



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



**AFECTACIÓN DEL SISTEMA PLAYA-DUNA POR
EL DESARROLLO URBANO-TURÍSTICO EN LAS
BAHÍAS SAN LUCAS Y SAN JOSÉ DEL CABO,
BAJA CALIFORNIA SUR.**

TESIS

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

PRESENTA

LIC. ISAVIS GÓMEZ SENA

LA PAZ, B.C.S. DICIEMBRE DE 2018



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

En la Ciudad de La Paz, B.C.S. siendo las 12:00 horas del día 04 del mes de Diciembre del 2018 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis titulada:

**"AFECTACIÓN DEL SISTEMA PLAYA-DUNA POR EL DESARROLLO URBANO-TURÍSTICO
EN LAS BAHÍAS SAN LUCAS Y SAN JOSÉ DEL CABO, BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO"**

Presentada por el alumno:

GÓMEZ

Apellido paterno

SENA

materno

ISAIVIS

nombre(s)

Con registro: A 1 7 0 7 0 8

Aspirante de:

MAESTRIA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

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

LA COMISION REVISORA

Directores de Tesis

DR. ENRIQUE HIPARCO NAVA SÁNCHEZ
Director de Tesis

DRA. JANETTE MAGALL MURILLO JIMÉNEZ
2ª. Directora de Tesis

DRA. ANA JUDITH MARMOLEJO RODRÍGUEZ

DR. GUILLERMO MARTÍNEZ FLORES

DR. RAÚL MIRANDA AVILES

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

DR. SERGIO HERNÁNDEZ TRUJILLO





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

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 06 del mes de Diciembre del año 2018

El (la) que suscribe GEOG. ISAIVIS GÓMEZ SENA Alumno (a) del Programa

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

con número de registro A170708 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:

"AFECTACIÓN DEL SISTEMA PLAYA-DUNA POR EL DESARROLLO URBANO-TURÍSTICO

EN LAS BAHÍAS SAN LUCAS Y SAN JOSÉ DE CABO, 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. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: isaivissena@gmail.com - epaco@gmail.com - jmurillo@ipn.mx

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

GEOG. ISAIVIS GÓMEZ SENA

Nombre y firma del alumno

ÍNDICE DE FIGURA

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE APÉNDICES

GLOSARIO

RESUMEN

ABSTRACT

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	ANTECEDENTES	2
III.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
IV.	JUSTIFICACIÓN	5
V.	HIPÓTESIS	5
VI.	OBJETIVOS	6
	4.1 Objetivo general	6
	4.2 Objetivo específico	6
VII.	ÁREA DE ESTUDIO	6
VIII.	MATERIALES Y MÉTODOS	7
	8.1 Trabajo de campo	7
	8.1.1 Levantamiento de la morfología del sistema Playa-Duna	7
	8.1.2 Muestreo de sedimentos del sistema Playa-Duna	
	8.2 Trabajo de laboratorio	8
	8.2.1 Levantamiento de la morfología del sistema Playa-Duna	8
	8.2.2 Determinación de la composición textural del sedimento	8
	8.2.3 Análisis mineralógico	9
	i. Técnica de conteo	9
	ii. Microscopía electrónica de barrido	9
	iii. Difracción de Rayos X	10
	iv. Fluorescencia de Rayos X	10

8.2.4	Análisis petrográfico	11
	i. Técnica de láminas delgadas	11
8.3	Dinámica litoral	12
8.4	Fenómenos meteorológicos	12
8.5	Procesamiento de imágenes y generación de mapas	12
IX.	RESULTADOS	14
9.1	Geomorfología de sistema playa-duna	16
	9.1.1 Bahía San Lucas	16
	9.1.2 Bahía San José del Cabo	18
	9.1.3 Características de las playas	24
9.2	Análisis sedimentológicos	27
	9.2.1 Bahía San Lucas	27
	9.2.2 Bahía San José del Cabo	29
9.3	Mineralogía	31
	9.3.1. Técnica de conteo	31
	9.3.2 Difracción de rayos x	31
	9.3.3 Fluorescencia de rayos x	33
9.4	Petrografía	34
	9.4.1 Técnica de láminas delgadas	34
9.5	Cambio de uso de suelo	36
	9.5.1 Bahía San Lucas	36
	9.5.2 Bahía San José del Cabo	38
9.6	Influencia de Tormentas y huracanes en las bahías SJC y SL	39
9.7	Modificación de la línea de costa	42
	9.7.1 Bahía San Lucas	42
	9.7.2 Bahía San José del Cabo	43
9.8	Dinámica litoral	44
	9.8.1 Bahía San Lucas	44
	9.8.2 Bahía San José del Cabo	45
X.	DISCUSIÓN	47
	10.1 Geomorfología del sistema playa-duna	47

10.2	Sedimentología	49
10.3	Mineralogía	50
10.4	Geoquímica	50
10.4.1	Fluorescencia de Rayos X	50
10.4.2	Factor de Enriquecimiento	
10.5	cambio de uso de suelo	51
10.6	Línea de costa	52
10.6.1	Bahía San Lucas	52
10.6.2	Bahía San José del Cabo	52
10.7	Dinámica Litoral	53
10.7.1	Bahía San Lucas	54
10.7.2	Bahía San José del Cabo	55
XI.	CONCLUSIONES	56
XII.	BIBLIOGRAFIA	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig 1. Localización de las áreas de estudio. Bahías San Lucas Y San José del Cabo, B.C.S	7
Fig 2. Esquema de localización de los sitios de muestreo en la bahía San Lucas: Amor_03, Esmeralda_06, Médano_08, Panteón_09.	15
Fig 3. Esquema de localización de los sitios de muestreo en la bahía San José del Cabo:01-SJC Laguna N, 02-SJC Laguna S, 04-SJC La Salinita, 05-SJC El Ranchito, 07-SJC La Choya, 08-SJC Las Playitas, 09-SJC Delta N y 11-SJC Zalate.	15
Fig 4. Perfil topográfico playa El Amor_03 en diferentes temporadas del año (Verano, Tormenta y Primavera).	17
Fig 5. Perfil topográfico y análisis playa Esmeralda_06 en diferentes temporadas del año (Verano, Tormenta y Primavera).	17
Fig 6. Perfil topográfico playa Médano_08 en diferentes temporadas del año (Verano, Tormenta y Primavera).	18
Fig 7. Perfil topográfico playa Panteón_09 en diferentes temporadas del año (Verano, Tormenta y Primavera).	18
Fig 8. Perfil topográfico playa Laguna N_01 en diferentes temporadas del año (Verano, Tormenta y Primavera).	19
Fig 9. Perfil topográfico playa Laguna S_02 en diferentes temporadas del año (Verano, Tormenta y Primavera).	19
Fig 10. Perfil topográfico y análisis playa Salinita_04 en diferentes temporadas del año (Verano, Tormenta y Primavera).	20
Fig 11. Perfil topográfico y análisis playa Ranchito_05 en diferentes temporadas del año (Verano, Tormenta y Primavera).	21
Fig 12. Perfil topográfico playa Choya_07 en diferentes temporadas del año (Verano, Tormenta y Primavera).	22

Fig 13. Perfil topográfico playa Las Playitas_08 en diferentes temporadas del año (Verano, Tormenta y Primavera).	22
Fig 14. Perfil topográfico playa Delta N_09 en diferentes temporadas del año (Verano, Tormenta y Primavera).	23
Fig 15. Perfil topográfico y playa DeltaS_10 en diferentes temporadas del año (Verano, Tormenta y Primavera).	3
Fig 16. Media del tamaño de grano y clasificación del tamaño de arena según Folk (1966): Media (1- 2 Φ), Gruesa (0 - 1 Φ) y Muy gruesa (-1 - 1 Φ) en diferentes temporadas del año (Verano, Tormenta y Primavera) en la bahía San Lucas.	28
Fig 17. Relación entre la desviación estándar (Φ) y el sesgo (Φ) de las playas en la bahía San Lucas en el período de Verano (3v, 6v, 8v y 9v), Tormenta (3t, 6t y 8t) y Primavera (3p, 8p y 9p).	28
Fig 18. Media del tamaño de grano y clasificación del tamaño de arena según Folk (1966): Media (1- 2 Φ), Gruesa (0 - 1 Φ) y Muy gruesa (-1 - 1 Φ) en diferentes temporadas del año (Verano, Tormenta y Primavera) en la bahía San José del Cabo.	30
Fig 19. Relación entre la desviación estándar (Φ) y el sesgo (Φ) de las playas en la bahía San José del Cabo en el período de Verano (2v,4v,5v,7v,9v y 10v), Tormenta (2t,4t,5t,7t,9t y 10t) y Primavera (2p,4p,5p,7p y 9p).	30
Fig 20. Porcentaje de recuperación de los elementos analizados en las bahías San Lucas y San José del Cabo.	33
Fig 21. Factor de enriquecimiento normalizado.	34
Fig 22. Cambio de uso de suelo, Bahía San Lucas año 1994.	36
Fig 23. Cambio de uso de suelo, Bahía San Lucas año 2004.	37
Fig 24. Cambio de uso de suelo, Bahía San Lucas año 2014.	37
Fig 25. Cambio de uso de suelo, Bahía San José del Cabo año 1994.	38
Fig 26. Cambio de uso de suelo, Bahía San José del Cabo año 2004.	39
Fig 27. Cambio de uso de suelo, Bahía San José del Cabo año 2014.	39
Fig 28. Representación cartográfica de tormentas y huracanes en el área de estudio en la década de 1990.	41
Fig 29. Representación cartográfica de tormentas y huracanes en el área de estudio en la década de 2000.	41

Fig 30. Representación cartográfica de tormentas y huracanes en el área de estudio en la década de 2010.	42
Fig 31. Variación de la línea de costa, Bahía San Lucas años 2004-2014.	43
Fig 32. Variación de la línea de costa, Bahía San José del Cabo años 2004-2014.	44
Fig 33. Mapa conceptual de la dinámica sedimentaria en el litoral de la bahía San Lucas.	45
Fig 34. Mapa conceptual de la dinámica sedimentaria en el litoral de la bahía San José del Cabo.	46
Fig 34. Representación cordón de duna bahía San Lucas. Panteon_09.	
Fig 35. Representación del primer cordón de duna bahía San José del Cabo (I). LagunaN_01 (a) y LagunaS_02 (b)	
Fig 36. Representación del segundo cordón de duna bahía San José del Cabo (II). Salinita_04 (a), Ranchito_05 (b), Choya_07 (c) y Las Playitas_08 (d).	
Fig 37. Representación del tercer cordón de duna bahía San José del Cabo (III). Zalate_11	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas de los puntos de muestreos en las Bahías San Lucas (CSL) y San José del Cabo (SJC).	14
Tabla 2. Cuantificación de los parámetros pendiente (º), ancho (m) y longitud (m) de las playas de las bahías San Lucas y San José del Cabo en diferentes temporadas del año (V: Verano, T: Tormenta y P: Primavera).	25
Tabla 3. Caracterización de las playas teniendo en cuenta pendiente, amplitud, presencia de dunas, tamaño del sedimento (arena), tipo de playa, impacto y observaciones de las bahías San Lucas y San José del Cabo.	26
Tabla 4. Parámetros texturales del sedimento en el ambiente de playa en bahía San Lucas.	27
Tabla 5. Parámetros texturales del sedimento en el ambiente de playa en bahía San José del Cabo.	29
Tabla 6. Técnica de Conteo para las muestras de playa en las bahías San Lucas y San José del Cabo. Parámetros: Cuarzo (Qz), Feldespatos (Fld), Minerales Opacos (MO), Fracción de Roca (FR) y Biogénicos (B).	31
Tabla 7. Difracción de Rayos X para muestras de berma y arroyo en las bahías San Lucas y San José del Cabo.	32
Tabla 8. Análisis de Láminas delgadas. Parámetros: Tamaño de grano, Redondez/Esfericidad, Porosidad, Cemento y Minerales. Redondez/Esfericidad: Sub-redondeados con Baja Esfericidad (SBE), Sub-redondeados-angular con Baja Esfericidad (SaBE), angular con baja esfericidad (ABE), muy angular (MA). Corroborado con microscopía electrónica (*).	35
Tabla 9. Huracanes y tormentas que impactaron Las Bahías San Lucas y San José del Cabo en las décadas 1990, 2000 y 2010. Categoría de huracanes: 1, 2, 3, 4 y Tormenta (T).	40

GLOSARIO

Acreción costera: acumulación de sedimentos que puede aumentar el tamaño de la playa en dirección hacia el mar.

Berma: desnivel topográfico paralelo a la línea de costa ubicado en la alta playa y generado por la acumulación de los sedimentos depositados por el oleaje de tormenta.

Celda Litoral: sección de la costa aislada por estructuras geológicas o desembocaduras de ríos y que cuenta con sus propias fuentes y sumideros de sedimento.

Cuenca hidrográfica: unidad morfográfica superficial definida por la existencia de la divisoria de las aguas en un territorio dado, cuyos límites quedan establecidos por el parteaguas.

Dunas litorales: Formas geográficas eólicas que se desarrollan en zonas costeras donde existe un amplio almacén de sedimento suelto, que está disponible para ser transportado tierra adentro por los vientos.

Erosión costera: modificación o retroceso de la línea de costa preexistente con la consiguiente pérdida de sedimentos.

Espigón: Estructura costera que se usa para detener el movimiento de sedimentos. Puede construirse en forma paralela o perpendicular a la costa.

INEGI: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

Línea de costa: segmento lineal que recorre el margen litoral y sometido al ritmo diario de las mareas.

Playa: estructuras geomorfológicas dinámicas, consideradas como depósitos no consolidados de arenas y gravas a lo largo del litoral.

Refracción: Es el fenómeno que se produce cuando el oleaje se mueve en agua somera en dirección no paralela a los contornos del fondo y el sentido del oleaje cambia, de manera que el frente de la ola tiende a alinearse en forma paralela a la línea de costa.

Sedimento: Material transportado en la zona costera por las corrientes litorales; puede ser acarreado en forma de sedimento suspendido en el fluido o puede ser arrastrado como carga de material de fondo.

SIG: Sistema de Información Geográfica

Transporte litoral: movimiento de sedimentos a lo largo de la costa. Está determinado por las corrientes costeras, el clima de oleaje y su impacto con la playa.

RESUMEN

El acelerado desarrollo urbano y turístico en el prestigioso corredor turístico de Los Cabos es uno de los principales problemas que está afectando la zona costera en Las Bahías San Lucas (CSL) y San José del Cabo (SJC). Se determinó el impacto del desarrollo urbano y turístico en la estabilidad del sistema playa-duna en dicha zona. Se realizó el análisis e interpretación de imágenes satelitales, ortofotos y fotografías, para observar la evolución espacio-temporal del sistema playa-duna, a través de un Sistema de Información Geográfica. Se obtuvo la morfología mediante perfiles de playa, encontrando que SJC presenta pendientes más empinadas, playas más anchas y con menor impacto antropogénico que CSL. Se analizó la textura del sedimento de las playas y se obtuvo que hay un predominio de arenas gruesas y en menor medida arenas medias. De acuerdo a la composición mineralógica, se observó que hay un predominio de cuarzo en los ambientes de playa, duna y arroyo. En ambas bahías se identificó que hubo fuerte cambio de uso de suelo sobre las dunas, llegando a desaparecerse en algunas partes de las bahías (cubiertas totalmente por construcciones), por lo que se evidencia fuerte presión antropogénica. La línea de costa presentó poca variación en el período estudiado, sin embargo, se observó erosión y acreción considerable en la región que presenta espigones. El principal aporte de sedimento a las playas de estas bahías lo constituyen los arroyos El Salto y el estero San José, el cual es transportado por la corriente litoral a lo largo de la costa. El transporte del sedimento es restringiendo en parte por la presencia de cañones submarinos, en donde el sedimento va quedando atrapado en sus tributarios.

ABSTRACT

The accelerated urban and tourist development in the prestigious tourist corridor of Los Cabos is one of the main problems that is affecting the coastal area in San Lucas Bays (CSL) and San Jose del Cabo (SJC). The impact of urban and tourism development on the stability of the beach-dune system in that area was determined. The analysis and interpretation of satellite images, orthophotos and photographs were made to observe the spatio-temporal evolution of the beach-dune system, through SIG's. The morphology was obtained by beach profiles, finding that SJC presents steeper slopes, wider beaches and with less anthropogenic impact than CSL. The texture of the sediment of the beaches was analyzed and it was obtained that there is a predominance of coarse sands and to a lesser extent medium sand. The mineralogical analysis showed that there is a predominance of quartz in the beach and dune environments, as well as in the streams. In both bays it was demonstrated that there was a strong change of land use on the dunes, reaching to disappear in some parts of the bays, so strong anthropogenic pressure is evident. The modification of the coast line showed little variation in the period studied, only marked erosion and accretion were observed in the region with the presence of breakwaters. The main contribution of sediment is the El Salto streams and the San José estuary for both of them which is transported by the coastal current along the coast, restricting its dispersion the presence of submarine canyons, as there is a large volume of sediment trapped in your tributaries

I. INTRODUCCIÓN

El acelerado desarrollo urbano y turístico es uno de los principales problemas que está afectando las zonas costeras en la actualidad, lo que trae consecuencias muy desfavorables para mantener el equilibrio natural en estas regiones, por lo que en estos estudios adquiere gran relevancia considerar que entre un 70 y 80% de la población mundial se ubica en zonas costeras o cercanas a ellas, especialmente zonas Urbanas (CEPAL, 2002). Es en la franja costera donde se desarrollan actividades económicas como la localización de puertos marítimos y la ubicación de operaciones industriales además de importantes actividades recreativas, turísticas, siendo el sistema playa-duna uno de los ecosistemas más afectados.

Las playas se pueden definir como depósitos de materiales no consolidados, ubicados a lo largo del litoral, en donde el tamaño predominante es arena. Abarcan aproximadamente 40% de las costas del mundo, estando el resto ocupadas por manglares o marismas, acantilados, estuarios y lagunas. Una playa nunca está estática, es la estructura geomorfológica más dinámica y cambiante que existe sobre la tierra, sujetas a fuerzas que promueven la erosión o acreción. En un momento dado, su perfil representa el equilibrio dinámico entre el transporte de sedimentos hacia el mar (erosión), hacia la tierra (sedimentación) y a lo largo de las costas (corrientes de deriva). La escala de estos movimientos varía de unas cuantas horas (durante tormentas) a semanas, meses o estaciones del año. La mayoría de las playas no tienen la misma forma y extensión durante todo el año. En la época de verano, se vuelven más anchas y con mayor pendiente que durante el invierno, es decir, la erosión y acumulación se van alternando en el tiempo, pero generalmente su efecto es cíclico con predominancia de erosión durante tormentas y sedimentación o acumulación de arena en épocas de calma y son moldeadas por las corrientes y mareas. (<http://elsantogeol.wixsite.com/geologia-marina/tipos-de-playas>)

De acuerdo a Martínez (2008) las dunas litorales son formas geográficas eólicas que se desarrollan en zonas costeras donde existe un amplio almacén de sedimento suelto, que está disponible para ser transportado tierra adentro por los vientos. Existen muchos factores que caracterizan a las dunas costeras y que no se repiten en otros sistemas. Sin lugar a dudas, entre los más importantes se encuentran la composición arenosa del sustrato que las forma y la

cercanía o colindancia con el mar. Como podrá suponerse, esto define en gran medida muchos de los aspectos bióticos y abióticos de este tipo de ecosistemas.

Estos ecosistemas son clave para la protección costera, pues actúan como una barrera física natural a mareas de tormenta, juegan un papel importante en la disipación de la energía de la tormenta, así como para conservar la estabilidad del perfil de playa. (Camacho Valdéz, *et al.*, 2008; Martínez *et al.*, 2014)

Después de lo anterior mencionado se plantea que la playa-duna es un sistema sedimentario integrado que adecua su perfil a las condiciones energéticas a las que está sometido regulando el balance sedimentario del lugar. La playa-duna es una zona de transición continental-marina que actúa como barrera, protegiendo en parte las tierras interiores de la intrusión marina, intensidad de los vientos y procesos de erosión.

Durante los últimos años la zona costera se está viendo afectada por la fuerte presión edificatoria, los usos indebidos de suelo y actividades económicas poco reguladas, lo cual genera en el medio natural, daños de muy difícil y costosa recuperación, que en algunos casos es irreparable.

Es importante para el sistema playa-duna, como una unidad ambiental, la defensa de su equilibrio, la protección y conservación de sus valores naturales y culturales, el aprovechamiento racional de sus recursos, el garantizar el uso y el disfrute abierto para toda la comunidad.

II. ANTECEDENTES

Estudios previos evidencian que las causas de la degradación del sistema playa-duna son muy variadas, en donde los principales problemas, de tipo natural, están asociados al cambio climático, fenómeno que afecta de forma directa la línea de costa en todo el mundo, mientras que la acción antropogénica afecta de forma local, aunque puede incluir desde unos pocos cientos de metros hasta varios kilómetros. Las principales modificaciones en las condiciones físicas en estas zonas, se relacionan potencialmente a cambios en la frecuencia y/o intensidad de las tormentas, así como con el ascenso del nivel medio del mar, que de acuerdo a estimaciones

científicas, el nivel se sitúa en medio metro más arriba (snmm) para finales del presente siglo, sin embargo las mayores afectaciones se asocian a la acción antropogénica, debido al crecimiento poblacional y el aprovechamiento turístico-económico de la costa, debido a que no contemplan políticas adecuadas de desarrollo y conservación.

Estudios realizados sobre este tema demuestran que los factores antropogénicos constituyen la principal afectación del sistema, demostrando esto en una investigación realizada en la bahía de Montrose, Escocia sobre la variabilidad natural y efectos antropogénicos sobre las playas (Milne *et al.*, 2006), donde se describe claramente que este ecosistema está siendo fuertemente afectado por la construcción de campos de golf y restaurantes, provocando una erosión severa de la zona. En estudios realizados en Cuba sobre la evaluación de calidad ambiental, determinado de acuerdo al índice de Brunkow (Brunkow *et al.* 2004), en las zonas costeras de importancia turística: Playas del Este, se demostró que las estaciones con mayor deterioro de la calidad ambiental fueron las que poseían un elevado impacto antrópico y gran afluencia de bañistas, independientemente de la época del año.

Según Navarro-Lozano, (2009, *et al.*, 2012), en estudios realizados en Bahía San Lucas se ha demostrado que, en la trasplaya de El Médano, la duna frontal ha sido impactada por la construcción de hoteles y restaurantes. Agrega que en la cuenca El Salto, la cual aporta sedimentos a la Bahía San Lucas, las tasas de erosión, son producto de varios factores ambientales, entre los más importantes están los tectónicos, con influencia en periodos largos (millones de años) y los climáticos, en periodos cortos (décadas) y largos (milenios); sin olvidar el impacto antropogénico. Este último es el factor más dinámico y sus efectos se ven reflejados a corto plazo.

En el sur del estado de Baja California Sur se han efectuado en algunas áreas de la zona turística Cabo San Lucas – San José del Cabo estudios puntuales de aspectos relacionados con el cambio de uso de suelo en dunas y playas, así como describen la morfodinámica de dichos sistemas costeros.

Camacho- Valdéz y colaboradores (2008), en la investigación titulada “Dune and Beach Morphodynamics at Cabo Falso, Baja California Sur, México: Response to Natural, Hurricane Juliette (2001) and Anthropogenic Influence”, describieron los cambios morfológicos de la playa y dunas causados por actividades antrópicas y por el paso del huracán Juliette en 2001. Se

monitoreó la morfología del área de estudio, perfiles topográficos, examen de fotografías aéreas de 1972 y 1993, y fotografías in situ (noviembre de 1999 a abril de 2002). Los perfiles topográficos indicaron que el período de erosión tanto para la playa como para las dunas fue junio a diciembre. El huracán Juliette fue el responsable de la mayor parte de la erosión observada. La mayor acumulación de sedimentos se produjo entre diciembre de 2001 y febrero de 2002, asociada con el inicio del proceso de recuperación natural del sistema playa-duna. Las fotografías revelaron que las dunas han perdido cobertura vegetal debido a las actividades de vehículos todo terreno, que erosionan caminos perpendiculares a las crestas de dunas. Actualmente de acuerdo a imágenes de Google Earth, la zona costera de Cabo Falso presenta grandes extensiones de campos de golf, humedales y viviendas sobre las dunas activas de ese lugar, instalaciones que están expuestas a vientos de tormenta y huracanes, bloqueando el tránsito natural del sedimento, enterrando lo construido y promoviendo la erosión de las playas que son abastecidas al sur de esa zona.

Por lo expuesto anteriormente es imperativo regular el acelerado desarrollo urbano y la infraestructura turística para que no continúen alterando los procesos naturales que dieron origen a dichos sistemas naturales y que están provocando un desequilibrio en la zona costera.

México tiene delimitada una sección costera denominada Zona Federal Marítimo Terrestre (ZOFEMAT) la cual es una franja de veinte metros de ancho de tierra firme, transitable y contigua a la playa. La verificación del uso, aprovechamiento y explotación de la ZOFEMAT, playas marítimas y terrenos ganados al mar, es llevada a cabo por la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) y su administración está a cargo de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), lo cual resulta estratégico, por la gran extensión de litorales con que cuenta el país, así como por la riqueza de sus recursos naturales y la importancia de los ecosistemas que alberga. En ella se plantea la importancia económica y ambiental de la ZOFEMAT y las playas, además de la necesidad de realizar un uso y aprovechamiento sustentable, que permita mantener los servicios ambientales que brindan a la sociedad, así como conservarlos como un atractivo natural para mantener el flujo de visitantes a estos destinos turísticos del país.

Los argumentos expuestos, indican la necesidad imperiosa de un cambio en la conciencia individual y administrativa acerca del cuidado de recursos naturales como las playas y zonas costeras.

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La acción de urbanización que se está desarrollando sobre las dunas y la trasplaya como parte del desarrollo urbano y turístico en las bahías San Lucas y San José del Cabo, Baja California Sur es un factor de afectación de los procesos naturales que le dan estabilidad al sistema playa-duna.

El desarrollo turístico-urbano relativamente reciente (últimos 30 años) de la parte sur de la península, ha modificado la línea de costa en diferentes grados. Se ha observado que las dunas frontales han sido ambientes muy afectados. Estas dunas han sido modificadas en la mayor parte del corredor turístico, se han construido hoteles sobre la duna y la trasplaya, se han abierto veredas y caminos de tránsito vehicular. En algunas playas en donde la duna era parte importante del sistema para la estabilización de la playa, la duna ya no se puede identificar, pues está cubierta totalmente por construcciones, poniendo en riesgo la estabilidad de la playa.

Las acciones urbano-turísticas, que se desarrollan sobre las dunas y la trasplaya, en las bahías de San Lucas y San José del Cabo, BCS, representan una amenaza para la estabilidad del sistema playa-duna.

IV. JUSTIFICACIÓN

Debido a que la franja costera, está siendo modificada por el asentamiento de desarrollos turísticos, las playas tienden a erosionarse. Esto afecta tanto la estabilidad de la zona costera como la estabilidad del propio desarrollo turístico. Con este estudio se pretende identificar los patrones y tendencias que han estado presentes en el proceso que se describe, mediante el

levantamiento y análisis de los cambios de uso de suelo en playas y dunas de las bahías San Lucas y San José del Cabo, Baja California Sur

Los cambios en el sistema playa-duna del corredor turístico no han sido cuantificados y tampoco se han descrito los procesos de cambio. En la literatura consultada no se ha encontrado trabajos similares, no se han desarrollado en esta zona estudios de cambio de uso de suelo en dunas. Sin embargo, en el panorama internacional este es un tema muy polémico y trabajado, y un ejemplo de ello es Cuba, pues es una nación en la que el turismo juega un papel determinante ya que es una de las principales fuentes de ingreso monetario. El turismo de sol y playa es el principal destino turístico, por ello este tema se estudia con mucho detenimiento y profundidad y existen varias leyes y regulaciones que velan por el uso adecuado y racional de los recursos naturales, siendo esto una posible estrategia a aplicar en esta región para que disminuyan las afectaciones en estos ecosistemas.

V. HIPÓTESIS

Acciones antropogénicas, que se desarrollan en el ambiente litoral, como la construcción de hoteles, espigones, caminos y veredas, están afectando de forma acelerada la estabilidad del sistema playa-duna, poniendo en riesgo la permanencia de estos ambientes y las principales actividades económicas como el turismo.

VI. OBJETIVO

6.1 Objetivo General

Evaluar la estabilidad del sistema playa-duna por el impacto de asentamientos urbano-turísticos (1994-2018) en las bahías San Lucas y San José del Cabo.

6.2 Objetivos Específicos

- i. Caracterizar geomorfológicamente el sistema Playa - Duna, a través del levantamiento de perfiles topográficos.

- ii. Caracterizar sedimentológicamente el sistema Playa - Duna, a través del estudio granulométrico y mineralógico.
- iii. Describir la evolución del cambio de uso de suelo, en la zona costera de las bahías de SJC y SL, derivado del asentamiento de desarrollos turísticos, en los últimos 20 años, mediante la observación directa y el análisis de ortofotos.
- iv. Identificar los cambios de la línea de costa, en los últimos 15 años, derivados del asentamiento de desarrollos turísticos y el paso de huracanes, mediante la observación directa y el análisis de fotografías aéreas y ortofotos.

VII. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se sitúa en el extremo sur del Estado de Baja California Sur, en el municipio de Los Cabos (Figura 1). La Bahía San Lucas se encuentra entre Cabo Bello al noreste a los $22^{\circ} 53.782'N$ y $109^{\circ} 52.042'W$ y Cabo San Lucas al suroeste a los $22^{\circ} 52.582'N$ y $109^{\circ} 53.555'W$ y la Bahía San José del Cabo se localiza entre Punta Gorda al noreste a los $23^{\circ} 4.916'N$ y $109^{\circ} 35.187'W$ y Punta Palmilla al suroeste a los $23^{\circ} 0.408'N$ y $109^{\circ} 42.761'W$.

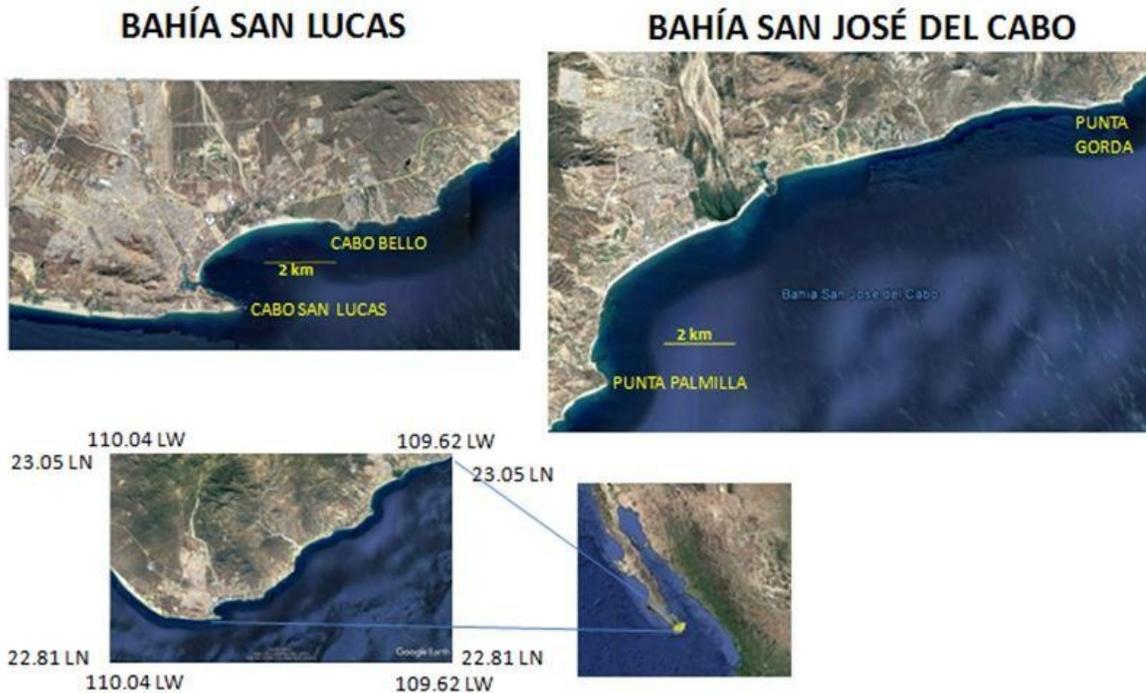


Fig 1. Localización de las áreas de estudio. Bahía San Lucas y Bahía San José del Cabo, B.C.S

El área de estudio forma parte de la Sub - Provincia Geológica Sierra La Victoria (López-Ramos, 1982), compuesta por el macizo batolítico de rocas graníticas y granodioríticas de edad Cretácica, intrusionando rocas metamórficas del Mesozoico. Esta sub-provincia se presenta en forma de complejo montañoso (Gastil *et al.*, 1978), que alcanza una altura de 2000 m, y fue originado por los procesos tectónicos de apertura del Golfo de California, por lo que está limitado por fallas principales norte-sur y afectado por un fallamiento secundario con orientación NW-SE (Fletcher & Munguía-Orozco, 2000). El relieve costero está asociado al patrón de fallas y a la diversidad litológica, lo cual controla la geometría de los cerros y bahías del sur de la península.

VIII. MATERIALES Y METODOS

8.1 Trabajo de campo

En la línea de costa de las bahías de San Lucas y San José del Cabo, se identificaron sistemas playa-duna, con el objeto de seleccionar los sitios de trabajo. Estos sistemas se identificaron mediante imágenes de satélite Google Earth. Una vez identificados los sitios de interés, y con el fin de caracterizar el sistema playa-duna, se realizaron tres visitas de campo.

8.1.1 Levantamiento de la morfología del sistema Playa-Duna

Se levantó (toma de datos) la morfología transversal a la costa con respecto al ancho y altura de la duna frontal con el uso del distanciómetro láser Leica Disto E7400x 390; se identificó la presencia de cordones de duna; y se obtuvieron los perfiles de playa para las estaciones correspondientes. A partir de mojoneras de SEMARNAT o de sitios identificados con anterioridad, hasta la playa baja. La primera campaña de muestreo se realizó durante la estación de verano para los días 22 y 23 de junio de 2017, la Segunda Campaña se realizó a finales del verano para los días 8 y 9 de septiembre de 2017 tras el paso de la Tormenta Lidia y el último muestreo se realizó en primavera durante los días 14 y 15 de marzo de 2018. Los perfiles se elaboraron con el uso del software *MATLAB*.

Se tomaron muestras de sedimento de la playa, duna y berma para la determinación de los parámetros texturales, lo cual nos permitió inferir la energía de los agentes morfodinámicos del sistema playa-duna y los procesos costeros.

8.1.2 Muestreo de sedimentos del sistema Playa-Duna

Para llevar a cabo la caracterización granulométrica, mineralógica y geoquímica de los sedimentos del sistema Playa-Duna de las bahías en estudio, se hizo una colecta de muestras de sedimento en el ambiente de playa, berma y duna. Se obtuvieron aproximadamente 500 gr de muestra usando un cubo de plástico de 10x10cm, enterrándolo en la arena, posteriormente las muestras se empaquetaron y se etiquetaron de acuerdo al lugar de muestreo.

8.2. Trabajo de Laboratorio

8.2.1 Determinación de la composición textural del sedimento

El análisis textural del sedimento se realizó en el laboratorio de Geología Marina del CICIMAR, usando el método de tamizado y de difracción láser. Cada muestra de sedimentos fue cuarteada hasta obtener un peso aproximado de 50-100 gr para el método de tamizado y/o 4 gr para la técnica de difracción láser. El tamizado se realizó en muestras que contenían gravas y arenas gruesas, y la de difracción láser para muestras con arenas limos y arcillas. Para algunas muestras se combinaron ambas técnicas; tamizando la fracción superior a -0.75ϕ (1.68 mm) y por difracción láser la fracción que pasó a través de este tamiz (granos < 1.68 mm) y posteriormente se integraron ambas técnicas con ayuda del programa Excel.

Para el tamizado se utilizó la serie de tamices W.S. Tyler con diferencia de abertura de $\frac{1}{4} \phi$ entre cada tamiz, de acuerdo con la escala de tamaños de Wentworth (1922). Para la técnica de difracción láser se utilizó el analizador Beckman Coulter modelo LS 13320, el cual por medio de la difracción de un haz láser mide el tamaño de las partículas de diámetro menor a 2 mm (-1ϕ).

Para el análisis estadístico de los datos del tamaño de grano (% de las clases de tamaño) de las muestras se realizó usando el programa Excel (Blott y Pye, 2001), el cual calcula los parámetros texturales basándose en el método de Folk y Ward (1957) y en el método de los momentos. Los estadísticos del tamaño de grano que se calcularon fueron: media, desviación estándar, sesgo o asimetría y curtosis.

8.2.2 Análisis Mineralógico

Como parte de la caracterización sedimentológica de las muestras tomadas en campo se desarrolló un análisis mineralógico detallado, con el uso de tres técnicas: La Técnica de Conteo, la Microscopía Electrónica de Barrido y la Difracción de Rayos X; las cuales se describe a continuación.

i. Técnica de conteo

Para la identificación de minerales en las muestras de sedimento obtenidas en el sistema duna-playa, se utilizó la Técnica de conteo y se llevó a cabo en el laboratorio de Geología Marina. La descripción mineralógica se hizo en 300 granos por muestra, considerando el tamaño de arenas medias (0.25 a 0.5 mm), para lo cual se usaron tamices marca Tyler para separar este intervalo de tamaño. Posteriormente con ayuda de un microscopio estereoscópico se hizo la descripción de los granos, reportando 5 grupos generales de acuerdo a su composición: Cuarzo, Feldespatos, Minerales Opacos, fracción de Roca y fragmentos biogénicos.

ii. Microscopía Electrónica de Barrido

El estudio de la caracterización de las partículas de sedimento en estudio, fue realizado en el laboratorio LICAMM de la Universidad de Guanajuato, haciendo uso de un Microscopio electrónico de barrido o SEM (Scanning Electron Microscopy), el cual utiliza un haz de electrones en lugar de un haz de luz para obtener una imagen ampliada de la superficie de un objeto. Es un instrumento que permite la observación y caracterización superficial de sólidos inorgánicos y orgánicos. Tiene una gran profundidad de campo, la cual permite que se enfoque a la vez una gran parte de la muestra. Los SEM permiten enfocar a la vez gran parte de la muestra, también producen imágenes de alta resolución, de forma que las características más ínfimas de la muestra pueden ser examinadas con gran amplificación. La preparación de las muestras es relativamente fácil ya que la mayoría de los SEM sólo requieren que éstas sean conductoras. Las muestras fueron recubiertas con una capa de carbono para darle carácter conductor. Este análisis se realizó para dos muestras correspondiente al ambiente de duna antigua.

iii. Difracción de Rayos X

El estudio Mineralógico por Difracción de Rayos X se realizó en el laboratorio LICAMM de la Universidad de Guanajuato. Este tipo de análisis permite realizar la identificación y cuantificación de los minerales presentes (metálicos y no metálicos) en por ciento, así como permite la cuantificación de la fase amorfa. El límite de detección por especie mineral es 1% determinado en el procesamiento de validación del método y para el caso de las fases amorfas el límite es de aproximadamente 15%. Mediante esta técnica es posible especificar los minerales que forman parte de la familia de feldespatos, plagioclasas, entre otras.

Para este estudio fueron analizadas 12 muestras del ambiente de berma y 2 de arroyo. Cada muestra de aproximadamente 50 gramos fue homogenizada en un mortero de ágata hasta obtener tamaños menores a 100 micras.

iv. Fluorescencia de Rayos X

El estudio de Fluorescencia de Rayos X se realizó en el laboratorio LICAMM de la Universidad de Guanajuato. fluorescencia de rayos X (FRX) es una técnica espectroscópica que utiliza la emisión secundaria o fluorescente de radiación X generada al excitar una muestra con una fuente de radiación X. La radiación X incidente o primaria expulsa electrones de capas interiores del átomo. Los electrones de capas más externas ocupan los lugares vacantes, y el exceso energético resultante de esta transición se disipa en forma de fotones, radiación X fluorescente o secundaria, con una longitud de onda característica que depende del gradiente energético entre los orbitales electrónicos implicados, y una intensidad directamente relacionada con la concentración del elemento en la muestra. Tiene como finalidad principal el análisis químico elemental, tanto cualitativo como cuantitativo, de los elementos comprendidos entre el flúor (F) y el uranio (U) de muestras sólidas (filtros, metales, rocas, muestras en polvo, tejidos, entre otros.) (Gómez, 2012)

Para este estudio fueron analizadas 2 muestras del ambiente de berma y 9 de arroyo. Las muestras se secaron en un horno, posteriormente se separó la fracción de sedimento < 2 mm, con ayuda de un tamíz Tyler No. 10. Esta fracción (< 2mm) fue maceradas con un mortero de ágata hasta ser pulverizadas (tamaños menores a 100 micras). Para la validación del método se trabajó con el estándar de referencia certificado de sedimento marino MESS-3 del National Research Council Canada Institute for National Measurement Standards.

Procesamiento de la composición geoquímica de los sedimentos

Estimación del Factor de Enriquecimiento de los elementos

Para el cálculo del Factor de Enriquecimiento Normalizado (ver fórmula) se utiliza como elemento de referencia el Itrio (Y), teniendo como resultado la clasificación de los elementos en: bajo de 0 – 3, moderado de 3-10, severamente de 1– 25 o extremadamente severos > 25 enriquecidos en el ambiente sedimentario (Marmolejo. 2011; González. 2017)

$$F = \frac{\left[\frac{M}{Y} \right]_{s}}{\left[\frac{M}{Y} \right]_{c}}$$

Donde Me (sed) es la concentración del elemento de la muestra

Y es la concentración de Y en la muestra

Me (corteza) es la concentración del elemento en la corteza superior

Y es la concentración de Y en la corteza superior tomados de Wedephol (1995)

8.2.3. Análisis Petrográfico

La petrología es la rama de la geología que se ocupa del estudio de las rocas, de sus propiedades físicas, químicas, mineralógicas, espaciales y cronológicas, de las asociaciones rocosas y de los procesos responsables de su formación. En este estudio se usó esta herramienta para describir la composición mineralógica de 8 muestras de sedimento de duna, a través de la preparación de láminas delgadas y el uso de un microscopio petrográfico en el laboratorio LICAMM de la Universidad de Guanajuato.

Preparación de Láminas delgadas de sedimento

-Primero se etiquetaron los porta objetos (27x46 mm) con el número de muestra. Se preparó la resina epóxica, mezclándola con la solución endurecedora. Esta resina se puso en un recipiente y se mezcló con el sedimento de duna. -Después la mezcla se colocó por 30 minutos en una cámara de vacío para extraerle todo el aire y que la resina penetrara entre los poros y consolidara bien la muestra, y posteriormente se dejó reposar durante 24 horas para que la resina endureciera y sellara bien.

- Posteriormente las muestras de sedimento ya consolidadas y el fragmento de roca se cortaron con un disco de diamante y se pulieron con abrasivo de 600 micras.

- Las muestras se pegaron a un porta objetos con una solución Loptite que reacciona con los rayos ultravioletas de secado rápido.

- Para cada lámina se hizo un corte para quitar el exceso de Loptite con la máquina de disco de diamante de corte fino, se pulieron con la maquina pulidora hasta obtener un espesor de lámina de 30 a 40 micras y por último se pulieron con abrasivo de 1000 micras.

8.3 Dinámica litoral

Para caracterizar la dinámica litoral y los procesos de sedimentación, como la dirección de transporte litoral, la identificación de las fuentes de aporte de sedimentos, variabilidad de perfiles de playa, entre otros, se trabajó en la revisión bibliográfica y se utilizaron los resultados de trabajos de investigación y tesis terminadas y en proceso del propio CICIMAR.

8.4 Fenómenos meteorológicos

Se llevó a cabo un análisis de los huracanes que han impactado la zona de estudio en los últimos 30 años. Los datos de los ciclones tropicales correspondientes a las últimas tres décadas se tomaron del sitio de internet *Unisys Weather* del Servicio Meteorológico Nacional de los Estados Unidos (*National Weather Service*), a través del servicio de datos satelitales NOAPORT. Las salidas cartográficas se representaron a través del Software *QGIS* y para el análisis de datos meteorológicos se consideraron los parámetros de energía (categoría), proximidad, dirección y tiempo de desplazamiento.

8.5 Procesamiento de imágenes y generación de mapas

El tratamiento de las fotografías aéreas e imágenes de satélite se desarrolló en el laboratorio de Sistemas de Información Geográfica del CICIMAR.

En las fotografías aéreas de 1994, 2004 y 2014, se determinan los cambios de uso de suelo en los sistemas playa-duna identificados previamente, utilizando los sistemas de información geográfico. Se identificó presencia de dunas y se observó los tipos de impacto antropogénico, ya sea por construcciones de hoteles, restaurantes, viviendas y marinas.

Para determinar la evolución del cambio de uso de suelo se obtuvieron varios mapas para cada una de las décadas analizadas y para la representación cartográfica digital, se trabajó con el sistema de información geográfica como *QGIS* y *Google Earth*.

IX. RESULTADOS

Para desarrollar el estudio de caracterización del sistema playa-duna se determinaron varios puntos de muestreo de sedimento y levantamiento de la topografía para saber el comportamiento de sus parámetros texturales, además la geomorfología del sistema con el levantamiento de perfiles de playa y el comportamiento del oleaje. En la bahía San Lucas (Fig. 2) se tomaron 4 zonas de muestreo: Playa El Amor (Perfil_03_CSL), Playa Esmeralda (Perfil_06_CSL), Playa El Médano (Perfil_08_CSL) y Panteón (Perfil_09_CSL). En la bahía San José del Cabo (Fig. 3) se tomaron 8 puntos por presentar mayor extensión: Laguna Norte (Perfil_01_SJC), Laguna Sur (Perfil_02_SJC), Salinita (Perfil_04_SJC), Ranchito (Perfil_05_SJC), Choya (Perfil_07_SJC), Playitas (Perfil_08_SJC), Delta Norte (Perfil_09_SJC) y Zalate (Perfil_11_SJC) .

Tabla 1. Coordenadas de los puntos de muestreos en las Bahías San Lucas (CSL) y San José del Cabo (SJC).

Coordenadas Geográficas			
Puntos Muestreo	Playas	Latitud Norte	Longitud Oeste
Perfil_03_CSL	El Amor	22.87638	109.89658
Perfil_06_CSL	Esmeralda	22.87926	109.90458
Perfil_08_CSL	Médano	22.88639	109.90558
Perfil_09_CSL	Panteón	22.89864	109.88374
Perfil_11_SJC	Zalate	23.03673	109.70749
Perfil_09_SJC	Delta N	23.04722	109.68555
Perfil_08_SJC	Las Playitas	23.06027	109.66888
Perfil_07_SJC	Choya	23.06306	109.66367
Perfil_05_SJC	Ranchito	23.06874	109.64128
Perfil_04_SJC	Salinita	23.07215	109.62865
Perfil_02_SJC	Laguna S	23.08218	109.60433
Perfil_01_SJC	Laguna N	23.08331	109.59558



Fig 2. Esquema de localización de los sitios de muestreo en la bahía San Lucas: El Amor_03, Esmeralda_06, Médano_08, Panteón_09.



Fig 3. Esquema de localización de los sitios de muestreo en la bahía San José del Cabo: 01-SJC Laguna N, 02-SJC Laguna S, 04-SJC La Salinita, 05-SJC El Ranchito, 07-SJC La Choya, 08-SJC Las Playitas, 09-SJC Delta N y 11-SJC Zalate.

9.1 Geomorfología del sistema Playa-Duna

Teniendo como propósito conocer la dinámica morfológica de las dunas y de las playas se realizó un levantamiento topográfico estacional de cuatro perfiles en la Bahía San Lucas y ocho en San José del Cabo, comenzando desde la parte baja de la cara de la playa hasta la parte más elevada del cordón de dunas (cresta) en la mayoría de las playas estudiadas. Los perfiles se ubicaron tanto en zonas de actividad recreativa, zona hotelera, así como en ambientes más estables, con menos impacto antropogénico. Se tomaron anotaciones de los rasgos morfológicos de las playas muestreadas para realizar además una valoración cuantitativa con las características del lugar. Estas mediciones se realizaron en las épocas del año representativas de las condiciones dinámicas de las playas; swell de verano, tormenta de verano y tormenta de invierno.

9.1.1 Bahía San Lucas

La reconstrucción de la morfología de las playas a base de perfiles topográficos permitió conocer los diferentes procesos de erosión y acumulación de sedimento a lo largo del periodo de estudio.

Los cambios morfológicos, en los tiempos de muestreo, de la playa Amor presentaron un comportamiento diferente a las otras playas estudiadas en esta bahía (Figura 4). Tras el paso de la tormenta Lidia, se observó una tendencia a la acumulación de sedimento de aproximadamente medio metro de diferencia en la berma de la playa, así como en la cara de la playa, donde creció aproximadamente 10 m. Posterior a Lidia esta playa estuvo sujeta a procesos de erosión, encontrando para el periodo de primavera una playa más angosta con por lo menos 7 m de longitud.

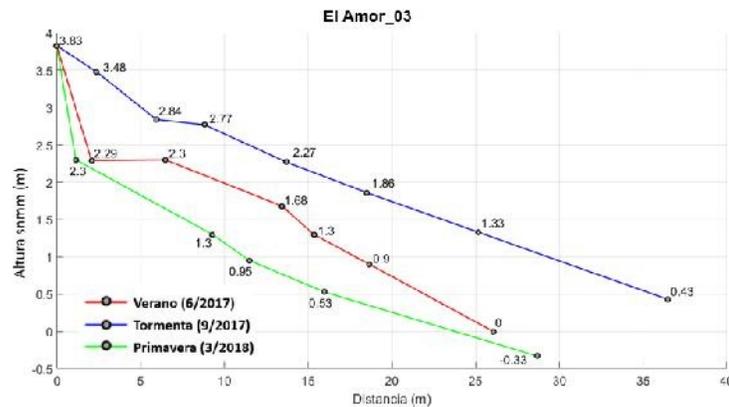


Fig 4. Perfil topográfico playa El Amor_03, Bahía San Lucas.

En los perfiles topográficos de las playas Esmeralda, Médano y Panteón (Figuras 5, 6 y 7, respectivamente) se observó ligeramente la misma tendencia entre períodos de muestreo, presentando una variación tras el paso de la tormenta Lidia, en donde ocurrió la formación de una nueva berma de tormenta en todas estas playas. Además, la playa Panteón, fue la que presentó mayor erosión y mayor pendiente por el paso de esta tormenta, retrocediendo la playa aproximadamente 4 m, recuperándose posteriormente para la época de verano en donde la playa creció aproximadamente 15 m. La diferencia de esta playa entre las épocas de verano y primavera es como de 25 m de acreción.

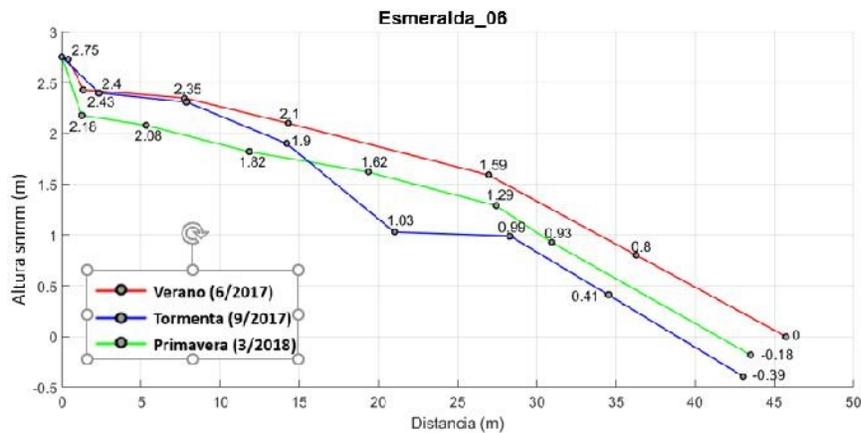


Fig 5. Perfil topográfico playa Esmeralda_06 en diferentes temporadas del año (Verano, Tormenta y Primavera).

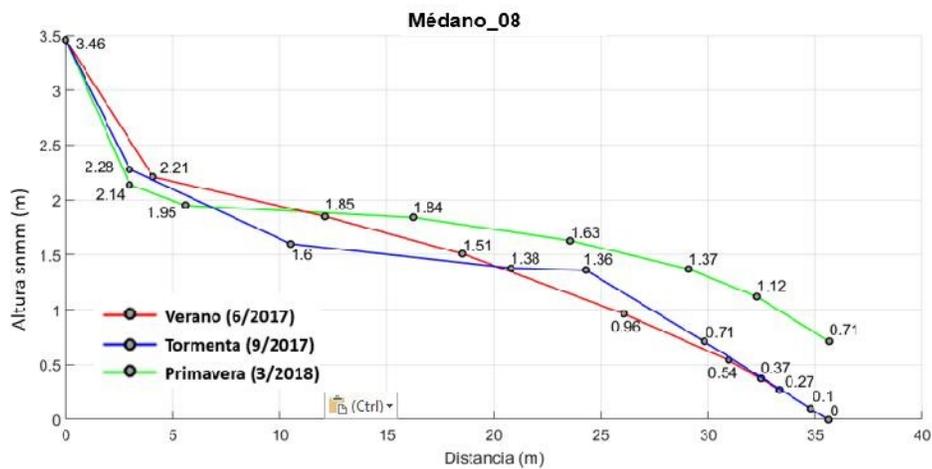


Fig 6. Perfil topográfico playa Médano_08 en diferentes temporadas del año (Verano, Tormenta y Primavera).

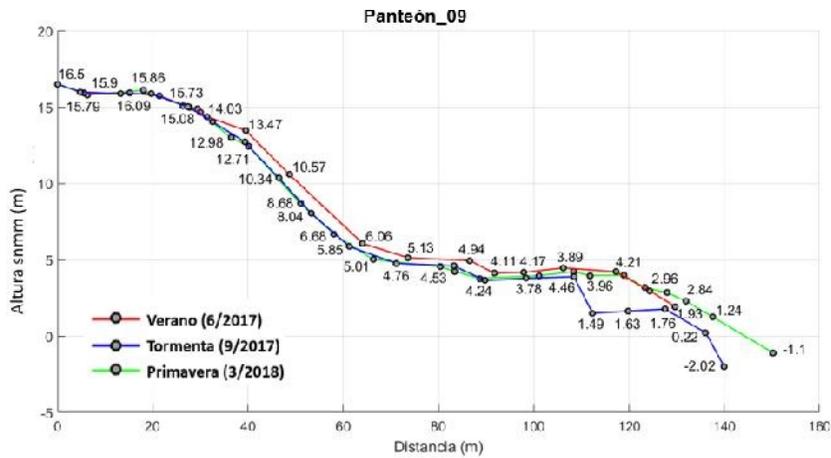


Fig 7. Perfil topográfico playa Panteón_09 en diferentes temporadas del año (Verano, Tormenta y Primavera).

9.1.2 Bahía San José del Cabo

En la bahía San José del Cabo se distinguen varias subceldas (Serna, 2018) según las características físicas que posee la zona. La interpretación de los perfiles topográficos (Figura 8 y 9) se desarrolló teniendo en cuenta estas características. En la primera subcelda (de norte a sur) se encuentran las playas Laguna N y Laguna S. Se observaron características similares como dunas altas y pendientes empinadas en ambas playas. Tras el paso de la tormenta Lidia mantuvieron un comportamiento bastante estable sin muchos rasgos de erosión. Sin embargo, en el período representativo de primavera las playas experimentaron un proceso de acumulación de sedimento hacia la cara de la playa y la berma, y ganaron más de 10 m de ancho. Además, se observaron dos bermas: la de tormenta con pendiente empinada y una berma actual.

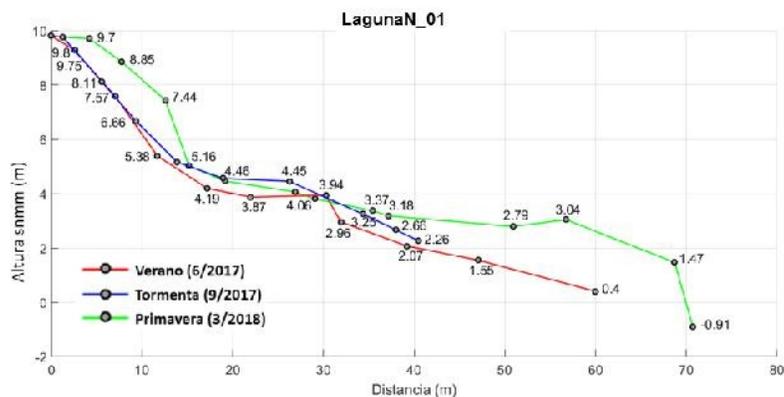


Fig 8. Perfil topográfico playa LagunaN_01 en diferentes temporadas del año (Verano, Tormenta y Primavera).

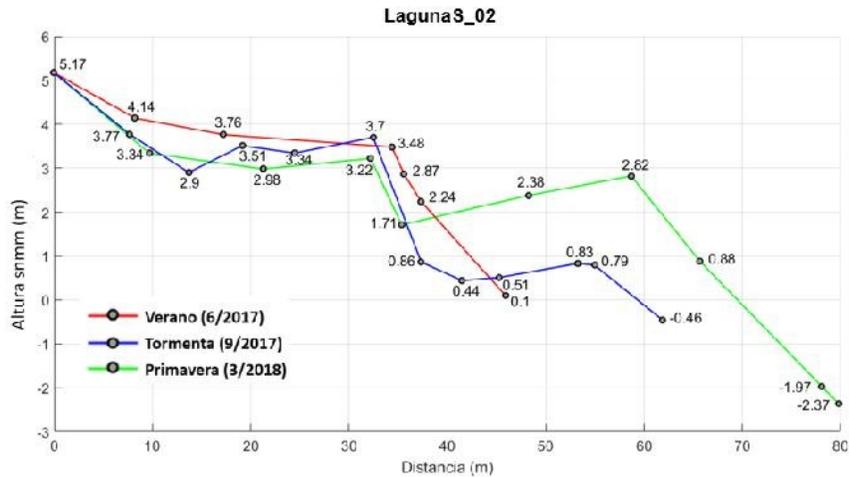


Fig 9. Perfil topográfico playa LagunaS_02 en diferentes temporadas del año (Verano, Tormenta y Primavera)

Las playas Salinita_04 y el Ranchito_05 presentan una pendiente empinada y la incidencia de la energía del oleaje es moderada. Tras el paso de la tormenta Lidia ambas playas se erosionaron, pero la playa Salinita_04 fue la más afectada, perdiendo mayor cantidad de sedimento, posteriormente para la época de primavera, la cara de la playa en ambos sitios mostró signos de recuperación, manteniendo la berma de tormenta (Figuras 10 y 11).

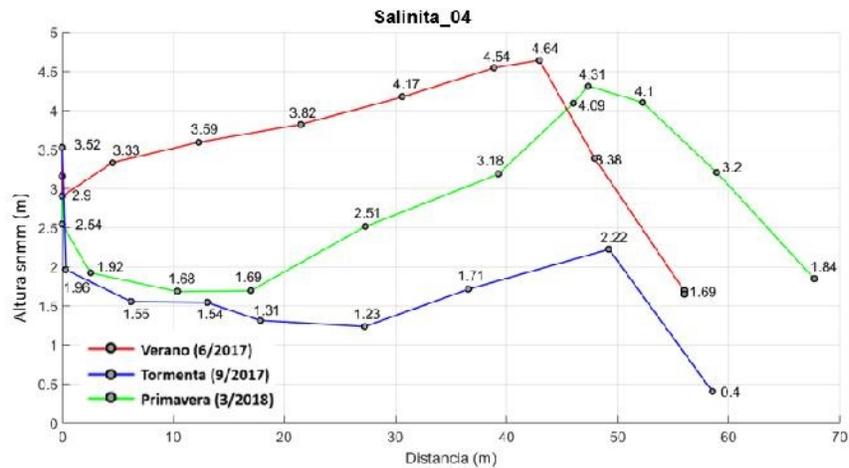


Fig 10. Perfil topográfico playa Salinita_04 en diferentes temporadas del año (Verano, Tormenta y Primavera).

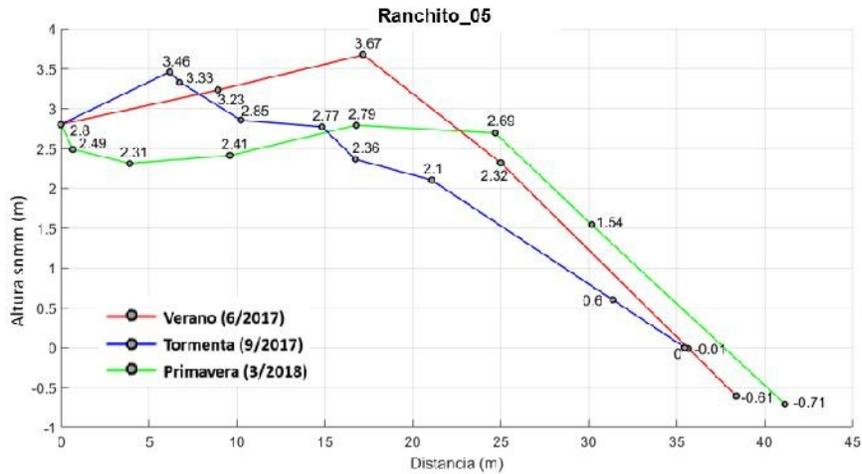


Fig 11. Perfil topográfico playa Ranchito_05 en diferentes temporadas del año (Verano, Tormenta y Primavera).

Las playas Choya_07 y Playitas_08 fueron las zonas más erosionadas tras el paso de la tormenta. Ambas playas presentan una pendiente muy empinada y la incidencia del oleaje es moderada. En el caso de la playa Choya_07 se observa una berma de tormenta (actual) muy bien marcada, pero posteriormente mostró rasgos de recuperación con un crecimiento de 10 m aproximadamente. Playitas_08 fue el sitio donde se observó la mayor erosión, con pérdida considerable de sedimento; y tras realizar el último muestreo se observó que esta área no se recuperó totalmente. (Figuras 12 y 13.).

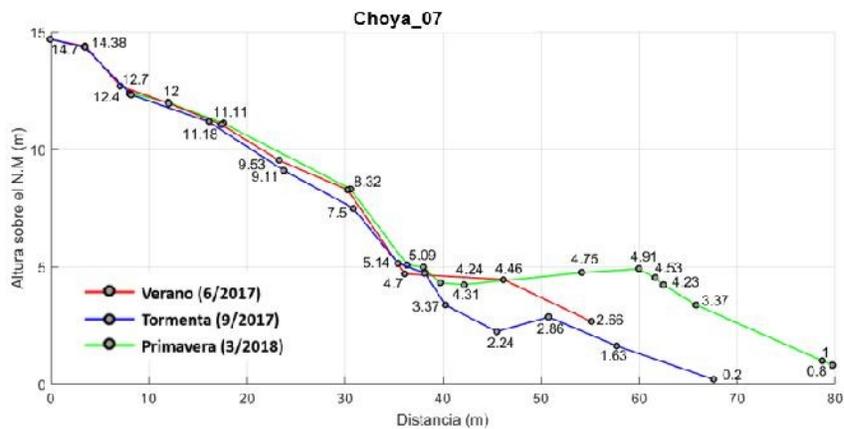


Fig 12. Perfil topográfico playa Choya_07 en diferentes temporadas del año (Verano, Tormenta y Primavera).

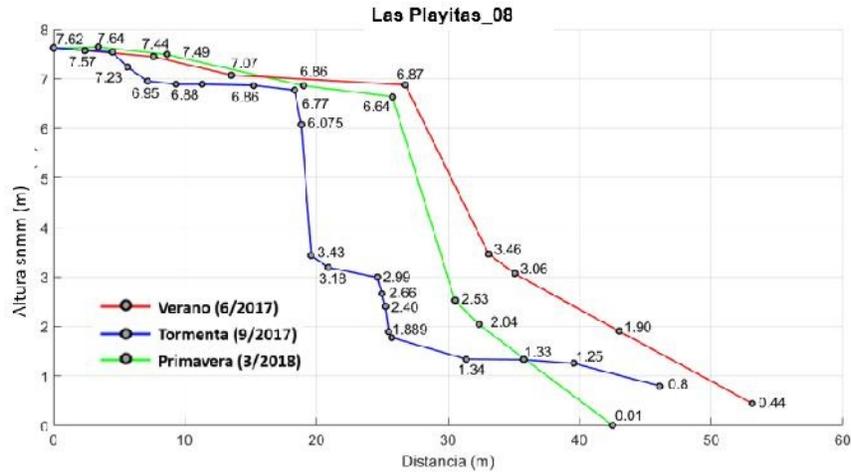


Fig 13. Perfil topográfico playa Playitas_08 en diferentes temporadas del año (Verano, Tormenta y Primavera).

Hacia el extremo sur de la bahía se realizaron los perfiles topográficos en las playas Delta N_09 y Zalate_11. Estas playas tras el paso de la tormenta Lidia modificaron su perfil en la cara de la playa, mostrando pérdida de sedimento y experimentando un retroceso de la línea de costa de más de 5 m. En los perfiles realizados para Primavera se observó una recuperación significativa de las playas, logrando ampliarse más de 20 m (Figuras 14 y 15).

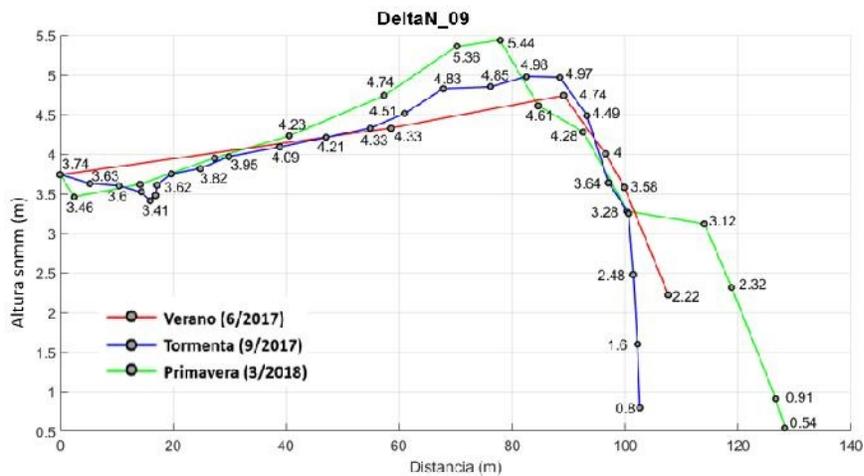


Fig 14. Perfil topográfico playa Delta N_09 en diferentes temporadas del año (Verano, Tormenta y Primavera).

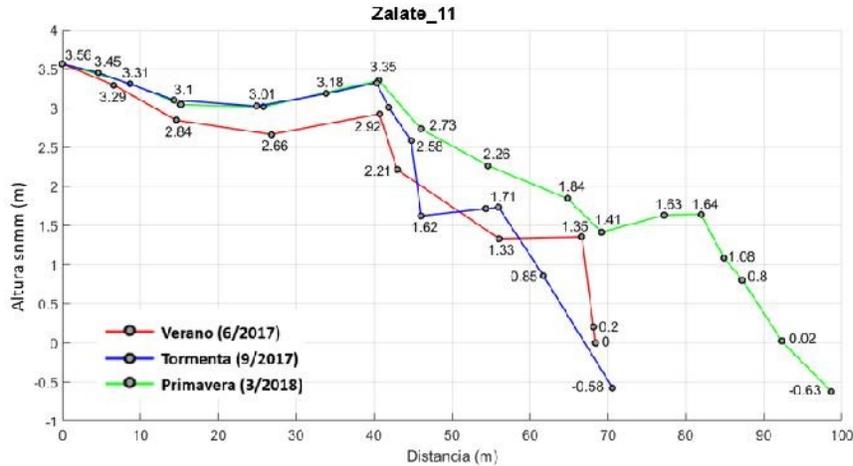


Fig 15. Perfil topográfico playa Zalate_11 en diferentes temporadas del año (Verano, Tormenta y Primavera).

9.1.3 Características de las Playas

Se analizaron los parámetros de pendiente, ancho y tipo de playa, así como presencia o no de dunas litorales y además se estimó el grado de impacto que se observaba sobre el sistema playa-duna, obteniendo de esta manera un cuadro resumen de todas las características mencionadas. (Tabla 2.). Las pendientes de las playas de la bahía San Lucas mostraron una tendencia al aumento, con excepción de la playa Amor_03, que disminuyó su pendiente. En la Bahía San José del Cabo la mayoría de las playas aumentaron su pendiente, con excepción de playa Ranchito_05 y Choya_07 que disminuyeron su pendiente conforme a la evolución del muestreo. En el parámetro de ancho de las playas para la bahía San Lucas hubo un comportamiento similar en las playas, pues no se observaron diferencias representativas, con excepción de playa Amor_03 que para la temporada Tormenta aumentó considerablemente su ancho en casi 10 m. En la bahía San José del Cabo la mayoría de las playas aumentaron su ancho, Ranchito_05 se mantuvo estable y en el caso de Playitas_08 se observó que para Primavera disminuyó su ancho. La longitud de las playas varió de 200 a 2792m correspondiendo a El Amor_03 y Panteón_09 respectivamente.

Tabla 2. Cuantificación de los parámetros: pendiente (θ), ancho (m) y longitud (m) de las playas de las bahías San Lucas y San José del Cabo en diferentes temporadas del año (V: Verano, T: Tormenta y P: Primavera).

Playas	Pendiente (°)			Ancho (m)			Longitud (m)
	V	T	P	V	T	P	
San Lucas							
Amor_03	7.02	4.56	3.89	26.06	37.47	28.66	37.04
Esmeralda_06	5.21	5.4	5.05	45.74	43.02	45.50	200
Médano_08_	6.48	7.09	6.90	32.45	35.58	32.63	1159
Panteón_09	6.98	10.35	11.3	152	130	140	2792
San José del Cabo							
LagunaN_01	5.0	9.2	13.29	46.26	40.52	70.74	1683
LagunaS_02	5.08	10.20	11.25	64.48	61.89	79.81	962
Salinita_04	8.07	11.10	11.85	55.98	60.58	68.67	1049
Ranchito_05	12.05	8.55	10.0	38.39	35.46	41	1645
Choya_07	12.02	8.30	10.45	55.18	68.99	79.75	1438
Playitas_08	7.83	5.02	11.30	53.12	74.2	42.49	621
DeltaS_10	4.72	6.02	12.90	107	102.63	128.33	2914
Zalate_11	6.38	9.15	5.85	68.75	70.57	98.65	1736

En la Tabla 3 se clasificaron las playas de ambas bahías de acuerdo a los siguientes parámetros: pendiente, amplitud, presencia de dunas, tamaño del sedimento (arena), tipo de playa, impacto y observaciones. Las playas de la bahía San Lucas se clasificaron según su pendiente en: empinadas, es el caso de Amor_03 y Panteón_09, que son las playas más expuestas, mientras que Esmeralda_06 y el Médano_08 presentan pendiente suave y moderadamente suave, respectivamente. Todas son playas angostas y hay presencia de dunas solo en Médano_08 y Panteón_09. Predominan las arenas gruesas y son playas abiertas, menos Esmeralda_06 que es de bolsillo. Presentan fuerte impacto Esmeralda_06 y Médano_08, por la construcción de hoteles, restaurantes y espigones en esta zona.

En la Bahía de San José del Cabo todas las playas presentan pendientes empinadas, son anchas y hay presencia de dunas, menos Playitas_08 que es angosta y la duna fue eliminada. Se caracterizan por presentar arenas medias y gruesas. Todas las playas son abiertas y presentan impacto fuerte y moderado por la construcción sobre la duna y la presencia de un espigón.

Tabla 3. Caracterización de las playas teniendo en cuenta pendiente, amplitud, presencia de dunas, tamaño del sedimento (TS), tipo de playa, impacto y observaciones de las bahías San Lucas y San José del Cabo.

Playa	Tipo	TS(arena)	Amplitud	Pendiente	Duna	Impacto	Observaciones
CSL							
Amor	Bolsillo	Gruesa	angosta	Empinada	Ausencia	Leve	Turismo
Esmeralda	Bolsillo	Media	angosta	Suave	Ausencia	Fuerte	Espigón; turismo
Médano	Abierta	Gruesa	angosta	Moderado-suave	Presencia	Fuerte	Hoteles, Restaurantes
Panteón	Abierta	Gruesa	ancha	Empinada	Presencia	Leve	Senderismo
SJC							
LagunaS	Abierta	Gruesa	ancha	Empinada	Presencia	Moderado	Cuatrimotos
Salinita	Abierta	Gruesa	ancha	Empinada	Presencia	Fuerte	Construcciones
Ranchito	Abierta	Gruesa	ancha	Empinada	Presencia	Moderado	Construcciones
Choya	Abierta	Media	angosta	Empinada	Presencia	Fuerte	Espigón y cuatrimotos
Playitas	Abierta	Media	angosta	Empinada	Eliminada	Fuerte	Espigón
DeltaN	Abierta	Gruesa	ancha	Empinada	Presencia	Fuerte	Espigón
Zalate	Abierta	Media	ancha	Empinada	Eliminada	Fuerte	Construcciones

9.2 Análisis sedimentológico

9.2.1 Bahía San Lucas

Uno de los principales factores físicos que contribuyen a modificar la zona costera es el tipo de material que presentan las playas, de ahí la importancia de realizar estudios sedimentológicos de las mismas. El análisis del tamaño de grano en la bahía San Lucas mostró que los valores promedio se encuentran entre $0.02 - 1.21 \Phi$, con excepción de la playa Médano_08 que presentó un valor de -0.25Φ . La desviación estándar tuvo un comportamiento bastante homogéneo para todas las muestras oscilando entre $0.413 - 0.63 \Phi$, que corresponden a las playas Médano_08 y Panteón_09, respectivamente. La estimación del sesgo mostró el valor mínimo (-0.043Φ) en playa Médano_08 y el valor máximo (0.591Φ) en playa Amor_03.

Tabla 4. Parámetros texturales del sedimento en el ambiente de playa en bahía San Lucas.

	San Lucas	Media (Φ)	Desv.Est. (Φ)	Sesgo(Φ)
Verano	Amor_03	0.02	0.545	0.591
	Esmeralda_06	1.21	0.540	0.043
	Médano_08	0.44	0.413	-0.043
	Panteón_09	0.30	0.627	0.000
Tormenta	Amor_03	0.09	0.431	0.330
	Esmeralda_06	1.07	0.552	0.303
	Médano_08	-0.25	0.421	0.568
Primavera	Amor_03	0.10	0.54	0.08
	Médano_08	0.61	0.48	0.21
	Panteón_09	0.85	0.63	0.18

En la figura 16 se puede observar la media del tamaño de grano en las muestras de playas de la bahía San Lucas, donde según la clasificación de Folk (1966) se encuentran entre arenas gruesas y medias para los tres períodos muestreados. Únicamente la playa Médano_08 presenta arenas muy gruesas en el periodo de Tormenta.

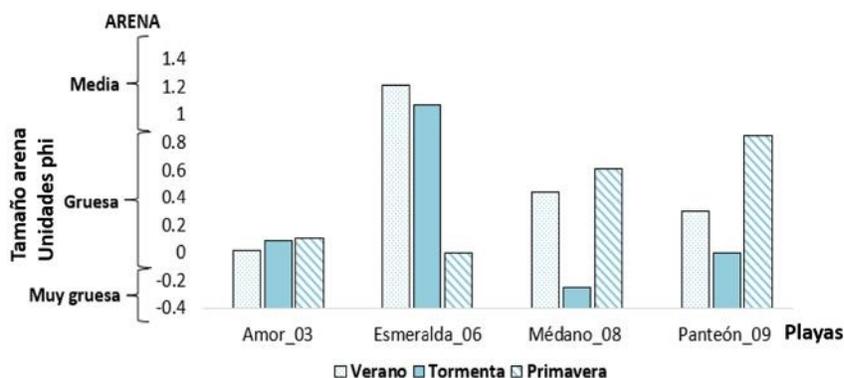


Fig 16. Media del tamaño de grano y clasificación del tamaño de arena según Folk (1966): Media ($1 - 2 \Phi$), Gruesa ($0 - 1 \Phi$) y Muy gruesa ($-1 - 1 \Phi$) en diferentes temporadas del año (Verano, Tormenta y Primavera) en la bahía San Lucas.

Se analizó la relación entre los parámetros sesgo y desviación estándar, y de acuerdo a la clasificación de Folk (1966) la mayoría de las playas de la bahía San Lucas se encontraron moderadamente bien seleccionadas, excepto las playas Medano_08 y Amor_03 en la estación

Tormenta que fue bien seleccionada. Además, se observa una tendencia hacia los sedimentos finos en todas las playas de la bahía en las estaciones de Tormenta y Primavera, mientras que para Verano hay cierta tendencia a la simetría, con excepción de playa Amor_03.

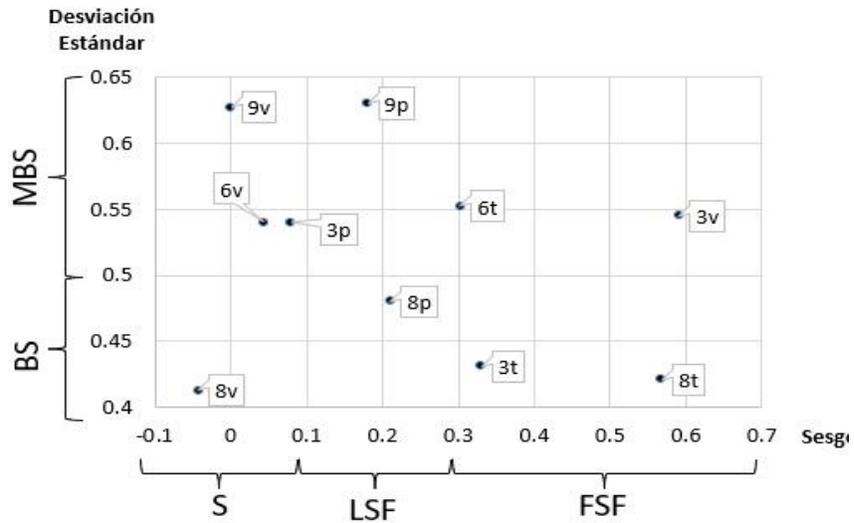


Fig 17. Relación entre la desviación estándar (Φ) y el sesgo (Φ) de las playas en la bahía San Lucas en el período de Verano (3v, 6v, 8v y 9v), Tormenta (3t, 6t y 8t) y Primavera (3p, 8p y 9p).

9.2.2 Bahía San José del Cabo

El análisis del tamaño de grano para las playas en San José del Cabo mostró que los valores medios se encuentran entre 0.05-1.27 Φ , con excepción de la playa Delta S_10 que presentó un valor de -0.19 Φ . La desviación estándar tuvo un comportamiento bastante homogéneo para todas las muestras oscilando entre 0.52-0.77 Φ , lo que corresponde a las playas Ranchito_07 y Delta N_09, respectivamente. La estimación del sesgo presentó el valor mínimo (-0.72 Φ) en la playa Choya_07 y el valor máximo (0.33 Φ) en playa Delta N_09. (Tabla. 5.)

Tabla 5. Parámetros texturales del sedimento en el ambiente de playa en bahía San José del Cabo.

	San José del cabo	Media(Φ)	Desv.Est (Φ)	Sesgo(Φ)
Verano	DeltaN_09	1.28	0.56	0.20
	DeltaS_10	0.56	0.63	0.29
	Choya_05	1.27	0.58	0.12
	Ranchito_07	0.66	0.54	0.12
	Salinita_04	0.40	0.58	0.03
	LagunaS_02	0.24	0.53	0.14
Tormenta	DeltaN_09	0.07	0.77	0.33
	DeltaS_10	-0.19	0.69	0.29
	Choya_05	1.49	0.66	-0.72
	Ranchito_07	0.05	0.67	0.10
	Salinita_04	0.21	0.58	0.25
	LagunaS_02	0.09	0.65	0.005
Primavera	DeltaN_09	0.62	0.66	0.14
	Choya_05	1.25	0.58	0.21
	Ranchito_07	0.49	0.52	0.04
	Salinita_04	0.35	0.59	0.04
	LagunaS_02	0.68	0.55	0.04

De acuerdo con la clasificación de Folk (1966) las arenas gruesas dominan en todas las playas en San José del Cabo, le suceden las arenas medias encontradas en Delta N_09 y la Choya_07; y solo en la estación de Tormenta la playa Delta S_10 presentó arenas muy gruesas. (Fig 18.)

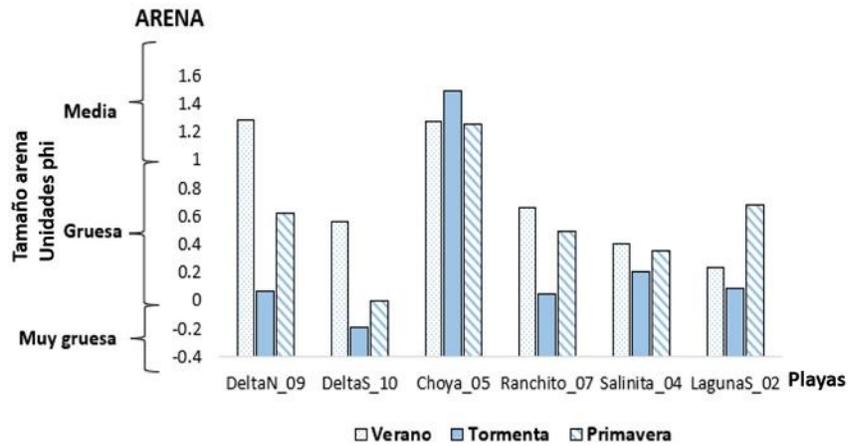


Fig 18. Media del tamaño de grano y clasificación del tamaño de arena según Folk (1966): Media ($1 - 2 \Phi$), Gruesa ($0 - 1 \Phi$) y Muy gruesa ($-1 - 1 \Phi$) en diferentes temporadas del año (Verano, Tormenta y Primavera) en la bahía San José del Cabo.

Se analizó la relación entre los parámetros sesgo y desviación estándar, y de acuerdo a la clasificación de Folk (1966) se encontró que la mayoría de las playas de San José del Cabo se encontraron moderadamente bien seleccionada, únicamente la playa Delta N_09 en la estación de Tormenta presentó una moderada selección. Además, los sedimentos presentan una tendencia ligeramente sesgada hacia los finos y a la simetría; con excepción de playa Ranchito_07 que presentó una tendencia fuertemente sesgada a los gruesos. (Figura 19.)

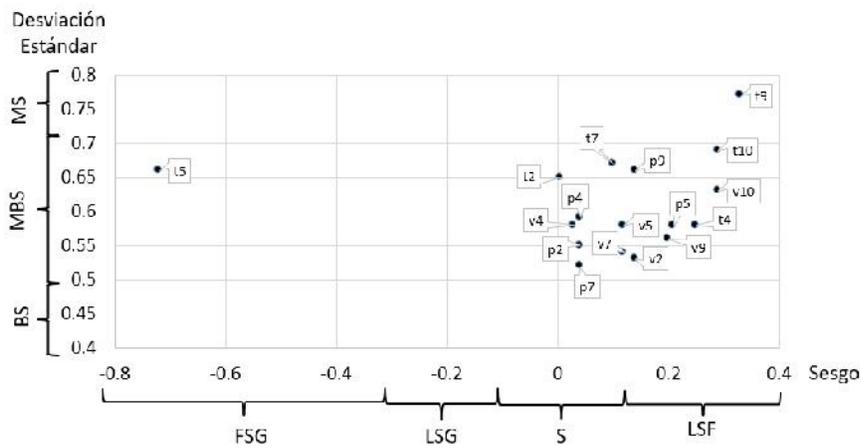


Fig 19. Relación entre la desviación estándar (Φ) y el sesgo (Φ) de las playas en la bahía San José del Cabo en el período de Verano (2v,4v,5v,7v,9v y 10v), Tormenta (2t,4t,5t,7t,9t y 10t) y Primavera (2p,4p,5p,7p y 9p).

9.3 Mineralogía

9.3.1 Técnica de Conteo

Esta técnica se desarrolló para las muestras tomadas en ambiente de playa en el primer muestreo realizado correspondiente a la temporada de verano. Se identificaron 300 granos y se clasificaron los minerales de cuarzo, feldespatos, fragmentos de roca y biogénicos. Debido a que no se observaron feldespatos por esta técnica, no se incluyeron en la tabla

El comportamiento de la distribución mineralógica en las playas de la bahía San Lucas fue similar, presentaron predominio de cuarzo todas las playas, le sucedieron los minerales opacos y en menor proporción fragmentos de roca y fracción biogénicos (Tabla 6).

En la bahía San José del Cabo las playas Laguna N_01, Laguna S_02, Salinita_04, Ranchito_5 y Zalate_11 presentaron un predominio de cuarzo con más del 60% en todas las muestras, en menor medida se presentaron los minerales opacos y fracción de roca. La composición mineralógica de las demás playas Ranchito_07, Playitas_08 y DeltaN_09 difirió del resto de las playas de la bahía, pues del 70 al 90 % corresponde a minerales opacos y en menor proporción hay presencia de cuarzo y fracción de roca (Tabla 6).

Tabla 6. Técnica de Conteo para las muestras de playa en las bahías San Lucas y San José del Cabo. Qz: cuarzo, Op: opacos, FR: fragmentos de roca, FB: fragmentos biogénicos.

Playas	Qz	MO	FR	B
El Amor_03 CSL	230	60	10	0
Esmeralda_06 CSL	259	27	12	0
Médano_08 CSL	213	53	18	7
Panteón_09 CSL	200	90	10	0
LagunaN_01 SJC	195	88	11	5
LagunaS_02 SJC	211	60	29	0
Salinita_04 SJC	201	94	5	0
Ranchito_05 SJC	219	72	9	0
Choya_07 SJC	42	259	0	0
Las Playitas_08 SJC	54	212	19	6
DeltaN_09 SJC	100	185	10	5
Zalate_11 SJC	192	104	4	0

9.3.2 Difracción de Rayos X

Al analizar las muestras de berma para las playas de la bahía San Lucas a partir de la de difracción de Rayos X, se obtuvo que los minerales predominantes fueron cuarzo, y los feldespatos: albita y anortita. En la bahía San José del Cabo predominaron los mismos minerales, presentándose en menor medida ilmenita en las playas Choya_07 y Playitas_08 y no se observó presencia de cuarzo en estas dos playas. En el caso de las muestras de Arroyo se observó presencia de cuarzo y los feldespatos: albita, flogopita y microclina (Tabla 7). Los feldespatos no se observaron por la técnica de conteo, sin embargo si se presentan en este análisis. Los feldespatos se presentan en los arroyos locales y se infiere que, por su baja dureza, el oleaje de alta energía en la cara de la playa los fragmenta a tamaños pequeños y el oleaje y las corrientes los transportan a zonas de menor energía, entonces también dependiendo en que parte del perfil de muestreo se pueden o no se pueden encontrar estos minerales.

Tabla 7. Composición mineralógica por Difracción de Rayos X para muestras de berma y arroyo en las bahías San Lucas y San José del Cabo. Qz: cuarzo, Fld: feldespato, Plag: plagioclasa, Mng: Manganocummingtonita

Bahía	Playa	Ambiente depósito	Qz	Feld. Albita	Feld. Anortita	Feld. Flogopita	Feld. Microclina	Plag. Andesina	Ilmenita	Mng	Mica Moscovita
SL	Amor	Berma	*	*	*						
SL	Esmeralda	Berma	*	*	*						
SL	Médano	Berma	*	*				*			
SL	Panteón	Berma	*	*	*						
SJC	Laguna Sur	Berma	*	*	*						
SJC	Ranchito	Berma	*	*	*						
SJC	Choya	Berma	*						*	*	
SJC	Playitas	Berma							*		*
SJC	Delta Sur	Berma	*		*				*		
SJC	La Laguna	Arroyo	*	*		*					
SJC	La Salinita	Arroyo	*	*			*				

9.3.3 Fluorescencia de Rayos X

Esta Técnica se realizó en los laboratorios de geología de la Universidad de Guanajuato se aplicó para las muestras de berma de todas las playas estudiadas de ambas bahías y para los 2 arroyos.

Validación del método: Estándar de referencia MESS-3.

Los porcentajes de recuperación obtenidos del estándar MESS-3, se presentan en la figura 20.

Los resultados muestran un buen porcentaje de recuperación en donde el silicio (Si), el hierro (Fe), el zinc (Zn) y el itrio (Y) presentaron valores cercanos al 100 %, siendo el itrio (Y), el que presento valores más cercanos (105%), por lo que se consideró a este elemento para normalizar las concentraciones de los elementos analizados (Al, Ca, Fe, Ga, K, Mg, Mn, Na Pb, S, Si, Sr, Ti, Zn) en las muestras de sedimento del presente estudio.

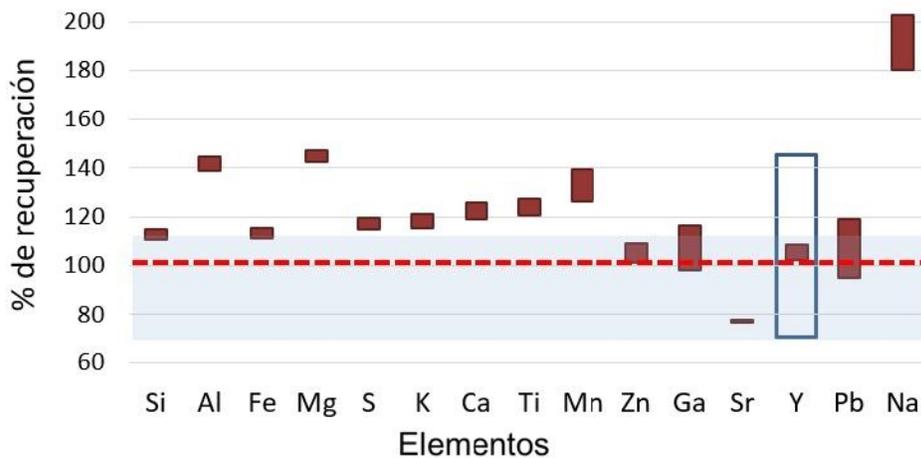


Fig 20. Porcentaje de recuperación del estándar de referencia MESS-3.

Para la determinación de elementos se trabajó con el Itrio como normalizador ya que presentó un porcentaje de recuperación muy cercano al 100 %, los elementos más utilizados en estudios de esta índole son el Al, Sr o Fe pues se presentan más en la corteza terrestre

De acuerdo con la clasificación de Marmolejo-Rodríguez (2011) y González-Soto, (2017) al analizar el Factor de Enriquecimiento Normalizado (FEN) los elementos manganeso (Mn), aluminio (Al), azufre (S), calcio (Ca), titanio (Ti), magnesio (Mg), hierro (Fe), zinc (Zn), galio (Ga) presentan un FEN bajo (0-3) y los elementos silicio (Si), potasio (K), estroncio (Sr), plomo (Pb) y sodio (Na) presentaron un FEN moderado (3-10) como se observa en la figura 21.

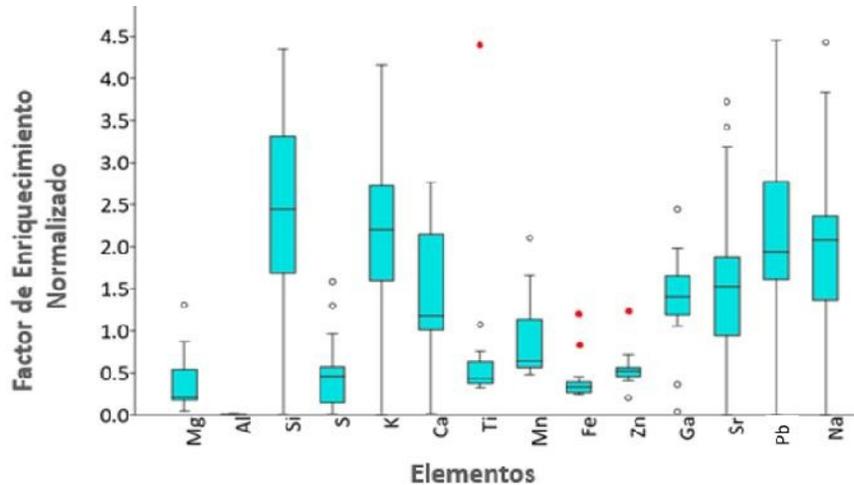


Fig 21. Valores de los factores de enriquecimiento normalizados de los componentes en sedimentos de playa de las bahías San Luca y San José del Cabo

9.4 Petrografía de láminas delgadas

Esta técnica se aplicó en muestras de dunas correspondientes al cordón de duna frontal que se localiza al noreste de la bahía San José del Cabo, sobre las playas LagunaS_02, Salinita_04, Ranchito_07 y Playitas_08. Se extrajeron 7 bloques de arenas y uno de roca correspondientes a la parte superior e inferior de la duna para de esta manera conocer el grado de compactación y la resistencia a la erosión de esta duna.

La duna correspondiente al extremo noreste de la bahía (P_02 superior e inferior) es alta de 25 – 28m aproximadamente y se considera de tipo remontante, desarrollada sobre basamento rocoso sedimentario de depósito de playa (Serna, 2018). La duna presenta arbustos en el tope y en sotavento, lo cual indica una duna parcialmente estabilizada, aunque el barlovento esta incipientemente estabilizado por pastos y en partes muestra duna antigua, es compacta lo que indica que está en proceso de erosión. Las demás muestras de duna se extrajeron varios kilómetros más al sur; la P_05 superior e inferior, corresponde a una duna frontal con una pendiente muy pronunciada, presenta arbustos en la sima por lo que se considera una duna semi-estabilizada y en la base presenta rasgos de erosión. La muestra P_07 corresponde a una duna alta de 15 m aproximadamente, presenta escasa vegetación hacia barlovento y hay presencia de un escarpe que se infiere fue originado por el Huracán Odile en septiembre del 2014. En la sima de la duna se localiza un hotel que llega a impactar el frente de la duna. Las ultimas muestras

corresponden a P_08 superior e inferior las cuales se tomaron en una duna alta y pendiente muy pronunciada, muy escasa vegetación y muestra rasgos erosivos.

El análisis de las láminas delgadas mostró los siguientes parámetros: el tamaño de grano varió de 0.1-1.0 mm (arena muy fina a muy gruesa), encontrándose los valores mínimos en la muestra de duna “P-07 Duna”, y los máximos valores en las muestras de duna “P-02 Superior” y “P-07 Duna”. En el caso de la redondez/esfericidad el 70 % de las muestras corresponden a Angular con Baja Esfericidad (ABE). La porosidad de las muestras varió de 0.4-1.0 %, la mayor porosidad se encontró en P-06 Superior, P-07 Duna y P-7 Roca. Los materiales cementantes encontrados fueron hematita y calcita, siendo hematita dominante en el 75 % de las muestras. Se observaron ocho minerales, siendo el cuarzo el más común, ya que se encontró en todas las muestras. Otro mineral con alta frecuencia fue el feldespato y los menos comunes fueron clorita y anfíboles (Tabla 8).

Tabla 8. Análisis de Láminas delgadas. Parámetros: Tamaño de grano, Redondez/Esfericidad, Porosidad, Cemento y Minerales. Redondez/Esfericidad: Sub-redondeados con Baja Esfericidad (SBE), Sub-redondeados-angular con Baja Esfericidad (SaBE), angular con baja esfericidad (ABE), muy angular (MA). Corroborado con microscopía electrónica (*)

Muestras Dunas	Tamaño grano (mm)	Redondez/ Esfericidad	Porosidad (%)	Cemento (%)	Minerales (%)
P-02 Superior	0.5 – 1.0	SBE	0.5	Hematita 5 Calcita 5	Cuarzo 40 Fracción Roca 50 Plagioclasa 5
P-02 Inferior	0.5	SaBE	0.8	Calcita 15	Cuarzo 40 Feldespato 50
P-05 Superior	0.5	ABE	1	Hematita 10 Calcita 5	Cuarzo 35 Feldespato 60 Minerales Opacos 10 Clorita 1
P-05 Inferior	0.5	ABE	0.4	Hematita 5 Calcita 3	Cuarzo 30 Feldespato 60 Plagioclasa 5 Minerales Opacos 10
P-07 Duna*	0.1 - 1.0	MA	1	Hematita	Cuarzo 50 Feldespato 40 Minerales Opacos 10 Fracción Roca 5
P-08 Superior*	0.2 – 0.4	ABE	0.5	Hematita 2	Feldespato 30 Anfíboles 5 Clorita 3 Minerales Opacos 2 Plagioclasa 5 Cuarzo 65
P-08 Inferior	0.2 – 0.4	ABE	0.4	Hematita 2	Feldespato 30 Anfíboles 5 Minerales Opacos 2 Cuarzo 60
P-07 Roca	0.5 -1.0	SBE	1	Calcita	Cuarzo 75 Feldespato 15 Minerales Opacos 5

9.5 Cambio del uso de suelo

Se realizó un análisis de interpretación del cambio de uso de suelo en el sistema playa duna en los años 1994-2004 y 2014 en las bahías San Lucas y San José del cabo con el uso de imágenes del Google Earth. Se digitalizó de forma manual el área que correspondió a dunas costeras, aunque ya estuviese impactado antropogénicamente.

9.5.1 Bahía San Lucas

La Bahía San Lucas como se observa en la figura 22 para el año 1994 se encontraba en condiciones naturales casi en su totalidad, sus playas prístinas demuestran el grado de conservación de la región en estos años. En la figura 23 se observa que ya para el año 2004 la parte central y sur de la bahía presenta zonas donde comienzan a desarrollarse las construcciones urbanas, desarrollo hotelero y presencia de caminos y veredas para la circulación de cuatrimotos para actividades recreativas sobre la duna; ya para el año 2014 en la región central y sur de la bahía la superficie original de la duna había desaparecido parcial y totalmente en la playa el Médano_08 por la construcción de hoteles y restaurantes sobre la duna y berma de la playa.



Fig 22. Cambio de uso de suelo, Bahía San Lucas año 1994.



Fig 23. Cambio de uso de suelo, Bahía San Lucas año 2004.



Fig 24. Cambio de uso de suelo, Bahía San Lucas año 2014.

9.5.2 Bahía San José del Cabo

La Bahía San José presenta un cordón de dunas extenso en la parte norte y sur de la misma, siendo interrumpido por la presencia del estero San José, como se observa en la figura 25 correspondiente al año 1994 cuando la duna y playa aun se mantenía en condiciones naturales. En la figura 26 se observa la presencia del cordón de duna para el año 2004 presentándose la parte sur con un cambio de uso de suelo producto a las construcciones sobre la duna, esta es la región con mayor desarrollo urbano y turístico para este año; ya para 2014 (Figura 27) toda la parte central y sur de la duna presentó fuerte desarrollo antropogénico sobre la duna, construcción de hoteles, restaurantes, caminos y la presencia de un espigón que conllevó al desarrollo urbano en esta zona.

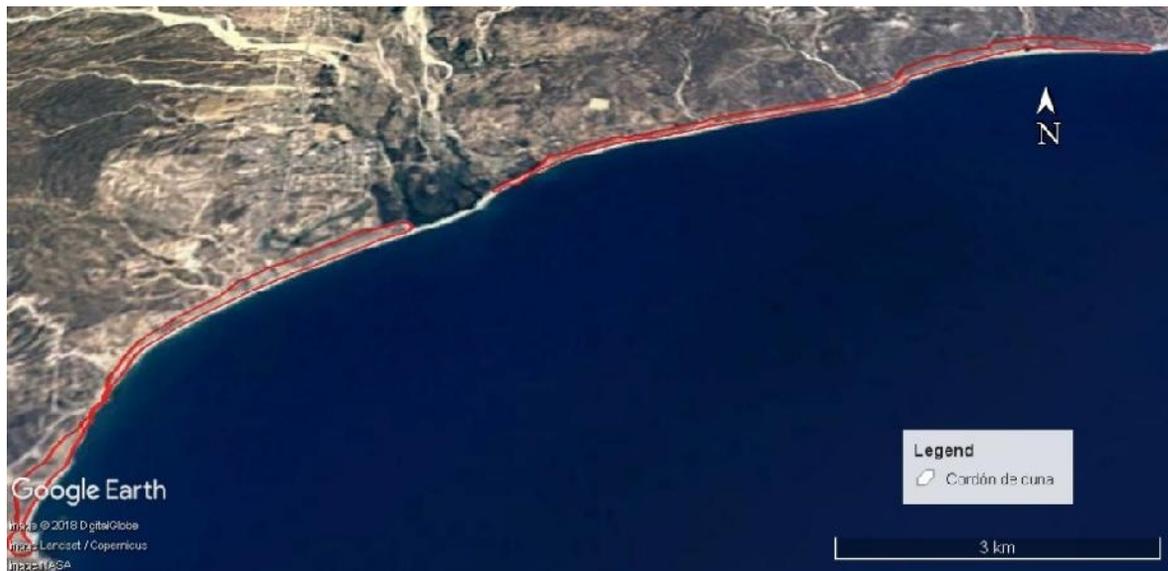


Fig 25. Cambio de uso de suelo, Bahía San José del Cabo año 1994.

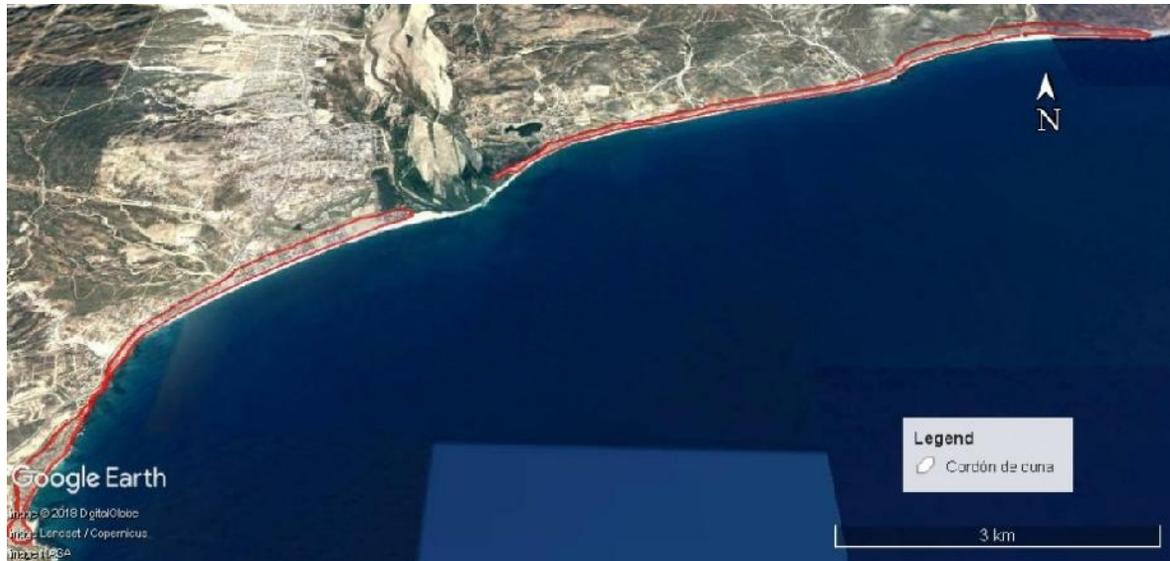


Fig 26. Cambio de uso de suelo, Bahía San José del Cabo año 2004.



Fig 27. Cambio de uso de suelo, Bahía San José del Cabo año 2014.

9.6. Influencia de Tormentas y huracanes en las bahías San Lucas y San José del Cabo

Durante los últimos 30 años la zona costera de Baja California Sur se ha visto afectada por la ocurrencia de fenómenos naturales como son tormentas y huracanes. En la tabla 9 se muestra una relación de los ciclones tropicales que han impactado el área de estudio teniendo en cuenta sus características físicas desde la década de 1990 hasta la actualidad. En las tres décadas estudiadas 1990, 2000 y 2010 el área fue impactada por tormentas y huracanes con categoría de 1- 4 en la escala Saffir-Simpson según la intensidad de los vientos.

Tabla 9. Huracanes y tormentas que impactaron Las Bahías San Lucas y San José del Cabo en las décadas 1990, 2000 y 2010. Categoría de huracanes: 1, 2, 3, 4 y Tormenta (T)

Año	1990	2000	2010	
	Categoría	Categoría	Categoría	
Nombre	Hilary	3	Georgette	T
	Isis	1	Javier	T
	Ismael	1	Juliette	T
	Lidia	2	Lidia	T
	Rachel	T	Lorena	T
	Rosa	1	Newto	1
	Calvin	2	Odile	4
	Fausto	1	Paul	2
	Flossie	1	Elida	1
	Greg	1	Henriette	1
	Henriette	2	Ignacio	2
			Ileana	3
			Iselle	3
			Ivo	1
			John	4
			Juliette	1

Representación Cartográfica de las trayectorias de las tormentas y huracanes.

Al realizar la representación cartográfica de la sección correspondiente a las trayectorias de los fenómenos naturales (huracanes y tormentas) que impactaron directa o indirectamente el área de estudio se observó que para la década de 1990 hubo 11 fenómenos naturales que impactaron las Bahías San Lucas y San José del Cabo, de ellos solo Calvin, Greg y Henriette tocaron territorio peninsular y los demás afectaron de forma indirecta por la velocidad de los vientos y/ por el régimen de precipitaciones (Figura 28). La década de 2000 fue más activa, pues de 16 fenómenos naturales, 5 impactaron de forma directa en la zona costera del área de estudio (Figura 29) y para la última década analizada solo se tomaron los 7 fenómenos que impactaron el área por su alcance e intensidad, y de ellos 4 afectaron directamente en el área de estudio (Figura 30).

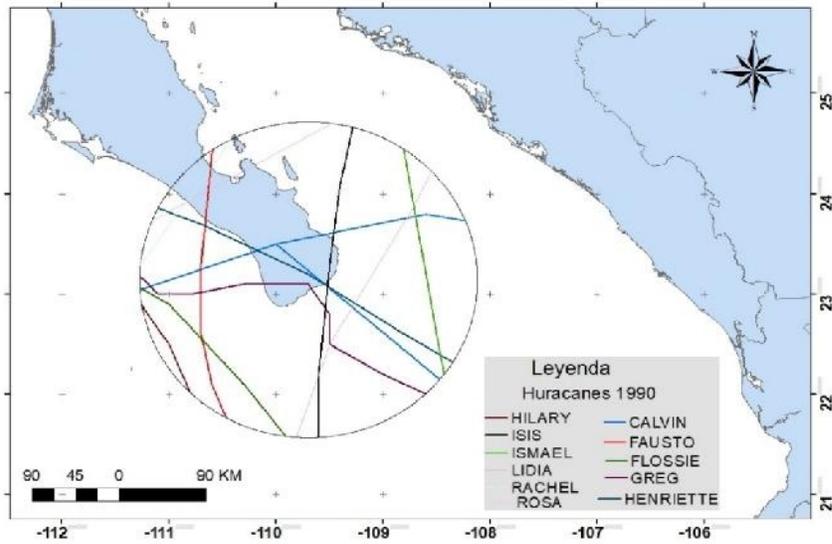


Fig.28. Representación cartográfica de tormentas y huracanes en el área de estudio en la década de 1990.

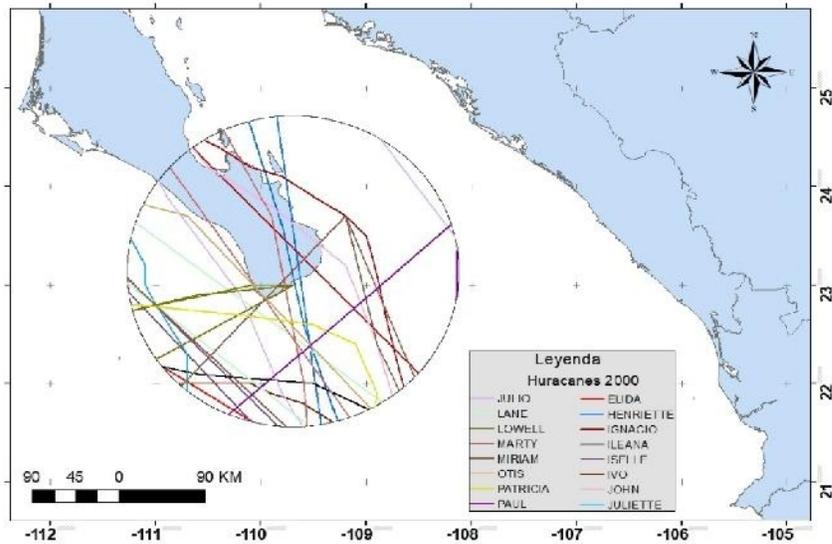


Fig 29. Representación cartográfica de tormentas y huracanes en el área de estudio en la década de 2000.

4.5

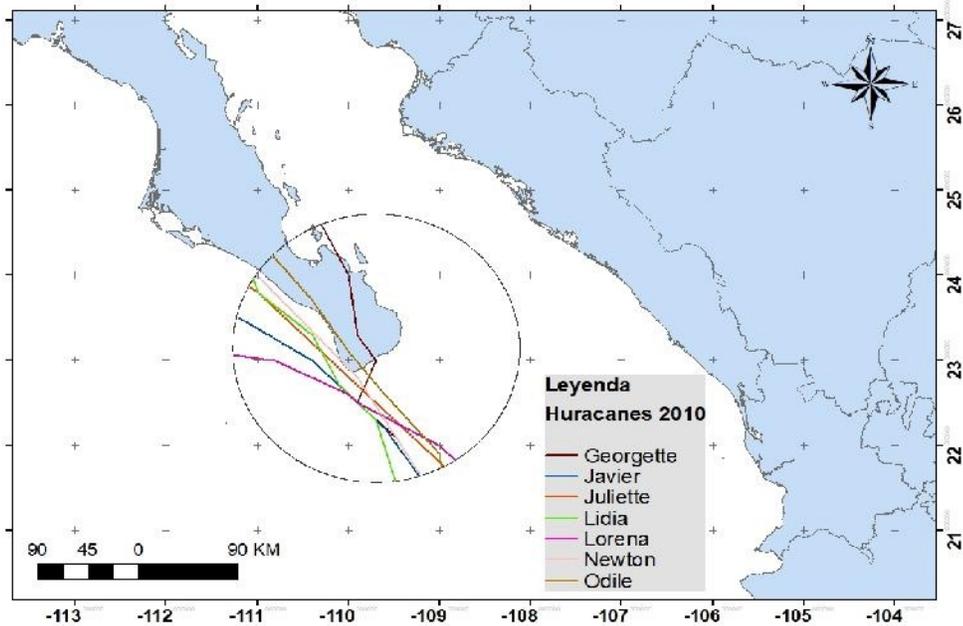


Fig 30. Representación cartográfica de tormentas y huracanes en el área de estudio en la década de 2010.

9.7 Modificación de la línea de costa

9.7.1 Bahía San Lucas

Para observar la modificación de la línea de costa durante los últimos años se trabajó en el procesamiento de las fotografías aéreas de 2004 y 2014, donde se digitalizó manualmente la línea de costa. A partir de esta información se generaron mapas donde se observan la modificación de la línea de costa (Figura 31), demostrándose que para 2014 hay un retroceso de la línea de costa a lo largo de toda la bahía, con excepción de la zona que se localiza en el extremo noreste que casi se mantuvo sin variación. En la imagen se observa que para ambos años analizados hay una acumulación de sedimento en la zona norte del espigón. Además, se distingue cierto lóbulo de acumulación de sedimento en la sección media de la bahía producto a la descarga de sedimentos del arroyo el Salto. En la playa El Amor_03 que se encuentra en la zona más expuesta al Pacífico, para 2004 se observa que apenas hay playa, ya para el 2014 se observa una playa más amplia y extensa.



Fig 31. Variación de la línea de costa, Bahía San Lucas años 2004-2014. Línea verde 2004 y la roja 2014.

9.7.3 Bahía San José del Cabo

Para el año 2004 en la línea de costa de la bahía San José se observa una marcada acreción de la playa frente al estero San José, generada por el movimiento de la barrera arenosa hacia el mar. En la zona suroeste de la bahía San José del Cabo la línea de costa para 2014 experimentó un retroceso desde Punta Palmilla hasta zonas aledañas al estero San José, mientras que frente al estero se observó un avance hacia tierra de la línea de costa, pues se puede inferir que la playa estaba regresando a la posición que tenía antes (su posición original). Mientras que en la cercanía inmediata de la parte sur del espigón se observa para 2014 acumulación de sedimento por lo que la línea de costa en este pequeño trayecto tendió al retroceso. Al norte del espigón ocurre lo contrario pues se evidenció un avance hacia tierra de la línea de costa, se perdió varios metros de playa en esta área; esta tendencia se mantuvo a lo largo de la costa menos en la primera subcelda de la bahía pues no se observan mayores cambios en la celda litoral respecto a la línea de costa de 2004.

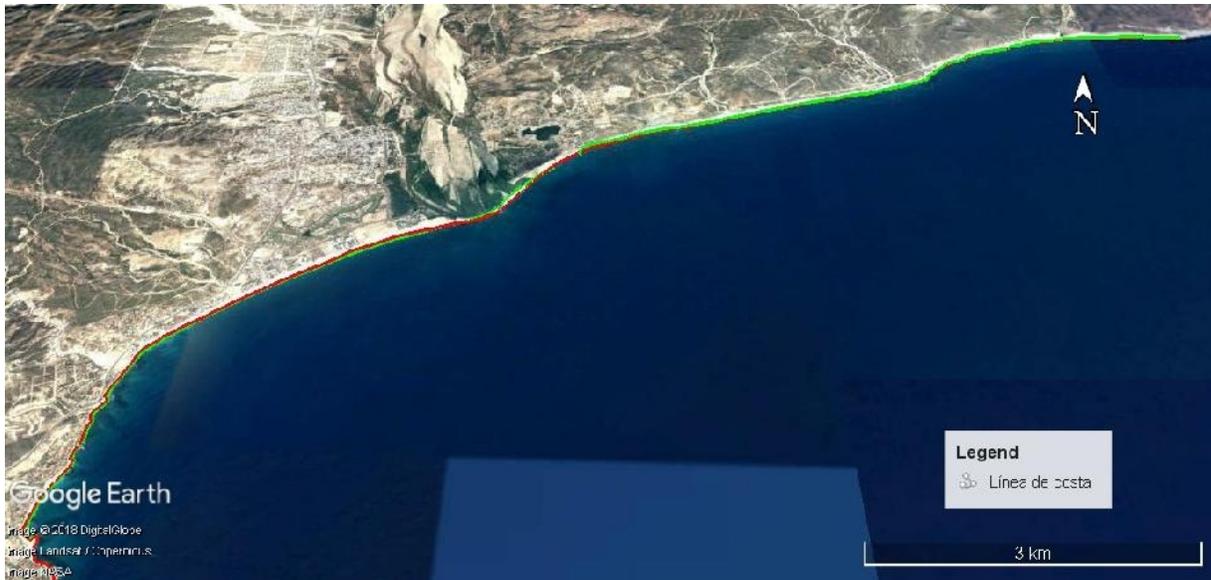


Fig 32. Variación de la línea de costa, Bahía San José del Cabo años 2004-2014. Línea verde 2004 y la roja 2014

9.8 Dinámica Litoral

9.8.1 Bahía San Lucas

La bahía se encuentra delimitada por dos salientes graníticas, al noreste por Cabo Bello y al sur por el Cabo San Lucas. Estas salientes juegan un papel importante en la dinámica del oleaje que arriba a la bahía y al mismo tiempo controlan la entrada y salida de sedimento por las corrientes litorales.

El principal aporte de sedimento de la bahía lo constituyen los sedimentos provenientes del Arroyo El Salto. La zona más expuesta al oleaje es la parte Noreste de la bahía, por lo que la pendiente de la playa es más empinada que las demás y presenta una berma alta con respecto al nivel del mar, mientras que en la zona más interna la energía de oleaje es de moderada a baja y tiene pendiente más suave. Además, en la parte sur de la playa el Médano hay una acumulación de sedimento producto del trasporte litoral en dirección sureste que queda atrapado por el espigón (Figura 33)

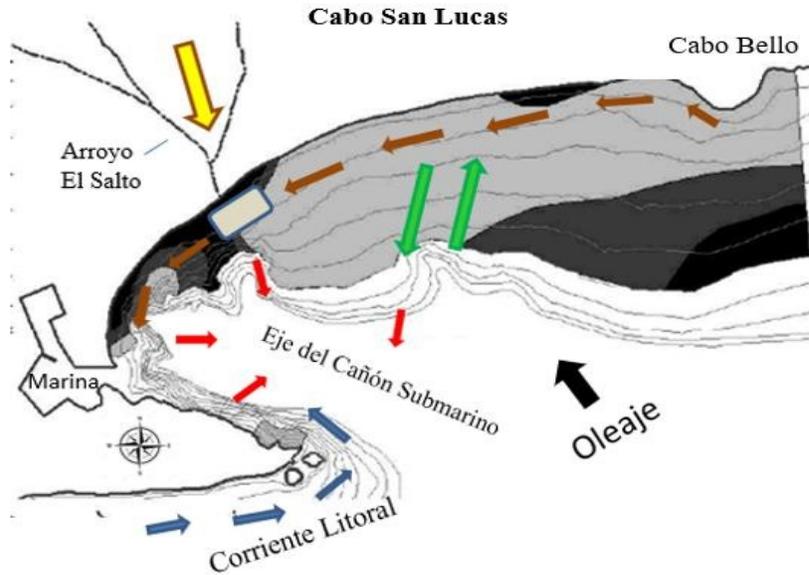


Fig 33. Mapa conceptual de la dinámica sedimentaria en el litoral de la bahía San Lucas.

9.8.2 Bahía San José del Cabo

La bahía San José del Cabo está ubicada en la zona de transición entre un ambiente de alta energía, el océano Pacífico, y otro de baja energía, el Golfo de California, predominando el primero (Nava Sánchez *et al.*, 1994). En las playas de dicha zona, se presenta erosión y acreción en diversos puntos. Estos fenómenos se han acrecentado con el paso de los años por causas naturales y antrópicas.



Fig 34. Mapa conceptual de la dinámica litoral de la bahía San José del Cabo.

I. DISCUSIÓN

10.1 Geomorfología del sistema playa duna.

Las bahías San Lucas y San José del Cabo presentan playas arenosas muy dinámicas. Los perfiles en un momento específico, presentan el equilibrio dinámico del movimiento de sedimentos. La duración de estos movimientos varía desde unas pocas horas por tormentas o huracanes, hasta meses por las variaciones meteorológicas estacionales.

En la bahía San Lucas los procesos de erosión y acreción se evidenciaron en los perfiles playa-duna, se sugiere que hay varios patrones estacionales en el aporte de sedimento realizado a la playa y duna. En la playa El Amor_03 se mostró una acumulación de sedimento durante el periodo de Tormenta y la erosión en el periodo de Primavera. La acumulación ocurrió tras el paso de la tormenta Lidia, producto al aporte de sedimento producido por el oleaje que incidió en esa dirección y facilitó la acumulación de sedimento en poco tiempo ya que esta playa está ubicada en la zona más cercana al océano Pacífico y recibe el oleaje de alta energía. Además El transporte litoral de sedimento de Cabo Falso es de gran importancia para el abastecimiento de la playa Amor en Bahía San Lucas (Murillo *et al.*, 2005). La erosión está determinada por la incidencia del fuerte oleaje del Pacífico en los meses de octubre a febrero, pues el oleaje de alta energía remueve la arena de la pendiente de la playa y de la berma, provocando la disminución del ancho de la playa e iniciando así un proceso erosivo.

En el caso de las playas Esmeralda_06, Médano_08 y Panteón_09, se observó un patrón diferente, pues tras el paso inmediato de la tormenta Lidia todas las playas se erosionaron, aunque la mayor erosión la presentó Panteón_09 (4 m aproximadamente), por ser la más expuesta al fuerte e intenso oleaje de tormenta. Esto ocasionó que se creara una nueva berma de tormenta, aunque simultáneamente a ello la playa creció varios metros se tornó más amplia. En la playa el Médano_08 se observó una leve acumulación de sedimento en la parte alta de la cara de la playa asociado a la descarga de sedimento aportada por el arroyo El Salto. Mientras que para el período de primavera las playas ya presentaban rasgos de recuperación, esto nos indica que la arena que fue transportada fuera del sistema durante el huracán, hacia la parte interna de la plataforma, regresa a su lugar original es el caso de Panteón_09 que fue la que más se ha recuperado, las playas se están recuperando de manera natural de la erosión provocada por la

tormenta Lidia; todo ello a pesar de la fuerte presión que ejerce el impacto antropogénico en playa Esmeralda_06 y Médano_08, siendo favorecida la primera por la dirección del transporte predominante en esta bahía hacia el noreste y la segunda por el aporte de sedimento del arroyo.

En la bahía San José del Cabo, bahía más extensa que bahía San Lucas, con características geomorfológicas también diferentes, se observó una mayor variación en los perfiles de todas las playas en estudio. De acuerdo a Murillo et al., (2005), la cuenca de drenaje de San José del Cabo, está aportando principalmente sedimento a las playas hacia el norte de la boca del arroyo San José, y las playas al sur de la boca están siendo abastecidas principalmente por el transporte litoral proveniente del sur de esta bahía. En la subcelda norte los perfiles obtenidos de las playas LagunaN_01 y LagunaS_02 mostraron características similares, pues ambas experimentaron leve erosión tras el paso de la tormenta Lidia, esto se debe a la incidencia del oleaje de tormenta de alta energía y los fuertes vientos sobre la costa. Mientras que para primavera las playas mostraron recuperación, los sedimentos perdidos del sistema estaban siendo ganados nuevamente y además con el aporte de sedimento del arroyo La Laguna estas playas se tornan más amplias que en el primer muestreo realizado en mayo de 2017. Estas dos playas son expuestas al igual que Panteón_09 en San Lucas por lo que fueron igual de erosionadas, con la única diferencia que Panteón_09 presenta una berma más alta, lo que indica mayor erosión que las demás.

De acuerdo a la subcelda norte definido por Serna (2018), los perfiles en la playa Laguna (1 y 2), mostraron características similares, ambas presentaron poca erosión tras el paso de la tormenta Lidia, a pesar de la alta energía del oleaje y los fuertes vientos. Posteriormente esta playa mostró recuperación, con el aporte de sedimento de la cuenca de San José del Cabo y el arroyo La Laguna, presentando una mayor amplitud que en el primer muestreo realizado en mayo de 2017. Estas dos playas son expuestas al igual que la playa Panteón en Bahía San Lucas, por lo que fueron igual de erosionadas, con la única diferencia que la playa Panteón presenta una berma más alta, lo que indica la presencia de oleaje de alta energía.

Las playas Salinita_04 y Ranchito_05 mostraron mayor erosión que las anteriores, siendo la salinita más erosionada luego del paso de la tormenta Lidia, pues el gran caudal que alcanzó el arroyo La Salinita por las lluvias intensas de la tormenta afectó directamente a esta playa. Para el último muestreo realizado en primavera se observó que las playas se habían recuperado en la

parte de la cara de la playa, pero la berma de tormenta aún se percibe notablemente, además de observarse erosión en la base de la duna por el oleaje de tormenta.

Las playas Choya_07 y Playitas_08 fueron las zonas más erosionadas tras el paso de la tormenta, aunque después de 6 meses en el último muestreo se observó una pequeña recuperación. Las Playitas_08 fue la zona más afectada, se mostraron los mayores rasgos de erosión y aún no se ha recuperado, ello se debe a la presencia del espigón de la Marina Puerto los Cabos, que no permite el paso del sedimento, quedando todo el sedimento atrapado en la parte oeste del espigón y provocando severa erosión hacia el este del mismo. De acuerdo a Murillo et al., (2005), la cuenca de drenaje de San José del Cabo, está aportando principalmente sedimento a las playas hacia el norte de la boca del arroyo San José, y las playas al sur de la boca están siendo abastecidas principalmente por el transporte litoral proveniente del sur de esta bahía.

En la zona más suroeste de la bahía las playas DeltaN_09 y Zalate_11 experimentaron erosión en la cara de la playa luego del paso de la tormenta producto a la energía del oleaje de tormenta sin embargo, posteriormente para la época de verano se observó que fueron las playas con mayor recuperación, se tornaron mucho más amplias. Esto se debe al aporte de sedimento del arroyo San José provocado por las intensas lluvias que posteriormente fue distribuido por la corriente litoral.

En trabajos realizados por Nava (1994) y Serna (2018) se corrobora un comportamiento similar de los procesos de acumulación y erosión de sedimento en esta bahía, para diferentes años y con la influencia de fenómenos extraordinarios con características climatológicas distintas.

10.2 Sedimentología

Aunque la bahía de San Lucas es pequeña presenta una variedad de geoformas asociadas a procesos subaéreos y marinos, así como tectónicos. Por lo que tras obtener los resultados sedimentológicos para la bahía San Lucas se encontró que el sedimento en el ambiente de playa es de arenas medias a gruesas, y únicamente el Médano_08 en el muestreo de tormenta presentó arenas muy gruesas, esto es producto del aporte de sedimento descargado por el arroyo El Salto. La distribución de frecuencia de tamaño de grano muestra un ligero gradiente que disminuye de arenas gruesas a medias, de las salientes rocosas de la bahía hacia el interior, es decir, del área con mayor energía de oleaje a la zona más protegida de la bahía siendo las playas Esmeralda_06 y Médano_08.

Según Navarro 2006 el grado de selección del sedimento de playa tiende a ser mejor seleccionado en las playas adyacentes a las puntas y hacia las playas intermedias es menos seleccionado, en este caso no se observa un patrón claro, teniendo en cuenta esa zonificación a diferencia de la media del tamaño de grano.

Tras obtener los resultados sedimentológicos para la bahía San José del Cabo observamos que el sedimento en las playas es de arenas medias a gruesas también se observa un gradiente del tamaño del sedimento desde las zonas más protegidas (Zalte_11 y Ranchito_05) a las más expuestas. Únicamente el DeltaN_09 en el muestreo de tormenta y primavera presentó arenas muy gruesas, esto es producto del aporte de sedimento proporcionado por el arroyo San José. No se realizó este análisis para Las Playitas_08 pues no presentó berma cuando se realizó la campaña de muestreo. Las muestras analizadas presentaron una distribución moderadamente bien seleccionada y solo DeltaN_09 en el período de tormenta fue bien seleccionada, ello se debe a que la muestra poseía sedimento de arroyo proveniente del estero que es menos homogéneo que el sedimento de duna. Presentan una tendencia a la simetría y a los finos mayoritariamente ya que las muestras presentan arenas medias y gruesas, con excepción de la muestra Choya_05 en la estación de tormenta que presentó una tendencia fuertemente a los gruesos. Esto puede estar dado a la cercanía que posee la duna de la playa y por lo tanto tras el paso de la tormenta Lidia el viento y las precipitaciones pudieron acarrear el sedimento más fino a la playa. Estos parámetros de sedimentos obtenidos en los resultados concuerdan con lo descrito por Serna (2018) en julio de 2015.

10.3 Mineralogía

Los porcentajes en los minerales son relativamente similares en la berma, playa y duna, encontrando una predominancia de cuarzo. Este comportamiento se explica porque en la actualidad la playa está aportando material a los depósitos eólicos y por consiguiente la mineralogía es muy similar en ambos ambientes. En el caso de la bahía San Lucas el material de la playa está siendo aportado principalmente por el arroyo El Salto que se ubica al centro de la bahía y en San José del Cabo por los arroyos La Laguna y La Salinita que se ubican al norte. El cuarzo y feldespato se encontró tanto en los arroyos como en la playa y duna de ambas bahías. En el caso de Las Playitas_08 y la Choya_07 hay un predominio de ilmenita y en menor medida se presenta cuarzo, esto puede deberse a que son las playas más erosionadas y reciben mayor

impacto del oleaje arrastrando el material más ligero y dejando los más densos. La presencia del espigón restringe el transporte del sedimento, así como la presencia del cañón submarino. Sin embargo, las micas están casi ausentes en las playas y dunas del área de estudio, y al mismo tiempo forman parte importante en la composición de los arroyos, lo cual puede deberse a que por su forma de hojuelas las micas son fácilmente transportadas, y ya sea por el viento o el oleaje y las corrientes, éstos las podrían estar sacando del área de estudio, o bien las micas no están llegando a la zona costera y se están quedando en zonas más profundas. Este comportamiento es similar en el trabajo realizado por Vera. 2003 en Cabo Falso.

10.4 Fluorescencia de Rayos-X

Determinación de elementos

Según la clasificación de Marmolejo-Rodríguez (2011) y González-Soto (2017) se encontró un predominio de elementos con FEN bajo de 0-3 y solo 5 elementos con FEN moderado de 3-10.

Los resultados obtenidos demuestran que el comportamiento del FEN de los elementos analizados para las playas de ambas bahías presentaron concentraciones similares en el rango de bajo a moderado. Los elementos Si, K, Na, Sr y Pb fueron los que se presentaron con FEN moderado. El Si, K y Na son de los elementos que se encuentran predominantemente en la corteza terrestre, a diferencia del Sr y el Pb que no son de los elementos más comunes, siendo el Pb el que se presentó con las mayores concentraciones.

Todos los minerales con FEN moderado presentan concentraciones admisibles para la corteza terrestre, en caso del Pb a pesar que se encontró en condiciones admisibles es un mineral anómalo para el área de estudio. Comparando con los valores de Wedepol para este mineral tenemos que hay 8 muestras por debajo de 17, que es lo que se plantea como valores de la corteza, es por ello que en el cálculo de FEN se observó 8 muestras con valores de 0-2. Estas concentraciones de Pb en el área pueden deberse al fuerte impacto antropogénico que presenta la playa el Médano_08 que fue donde se registró las mayores concentraciones.

10.5 Cambio de uso de suelo

Bahía San Lucas.

La única parte del cordón de dunas que actualmente se encuentra bien desarrollado y preservado en la Bahía San Lucas, se localiza en su extremo noreste como se observaron en la figura 24; es una duna frontal antigua que tiene una longitud aproximada de 1200 m de largo y 360 m de ancho en su parte más amplia, el extremo norte es más angosta, con una altura de 12 a 20 msnm. Cerca de la punta noreste, el cordón es cortado por la descarga de dos arroyos pequeños, de tal manera que las características de las dunas cambian a partir de este punto y hacia Cabo Bello, la amplitud y la cobertura vegetal disminuyen considerablemente. La plataforma continental interna es más amplia en el este y disminuye hacia el oeste. La pendiente de la plataforma interna es de aproximadamente 1° con una extensión máxima de 1500 m, a una profundidad de 45 m. La vegetación es en general escasa y temporal en la parte del barlovento de la duna, mientras que en la cresta y sotavento es abundante, lo que le proporciona estabilidad. A diferencia de la parte central y sur de la bahía que presenta zonas donde ha desaparecido la duna total y parcialmente. En la imagen de 1994 se observan playas con poco impacto antropogénico, ya en 2004 la duna presenta zona donde ha habido cambio de uso de suelo, para la construcción de hoteles, restaurantes y caminos; mientras que para 2014 se observa fuerte impacto antropogénico llegando a causar pérdida total de la duna e impacto sobre la berma, la playa más afectada es el Médano_08 presentando daños severos de erosión que serán irreparables de forma natural, ya que la playa está perdiendo un aporte importante de sedimento que le proporcionaría la duna, por tanto durante los últimos años se ha abastecido de manera artificial. El cambio en el uso de suelo a favorecido la pérdida total de la duna en la zona central y ha provocado erosión a lo largo del cordón de dunas producto al acelerado desarrollo urbano y turístico que presenta la región. Además, se localiza un espigón al noreste de la playa Esmeralda_06 y una industria inactiva empacadora de peces, que impiden la estabilidad del sistema, además del impacto en la duna y en la playa activa, como es el restaurante El Mango, una parte de los hoteles que están al norte del Delta de El Salto, también están construidos sobre la trasplaya, como lo menciona también Navarro-Lozano, (2009) que en la trasplaya de El Médano, la duna frontal ha sido impactada por la construcción de hoteles y restaurantes.



Fig 34. Representación cordón de duna bahía San Lucas. Panteon_09 (a)

La bahía San Lucas a pesar de ser pequeña posee un comportamiento muy variable en su dinámica litoral; por su forma, ubicación y geomorfología. En ella se distinguen varios niveles energéticos de oleaje, la zona de alta energía que es la zona más expuesta al oleaje del Pacífico, como es Panteón_09 y Amor_03 con condiciones energéticas constantes del agente transportaste y la zona localizada al interior de la bahía playa Esmeralda_06 y Médano_08 donde la energía del oleaje se disipa y se refracta por la presencia del cañón submarino y por ello hay menor energía del transporte del sedimento. La cercanía del cañón a la línea de costa en el área central y sur de la bahía, así como la estrecha amplitud de la plataforma disminuyen la dispersión del sedimento aportado por el arroyo El Salto que es considerado la principal fuente de aporte de sedimento a la bahía. En la figura 33 se observa un lóbulo de sedimento producto a la descarga del arroyo, que es transportado en menor medida hacia la zona más protegida de la bahía donde queda atrapado por la presencia de un espigón. Navarro-Lozano (2009) encontró un comportamiento similar en años anteriores en el área de estudio, debido a que no ha ocurrido un fenómeno natural extraordinario que pueda alterar las características físicas y geomorfológicas del área de estudio. Otros estudios realizados por Kinsman (1965), Komar (1976) y Bird (2000), demuestran que la presencia de cañones submarinos modula el comportamiento del oleaje en el interior de las bahías, causando variaciones en la distribución de energía a lo largo de la costa.

Las dunas costeras están esencialmente en función de la fuente de aporte y del sedimento de la interacción duna-playa. Por lo tanto, el balance de sedimento entre la playa y la anteduna mantiene la morfología del sistema. Además, otro factor que juega un papel importante en este sistema es el transporte eólico de arena, que está en función del volumen de sedimentos

disponible en las playas, del tamaño y forma de la trasplaya y de la dirección del viento. Si consideramos la presencia de vegetación en la trasplaya, la cual sirve como una trampa para retener el sedimento, entonces las variaciones de los factores mencionados anteriormente, más la presencia de vegetación, determinarán la morfología de las dunas Navarro-Lozano (2006).

Bahía San José del Cabo

La bahía San José del Cabo mostró en las imágenes de 1994-2004 y 2014 un cambio de uso de suelo progresivo en cuanto a desarrollo urbano y turístico sobre la duna. Se identificaron tres cordones importantes de dunas en la bahía. El primero se extiende desde el extremo noreste de Punta Gorda hasta las proximidades de la Salinita_04. Esta duna se considera parcialmente estabilizada por la presencia de vegetación, aunque muestra duna secciones de duna antigua compactada, lo que indica que está en proceso de erosión. de Esta región se encuentra con impacto antropogénico moderado producto a la presencia de senderos provocados por el paso de cuatrimotos, caballos y personas. Aunque se considera la zona menos afectada pues mantiene la geomorfología natural de la duna (Playas LagunaN_01 y LagunaS_02, ver figura 35).



Fig 35. Representación del primer cordón de duna bahía San José del Cabo (I). LagunaN_01 (a) y LagunaS_02 (b)

El segundo cordón de dunas importante se extiende desde la zona de la salinita hasta el estero San José. Este ha sido interrumpido por la construcción de una marina, lo que provoca alteración en el cordón de duna, este impacto antropogénico en la zona de Las Playitas_08 ha ido erosionando y afectando el cordón de duna reciente hasta desaparecerlo. La zona que le sucede al norte donde se ubican las playas Choya_07, Ranchito_05 y Salinita también se encuentra con fuerte impacto sobre la duna por la construcción de hoteles, restaurantes y caminos. (Figura 36)

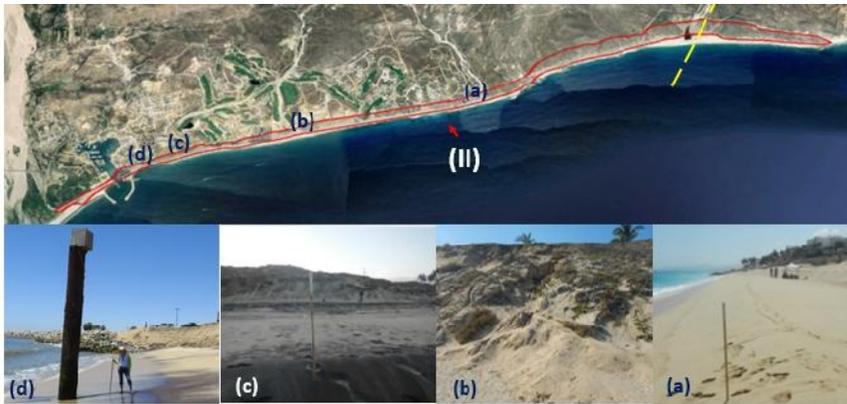


Fig 36. Representación del segundo cordón de duna bahía San José del Cabo (II). Salinita_04 (a), Ranchito_05 (b), Choya_07 (c) y Las Playitas_08 (d).

El tercer cordón de duna importante se localiza desde la parte sur del estero San José hasta la región sur del Zalate_11, aquí se localizan dicha playa y DeltaN_09 que se encuentran fuertemente impactadas por la construcción de hoteles, viviendas y caminos ocasionando la erosión de la duna, por lo que provoca modificaciones en su morfología, la playa DeltaN_09 que es la más cercana al espigón también se impactada por la marina (Figura 37).

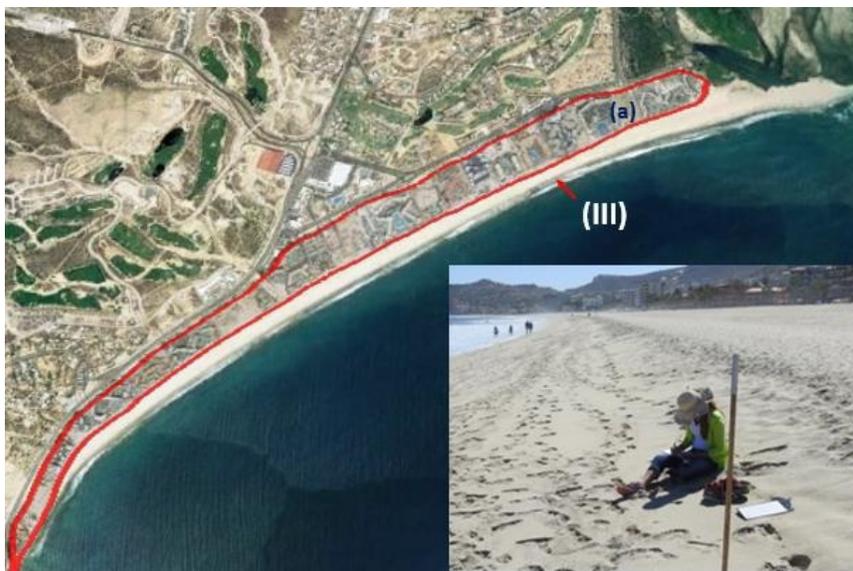


Fig 37. Representación del tercer cordón de duna bahía San José del Cabo (III). Zalate_11 (a)

En la zona costera de San José del Cabo no se han realizado estudios de este tipo a escala tan detallada, pero se evidencia una situación similar en el trabajo realizado por Berlanga-Robles *et al.* (2010) sobre el cambio de cobertura y uso de suelo en la costa norte del estado de Nayarit

donde se evidenció a partir del uso de imágenes satelitales y los SIG que se ha generado en las últimas décadas gran presión ambiental en esta región producto al crecimiento poblacional y la construcción de granjas. Lo que demuestra que las zonas costeras se están viendo afectadas por fuerte impacto antropogénico lo que deberá considerarse en futuros planes de desarrollo a nivel estatal y regional, a fin de armonizar este desarrollo con las políticas vigentes de crecimiento sustentable.

La bahía San José del Cabo es una zona de transición entre un ambiente de alta energía, el océano Pacífico, y otro de baja energía, el Golfo de California, predominando el primero (Nava Sánchez *et al.*, 1994). En el extremo noreste se localiza la LagunaN_01 y LagunaS_02 es la zona menos afectada antropogénicamente a pesar de ser más expuesta y presentar menos compactación, no se está viendo tan modificada por procesos naturales. Existen varios factores que alteran la dinámica litoral en esta zona como es la presencia de espigones en la zona central de la bahía, al norte del estero de San José, así como las características batimétricas y la presencia de un cañón submarino cerca de la costa. La presencia de estos dos obstáculos influencia el oleaje, alteran las corrientes litorales y, en el caso del cañón, funciona como un sumidero del sedimento aportado por la cuenca de drenaje, provocando su desplazamiento hacia mar profundo. La acción combinada del impacto antropogénico y de los procesos naturales están modificando el sistema playa-duna en el caso de las playas la Choya_07 y Playitas_08 la erosión ya alcanzó la duna muy antigua, marcada por una coloración que indica que ha estado en un proceso largo de oxidación, también indicada por una alta compactación, y aun así, presenta una intensa erosión. La presencia del espigón provoca la acumulación de sedimento en el sur de la bahía, favoreciendo el desarrollo de la playa DeltaN_09, aunque más al sur en el Zalate a pesar de ser una de las playas más protegidas, las dunas ya desaparecieron, pues hay construcción sobre ella. En investigaciones realizadas por Nava (1994) y Bañuelos (2017) se corrobora lo anteriormente planteado.

10.6 Línea de costa

La acción del oleaje es la causa principal de la mayoría de los cambios en la línea de costa. Sin la acción del oleaje los problemas de diseño en las estructuras costeras y de cambios en los procesos litorales serían menos importantes.

Bahía San Lucas

En esta bahía se observa que para 2014 hay un retroceso de la línea de costa a lo largo de toda la bahía, con excepción de la zona que se localiza en el extremo noreste que casi se mantuvo sin variación, pues esta zona aún mantiene una duna muy amplia y no se observa un alto impacto antropogénico, mientras que en la zona más protegida de la bahía donde se localizan las playas el Médano_08 y Esmeralda_06 hay un fuerte impacto antropogénico. En la figura 31 se observa que para ambos años analizados hay una acumulación en la zona norte del espigón producto al sedimento que queda atrapado por el espigón y a la vez por la dirección del transporte litoral. Además, se distingue cierto lóbulo de acumulación de sedimento en la sección media de la bahía producto a la descarga de sedimentos del arroyo el Salto, durante la ocurrencia de tormentas y huracanes que provocan fuertes lluvias, lo que hace que el aporte de sedimento modifique la línea de costa cada vez que hay un fenómeno natural extraordinario, posteriormente el oleaje redistribuye el sedimento y favorece el crecimiento de las playas.

Las variaciones en el ancho de playa tienen una dinámica anual muy activa que presentan ciclos de erosión y acresión que pueden resultar de periodos que pueden ser anuales o de ciclos climáticos de mayor duración. La playa El Amor_03 que se encuentra en la zona más expuesta al Pacífico presenta en 2004 una playa amplia y para el 2014 se observa una playa más pequeña. Pues tras el paso de las tormentas y huracanes se vió fuertemente afectada por la fuerte energía de oleaje del Pacífico. Pero en general esta playa no se ha mantenido estable a pesar de las variaciones estacionales ha experimentado erosión durante los últimos años.

Navarro Lozano (2009) resaltó que la línea de costa entre la desembocadura del arroyo el salto y la marina presenta partes afectadas por construcciones civiles y que el sur de la playa El Médano presenta un desarrollo máximo favorecido por el espigón, lo que se corrobora en nuestra investigación tras la interpretación de las líneas de costa para 2004 y 2014.

Bahía San José

En la Parte noreste de la bahía San José del Cabo se observa que para los años analizados las playas pertenecientes a esta sección como son LagunaN_01, LagunaS_02, Salinita_04 y Ranchito_05 las líneas de costas representadas no muestran muchas diferencias, teniendo en cuenta que las imágenes tomadas corresponden al mismo período del año. Aunque las variaciones en el ancho de playa tienen una dinámica muy activa y pueden experimentar

procesos de erosión o acreción producto a la dinámica anual, en ellas no se observó un patrón dominante, por lo que presentan como playas estables

En la zona suroeste de la bahía la línea de costa para 2014 experimentó un retroceso desde Punta Palmilla hasta el sur del estero San José, mientras que en frente al estero se observó un avance hacia tierra de la línea de costa. Esto se debe a que el aporte de sedimento que a través del estero además de ser transportado por la deriva litoral la gran mayoría se pierde, pues queda atrapado en el cañón submarino que se localiza en las proximidades de la línea de costa en esta parte de la bahía, además la playa estaba experimentando un retroceso a la posición que tenía antes del huracán Juliette en 2001. En el año 2004 se observó una marcada acreción de la playa frente al estero San José, generada por el movimiento de la barrera arenosa hacia el mar. Esto, causado por las descargas extremas del arroyo San José durante el paso del huracán Juliette en 2001. Este evento, como lo menciona Martínez-Gutiérrez y Mayer (2004), causó lluvias atípicas extremas en la región, aumentando la descarga de los arroyos. Esto provocó una ruptura de la barrera que divide el estero del mar y su desplazamiento hacia el océano. Mientras que en la cercanía inmediata de la parte sur del espigón se observa para 2014 acumulación de sedimento ya que el sedimento queda atrapado por el espigón, al norte de la marina ocurre lo contrario pues se evidenció un avance hacia tierra de la línea de costa, ya que el espigón interrumpe el paso del sedimento por lo que esta región presenta la mayor erosión en la bahía por el fuerte impacto antropogénico. Bañuelos (2015) analizó las variaciones en la línea de costa entre 1993 – 2014 en la zona de Las Playitas, así como que obtuvo la cuantificación en las áreas de erosión y acreción en esta zona, que es aledaña al delta del arroyo San José, lo cual coincide con lo planteado en esta investigación.

XI. CONCLUSIONES

1.- En la Bahía San Lucas las playas Esmeralda_06, Médano_08 y Panteón_09 se erosionaron tras el paso de la tormenta Lidia y en primavera mostraron recuperación, ocurriendo lo contrario en El Amor.

2.- En la Bahía San José del Cabo las playas LagunaN_01, LagunaS_02, Salinita_04, Ranchito_05, DeltaN_09 y Zalate_11 mostró erosión tras el paso de la tormenta Lidia y ya para el muestreo de Primavera todas se mostraron recuperadas. En la Choya_07 y Las Playitas_08 fueron las playas más afectadas tras el paso de la tormenta y no muestran rasgos de recuperación producto a la presencia del espigón que acentúa más la erosión.

3.- Bahía San Lucas mostraron un gradiente de disminución de tamaño de grano desde las playas más expuesta a las más protegidas. Con una distribución moderadamente bien seleccionada a bien seleccionada y con sesgo a la simetría y a los finos, exceptuando la playa el Médano_08.

4.- En bahía San José del Cabo los sedimentos variaron de arenas medias a gruesas en el periodo de estudio. Excepto DeltaN_09 presentó arenas muy gruesas tras el paso de la tormenta Lidia. Presentaron distribución moderadamente bien seleccionada con sesgo a la simetría y a los finos mayoritariamente.

5.- En la playa y la duna el cuarzo es el mineral dominante, seguido de los feldespatos y los anfíboles; las micas están presentes en una proporción mucho menor. Los arroyos presentan similar composición mineralógica, pero con un porcentaje notablemente mayor de micas. La alta energía de oleaje y la forma de este mineral probablemente sean los responsables de que las micas no permanezcan en la playa y duna.

6.- En ambas bahías la mayoría de los elementos presentan un FEN bajo y solo 5 de ellos tienen un FEN moderado. El único elemento anómalo fue el Pb encontrado en el Médano_08, aunque en proporciones admisibles que no ocasionan daños al ecosistema lo que podría estar asociado al uso intensivo de embarcaciones.

7.- En la bahía San Lucas hubo un cambio acelerado en el uso de suelo. En 1994 el cordón de dunas se encontraba casi totalmente en su ambiente natural, para 2004 estaba cubierto

parcialmente por construcciones y en 2014 la mayor parte de la duna y de la berma presentaron impacto antropogénico. Solo se mantiene sin mucha modificación la región noreste de la bahía.

8.- En la bahía San José del Cabo el cambio de uso de suelo se acentuó en la zona central y suroeste. En 1994 las dunas permanecían casi totalmente en su entorno natural, en 2004 se observó construcción leve sobre la duna y para 2014 se agudizó el impacto antropogénico en la región viéndose más afectada el área de Las Playitas_08 producto a la presencia de la marina.

9.- En la bahía San Lucas la línea de costa experimentó leve modificación hacia la zona sureste en el periodo 2004-2014; en la parte más interna se observó mayor modificación producto a la presencia de espigones que promovió erosión al sur y acreción al norte, mientras que El Amor_03, la más expuesta, presentó retroceso de la línea costa.

10.- En San José del Cabo, la línea de costa en la década de 2004-2014 presentó cambios mínimos, exceptuando en la barrera arenosa del estero San José, donde la erosión y acreción están relacionadas con la presencia de espigones.

11.- Las modificaciones geomorfológicas y las variaciones de la línea de costa ocasionadas por procesos naturales no afectan el ecosistema playa-duna a diferencia de factores antropogénicos que provocan daños irreversibles al sistema.

12.- El principal aporte de sedimento a la bahía San Lucas lo proporciona el arroyo el Salto. En San José esta función la realiza el arroyo San José y en menor proporción el arroyo La Laguna. En ambas bahías la presencia de los cañones submarinos reduce la dispersión del sedimento a lo largo de las playas.

XII. BIBLIOGRAFÍA

- Camacho-Valdéz, V., J. M. Murillo-Jiménez, E. H. Nava-Sánchez & C. Turrent-Thompson. 2008. Dune and Beach Morphodynamics at Cabo Falso, Baja California Sur, Mexico: Response to Natural, Hurricane Juliette (2001) and Anthropogenic Influence. *Jour. Coastal Res.*, 24 (3); 553-560
- CEPAL, (2002). La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar. División de recursos naturales. Pp.63
- Hernández, J.R., M. A. Ortiz, A.P. Méndez & L. Gama. 2008. Morfodinámica de la línea de costa del estado de Tabasco, México: tendencias desde la segunda mitad del siglo XX hasta el presente. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 4611 (65), 7-21.
- Juanes Martí, J. L. 2003. Diagnóstico de los Procesos de Erosión en las Playas Arenosas del Caribe. Agencia de Medio Ambiente. La Habana.
- López-Ramos, E. 1982. Geología de México. Instituto de Geología de la UNAM, 3ª. Ed., México, 454 p.
- Martínez M.L., P. Moreno-Casasola, I. Espejel, O. Jiménez-Orocio, D. Infante-Mata, N. Rodríguez-Revelo. 2014. Diagnóstico general de las dunas costeras de México. Comisión Nacional Forestal, México, D.F.
- Martínez, C. 2008. El efecto de ensenada en los procesos litorales de las ensenadas de Valparaiso, Algarroo y Cartagena, Chile Central. Tesis (magister en geografía) Universidad de Chile: p. 148-152.
- Martínez, M. L., P. Moreno-Casasola, I. Espejel, O. J. Orocio, D. I. Mata, N. R. Revelo & J. C. C. González. 2014. *Diagnóstico general de las dunas costeras de México*. SEMARNAT.
- Martínez-Gutierrez, G. & L. Mayer. 2004. Huracanas en Baja California y sus implicaciones en la sedimentación en el Golfo de California. *GEOS*, 24(1), pp. 57-64.
- Murillo-Jiménez, J. M., W. Full, E. H. Nava-Sánchez, V. Camacho-Valdéz & A. León-Manilla. 2007. Sediment sources of beach sand from the southern coast of the Baja California peninsula, Mexico-Fourier grain-shape analysis. *Special Papers-Geological Society of America*, 420, 297.
- Murillo-Jiménez, J.M., F. William, E. Nava Sánchez, V. Camacho Valdez & A. León Manilla. 2007. Sediment sources of beach sand from the southern coast of the Baja California peninsula, Mexico; Forier grain-shape analisis, 297-318. En: Arribas J. (Ed.) *Sedimentary Provenance and*

Petrogenesis: Perspectives from Petrography and Geochemistry. The Geological Society of America, 396 p.

Nava Sánchez, E. *et al.*, 1994. Beach profiles and their relation to waves and grain size at the southern tip of the peninsula of Baja California, Mexico. *Investigaciones Marinas CICIMAR*, 9(1), pp. 25-41.

Nava Sánchez, E. H., F. Salinas González, R. Cruz-Orozco, S. Rueda Fernández & L. Godínez Orta. 1994. Beach profiles and their relation to waves and grain size at the southern tip of the peninsula of Baja California, México.

Navarro Lozano, J. O., E. Nava Sánchez, E. Troyo Dieguez, & J. L. Cadena Zamudio. 2012. Tasas de erosión e índices geomorfológicos en tres cuencas costeras al sur de la península de Baja California, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 64(2), 229-241.

Navarro-Lozano, J. O., E.H. Nava-Sánchez, D. Troyo-Enrique, J. L. Cadena-Zamudio. 2012. Tasas de erosión e índices geomorfológicos en tres cuencas costeras al sur de la península de Baja California, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 64(2); 229-241

Navarro-Lozano, J.O. 2006, Caracterización sedimentológica y geomorfológica de los ambientes costeros en la Bahía San Lucas, Baja California Sur, México: La Paz, B.C.S., México, Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional, México; 144 p.

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

Nava-Sánchez, E.H., F. Salinas-González, L. Godínez-Orta, S. Rueda-Fernández, & R. Cruz-Orozco. 1994. Beach profiles and grain size on the tip of the peninsula of Baja California. *Inv. Mar. CICIMAR*, 9(1); 25-41.

Núñez Jiménez, A. 1984. *Litorales y Mares*. La Habana: Editorial Letras Cubanas.

Rodríguez, T., D. Sanabria & L. Navarro. 2003. Nuevos enfoques en el manejo de sabanas en los llanos orientales venezolanos. Centro de Investigaciones Agropecuarias del Estado Anzoátegui. *Rev. Divulga* N° 52. Disponible En: <http://www.ceniap.gov.ve/bdigital/fdivul/fd52/sabanas.htm>

Seco, R. 2004. *Geomorfología*. La Habana: Editorial Félix Varela.

- Semarnat (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) Manejo de ecosistemas de dunas costeras, criterios ecológicos y estrategias. Semarnat, México, D.F. (2013)
- Titus, J. 2006. Sea-Level Rise, Effect. Encyclopedia of Coastal Science. Washington
- Troyo, S. 2003. Oleaje de viento y ondas de infra-gravedad en la zona costera de Baja California Sur. Tesis de doctorado, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional, México; 239p.
- Gómez-Jimenez, A.M. 2012, Estudio del efecto de la fracción de ultrafinos, sobre el blanqueo de caolines, Tesis de Maestría, Universidad de Colombia, Facultad de Minas; 20p