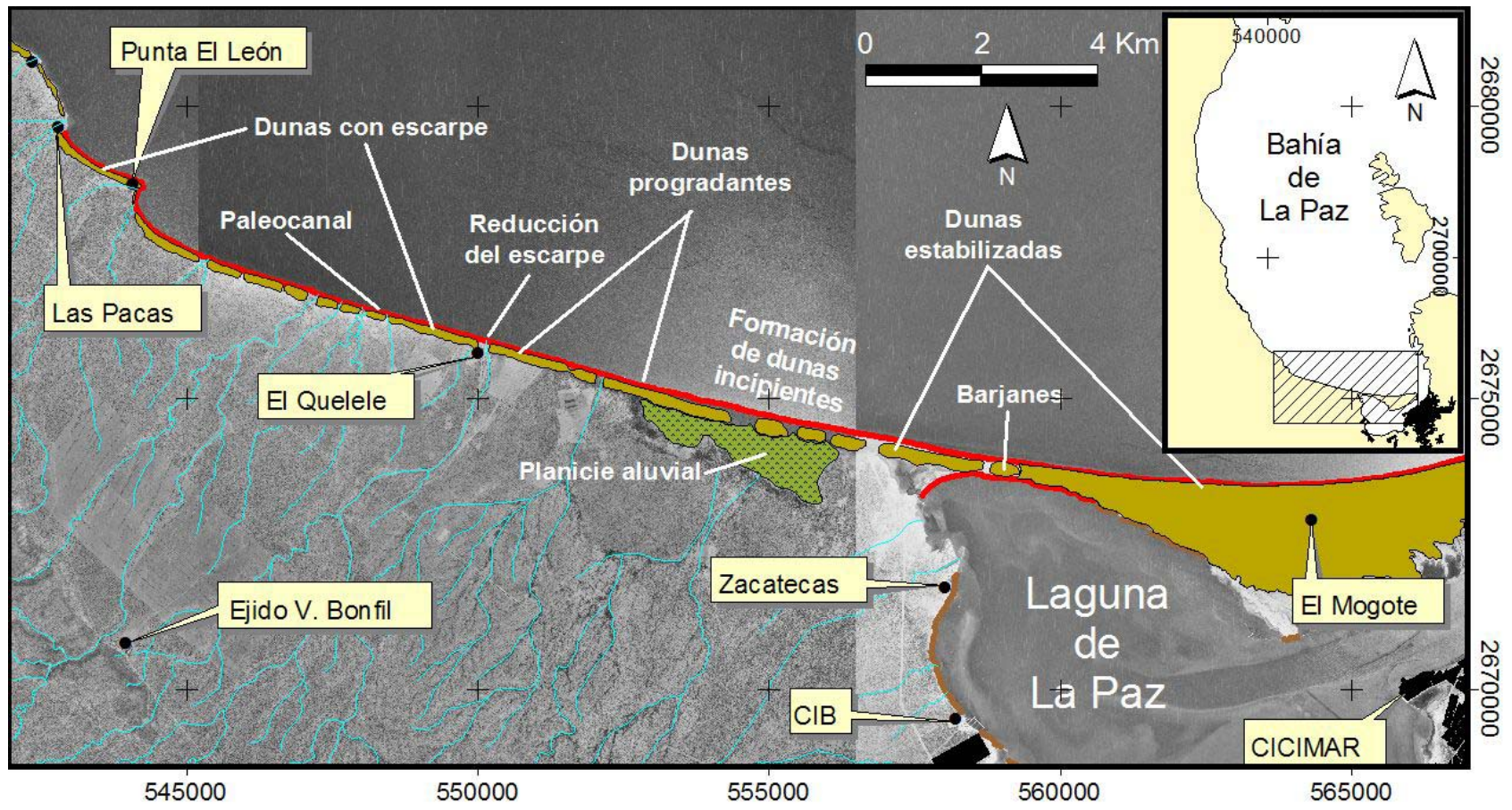


Figura 15. Playas y cordones de dunas en la costa occidental de la BLP.



LEYENDA









- | | | | |
|---|---|--|--|
|  Zona urbana |  Localidades |  Área de duna |  Playa amplia |
|  Área ampliada |  Arroyos |  Planicie aluvial |  Playa estrecha |

Figura 16. Presencia de dunas y playas amplias al sur de la bahía y dentro de la Laguna de La Paz.

En el extremo occidental de este segmento, tanto en la localidad de Las Pacas como en Punta León, se apreció una progradación de las playas hacia el mar en una dirección preferente hacia el este (Figura 17). Esto se corroboró con el intervalo de imágenes entre la ortofoto de INEGI de 1993 y una de Google Earth tomada en 2003. En el caso de Las Pacas, el aumento de material arenoso depositado hasta 2003 ocupó un área de 0.05 km²; sin embargo, inmediatamente enfrente de la desembocadura del arroyo ahí presente hay depósitos de clastos volcánicos redondeados con un tamaño promedio de 10 cm de diámetro, mientras que hacia el sur donde se formó y aún permanece actualmente una pequeña laguna predominan sedimentos más finos que son fácilmente acarreados por la corriente marina. Además, las dunas en esta área incrementan su altura hacia el sureste debido a que están sobre un escarpe (Figura 17). Por otro lado, en Punta León existe una pequeña punta arenosa alineada noroeste – sureste (Figura 18), aquí las playas se han extendido de 15 a 20 metros durante el intervalo de años observados (1993 – 2006) y en campo se confirmó que esa prolongación de las playas persiste en la actualidad.

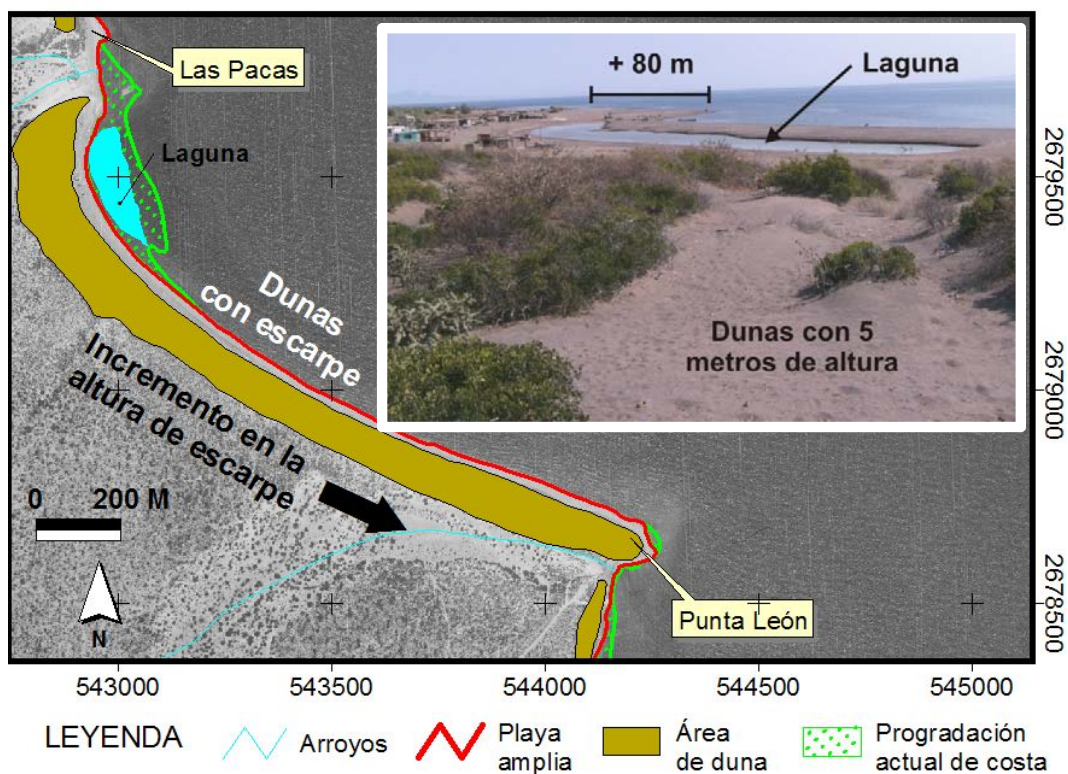


Figura 17. Progradación de las playas en Las Pacas y Punta León.



Figura 18. Extensión de las playas y dunas sobre escarpe en Punta León.

Desde Punta León a El Quelele las dunas sobreyaciendo al mismo escarpe, que está compuesto de material fluvial y capas de material muy fino, comunes en planicies de inundación. Una evidencia clara de la influencia continental en los depósitos que componen a este escarpe es la evidencia de un paleocanal de 3 metros de grosor en su eje axial (Figura 19), con clastos de hasta 10 centímetros de diámetro de origen volcánico muy retrabajados; con una aparente dirección del flujo o escurrimiento hacia el noreste (se observaron estructuras de imbricación de los clastos en esa orientación). El escarpe llega a tener en promedio 20 metros de altura y en su base suele presentar bloques y material caído.



Figura 19. Paleocanal aflorando en un escarpe al oeste de la localidad de El Quelele.

A partir de la localidad El Quelele el escarpe empieza a reducir su altura en dirección al este, donde finalmente lo sepultan dunas con un promedio de 20 metros de elevación. A 2 km de distancia al oriente de dicha localidad se observó como el crecimiento de la duna ha ido avanzando a lo largo del tiempo hacia tierra adentro, ya que ha cubierto flora (arboles y cactáceas) y algunas estructuras urbanas como postes (Figura 20).



Figura 20. Evidencia del crecimiento y avance de las dunas al sureste de El Quelele, las cuales cubren parcialmente a vegetación e infraestructura urbana.

En medio de este segmento de playa mayor entre Las Pacas y El Mogote existe una planicie aluvial en contacto con dunas estabilizadas de máximo 15 metros de altura; siguiendo en dirección oriental estas mismas reducen su altura hasta tener en promedio 4 metros de elevación. Esta morfología sigue hasta antes de llegar a la parte más estrecha de la barrera arenosa El Mogote en donde hay un campo de dunas tipo barjanes cubriendo un área de 0.1 kilómetros cuadrados, con forma parabólica y el eje axial orientado de norte a sur, con alturas que varían entre los 10 y 12 metros (Figura 21).

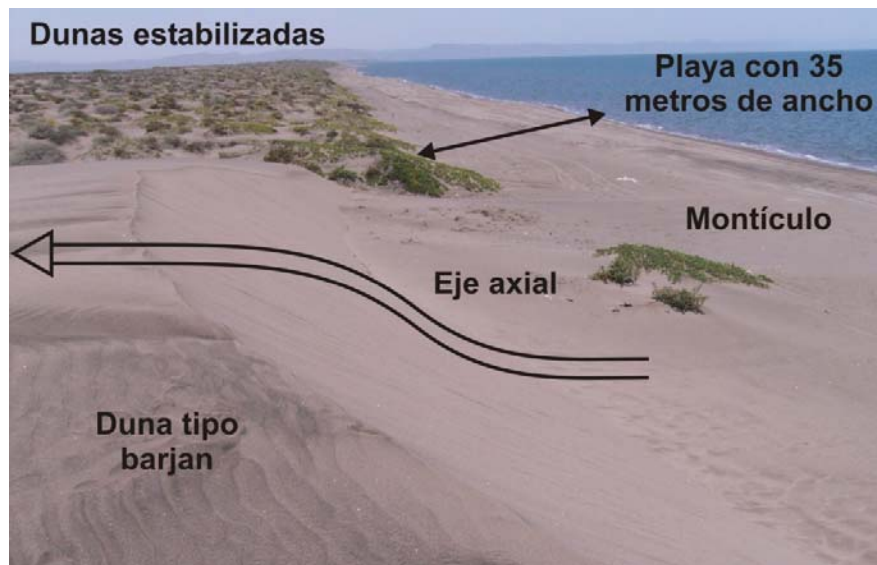


Figura 21. Playas y dunas Barjanes presentes en la parte más estrecha de la barrera arenosa El Mogote.

3.1.1.2. Playas estrechas

Las playas estrechas se consideran aquellas que por lo regular presentan un ancho de playa reducido, de hasta 6 metros; otra característica es que no tienen una berma diferenciada y normalmente se componen de tamaños de grano de las gravas muy gruesas, según escala de Wentworth (1922). Estas playas corresponden al 23.6% del total de las playas a lo largo de la Bahía de La Paz. Este tipo de playas suelen presentar acantilados y escarpes que presentan bloques y material caído en su base, permitiendo muy poco el desarrollo de playa y duna.

La distribución de las playas estrechas a lo largo de la bahía es un poco dispersa. Algunas se pueden encontrar a 5 km al noreste de Punta Coyote y otras al norte de El Potrero; las primeras presentan un escarpe de 4 metros de altura, en el cual su cima que está compuesta por una capa de toba riolítica está muy intemperizada y provoca que los fragmentos que se desprenden caigan enfrente de su base incorporándose a la playa de no más de 5 metros de anchura (Figura 22). Las playas localizadas en las inmediaciones de El Potrero presentan anchos promedio de 4

metros, que a diferencia de las de Punta Coyote estas muestran en su parte posterior dunas de hasta 3 metros de altitud (Figura 23).



Figura 22. Playa estrecha asociada con un escarpe a 5 km al noroeste de Punta Coyote.

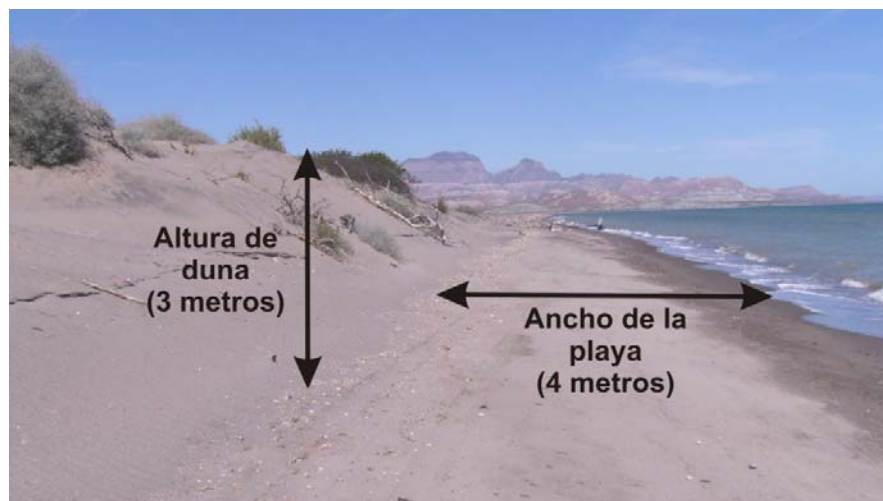


Figura 23. Playa estrecha con presencia de una duna frontal al norte de la localidad de El Potrero.

Al sur de la zona de mina en San Juan de La Costa, las playas se desarrollan enfrente de un escarpe de máximo un 1 metro de elevación, lo cual aporta material grueso como bloques y grava (Figura 24), en esta área las características de compactación y fragmentación de la litología son muy pobres, debido a que corresponden a secuencias de limolitas y areniscas de la parte inferior del Miembro San Juan de la Formación El Cien.

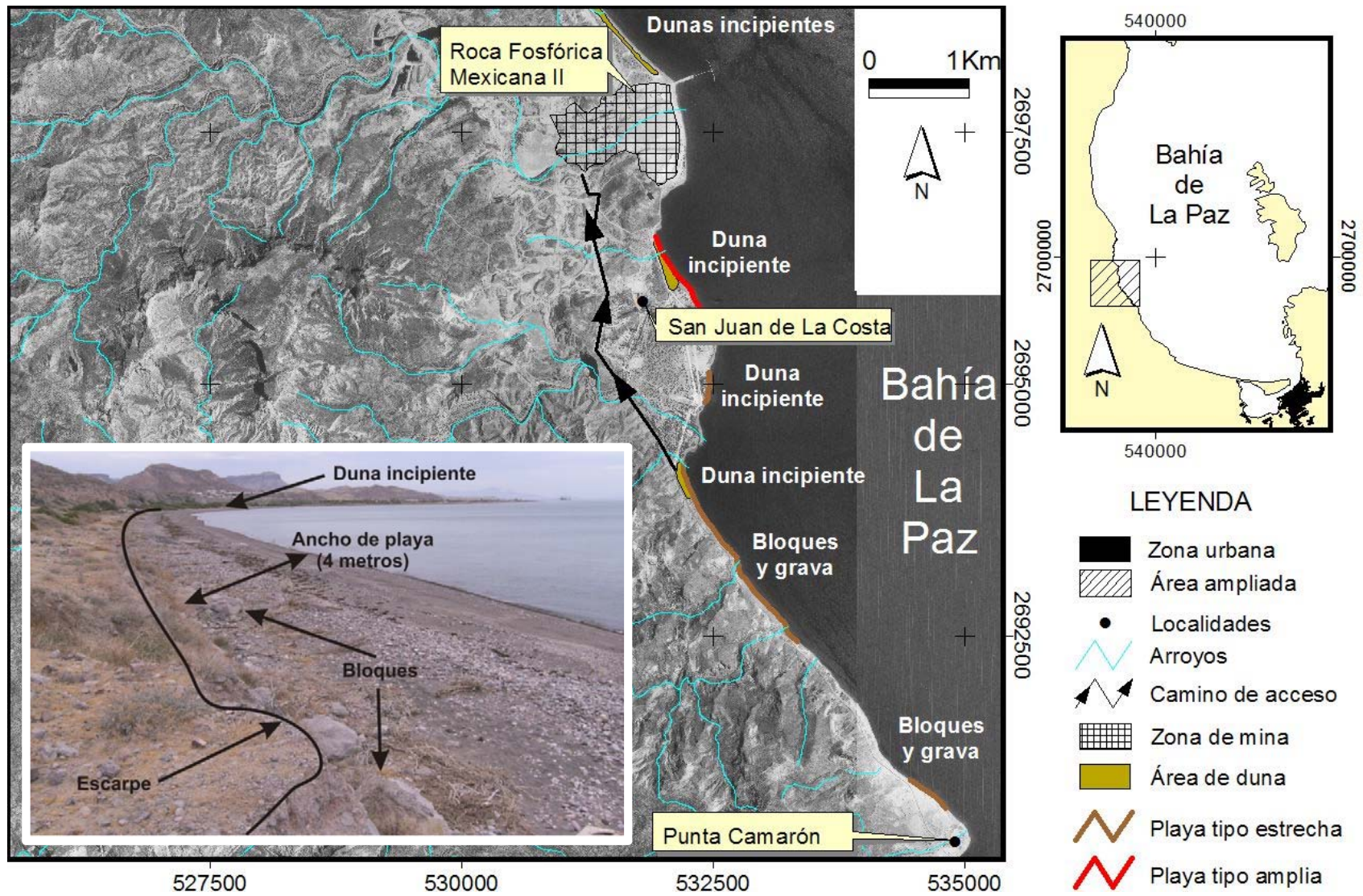


Figura 24. Playas ubicadas en las áreas adyacentes a la mina en San Juan de La Costa y Punta Camarón.

Sin embargo, el fracturamiento de las rocas no es el único proceso por el cual se haya tamaños de sedimentos más grandes que las arenas en las playas estrechas, también las antiguas descargas de los arroyos han dejado a la disposición de la corriente litoral clastos subredondeados de material volcánico erosionado en las partes altas de la cuenca de BLP. Como es el caso a aproximadamente a 250 metros al noroeste de Punta Camarón (Figura 25), donde los depósitos de estos clastos han formado una franja de grava acumulada por el retrabajamiento del material más grueso. Y debido a la escasez de material fino solo hay parches de dunas incipientes.

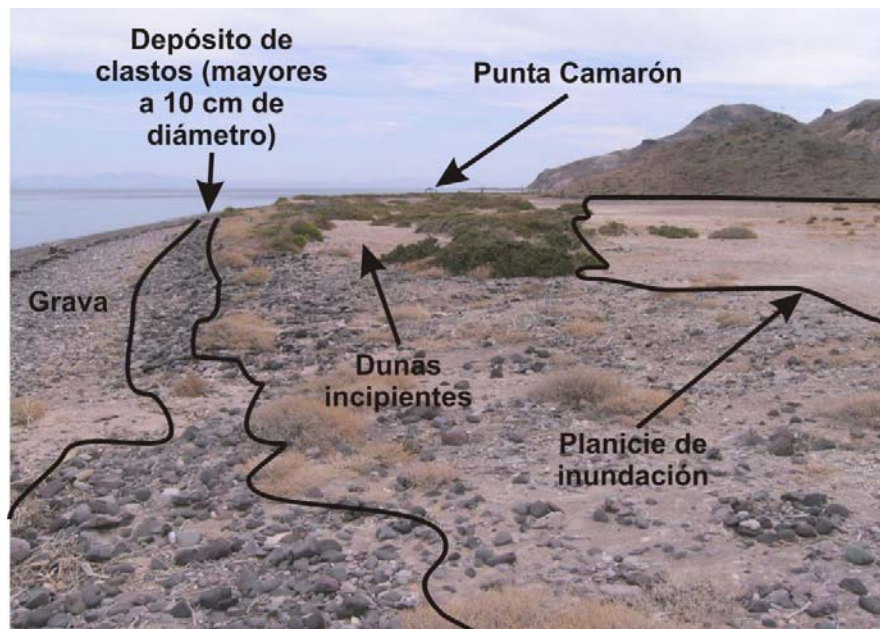


Figura 25. Playas estrechas compuestas de sedimentos gruesos a 0.25 km al noroeste de Punta Camarón.

3.1.1.3. Playas de bolsillo

Las playas de bolsillo son pequeñas playas semicerradas limitadas por promontorios o salientes rocosas, las cuales se mantienen con un volumen de sedimento constante (Davies, 1974). Este tipo de playas son las más comunes en número, siendo un total de 22 segmentos, pero son las que suman una menor longitud a lo largo de la bahía y se distribuyen tanto al oeste como al este.

Las playas del lado oeste tienen la característica de tener sedimentos con tamaños de grano más gruesos que los del lado este. Esta diferencia puede estar relacionada a que las playas entre Punta Las Ánimas y Punta Las Tarabillas tienen la influencia de la descarga directa de pequeños arroyos efímeros (Figura 26); mientras que las ubicadas en el área de Balandra y al norte de Puerto Gato no presenta esa característica, pero están protegidas del oleaje directo debido a que se encuentran al interior de las caletas o pequeños embalsamientos (Figura 27).

Otra discrepancia es la batimetría inmediata al frente de la playa, que en el caso de las playas de bolsillo del oeste es abrupta en comparación a las del este, donde las zonas con profundidades someras son más extensas. Como ya se mencionó, debido a la diferencia en el tamaño de los sedimentos que las componen, en las playas de bolsillo al occidente de la bahía la pendiente es ligeramente mayor (cerca de 3°) que a las del oriente que varía de 1° a 2° de inclinación.

El desarrollo de dunas en la parte posterior de ese tipo de playas es variado. Hay dunas incipientes de hasta 2 metros con poca vegetación que se localizan en las playas más chicas donde el aporte de sedimentos finos es escaso y predominan los clastos del tamaño de las gravas (Wentworth, 1922).

Las dunas trepadoras únicamente se pueden observar en el margen oeste en ciertos lugares, por ejemplo a unos 200 metros al norte de Punta Las Ánimas y hasta 2 kilómetros al sureste de esta misma localidad (Figura 26). Generalmente están sobreyaciendo a escarpes de no más de 15 metros de altura compuestos de material volcanosedimentario correspondiente a una secuencia de areniscas muy deleznales.

Las dunas estabilizadas más altas se ubican en el conjunto de playas de bolsillo separadas por extensas salientes rocosas en el área de Balandra y al noroeste de Puerto Gato, las cuales presentan abundante vegetación (Figura 27).

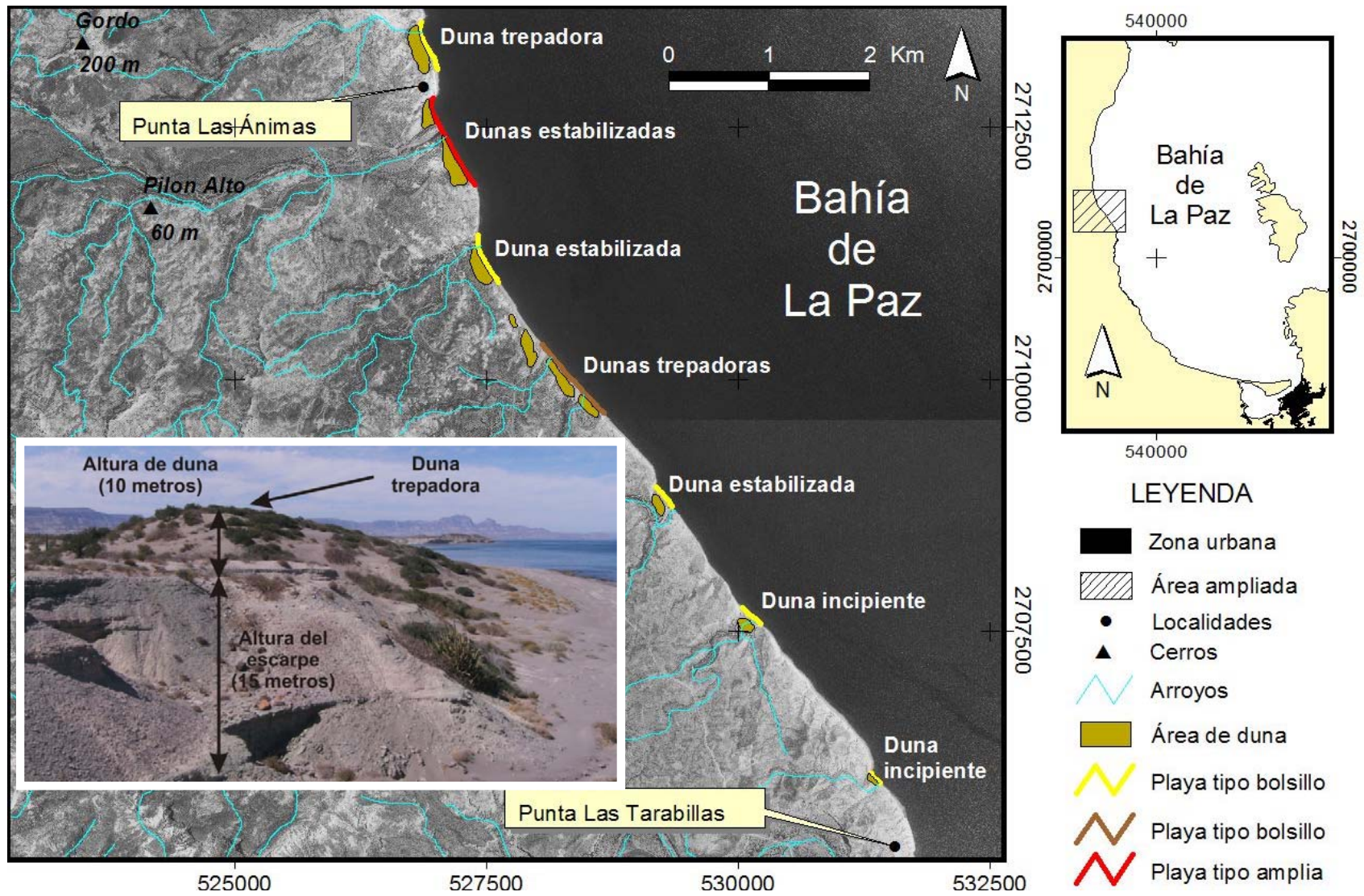


Figura 26. Playas de tipo bolsillo al oeste de la Bahía de La Paz, entre las puntas Las Tarabillas y Las Ánimas.

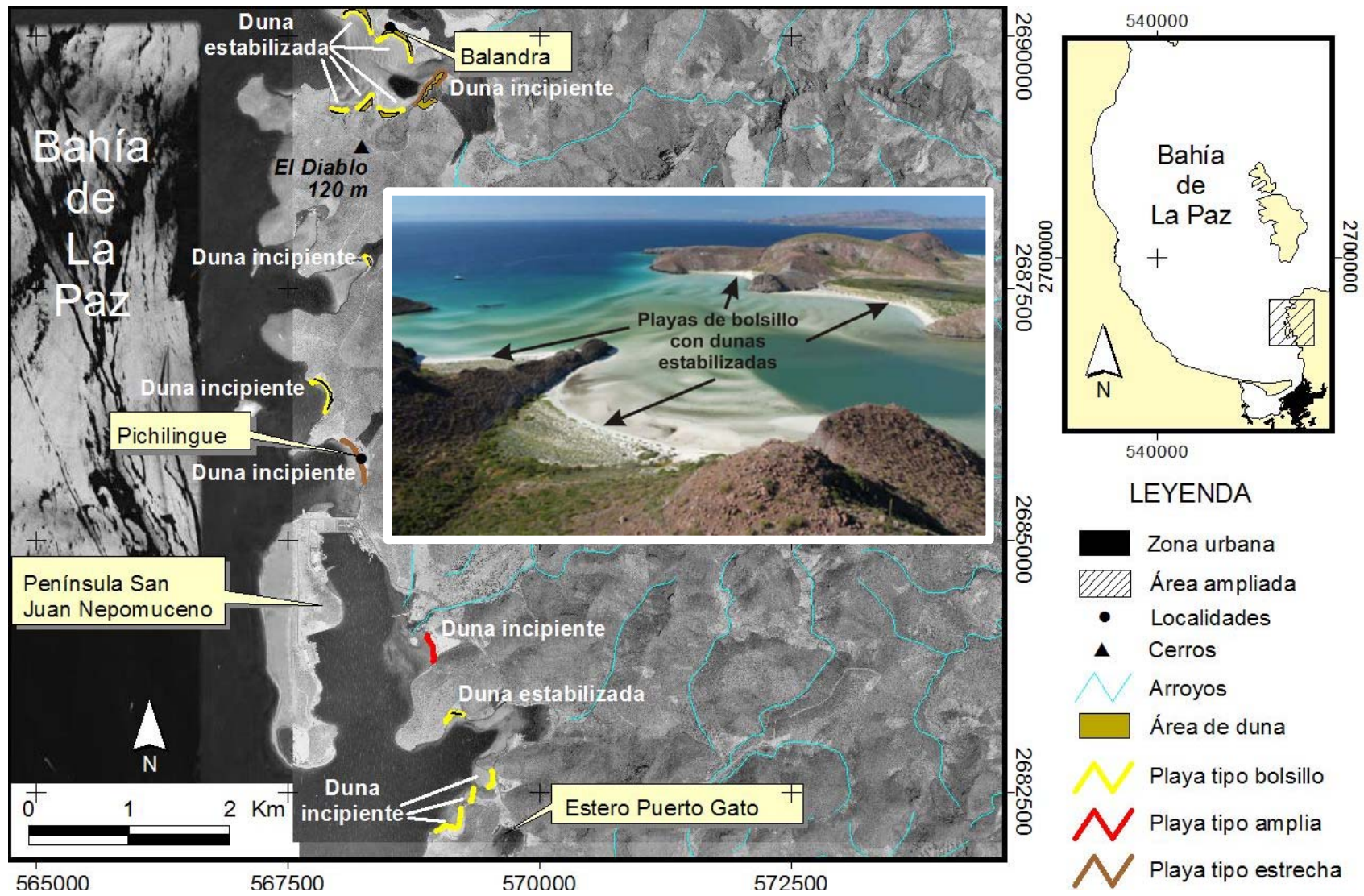


Figura 27. Tipos de playas al oriente de la Bahía de La Paz, entre la localidad de Balandra y el Estero Puerto Gato.

3.1.2 Acantilados, promontorios rocosos y escarpes

La formación de estos ambientes costeros rocosos está fuertemente influenciada por la geología de la región, particularmente a la exposición de las estructuras y litología de las rocas con los procesos de intemperismo físico, químico y biológico en la costa (Bird, 2003). Estas formaciones rocosas pueden ser verticales o casi verticales, las cuales se elevan casi desde el nivel medio del mar hasta llegar a medir desde unos pocos hasta más de una centena de metros de altitud. Llegan a presentar en su base playas poco desarrolladas de material grueso, plataformas de abrasión y en ocasiones nichos o entalladuras (Woodroffe, 2002).

El perímetro de las formaciones rocosas en la BLP suman un total de 50.6 kilómetros que representan el 26% de su litoral (Tabla 2); ubicándose principalmente en 4 áreas, al noroeste, al oeste, al suroeste y este de la bahía. De acuerdo a las observaciones en campo de la pendiente, tamaño y forma que exhibían en la cara libre expuesta al oleaje, fueron reconocidos 3 tipos de formaciones rocosas: acantilado, escarpe y promontorio rocoso (Tabla 4).

Tabla 4. Tipos de formaciones rocosas, número de segmentos, longitud y porcentaje.

Tipo de formaciones rocosas	# de segmentos	Longitud (km)	Porcentaje (%)
Acantilado	17	22.3	44.0
Promontorio rocoso	28	19.9	39.4
Escarpe	11	8.4	16.6
TOTAL	56	50.6	100

3.1.2.1 Acantilados

La mayoría de los segmentos rocosos dentro de la bahía son acantilados casi verticales, con hasta el 44% con respecto al total de este tipo de formaciones rocosas. En las paredes de los acantilados se identificaron fallas y fracturas que regularmente tienen una orientación paralela a la línea de costa, de tal manera que afectan y facilitan el intemperismo de la roca produciendo derrumbes.

Los acantilados que se hallan en la porción noroeste de la BLP, corresponden a los depósitos de la parte superior de la Formación Comondú descrita por Hausback, 1984. Estos acantilados son muy altos, los cuales llegan a medir un poco más de 180 metros de altura. En la localidad de Punta Mechudo hay acantilados de una toba riolítica muy compactas y resistentes a la abrasión del oleaje. Sin embargo, las fracturas han facilitado el intemperismo físico-químico de la roca ocasionando que a lo largo del tiempo se formen nichos y desprendan grandes bloques de roca, que en el caso de esta área pueden tener hasta 3 metros de diámetro (Figura 28).

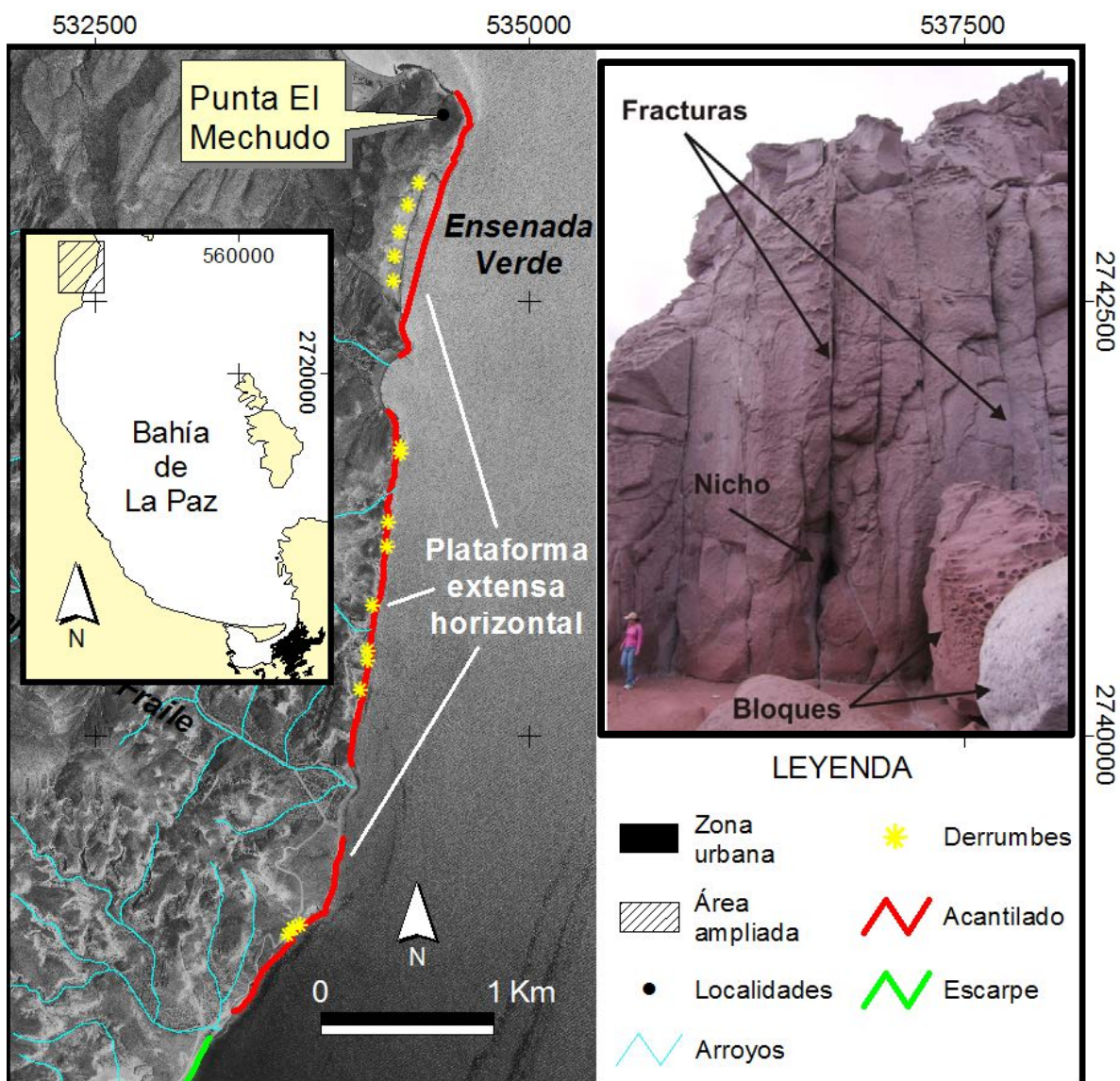


Figura 28. Acantilados verticales de toba riolítica en el área de Punta El Mechudo.

Hacia el sur de Ensenada Verde predominan los acantilados donde afloran intercalaciones de areniscas y conglomerados vulcanoclásticos con una toba de menos compacta que la observada en Punta Mechudo. Estas rocas presentan fallas con desplazamiento de las capas de hasta 20 metros (Figura 29. A) y un ancho promedio de 1 metro de cizalla, lo que ocasiona que el acantilado sea muy inestable y en algunos puntos ocurran deslizamientos de masa por gravedad como derrumbes (Figura 29. B).

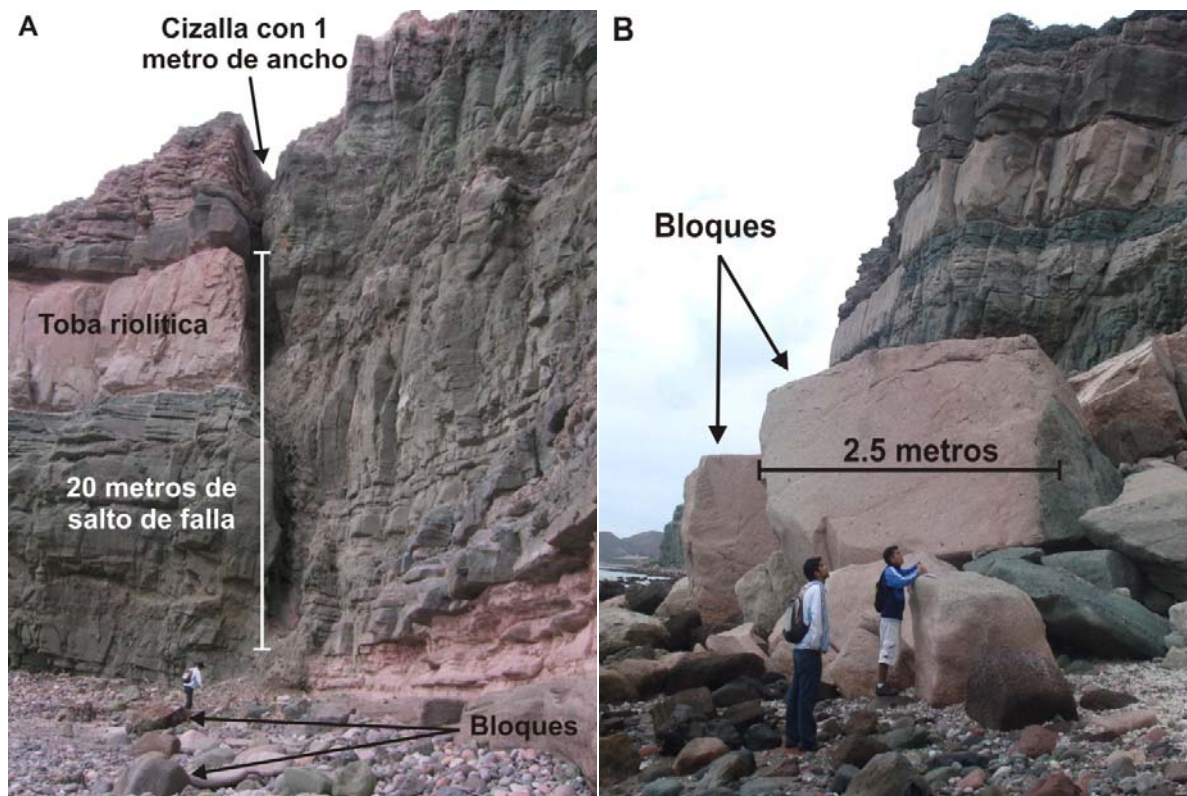


Figura 29. Desplazamiento por falla de la toba riolítica (A) y derrumbe al sur de Ensenada Verde (B).

Los acantilados entre Punta El Cobre y Punta Tarabillas son de menor altura que los localizados al noroeste de la bahía, ya que no sobrepasan los 80 metros. No obstante, son los segmentos rocosos más largos (Figura 30). Se caracterizan por presentar una litología poco resistente y deleznable, debido a que en esta área afloran rocas sedimentarias clásticas y marinas, las cuales tienen muchas fracturas.

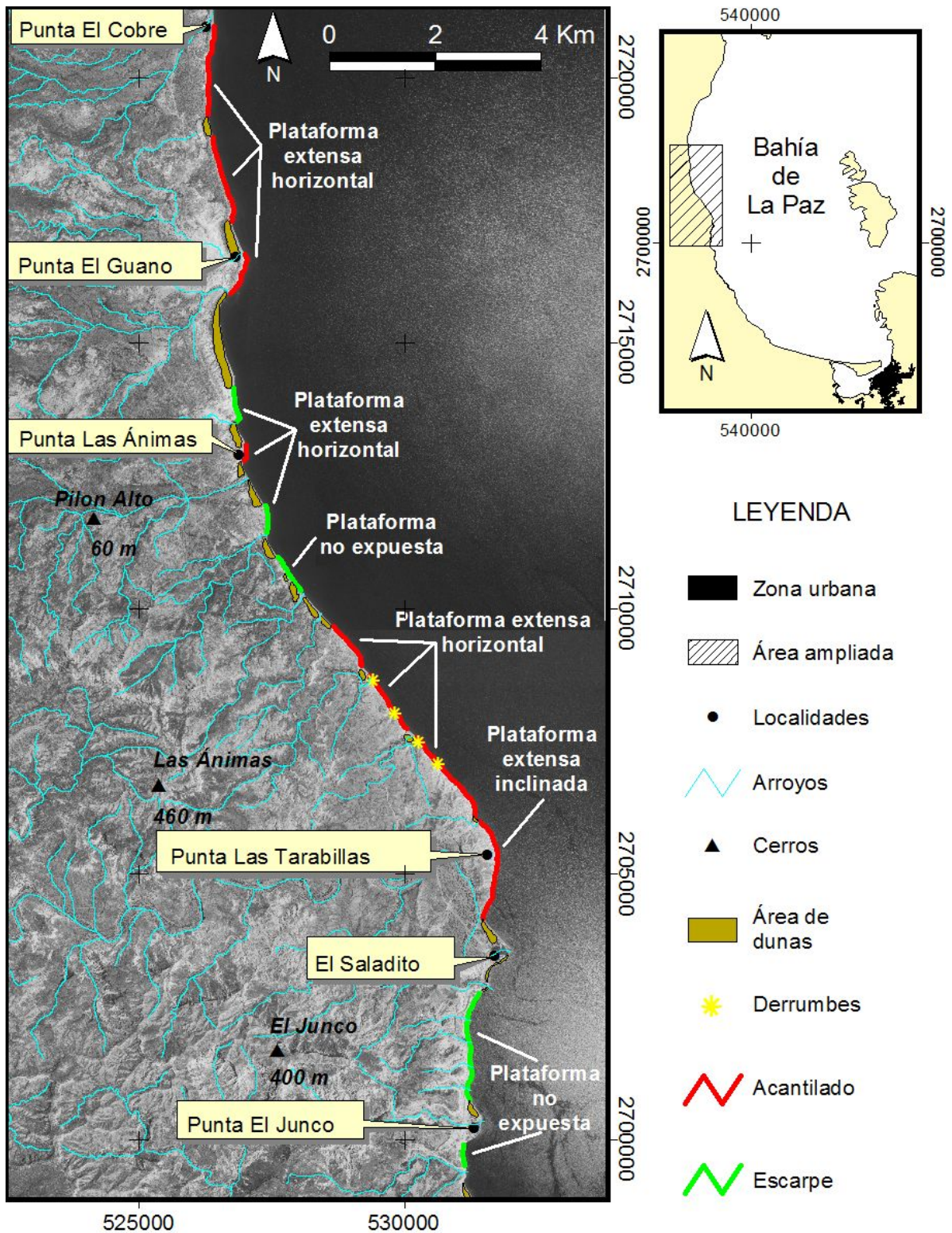


Figura 30. Segmentos de acantilados desde Punta El Cobre hasta Punta El Junco.

En Punta El Cobre los acantilados presentan bloques desprendidos de su parte inferior, justamente en el contacto de las capas de limolitas y areniscas de grano fino correspondientes a la parte superior de la Formación El Cien (Figura 31. A). También muestran playas angostas que durante marea alta desaparecen y el oleaje golpea directamente sobre la base del acantilado, formado entalladuras de 60 cm de altura. Por otro lado, en Punta Las Tarabillas los acantilados son más elevados y también presentan entalladuras pero más profundas y altas (Figura 31. B).

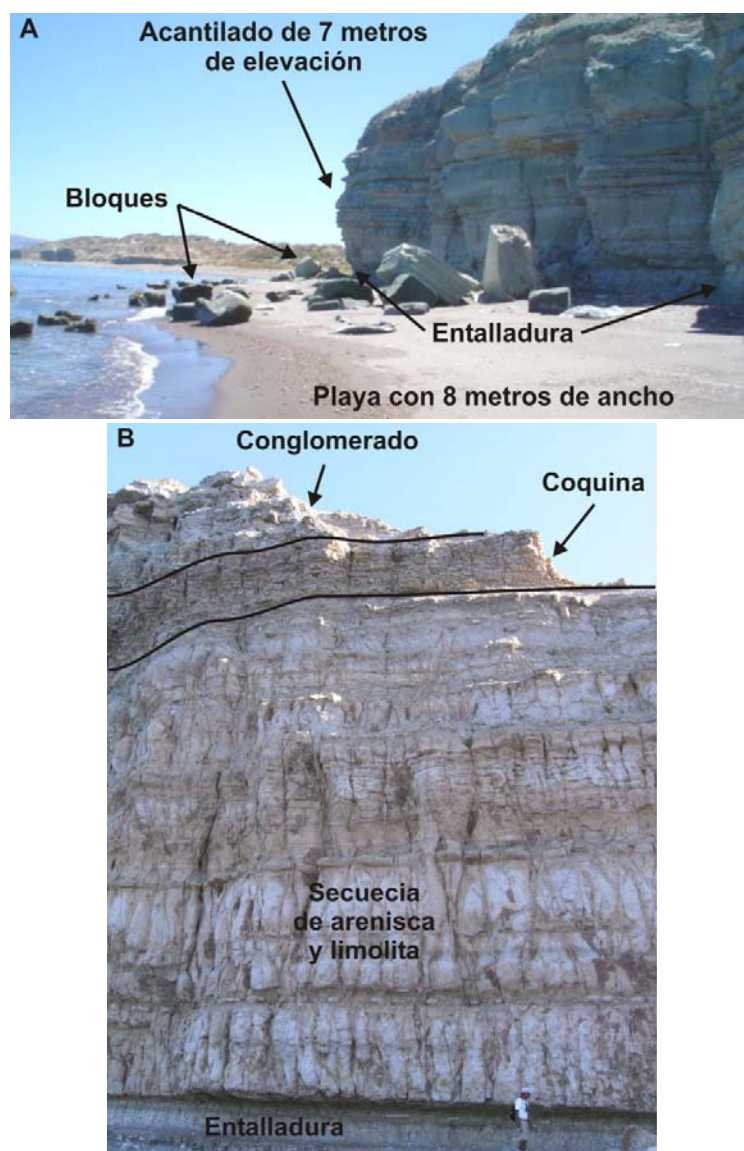


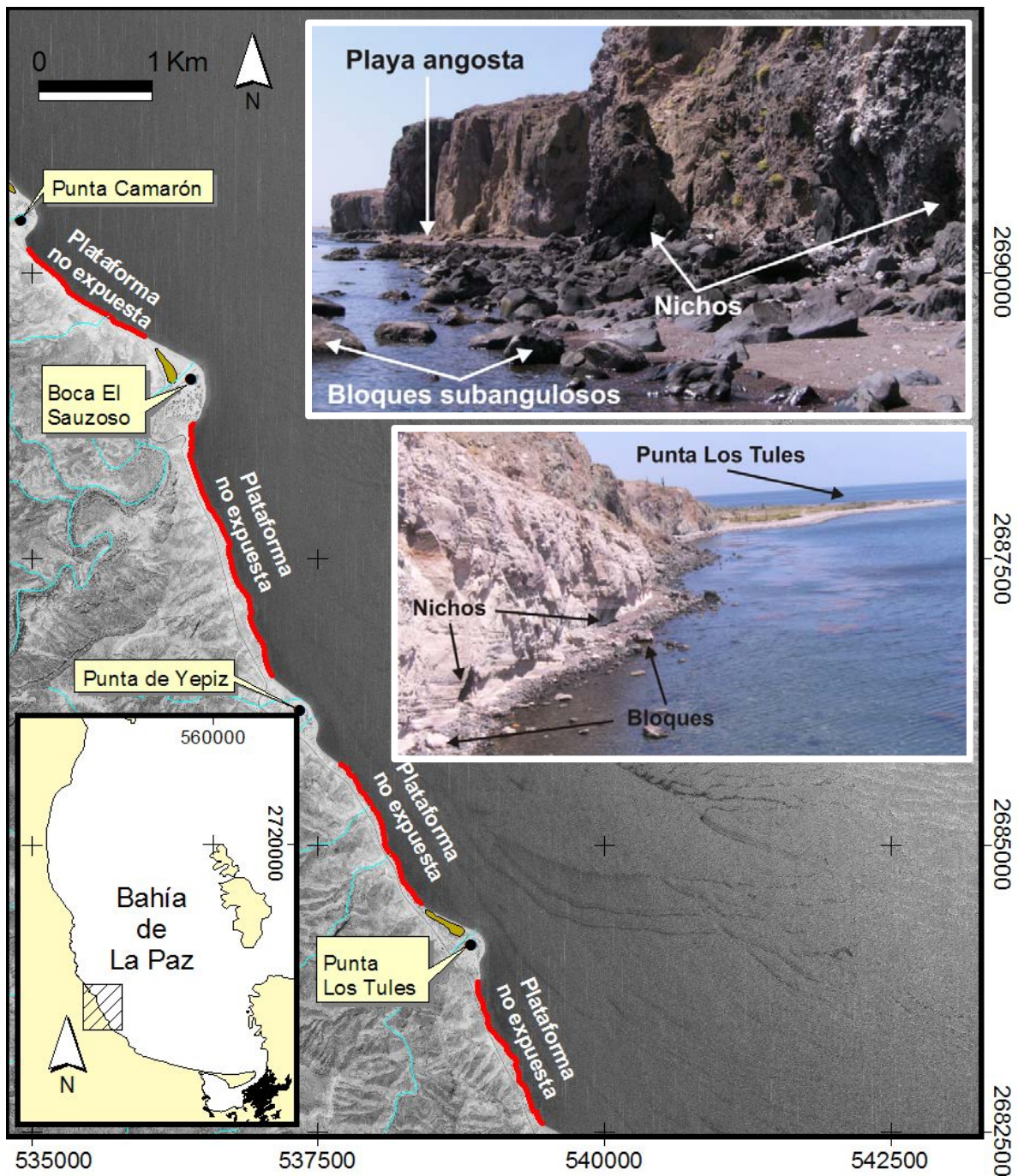
Figura 31. Acantilados con entalladuras localizados en Punta El Cobre (A) y Punta Las Tarabillas (B).

Los segmentos de acantilados verticales con las caras más irregulares son los ubicados entre Punta Camarón y hasta 1.7 km al sur de Punta Los Tules. En esta parte de la bahía afloran secuencias de rocas vulcanosedimentarias correspondientes a la Formación Comondú. Al sur de Punta Camarón los acantilados exhiben nichos en su base, derrumbes y bloques (Figura 32). Los bloques desprendidos no son tan grandes como los observados en Ensenada Verde, ya que aquí la roca es más débil y el oleaje la fragmenta y erosiona más rápido.



Figura 32. Acantilados costeros al sur de Punta Camarón.

Su altura se reduce desde los 60 hasta los 20 metros aproximadamente a 1 kilómetro al sur de Boca El Sauzoso. Donde las rocas son intercalaciones de brechas volcánicas de fragmentos volcánicos muy angulosos embebidos en una matriz arenosa con areniscas vulcanoclásticas (Figura 33). Los acantilados aquí presentes tienen muchos bloques subangulosos, los cuales están sobreyaciendo a una playa muy angosta y poco desarrollada. De manera similar, al sur de Punta Los Tules se presentan nichos profundos y bloques caídos de acantilados de máximo 20 metros de elevación (Figura 33).



LEYENDA







- | | | |
|---|---|--|
|  Zona urbana |  Localidades |  Dunas |
|  Área ampliada |  Arroyos |  Acantilado |

Figura 33. Acantilados verticales al sureste de la bahía, entre Punta Camarón y Punta Los Tules.

3.1.2.2 Promontorios rocosos

Se localizan desde el norte de la zona urbana de la ciudad de La Paz hasta el límite oriental del área de estudio, en Punta Las Pilitas (Figura 34). Aproximadamente el 39% de los segmentos rocosos presentan una configuración morfológica diversa.

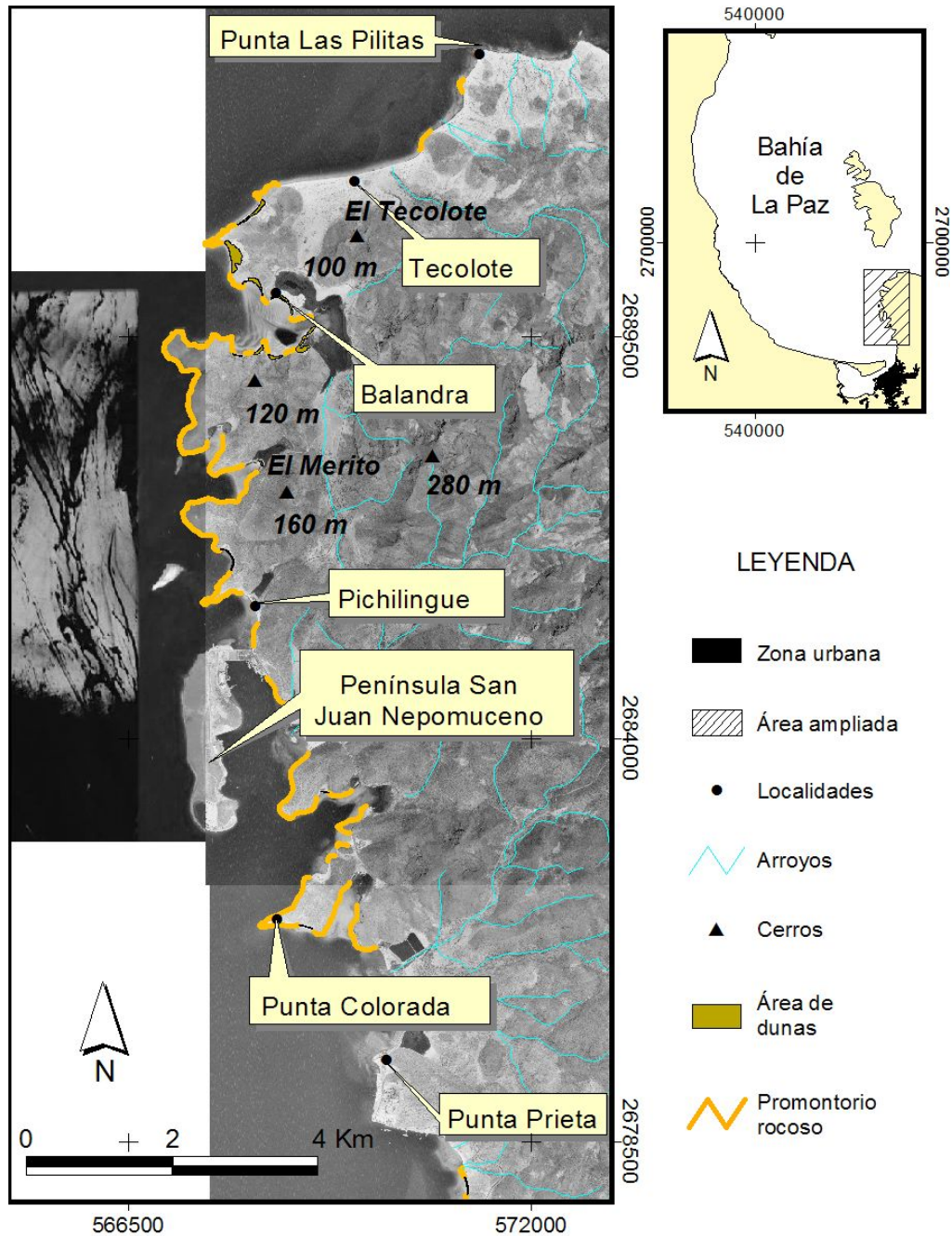


Figura 34. Promontorios rocosos localizados en la margen suroriental del área de estudio.

La mayoría de estos promontorios rocosos tienen una elevación reducida (de 10 a 30 metros) en comparación a los otros dos tipos de formaciones rocosas; presencia de entalladuras por erosión de oleaje que pueden alcanzar desde unos cuantos centímetros hasta 3 metros (Figura 35. A); bloques de roca compacta al pie de acantilados de más de 6 m de diámetro (Figura 35. B), que pueden o no presentar entalladura; además en ocasiones se presentan plataformas de abrasión al pie del promontorio y en ocasiones playas o directamente fondo arenoso.

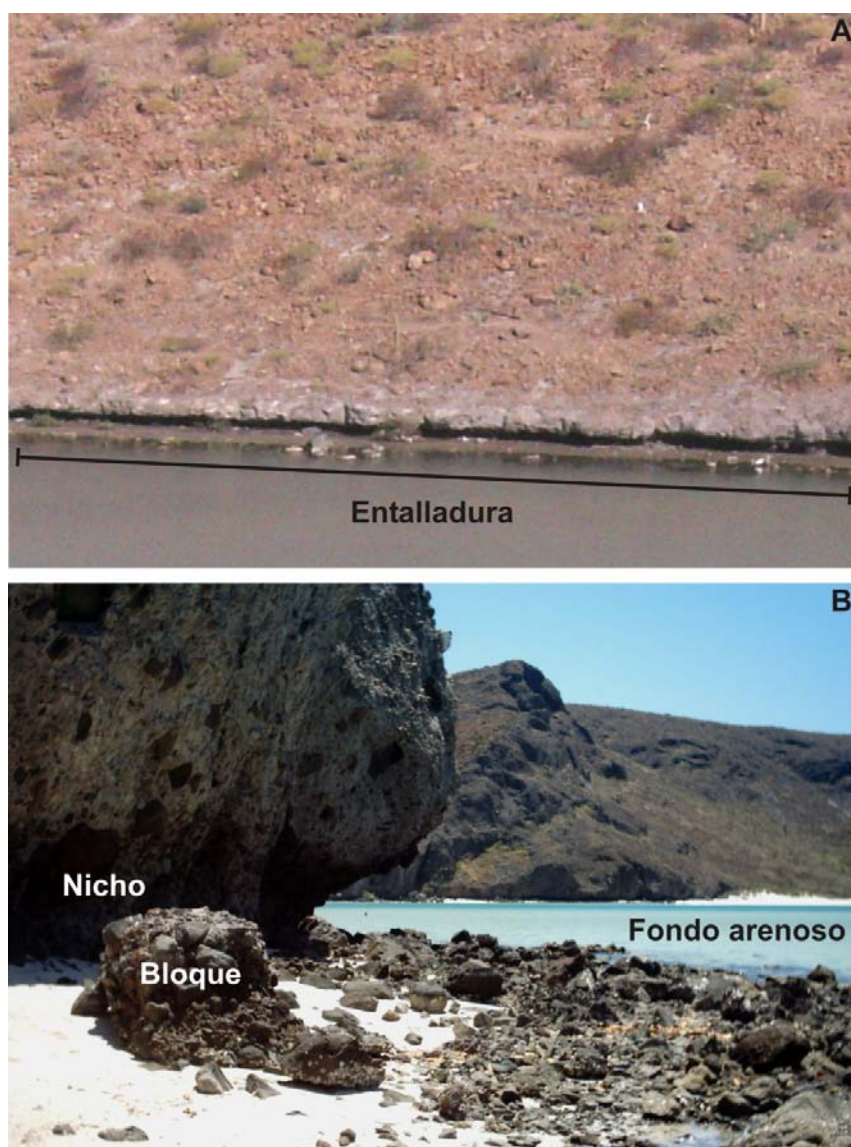


Figura 35. Entalladura de 1 metro de altura en el interior de la Laguna Pichilingue (A) y nichos con bloques caídos de hasta 1 metro de diámetro en Balandra (B).

3.1.2.3 Escarpes

El último lugar en cuanto a la longitud se refiere están los escarpes con el 17% restante, que cubren cerca de los 8.4 kilómetros de línea de costa, consta de formaciones rocosas inclinadas, con presencia de una pendiente en su cara libre que varía de ángulo de inclinación de acuerdo a la litología del área, principalmente en rocas deleznable y fracturadas. Se localizan en segmentos aislados y entre acantilados verticales. Como es el caso al sur de la localidad de El Saladito, donde afloran lutitas y areniscas que no favorecen a la formación de una cara vertical del escarpe, que puede llegar a medir hasta 10 metros (Figura 36).



Figura 36. Escarpes con desarrollo de playa en su base localizados al sur de El Saladito.

Al sur de Punta Las Ánimas también se encuentran escarpes, estos de 6 metros de altura. En la parte medio de estos escarpes se presenta una inclinación por erosión diferencial de una secuencia de areniscas y lutitas, donde las rocas más compactas son las lutitas. Estas últimas rocas afloran en la base y sobresalen en el perfil del escarpe debido a su resistencia a la erosión (Figura 37).



Figura 37. Escarpe de rocas sedimentarias al sur de Punta Las Ánimas.

Otra morfología asociada a los acantilados, escarpes y promontorios es la plataforma de abrasión que se desarrolla en la base de éstos. En la tabla 5 se muestran el numero de segmentos rocosos asociados a la plataforma de abrasión. Se observa que la mayoría de estos AGC no presentan una plataforma, aproximadamente el 63% de la longitud total de estas formas. El segundo lugar, son aquellas plataformas extensas de hasta 40 metros de superficie expuesta aparentemente horizontal.

Tabla 5. Tipos de plataforma, número de segmentos, longitud y porcentaje.

Tipo de plataforma	# de segmentos	Longitud (km)	Porcentaje (%)
No expuesta	36	32.1	63
Extensa-horizontal	14	14.9	29
Extensa-inclinada	1	2.0	4
Estrecha-horizontal	5	1.6	3
TOTAL	56	50.6	100

Solamente un segmento continuo de 2 kilómetros de longitud fue el que presentó una plataforma extensa, encontrándose en la localidad de Punta Las Tarabillas (Figura 38) y con una pendiente de visible inclinación hacia el noroeste, correspondiente a la orientación de los sistemas de fallas que dominan en esta región.

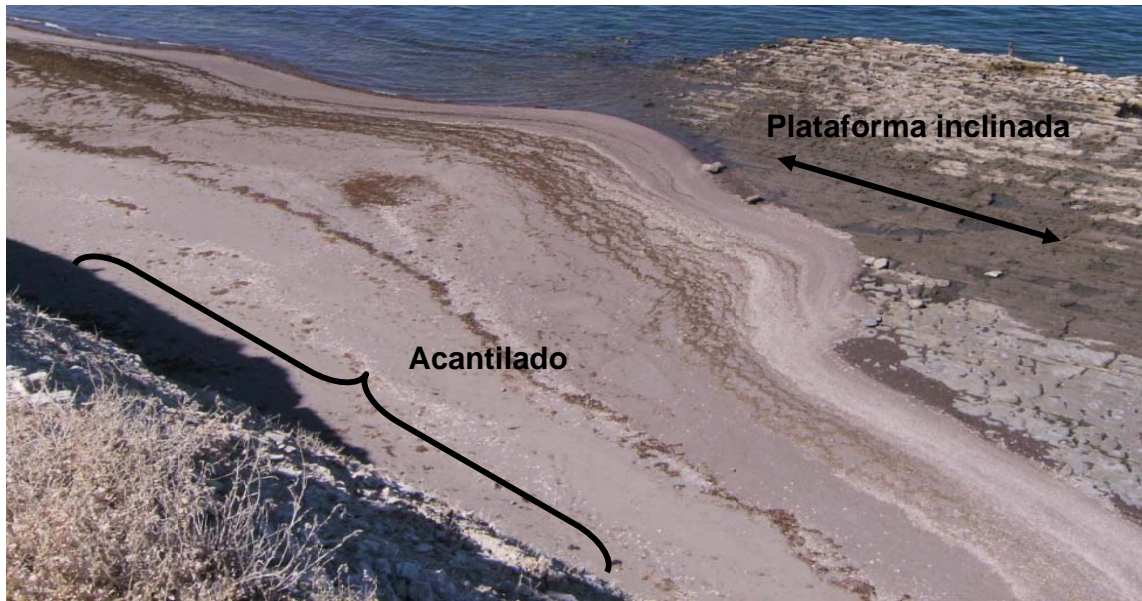


Figura 38. Plataforma de abrasión con inclinación aparente al nornoroeste en Punta Tarabillas, compuesta de fangolitas muy litificadas.

Por otro lado, en donde ciertos acantilados son de poca altura sus plataformas son horizontales y estrechas, están bioerosionadas por gusanos marinos y erizos y están sepultadas depósitos de playas con espesores de unos 40 cm, como al sur de Punta El Guano (Figura 39).

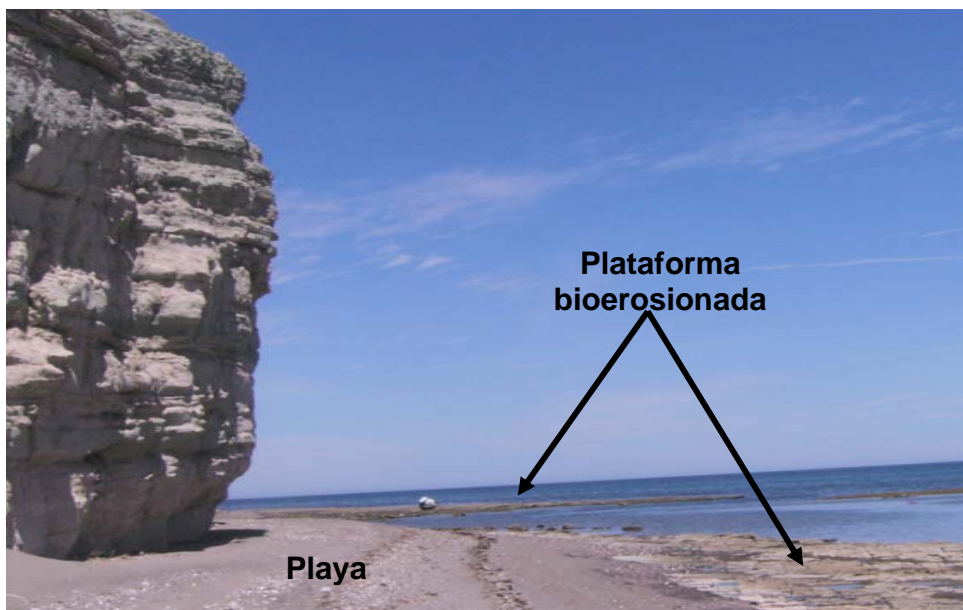


Figura 39. Plataforma de abrasión horizontal bioerosionada al sur de Punta El Guano.

3.1.3. Lagunas, manglares y planicies de marea

En la Bahía de La Paz existen áreas bajas y de pendiente suave que en su conjunto son consideradas como planicies costeras. Éstas se observan principalmente en la margen sur de la bahía y en las caletas de la margen oriental. Los ambientes presentes en estas áreas bajas son lagunas, pantanos de manglar y planicies de marea (Figura 40).

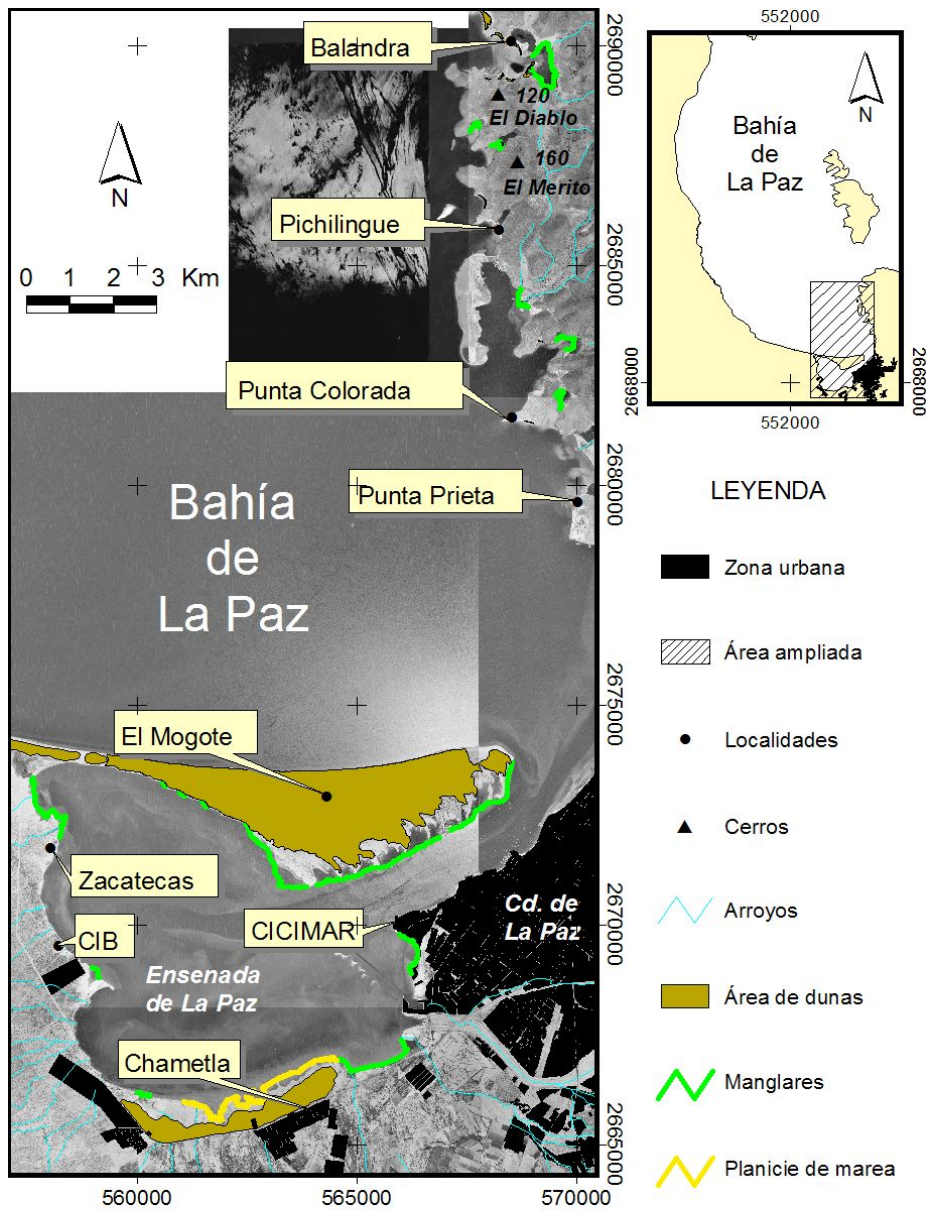


Figura 40. Ubicación de lagunas, manglares y planicies de marea al sureste de la BLP.

Fueron medidos 8.7 kilómetros de litoral comprendido en la parte posterior de la barrera arenosa El Mogote. Son 6.8 kilómetros de costa con vegetación de mangle que va desde las localidades Zacatecas al CICIMAR. Sin embargo, los mangles de la margen occidental de la Laguna de La Paz se presentan como parches y arbustos, mientras que a partir de los encontrados al noreste de Chametla son áreas crecidamente complejas y ocupan más extensiones. Los otros 6% de manglares se ubican en los esteros y caletas, entre Punta Prieta y El estero de Balandra (Figura 40).

Existe un área enfrente de Chametla que corresponde a planicies de mareas que pueden a alcanzar hasta los 100 m de amplitud y con material fangoso distribuido en una superficie casi horizontal. En campo se observaron, además, pequeños afloramientos de sustrato muy litificado de composición aluvial y mucha pedacería de conchas (Figura 41. A y B).



Figura 41. A. Arbustos de manglar marginal en el área de El Centenario. B. Planicies de inundación por mareas enfrente de Chametla.

3.1.4. Abanicos deltas

Debido a los distintos tamaños de la subcuencas hidrológicas de la BLP y a la disponibilidad de material sedimentario erosionado aguas arriba, sobre la línea de costa de la bahía desembocan corrientes fluviales que han desarrollando abanicos

deltas. Estos ambientes depositacionales ocupan 20 kilómetros del litoral de la bahía o el 10% de la misma. Se localizan de manera muy puntual al noroeste (Figura 42) e intercalados entre puntas rocosas, acantilados y playas al suroeste (Figura 43). La clasificación para diferenciarlos en 4 tipos fue tomada de Bird (2003), que se basa en la configuración morfológica del litoral del delta, encontrándose 3 tipos de deltas en BLP (Tabla 6): Lobulado, desafilado y cusgado.

Tabla 6. Formas, número, longitud y porcentaje de los abanicos delta.

Forma del abanico	# de abanicos	Longitud (km)	Porcentaje (%)
Lobulado	3	9.2	46.1
Desafilado	10	5.5	27.2
Cusgado	6	5.3	26.7
TOTAL	19	20.0	100

La mayoría presenta un conjunto de subambientes relacionados a su tamaño, ya que en los abanicos delta grandes hay cordones de dunas, planicies de inundación y playas amplias. Y en los de menos dimensión pueden o no desarrollar dunas y amplias estrechas.

3.1.4.1. Abanicos deltas lobulados

Los abanicos deltas más grandes que se observan en las ortofotos son El Coyote (Figura 42) y Punta Los Médanos (Figura 43). La suma de su longitud, junto con el de El Junco, que también es lobular, es casi la mitad del total, con 9.2 kilómetros o aproximadamente 46% (Tabla 6).

A diferencia de los dos primeros, el de El Junco solo tiene la influencia de una sola corriente o arroyo principal, mientras que los otros dos presentan varias corrientes tributarias en distintas direcciones, que durante precipitaciones altas descargan una mayor cantidad de sedimento.

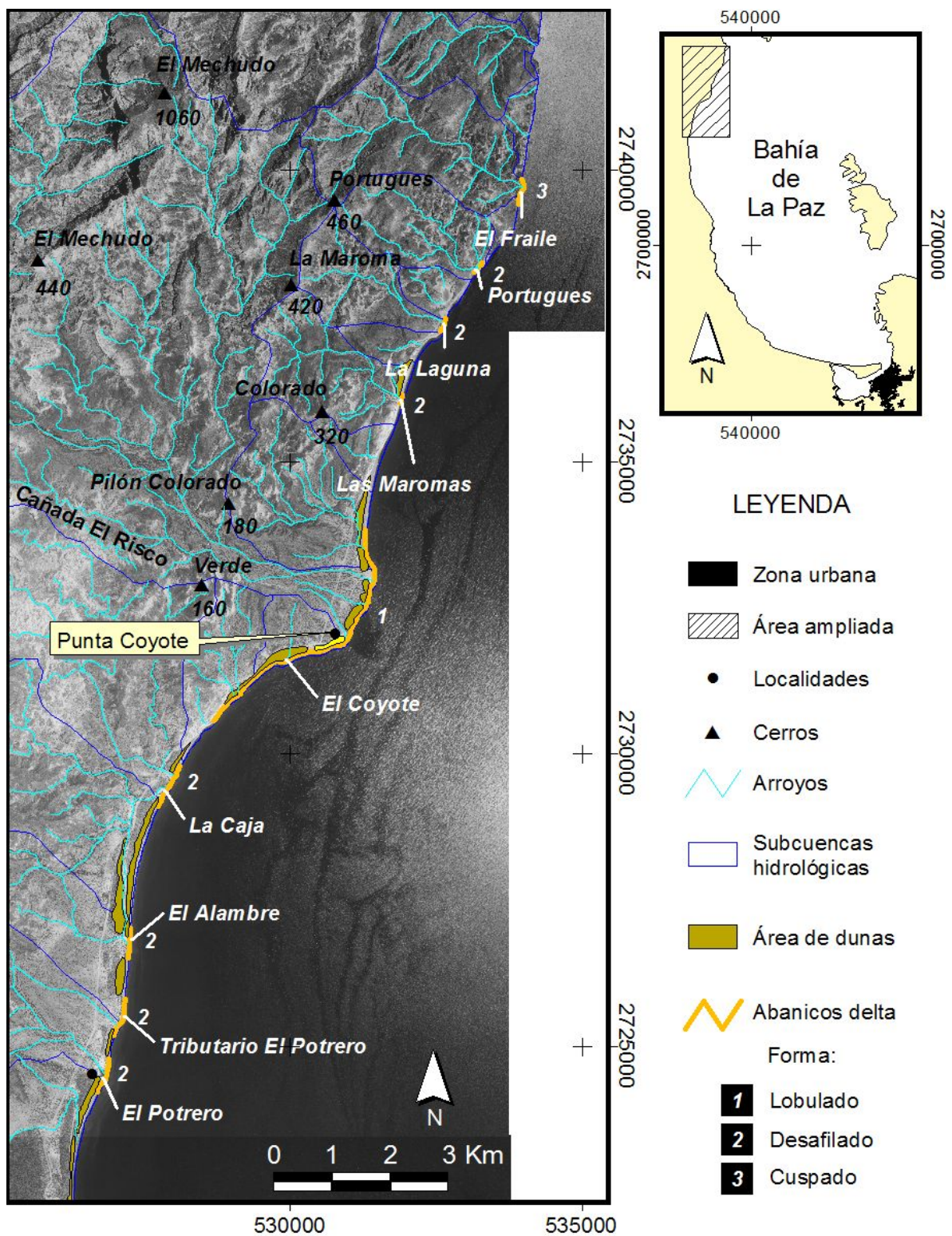


Figura 42. Abanico delta lobulado El Coyote y desarrollo de otros de formas principalmente desafilados.

En la margen norte del abanico delta El Coyote se observan amplios campos de dunas que varían desde 100 a 130 metros de ancho presentando amplias playas (Figura 43. A); mientras que en la margen sur, la máxima extensión es de 20 metros de anchura y además en las playas predominan clastos que varían entre 5 y 10 cm de diámetro (Figura 43. B).

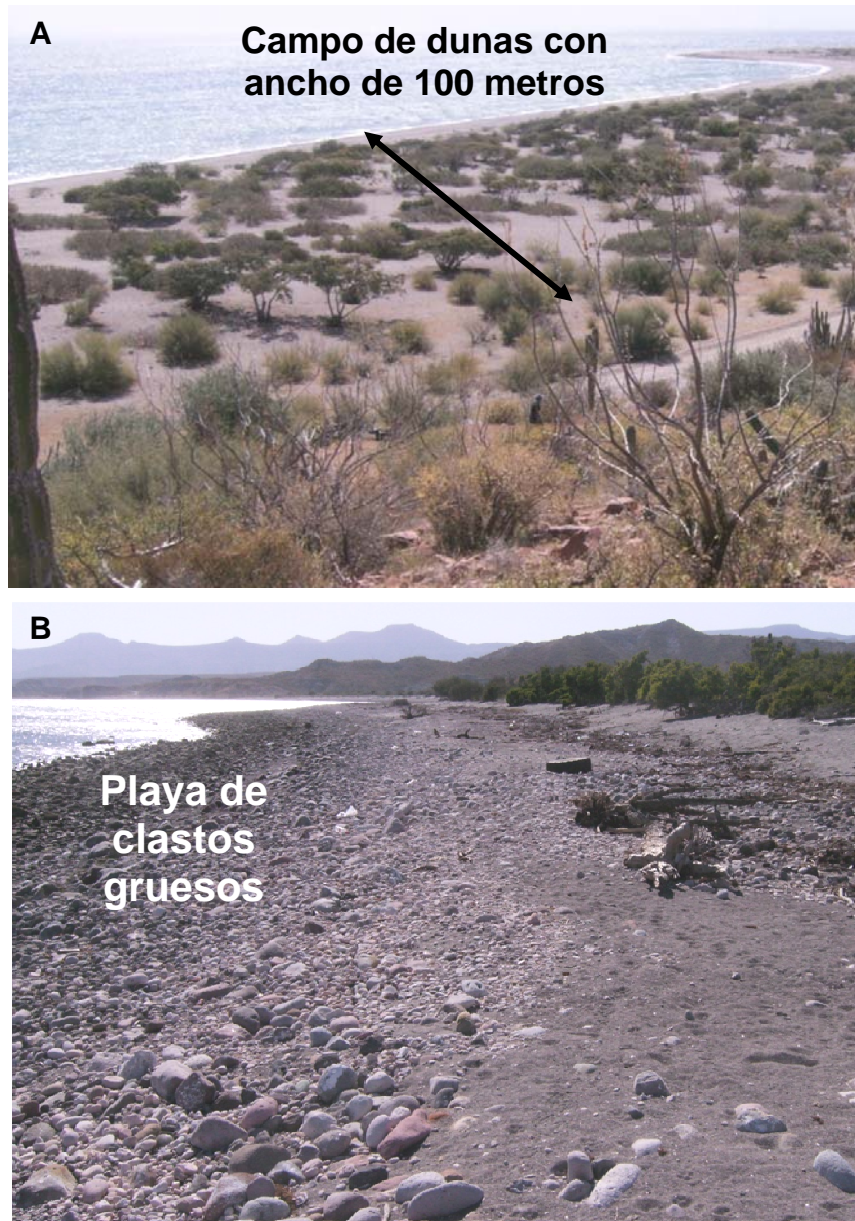


Figura 43. Campo de dunas al norte de Punta Coyote (A) y playas de material grueso al sur de la misma localidad (B).

En el caso del abanico delta Punta El Junco, las características morfológicas y texturales del sedimento son parecidas. Las playas más amplias están en la margen norte y en la margen contraria hay depósitos de clastos del tamaño de las gravas muy gruesas, según escala de Wenworth (1922). En Punta Los Médanos hay una homogeneidad en el tamaño de sedimento a lo largo de abanico delta. Otra característica que lo distingue es la presencia de dunas frontales de hasta 15 metros de altura y la existencia de planicies de inundación, debido a que hay cauces abandonados por el cauce principal y cuando llueve estos acumulan agua que no puede desembocar a la costa.

3.1.4.2. Abanicos deltas desafilados

Este tipo de abanicos tienen una forma irregular, inclusive algunos apenas sobresalen de la línea de costa de la bahía debido a su escasa extensión. Son los de mayor presencia y ocupan 5.5 km de extensión litoral. El poco aporte de sedimentos y el oleaje no han permitido su buen desarrollo. Se localizan principalmente al sur de Punta Coyote (Figura 42) y al norte de Punta Los Médanos (Figura 44).

3.1.3.2. Abanico-deltas cuspados

Dentro de los abanicos delta de forma cuspada, están de norte a sur: El Fraile, El Saladito, El Saladito II, La Tinaja, Boca El Sauzoso y El Califín (Figura 42 y 44). Ocupan un poco más de la cuarta parte del total de la longitud (5.3 de 20 kilómetros). Los únicos que sobrepasan el kilómetro de litoral son El Saladito, Boca El Sauzoso y El Califín; los otros no, ya que varían entre los 0.5 y 0.7 kilómetros. Los últimos abanicos mencionados tienen la característica de que en su porción norte llegan a desarrollarse cordones de dunas frontales de hasta 2 metros de altitud con escasa vegetación (Figura 45) y que además en su porción sur exhiben playas bien seleccionadas en el tamaño de clastos, diferenciándose varias bermas entre material compuesto de clastos subredondeados de hasta 10 centímetros de diámetro y arenas gruesas (Figura 46).

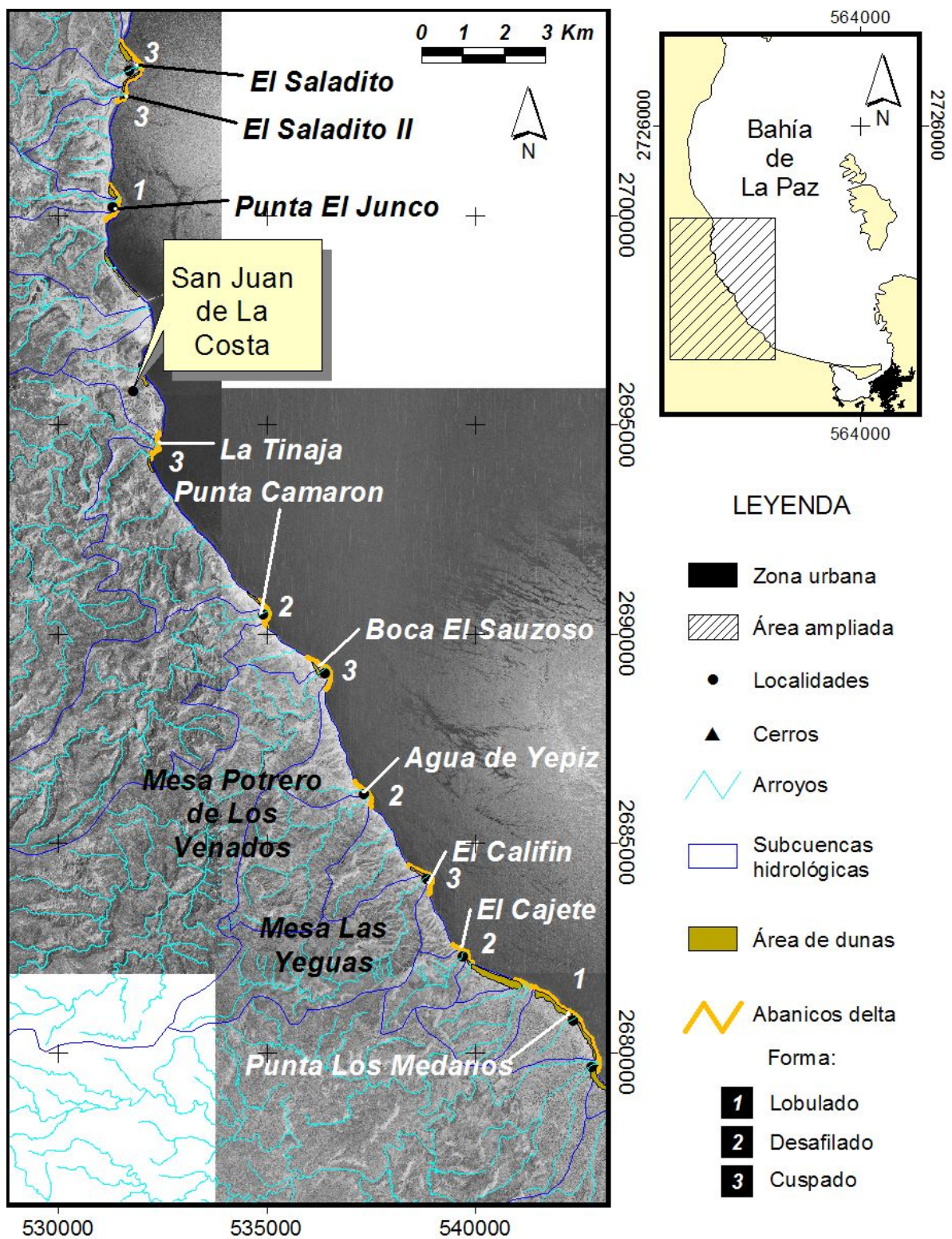


Figura 44. Abanicos deltas cuspados, desafilados y lobulados en la margen suroeste de la bahía.



Figura 45. Porción norte del abanico delta El Saladito, de forma cusgado, donde hay cordón de dunas frontales, playas de arenas y gravas y acantilados inclinados.



Figura 46. Porción sur del abanico delta El Sauzoso, con playa de boleos y gravas, bermas clasificadas por el tamaño de clastos debido a la variación en energía de oleaje.

Sin embargo, en la margen sureste también existen abanicos deltas, como el del Cajoncito, sobre el cual está asentada la cd. de la paz, lo que pasa con estos es que están modificados.

3.1.5. Costa modificada

Actualmente el porcentaje de la franja de costa que ha sido modificada por diversas actividades antropogénicas, con respecto a la línea de costa de la Bahía de La Paz (194.8 kilómetros), resulto en un 14%, es decir, 26.7 km. Las actividades que se realizan son variadas; acuacultura, comercio, turismo, minería, servicios, entretenimiento y dispersión. En el área de Punta El Guano, en la margen occidental de la bahía, existe un segmento de playa-duna que ha sido modificado por la apertura de un canal para la toma de agua y otro para la descarga con el objeto de alimentar estanques para la producción acuícola de una granja camaronera localizada atrás del cordón de dunas (Figura 47 y 49). La vegetación en la duna enfrente de la camaronera ya no está presente, ésta ha sido erosionada por remoción de material. El impacto antropogénico ha provocado un cambio de alrededor de 30 metros en el ancho de playa alrededor y de dirección del sedimento que hay en la playa.



Figura 47. Rasgos morfológicos de la costa modificados en la localidad de Punta El Guano por actividad acuícola.

La actividad minera en el área de San Juan de La Costa también ha producido cambios en la morfología de la costa, ocasionados principalmente por el acarreo de material y escombros, los cuales son esparcidos a la orilla del mar con el fin de proteger el camino a la mina en contra del oleaje (Figura 48. A). Además, para su

funcionamiento, es necesaria el agua la cual es descargada al mar aportando diariamente material sedimentario y otras sustancias (Figura 48. B). En algunos segmentos la construcción del camino que lleva a la mina, incrementó la inestabilidad de los acantilados, en los cuales se puede ver claramente el fallamiento en las paredes rocosas, las cuales ya han tenido derrumbes, provocando el bloqueo del camino (Figura 48. C). Las dunas del abanico-delta San Juan están muy erosionadas ya que parte del abanico-delta se utilizó como pista aérea y actualmente los pescadores y el paso continuo de vehículos de carga pesada usan esta misma área.

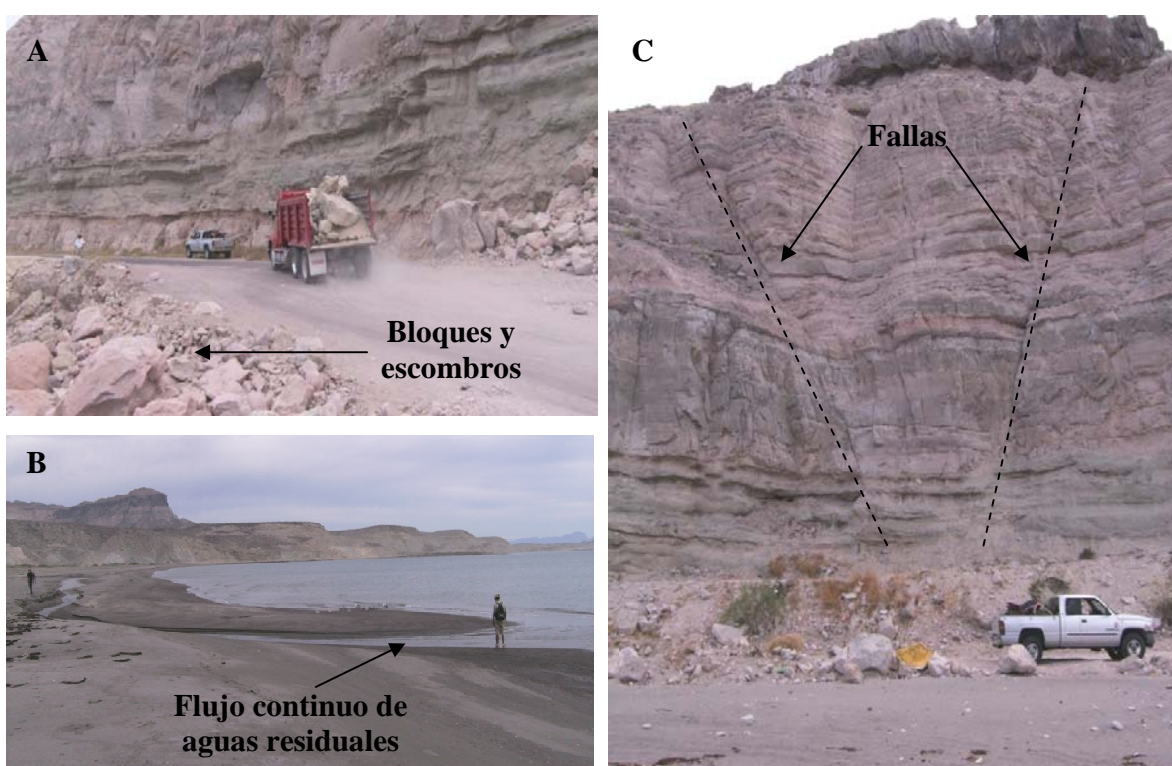


Figura 48. A. Acarreo de bloques y escombros. B. Descarga de agua con sedimentos suspendidos y otras sustancias. C. Fallamiento en los acantilados activados por la construcción de la carretera.

Debido a la ubicación y la distribución de la zona urbana de la ciudad de La Paz (Figura 49), se realizan diversas actividades, entre estas encontramos la construcción de marinas, balnearios públicos, malecones turísticos, muelles, espigones e inclusive zonas residenciales.

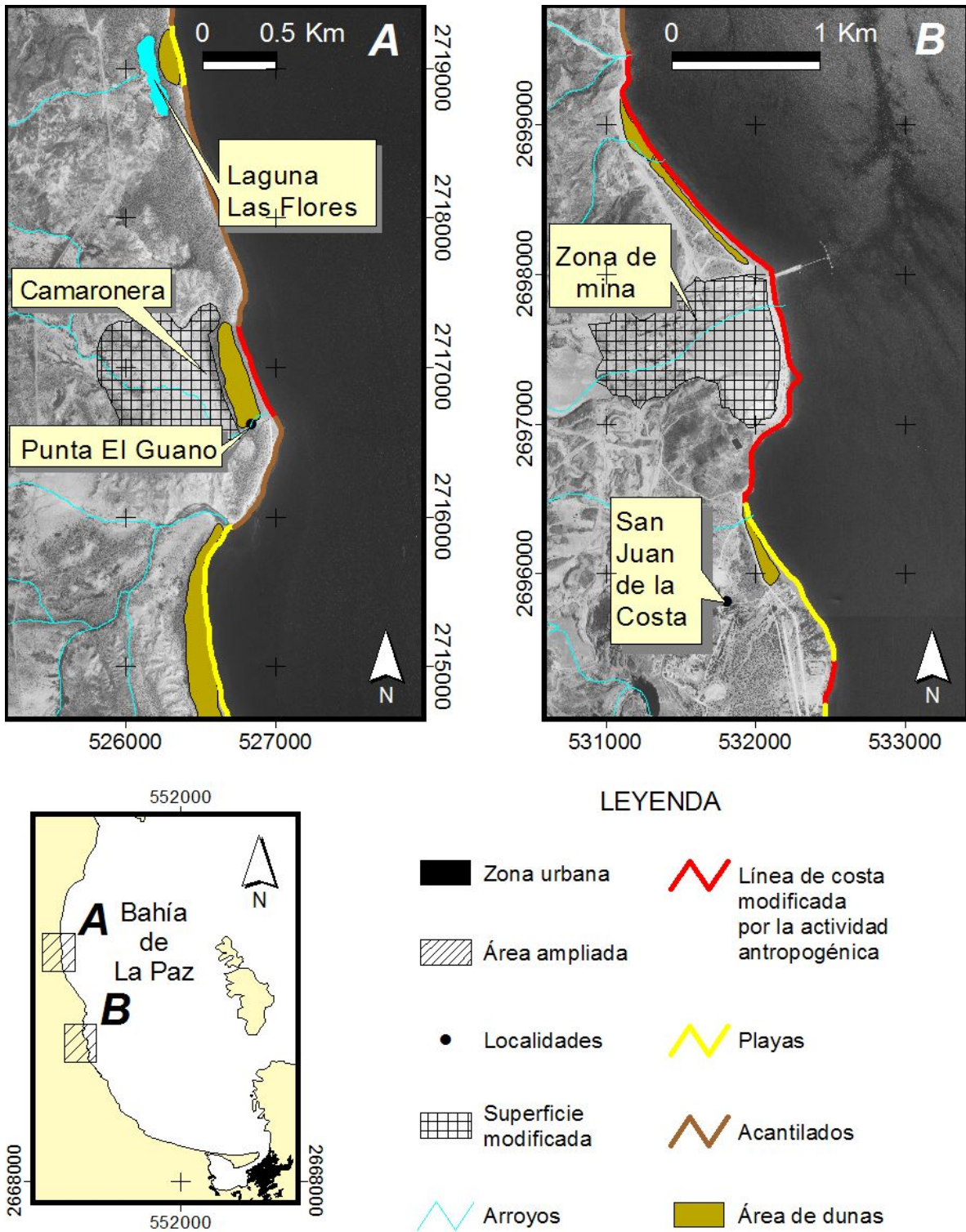


Figura 49. Modificaciones en la línea de costa de la margen oeste de la bahía.

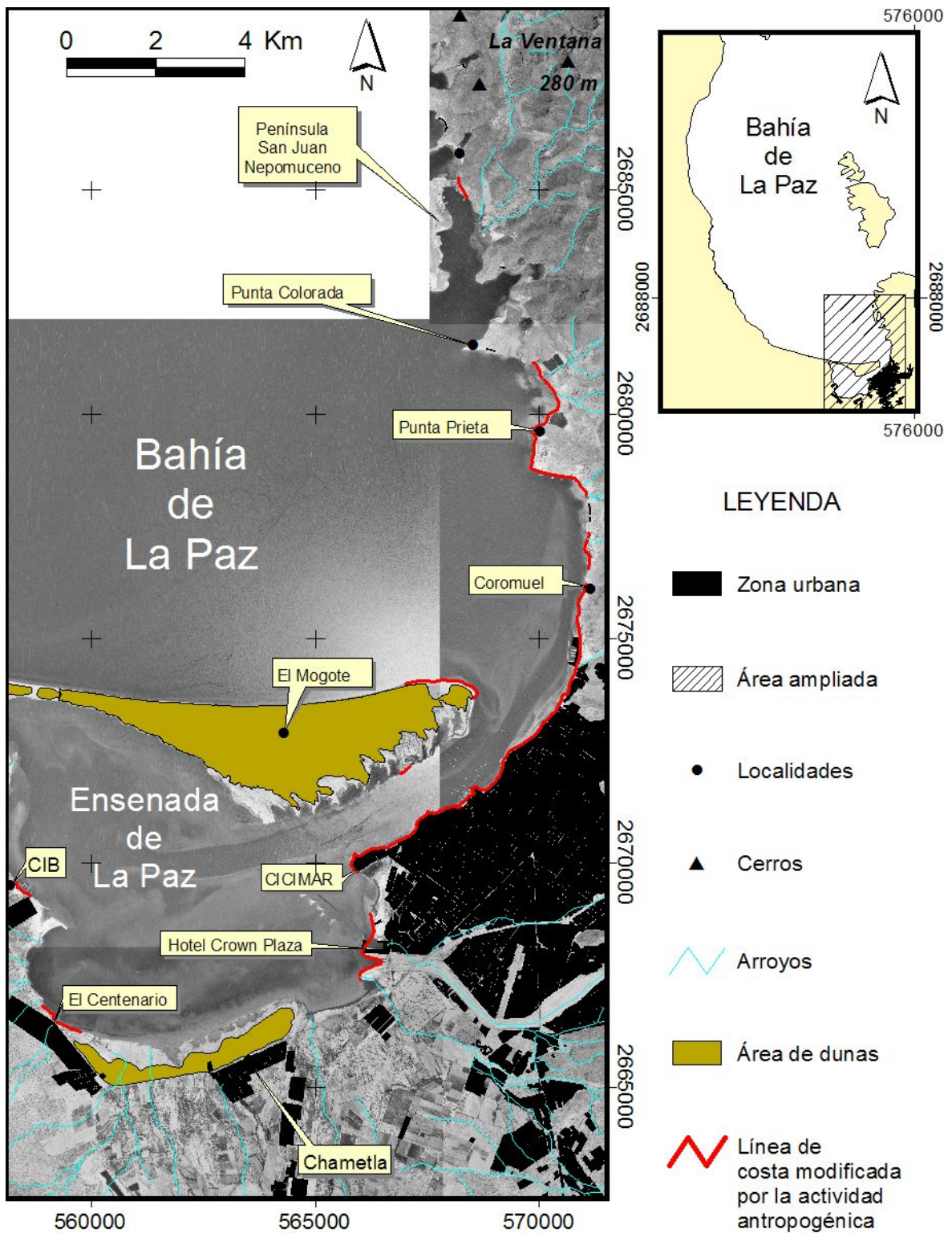


Figura 50. Segmentos de costa modificados antropogénicamente en los alrededores de la ciudad de La Paz.

3.2. Zonificación costera

Con base a los resultados obtenidos de las geoformas, las características geológicas y la geomorfología costera detallada, fue posible diferenciar la zona costera de la Bahía de La Paz en 5 zonas (Figura 51), cuyas características principales se resumen a continuación:

ZONA A. Costa rocosa dominada por acantilados verticales muy altos, de más de 150 metros de altura, compuestos por rocas volcánicas extrusivas, fuertemente fallada y fracturada. Presenta segmentos de playas de poca anchura con depósitos que varían desde arenas gruesas a grava gruesa. Los abanicos delta en esta zona están pobremente desarrollados en su parte subaérea, son del tipo cuspadado y desafilado. No existe modificación antropogénica.

ZONA B. Costa con predominancia de depósitos arenosos entre intercalaciones de acantilados y escarpe con alturas moderadas de hasta 80 metros de altitud, de origen principalmente volcanosedimentario. En esta zona hay playas amplias al norte, playas estrechas al centro y playas de bolsillo hacia el sur. En el extremo norte se ha desarrollado el abanico delta Punta Coyote, que es el de mayor dimensión dentro de la bahía. Solamente existe un segmento de costa modificado por la construcción de una camaronera, que ha propiciado la erosión del ambiente playa-duna.

ZONA C. Costa compleja de sucesiones de abanicos delta y acantilados, los cuales están separados por playas de reducida anchura. Se identificaron los 3 tipos de abanicos delta, cuspadados y lobulados al norte; y cuspadado y desafilados al sur. Las formaciones rocosas varían según la litología en esta zona: al sur hay escarpes de lutitas y areniscas muy deleznales; y hacia el norte hay acantilados verticales de brechas volcánicas.

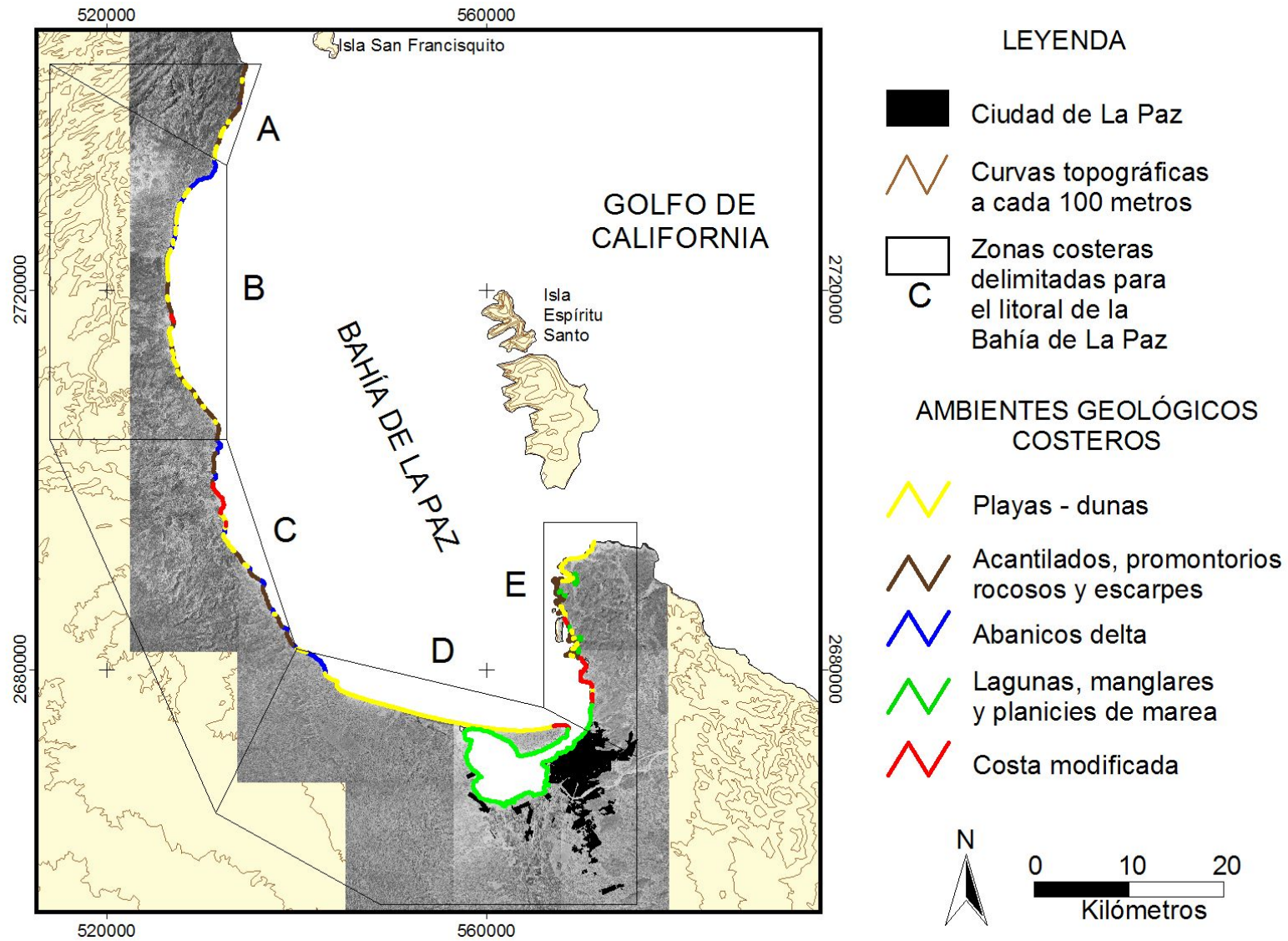


Figura 51. Delimitación de las 5 zonas en que se clasifica la costa de BLP.

La alteración antropogénica de la línea de costa en esta zona, corresponde a la actividad minera, donde la extracción y remoción de material tanto de los acantilados como de las playas son los principales procesos de dicha alteración.

ZONA D. Costa de acumulación marina debido a la presencia de playas amplias, desarrollo de dunas y la formación de una barrera arenosa. El ancho de las playas varía de 10 a 35 metros. En el extremo occidental de esta zona está el abanico delta lobulado Punta Los Médanos, que es el segundo lugar en cuanto a tamaño de este ambiente. El cordón de dunas frontal presenta un escarpe que se reduce de oeste a este. En la parte más estrecha de la barrera arenosa se tiene un campo de dunas barjanas y hacia el oriente, en el extremo de la barrera se han realizado obras de urbanización, causando la erosión de dunas y playas. Además, dentro de la barrera arenosa El Mogote hay planicies de inundación, playas poco desarrolladas, pantanos de manglar y manglares marginales, así como también la zona urbana de la Cd. de La Paz.

ZONA E. Costa mixta que presenta playas de bolsillo y estrechas entre promontorios rocosos de origen volcánico (principalmente brechas) con alturas máximas de 30 metros, presencia de lagunas y manglares; y largos segmentos de costa modificados por la actividad comercial, turística e industrial.

CAPITULO 4 – DISCUSIONES

4.1. Discusiones

En los últimos años han venido aumentando las preocupaciones acerca del deterioro del estado de los recursos naturales o la reducción de la biodiversidad, particularmente con relación al impacto de estos cambios en la zona costera. Estas preocupaciones han sido resumidas en una variedad de cumbres internacionales relacionadas con el desarrollo sostenible (Conferencia de Río, 1992; Conferencia de El Cairo, 1994; Evaluación de Ecosistemas del Milenio, 2001; Cumbre de Johannesburgo, 2002). El estudio de los procesos costeros y en, requiere de conocer las formas o geomorfología que ahí existe. Una manera de saber lo que se tiene en la costa es el uso de Sistemas de Información Geográfica, además, la disponibilidad de información temática para poder sobreponerla y relacionar ya sea la geología con las diversas formas de la línea de costa.

Mediante el uso de un SIG, el registro histórico cartográfico, imágenes de satélite y observaciones directas en campo; fue posible diferenciar a una escala de 1:25000 una diversidad de ambientes geológicos costeros en la Bahía de La Paz. Se identificaron playas, dunas, acantilados, escarpes, abanicos delta de distintas formas, lagunas, manglares y planicies de marea. También fueron localizadas aquellas áreas de la costa que están alteradas morfológicamente por las actividades antropogénicas. Los factores relacionados a la formación de dichos ambientes son las características litológicas de la región, los procesos costeros como el oleaje, el viento, las mareas y corrientes marinas. Así también, los procesos no marinos o continentales como las corrientes fluviales y la actividad tectónica.

El ambiente playa – duna es el de mayor presencia a lo largo del litoral de la bahía, cubriendo 69.2 km de costa. Sus atributos morfológicos indican una predominancia en los procesos eólicos y depositacionales, ya sea por corriente marina o escurrimientos fluviales. La abundancia de este ambiente al sur de la bahía está

relacionada a la batimetría que disminuye paulatinamente hacia la barrera arenosa, provocando que el oleaje incidente del norte pierda fuerza al llegar a la costa y permitiendo que las corrientes costeras transporten y distribuyan el sedimento desde la margen oeste de la bahía hacia el este, depositándolo en las orillas de la barrera arenosa El Mogote. No obstante, al oriente y occidente la pendiente del fondo marino es más abrupta y el oleaje incide con mayor energía; sin embargo, las playas ahí presentes se han podido formar gracias a la disponibilidad de sedimentos que descargan los arroyos durante las lluvias torrenciales.

Las dunas están dispersas en toda la bahía, estos depósitos de arena acumulados por el viento tienen su máxima expresión morfológica en el segmento de costa desde Punta Los Médanos hasta el extremo este de la mencionada barrera arenosa y en la parte más estrecha de esta, donde se localiza un campo de barjanes orientadas perpendicularmente a la dirección del viento. En esta misma área se presentan extensos cordones de dunas frontales. Así mismo, al oeste hay dunas incipientes y trepadoras; y al este dunas estabilizadas con abundante vegetación. Al parecer y debido a la presencia de estos depósitos eólicos alrededor de la bahía las características del viento (velocidad, dirección e intensidad) no son muy diferentes, y su formación también se deriva de la morfología ya existente. Por ejemplo las dunas trepadoras al occidente de la bahía, su origen es eólico pero su altura se debe tanto a procesos de una transgresión de la costa como a movimientos de bloques tectónicos.

Las formaciones rocosas como acantilados, promontorios rocosos y escarpes terminan abruptamente en la línea de la costa. Por debajo de estos ambientes de poca pendiente o verticales, están el punto de inflexión, justo encima de la línea de costa, y la plataforma suavemente inclinada hacia el mar, que puede ser arenosa o de cantos o rocosa. La acción del oleaje y las corrientes marinas arranca material rocoso, lo acumula al pie del acantilado y forma un depósito que, al principio, queda bajo el agua pero después puede emerger formando una pequeña playa. La acción de las mareas también es importante, ya que durante un tiempo introduce agua entre

las rocas, debilitándolas y formando nichos o entalladuras. El factor físico que controla la pendiente en la cara del acantilado es la litología, ya sea más blanda o cuando afloran distintos tipos de roca la pendiente es de hasta 30°; o cuando las capas de la roca son más resistentes o es solo una capa de un mismo material el acantilado es casi vertical como en Punta El Mechudo. La escasa anchura de las playas presentes al pie de los acantilados en el occidente de la bahía y la escarpada de la pendiente costera, permiten considerar, que el incremento del efecto erosivo de las olas debido a la elevación del nivel del mar, resulta una importante causa de erosión en la costa.

Los agentes del modelado costero para los distintos tipos de abanicos delta son: las olas y las corrientes. Algunos presentan lóbulos prolongados hacia el mar, como el de El Coyote, El Junco y Punta Los Médanos. Otras formas más irregulares y deformadas por la constante erosión del oleaje y las corrientes litorales son los encontrados al suroeste de la bahía intercalándose entre cuspados (El Saladito, La Tinaja, Boca El Sauzoso y Punta Los Tules o El Califín) y desafilados (Punta Camarón, Agua de Yepiz y El Cajete). Lo que a contrario de la porción este de la bahía no se encuentran estos ambientes ni se depositan grandes volúmenes de sedimento por escurrimientos fluviales, debido a las pequeñas subcuencas hidrológicas en estas áreas y su poca capacidad de erosión.

Los ambientes que reciben menor influencia del oleaje pero sí de la marea son las lagunas, manglares y planicies. Las lagunas de la BLP, de acuerdo a la clasificación de Lankford (1977), son "lagunas de plataforma interna con barrera arenosa" de las cuales la Laguna de La Paz cae en esta clasificación; "lagunas de valle de río inundado", como las de "El Merito", "Pichilingue", al noreste de Punta Colorada, etc. Los pantanos de manglar son los ubicados al sur del CICIMAR, al norte de Zacatecas, en Balandra y atrás de la barrera arenosa El Mogote. Los manglares marginales están compuestos por arbustos individuales alineados en las márgenes del interior de la Laguna de La Paz y en pequeños canales de mareas en esta misma área. Las planicies de marea, aparte de las localizadas en la laguna de la paz como

enfrente de Chametla, también hay en las áreas más internas de los valles de río inundados, debido a la poca pendiente del fondo marino.

Una buena parte del los 26.7 km de costa modificada por las actividades antropogénicas están localizados al sureste y este de la bahía, aunque también se presentan al oeste. Primeramente se modificó la línea de costa con el asentamiento de la Cd. de la Paz sobre un abanico aluvial contiguo al mar, posteriormente la actividad minera se hizo presente y busco la manera de llegar al sitio de interés económico, en San Juan de La Costa, removiendo y extrayendo material de las costas de la margen occidental de la bahía. Algunas de las actividades comerciales, turísticas e industriales requirieron de poner su infraestructura mar adentro, lo que ocasionó terrenos ganados al mar (en el caso de embarcaderos y muelles turísticos y el Puerto marítimo Pichilingue), cambios bruscos en el paisaje costero (como en Punta Prieta y la península artificial de San Juan Nepomuceno) y áreas donde fue necesario dragar sedimento (Granja Camaronera en Punta El Guano y zona hotelera en Vista Coral). Recientemente, debido a la creciente demanda económica y turística en los últimos años se ha comenzado la urbanización de la zona costera con fines residenciales, tal es el caso en el extremo oriental de El Mogote y la playa de La Concha. Quizás, el ambiente playa – duna que esta con mayor presión y una tasa rápida en el cambio del tipo de suelo y cobertura vegetal es en el área entre El Tecolote y Las Pilitas, ya que es la zona que mas es visitada por la población regional. Aquí se pudo apreciar la reducción de las dunas frontales y destrucción de la poca vegetación que las soporta, resultado del paso constante y duradero de automóviles y personas.

Con respecto a la zonificación costera de la BLP se puede decir que los 5 ambientes geológicos costeros representan una gran variabilidad geomorfológica, tal que permitió dividirla en cinco zonas. Ninguna zona es parecida a otra, lo que si se podría afirmar es que hay costas depositacionales, costas de erosión y costas mixtas. Las primeras corresponderían a las zonas B y D, las segundas únicamente a la zona A y las terceras a las zonas C y E.

CAPITULO 5 – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- a. La geomorfología costera del extenso litoral de la Bahía de La Paz (194.8 km) se caracteriza por presentar 5 ambientes geológicos costeros: playas – dunas (69.2 km); acantilados, escarpes, promontorios rocosos (50.6 km); lagunas, manglares y planicies de marea (28.3 km); costas modificadas antropogénicamente (26.7 km) y abanicos deltas (20 km).
- b. Los procesos que influyen directa y rápidamente en la dinámica costera de la bahía son el oleaje, el viento, las mareas, las corrientes marinas y la actividad antropogénica. Mientras que factores como la litología, las estructuras tectónicas y los eventos extraordinarios climáticos, como los ciclones actúan de manera local dependiendo su predominancia u ocurrencia.
- c. La identificación de 5 zonas costeras dentro de la BLP establece una dominancia de los procesos puramente erosivos debido al oleaje sobre los acantilados en la zona A, en las zonas B y D existe una mayor influencia de las corrientes marinas las cuales depositan material sedimentario y forman costas arenosas y por último las zonas C y E que son costas mixtas y complejas porque presentan una alternancia de 3 o más ambientes.
- d. Hasta ahora solo el 13.7% (26.7 km) de la línea de costa y ambientes costeros en el litoral de la BLP muestran modificación antropogénica. En la parte sur, dicha modificación es provocada por el asentamiento de la ciudad de La Paz sobre un abanico aluvial; en el oeste (Punta El Guano) sobre una planicie de inundación se ha modificado el terreno para la operación de una camaronera; en San Juan de La Costa por la actividad minera los acantilados han sufrido modificaciones en sus rasgos morfológicos naturales. Y en la porción este se observa el desarrollo de marinas y puertos que han alterado la línea de costa.

5.2. Recomendaciones

- a. Realizar cartografía a detalle de zonas de mayor interés principalmente al oeste de la Bahía de La Paz, ya que existe un potencial cambio en la línea de costa debido al crecimiento urbano con fines residenciales.
- b. Hacer mediciones periódicas acerca del retroceso de los acantilados, ya como se dijo en los resultados estos ambientes son muy dinámicos y aunado al fallamiento existente en esta parte de la península de Baja California es posible que ocurran riesgos geológicos, como derrumbes instantáneos.
- c. Extrapolar este tipo de cartografías a otras áreas y de ser posible manejar escalas más pequeñas, debido a que existen morfologías que así lo requieren, primordialmente en área que no han tenido ninguna influencia de la actividad antropogénica.
- d. Tomar en cuenta este tipo de trabajos para la toma de decisiones en cuanto al cambio de uso de suelo en la zona costera, debido al detalle y a la información cartográfica presentada, esto para poder visualizar las condiciones actuales de la costa y realizar evaluaciones de impacto ambiental.

Bibliografía consultada

Abogados R., M. T. y Mendez A., M. V. 2003. Propuesta metodológica para la delimitación de zonas costeras. *Terra*. Vols. XVIII-XIX, Nos. 27-28, 2002-2003, pp. 103-121.

Álvarez A., A. D., Rojas S., H., y Prieto M., J. J., Geología de La Bahía de La Paz y áreas adyacentes. Publicado en Urban, R. J. y M. Ramirez. 1997. La Bahía de La Paz, investigación y conservación. UABCS-CICIMAR-SCRIPPS.

Aranda-Gómez y Pérez-Venzor, 1988. Estudio geológico de Punta Coyotes, Baja California Sur: *Revista Instituto de Geología Universidad Nacional Autónoma de México*, 8 (1): 1-21.

Bigioggeero, B; et al., 1996. Característica estratigráficas petrológicas y extinción del Cinturón Miocénico en la Región de Loreto – Las Parras, Baja California Sur, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 13.

Bird F., E. C. 2000. *Coastal Geomorphology: an Introduction*. John Wiley and Sons, LTD. pp. 322

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.

Carranza E., A. 1984. Estudio sedimentológico de playas del estado de Chiapas, México. A., *An. Centro Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México*. 17 p.

Carranza E., Gutiérrez E. y Rodríguez T., 1987. Unidades morfo-tectónicas continentales de las costas mexicanas, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.

Chávez L., S. y Álvarez A., A. 2006. Batimetría, sedimentos y ambientes de depósito en la laguna costera de Guásimas, Sonora, México. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. Num. 60, pp. 7-21

Consejo de Recursos Minerales (COREMI), 1999. Informe de la carta geológico-minera y geoquímica, La Paz G12-10-11, escala 1:250,000 estado de Baja California Sur, México.

Davies L., J. 1974. The coastal sediment compartment. Australian Geographical Studies. Num 12, pp. 139-151.

Del Monte- Luna, P., F. Arreguín- Sánchez, L. Godínez- Orta & C.A. López-Ferreira. 2005. Batimetría actualizada de la Bahía de La Paz, Baja California Sur, México. CICIMAR *Oceánides*, 20(2):75-77.

Fischer, R., et al., 1995. The El Cien Formation of southern Baja California, México: Stratigraphic precisions. Newsletters in Stratigraphy, v. 32, n. 3, p. 137 – 161.

Finkl, C. W. 2004. Coastal Classification: Systematic approaches to consider in the development of a comprehensive system. Journal of Coastal Research, 20 (1), p. 166-213.

Gidde, A., 1992. Sedimentology of the Miocene Cerro Colorado Member (upper part of the El Cien Formation), Baja California Sur, México. v. 1991, p. 1467 – 1477.

Godínez O., L., Martínez F., G. y Nava S., E. H. 2005. Variación de la línea de costa de la playa Solmar, Cabo San Lucas, Baja California Sur. Libro de resúmenes de la Reunión Anual 2005. GEOS. Vol. 25. No. 1, pp. 130-131.

Hausback, B. P., 1984. Cenozoic volcanic and tectonic evolution of Baja California Sur, Mexico: en Frizzell, V. A., ed., Geology of the Baja California Peninsula: Pacific

Section SEPM, 39: 219-236.

INEGI, 1995. Aspectos geográficos de Baja California Sur.

Inman, D. L. and C. E. Nordstrom (1971), "On the tectone and morphological classification of coast:", *Vour. Geol.*, 79(1):1-21.

Jiménez I., A. R. 1996. Análisis de procesos barotrópicos y baroclínicos en la Bahía de La Paz B. C. S. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. 212p.

Kasper Z., J., Carranza E., A., Morales De la Garza, E. 2007. Caracterización textural de la arena de playa del Golfo de California, México: implicaciones para los procesos costeros y el relieve. *Ciencias Marinas*, UABC. Vol. 33, pp. 83-94.

LANKFORD, R. R.. 1977. Estuarine Process, Coastal Lagoons of México: their origin and classification. In: *Estuarine Research Federation*, Galveston, Texas. Wiley M. L. Academic Press, Nueva York, pp182-215

Martinez D., A., Lizarraga A., R., Delgado G., O., Galindo B., L., Torres N., C., Blanco B., R., Gil S., E. and Cano C., R.. 2008. Influence of winter waves on the longitudinal growth of the Punta Banda Estuary sandbar, Todos Santos Bay, Baja California, Mexico. *Ciencias Marinas*, 34 (1).

Montano, L. Y. 1983. Estudio del transporte litoral de arenas en Isla de La Piedra, Mazatlán, Sin., usando trazadores fluorescentes. A., *An. Centro Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México.* 25 p.

Montano Ley, Y., Pereza Vizcarra, R., 1984. Aplicación de un modelo de tipo predictivo para cuantificar el transporte litoral de arenas en dos playas de la costa sur de Sinaloa. *Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM – Univ. Autón. Sin. P.*

16.

Nava Sanchez, E. H., Gorsline, D. S., Molina-Cruz, A., 2001. The Baja California península borderland: structural and sedimentological characteristics. *Sedimentary Geology* 144, 63-82.

NOAA, 2008. <http://www.nhc.noaa.gov/>

Nolasco M., E. y Carranza E., A. 1986. Estudio sedimentológico regional de playas de Yucatán y Quintana Roo, México. A., An. Centro Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México. 10 p.

Obeso Nieblas, M., 1987. Programación de la constituyente M2 de la marea en la Bahía de La Paz, B. C. S., México, mediante un modelo hidrodinámico numérico. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, I. P. N. La Paz B. C. S., México.

Obeso Nieblas. M. y Jiménez Illescas, A. R., 1989. Propagación de la constituyente M2 de la marea en la Bahía de La Paz, Baja California Sur, México, mediante un modelo bidimensional hidrodinámico numérico. *Investigaciones Marinas CICIMAR*, 4 (2): 241-256.

Obeso Nieblas, M., Jiménez Illescas, A. R. y Troyo, D. S. 1993. Modelación de la marea en la Bahía de La Paz, B. C. S. *Investigaciones Marinas CICIMAR*, 8(1): 13-22.

Obeso N., M., Amador B., Shirasago G., B. y Jimenez I., A. R. 1997. Corriente litoral en la barrera arenosa "El Mogote", Bahía de La Paz, B. C. S., México. Libro de resúmenes del VI Congreso de la AIMC, A. C. 86 p.

Obeso Nieblas, M., 2003. Variabilidad espacio-temporal de las condiciones

oceanográficas de la Bahía de La Paz, B. C. S., México. Tesis de doctorado. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, I. P. N. La Paz B. C. S., México.

Ortiz Pérez, M. A. y Pérez Vega A., 1999. Evidencia documental de los cambios en la línea de costa por sedimentación rápida en la bahía de Matanchén, Nayarit, México. Investigaciones geográficas. UNAM, No 40. p. 13.

Ortiz, M., Huerta, T. L. y Hinojosa, A. 2003. Transporte de sedimento por tracción de marea en el Estero de Punta Banda, Baja California, México. GEOS, Vol. 23, no. 3, pp. 283-294.

Ortiz P., M. A. y Lanza E., G. 2006. Diferenciación del espacio costero de México: Un inventario regional. Instituto de Geografía. UNAM. Num. 3. 138 p.

Palacio Aponte, G. A., 2001. Detección de cambios en la morfología litoral de Punta Zacatal y parte occidental de Isla del Carmen, Campeche, mediante análisis multitemporal de imágenes de satélite. Investigaciones geográficas. UNAM, No 46. p. 9.

Puy Alquiza, M. I., 1992. Geología de la Isla San José, canal San José y su posible correspondencia con el macizo peninsular, Baja California Sur, México, Tesis profesional para obtener el título de geóloga, UABCS.

Romero Vadillo, E., 2003. Modelación numérica de ondas de tormenta en la Bahía de la Paz y cabo San Lucas, Baja California sur, Tesis de doctorado. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, I. P. N. La Paz B. C. S., México. P. 192.

Shepard, P. F. (1973), Submarine geology, Harper & Row, Publishers, New York. P. 517.

Troyo Dieguez, S., 2003. Oleaje de viento y ondas de infragravedad en la zona

costera de Baja California Sur. Tesis de doctorado. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, I. P. N. La Paz B. C. S., México. P. 211.

Urban, R. J. y M. Ramírez. 1997. La Bahía de La Paz, investigación y conservación. UABCS-CICIMAR-SCRIPPS.

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

Wright, L. D., Roberts H. H., Coleman, J. M., Kupfer, R. L. and Bowden L. W. 1973. Process-form Variability of multiclass coasts: Baja California. Coastal Studies Institute, Louisiana State University, Technical report No. 137.

Wentworth, C.K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. Journal of Geology, Vol. 30, p. 377-392.

Zetina M. C. E., Sánchez y P. I., Osorio R. H., Mariño T. I., Castillo Ch. R.J. y Cauich T. J.C. (2008). Análisis de modelos de perfil de playa en equilibrio aplicados a una playa de Yucatán, México. Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 12-3, pp. 15-32.