

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA



Facultad de Ciencias Marinas



CARACTERIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS CANTILES EN BAHÍA COLONET, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO

Tesis

QUE PARA OBTENER TITULO DE

OCEANOLOGO

PRESENTA:

BRAVO CORTÉS LUIS MAURICIO

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA

FEBRERO, 2009

RESUMEN

Las costas presentan un ambiente muy dinámico que es afectado por diversos factores ambientales. Las salientes rocosas con altura de pocos metros hasta decenas y que delimitan el ambiente marino del terrestre, se les conoce como cantiles. Bahía Colonet es el lugar que se ha seleccionado para un mega proyecto portuario que estará dentro de los mayores en la cuenca del Pacífico y según dichos planes, será el puerto más grande de México. El área de estudio se encuentra expuesta al oleaje y los cantiles son fuente importante de material sedimentario al sistema litoral; el aporte de material, también va a depender de la época del año y eventos estacionales. El objetivo de este estudio fue clasificar los cantiles de Bahía Colonet por medio de sus características morfológicas y procesos erosivos, de acuerdo con la clasificación de Emery y Kuhn (1982). (De forma general se sabe que los agentes marinos afectan la parte de la base del cantil y los agentes subaéreos la parte superior (cresta)). Para realizar la clasificación de manera más práctica y efectiva; se dividió el área en dos: Zona Norte y Zona Sur. Debido a que los cantiles que bordean la bahía presentan diferentes características morfológicas, se tomaron fotografías, se midió la altura, se describió las capas sedimentarias que lo componen y se determinó el agente erosivo dominante. También se relacionó con el tipo de playa (reflectiva y disipativa) y rompiente (spilling, plunging y surging). Se presentaron cambios relevantes durante el periodo de muestreo 2007- 2008. Los cantiles presentaron mayor erosión en su base con socavado, indicando una dominancia en el agente erosivo marino sin embargo, la erosión subaérea también está presente. Las playas reflectivas se encuentran en la Zona Sur y corresponden a los cantiles que son afectados por el agente erosivo marino. Las playas disipativas están en la Zona Norte donde el agente erosivo predominante es el subaéreo.

CARACTERIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS CANTILES EN BAHÍA COLONET, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO

TESIS

QUE PRESENTA:

LUIS MAURICIO BRAVO CORTÉS

APROBADA POR:



DR. GUILHERMO E. AVILA SERRANO

Presidente del Jurado



DR. LUIS A. CUPUL MAGAÑA

Sinodal Propietario



DR. MIGUEL A. TELLEZ DUARTE

Sinodal Propietario

AGRADECIMIENTOS

Al proyecto de Caracterización Oceanográfica de la Zona Costera de Bahía Colonet, B.C.

A los integrantes del proyecto: Dr. Guillermo E. Avila Serrano y Dr. Luis Cupul Magaña. Y compañeros que ayudaron en la realización de este proyecto.

A mi sinodal Miguel A. Téllez Duarte por compartir su conocimiento para el desempeño de esta tesis.

A la Secretaria de Marina y Armada de México, por el trabajo en conjunto para fin del proyecto.

A mi abuelo Luis Cortés López por orientarme y enseñarme como ser ante las adversidades. Y por estar en todo momento conmigo.

A mi abuela Silvia Rodríguez Mora por sus oportunos y sabios consejos, que me han ayudado a tomar decisiones correctas.

A mi familia: Gaby, Silvia, Iris, Erick, Paula y Prof. Antonio que siempre me ha apoyado en mis decisiones, para poder lograr mis metas y hacer lo más importante, lo que me gusta.

A mis tíos Héctor, Edgar, Alberto y Rafael D., por su apoyo incondicional.

A todas esas personas que me han aceptado y me han tendido la mano en momentos difíciles de la carrera.

Generación Escaramujos y agregados, compañeros de casa, etc... Y que no por no escribirlos, quiere decir que no los recuerdo. Al contrario con cada uno he vivido cosas muy significativas, que no se borran.

A mi novia Elizabeth Tovar C., compañera y mejor amiga que he tenido durante parte de mi estancia en Ensenada. Por su paciencia y ayuda.

DEDICATORIA

A MI MADRE MARYSOL CORTÉS RODRIQUEZ, POR SER ESA PERSONA QUE ME HA MOSTRADO Y ENSEÑADO LA VIDA, POR DARME ESE EJEMPLO DE CÓMO SER ANTE LOS ABSTACULOS QUE SE PRESENTAN, SABER COMO ENFRENTARLOS Y SUPERARLOS. GRACIAS POR TODO EL APOYO QUE ME DAS EN TODAS LAS DECISIONES QUE TOMO.

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
ANTECEDENTES	4
OBJETIVO GENERAL	6
Objetivos Particulares.....	6
ÁREA DE ESTUDIO	6
Geología.....	7
METODOLOGÍA	9
Zonificación.....	10
RESULTADOS	10
Descripción de los cantiles.....	14
Columna estratigráfica	17
Granulometria.....	20
Comparación de los Modelos de Emery y Kuhn.....	21
DISCUSIONES	28
CONCLUSIONES.....	37
BIBLIOGRAFIA:.....	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cantil de Bahía Colonet que muestra erosión por escurrimiento (erosión subaérea), en la parte superior o cresta	3
Figura 2. Localización del área de estudio. En la Península de Baja California y el área de Bahía Colonet (Imagen tomada de INEGI). El recuadro muestra la ubicación de las estaciones de muestreo y levantamiento de los perfiles (Imagen tomada de INEGI).	7
Figura 3. Punta Colonet en la parte Norte de la zona de estudio.....	11
Figura 4. Zona costera de Bahía Colonet durante marea baja, donde es evidente el efecto del oleaje.....	12
Figura 5. Mapa del área de estudio con los puntos georeferenciados de los cantiles y las dos zonas en las que se dividió.	13
Figura 6. Alturas a lo largo de la franja costera de la Zona Sur y Norte en Bahía Colonet. La línea negra indica como se comporta la altura de los cantiles (crestas)...	14
Figura 7. Cantil con corona de derrumbe provocado por los agentes erosivos (flecha amarilla). Cantiles Zona Sur, punto de muestreo 7.	15
Figura 8. Cantil de San Rafael entre el punto de muestreo (10 y 11), la flecha curva indica el derrumbe y la flecha vertical indica el bloque ya colapsado	16
Figura 9. En este cantil de la Zona Sur, se ve la vegetación en la cresta y base del cantil.	16
Figura 10. Socavado representativo de un cantil de Bahía Colonet.	17
Figura 11. Columna representativa de las tres capas que componen a los cantiles de Bahía Colonet.	18
Figura 12. Perfiles de los cantiles representativos de cada sección que se hizo el muestreo, se observan también las capas que conforman al cantil	19
Figura 13. Cantil No.1 que corresponde a la Zona Sur en comparación con el modelo de Emery y Kuhn (1982).	23
Figura 14. Imagen del Cantil No. 2 Bahía Colonet, donde muestra su etapa de erosión, observando el modelo de Emery y Kuhn (1982).	23

Figura 15. Modelos representativos del cantil 4. Corresponde a la etapa 3, en comparación con e modelo de Emery y Kuhn (1982).	24
Figura 16. Comparación del cantil del la Zona Sur (cantil No.5) con el modelo de Emery y Kuhn (1982), mostrando analogía con la etapa 3.	24
Figura 17. Comparación de los cantiles (No.6 y 7) Zona Sur , en relación al modelo de Emery y Kuhn (1982), mostrando analogía con la etapa 3.	25
Figura 18. Cantil de Cuatro Casas que muestra su homogeneidad, así como la comparación con el modelo de Emery y Kuhn (1982), donde muestra analogía con la etapa 3. Corresponde al punto de muestreo 8.	26
Figura 19. Cantil de la Zona Norte que está en la etapa 3 de acuerdo al modelo Emery y Kuhn (1982). Corresponde al punto 10 de muestreo.	27
Figura 20. Cantil en a la Zona Norte (San Rafael) en donde se aprecia que la cresta tienen poca vegetación natural.	28
Figura 21. Punto de muestreo (cantil No. 7) donde la capa de conglomerado es muy delgada.....	29
Figura 22. Cantiles de la Zona Sur expuestos a los dos agentes erosivos marino y subaereo.	31
Figura 23. Playa Disipativa que corresponde a la zona de Punta Cuatro Casas con tipo de rompiente de derrame (Spilling).	32
Figura 24. Bloques derrumbados después de una tormenta, Zona de Punta San Telmo.....	33
Figura 25. Cantiles con pendientes menos abruptas de la Zona Norte, San Rafael.....	34
Figura 26. Corresponde a la Zona Norte de Bahía Colonet, donde presenta mayor erosión subaerea que marina.	35
Figura 27. Playa de Cantos rodados de la Zona Norte.	35
Figura 28. Cantiles de la zona no muestreada que corresponden a Punta Colonet. ...	36
Figura 29. Parte media y la cresta del cantil en Punta Colonet, donde es evidente la erosión por escurrimiento.....	37

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados de los parámetros estadísticos de las muestras tratadas.....	20
--	----

INTRODUCCIÓN

Las costas son uno de los ambientes más dinámicos en nuestro planeta. A simple vista parecen lugares tranquilos y placenteros para vivir, sin embargo, se ven afectadas por diversos factores ambientales como el oleaje, mareas, vientos, tormentas, lluvias y deslizamientos, que continuamente modifican su morfología tanto a largo como corto plazo (Appendini y Fisher, 1998).

Las salientes rocosas con altura de pocos metros hasta decenas y que delimitan el ambiente marino del terrestre, se les conoce como cantiles marinos. Se definen así por presentar pendientes abruptas que bordean las costas, su inclinación los hace parecer muy angostos vistos de planta y se encuentran en el 80% de las costas del mundo y en todas latitudes (Emery y Kuhn, 1982). En cuanto a su origen y considerando las características del ambiente marino, son de varios tipos.

Por su pendiente abrupta y tipo de suelo, no es el área más apropiada en la zona costera para realizar infraestructura urbana. Sin embargo, la realidad es que la mayoría de los desarrollos turísticos, industriales y urbanos de la costa noroccidental de Baja California, se encuentran ubicados sobre cantiles marinos, los cuales son susceptibles a ser erosionados, ya sea por la acción del oleaje o por agentes sub-aéreos en sus partes altas o crestas (Cruz-Collin y Cupúl-Magaña, 1997).

Muchos de los estudios basados en los cantiles, están enfocados al desarrollo y clasificación de los estadios morfológicos de las costas, como los de Johnson en 1919 y 1925 (Emery y Kuhn, 1982).

La descripción local de los cantiles toma en cuenta el tipo de perfil que tiene, lo cual lleva a una clasificación tomando en cuenta los diferentes agentes erosivos que afectan tanto en la base como en la parte alta del cantil. Estos agentes

referidos son dos principalmente: los que afectan a la parte de la base del cantil (erosión marina), y los que afectan en la parte superior (procesos sub-aéreos). De acuerdo con dichas características y descripciones, Emery y Kuhn (1982) clasifican a los cantiles en los siguientes estadíos o etapas de actividad:

- a) Activos.- Presenta una base rocosa expuesta por el continuo retroceso bajo la influencia de los agentes y procesos marinos y/o sub-aéreos. Estos son controlados principalmente por la erosión marina y la sub-aérea, es lo que caracteriza este tipo de cantiles.
- b) Inactivos.- Están cubiertos por un depósito de sedimento cuya pendiente varía entre 25° y 30° , sobre todo en la base, además comúnmente tiene vegetación.
- c) Antiguos.- Son cantiles que ya no están influenciados por agentes marinos y la erosión sub-aérea redondea la superficie de su parte alta, depositando el material en la base.

La erosión marina afecta la base del cantil por la abrasión, incrementada principalmente por el efecto de arenas y gravas que son transportadas tanto en suspensión como arrastre; así como por la actividad biológica, disolución por el agua de las lluvias que provoca deslaves y otros movimientos de masa inducidos (Emery y Kuhn, 1982).

La erosión sub-aérea se inicia en la parte superior del cantil (Fig.1), formando canales por el agua que va hacia al mar producto del escurrimiento. Esto se debe al declive o desnivel del terreno, así como por movimientos de masa o movimiento de material que es inducido por el peso de material y el empuje del agua (Emery y Kuhn, 1982).

Los cambios en la forma de los cantiles activos pueden estar causados tanto por eventos naturales como los inducidos por el hombre. De estos últimos el efecto principal es por asentamientos humanos, construcciones en las crestas de los cantiles: desarrollos urbanos y asentamientos turísticos; así como industrias de

diferente tipo. Las cuales afectan de manera directa a dicha zona de los cantiles (también en algunos repercute sobre la base), pero de forma general incrementa la erosión sub-aérea (Byrne, 1963).



Figura 1. Cantil de Bahía Colonet que muestra erosión por escurrimiento (erosión subaérea), en la parte superior o cresta

Una forma de determinar los cambios en la línea de costa es mediante el conocimiento de las razones de erosión en intervalos de tiempo largos, debido a que la tasa de erosión de los cantiles no es uniforme a lo largo de un periodo determinado, ya que pueden ocurrir periodos erosivos intensos y episodios de poco cambio en la evolución de los cantiles marinos. Debido a la erosión de un cantil, es posible conocer la cantidad de material sedimentario que es aportado al sistema litoral, ya que esto contribuye a mantener el balance sedimentario de la zona costera, mismo que se ve reflejado en la formación o erosión de las playas (Komar, 1976).

Hay dos tipos de playas según su: morfología, dinámica, transporte de sedimento y tipo de rompiente: disipativas y reflectivas. Las playas **disipativas** se

caracterizan por ser extensas, con pendientes poco pronunciadas y presentan una zona de surf. El tipo de rompiente que presentan estas playas es de derrame (spilling) lo cual contribuye a que se disipe la energía de la ola antes de llegar a la cara de la playa. El tipo de sedimento que presenta estas playas es de 2Φ (<0.2 mm), arena fina; el sedimento se deposita en barras de forma paralela en la línea de costa (Appendini, C. y D. Fischer, 1998).

Las playas **reflectivas** presentan playas con pendiente pronunciada y no son tan anchas como las disipativas. No tienen la zona de oleaje (surf), ya que las olas surgen directamente sobre la cara de la playa. Un carácter típico de ellas son las cúspides causadas por el borde de la ola. El tipo de sedimento que podemos encontrar en estas playas es -1Φ (> 2 mm). El cual corresponde a arenas muy gruesas, pero también pueden encontrarse de hasta -7Φ (> 128 mm): que corresponde a guijarros. (Appendini, C. y D. Fischer, 1998)

Es posible encontrar en algunas zonas costeras los dos diferentes tipos de playas tanto reflectivas y disipativas; así como sus procesos que los clasifican. Esto lo podemos observar en Bahía Colonet, debido a sus características topográficas, incidencia del oleaje y la forma natural de la bahía.

En Bahía Colonet, Baja California, es el lugar que se ha seleccionado para un megaproyecto portuario que estará dentro de los mayores en la cuenca del Pacífico, y según dichos planes será el puerto más grande de México. El proyecto cubre un área aproximada de 5,300 hectáreas dentro de la delegación municipal de Punta Colonet, y se pretende aprovechar la forma natural de su bahía.

ANTECEDENTES

Doland, et.al. (1979), describieron un método gráfico para establecer la razón de retroceso promedio a partir de fotografías aéreas, aplicado a la costa

media del Atlántico en Estados Unidos de Norteamérica. El análisis de los datos mostraron que el retroceso de la línea de costa en promedio es de 1.5 m/año, sin embargo, se presentó un retroceso de hasta 10m/año en algunas zonas de la costa.

Cruz-Collin y Cupul-Magaña (1997), realizaron un estudio en la Bahía de Todos Santos, por medio de un análisis de fotografías aéreas (vuelos de INEGI: octubre de 1970, octubre de 1985, julio de 1989 y septiembre de 1991). Calcularon la tasa de retroceso y volumen de sedimento aportado al sistema litoral en cuatro sectores identificados en la Bahía de Todos Santos. Concluyeron que los cantiles contribuyen de manera significativa para mantener el balance sedimentario de la zona costera de la Bahía.

Ramos (1998), establece la situación que presentan los cantiles del Sauzal de Rodríguez Baja California, México. Los encuentra en un estado de inestabilidad debido a varios factores: los procesos marinos y/o sub-aéreos, la homogeneidad litológica y los factores inducidos por la presencia de los residentes en la zona, clasificándolos como activos, en las categorías de mediano a muy alto riesgo.

Miller .V, y Abbott.P, 1988, realizaron un estudio en el área de Bahía Colonet, en el cual describieron que los cantiles marinos son parte de la formación Sepultura que corresponde al periodo entre el Eoceno inferior y el Paleoceno superior. La formación Sepultura se encuentra expuesta a lo largo de los cantiles. Las características geológicas en el área de estudio manifiestan una gran movilidad a lo largo del tiempo. Los depósitos aluviales y la concentración de conglomerados demuestran un fuerte arrastre de material pétreo desde Valle San Telmo hacia la costa.

En Bahía Colonet se puede observar zonas que se encuentran naturalmente protegidas de eventos erosivos como oleaje y viento; pero también hay otras zonas que están expuestas al desgaste producto de los agentes de erosión. Una descripción local y clasificación de los cantiles, ayuda a saber cuál es el agente

erosivo que provoca el desgaste en diferentes zonas de la Bahía y que afectan a las pendientes abruptas que bordean a la línea de costa.

OBJETIVO GENERAL

Caracterizar los cantiles costeros de Bahía Colonet, por medio de sus rasgos morfológicos y procesos erosivos.

Objetivos Particulares

Establecer una clasificación basada en Emery y Kuhn, de los cantiles de Bahía Colonet.

Regionalizar Bahía Colonet de acuerdo a la morfología de los cantiles y los procesos que los afectan.

Identificar las zonas más susceptibles del área de estudio por medio de una descripción local, de acuerdo a sus agentes erosivos (marino y subaereo).???

ÁREA DE ESTUDIO

La Bahía de Colonet se localiza a 130 km al sur de Ensenada (Fig. 2). El área de estudio está delimitada al norte por Punta Colonet ubicada entre los $30^{\circ}57'22.43''$ de latitud Norte y $116^{\circ}13'20.79''$ de longitud Oeste; y al sur hasta donde terminan la zona de caseríos de Cuatro Casas con coordenadas $30^{\circ}55'04.46''$ de latitud Norte y $116^{\circ}13'17.82''$ de longitud Oeste (Coastline Extractor).

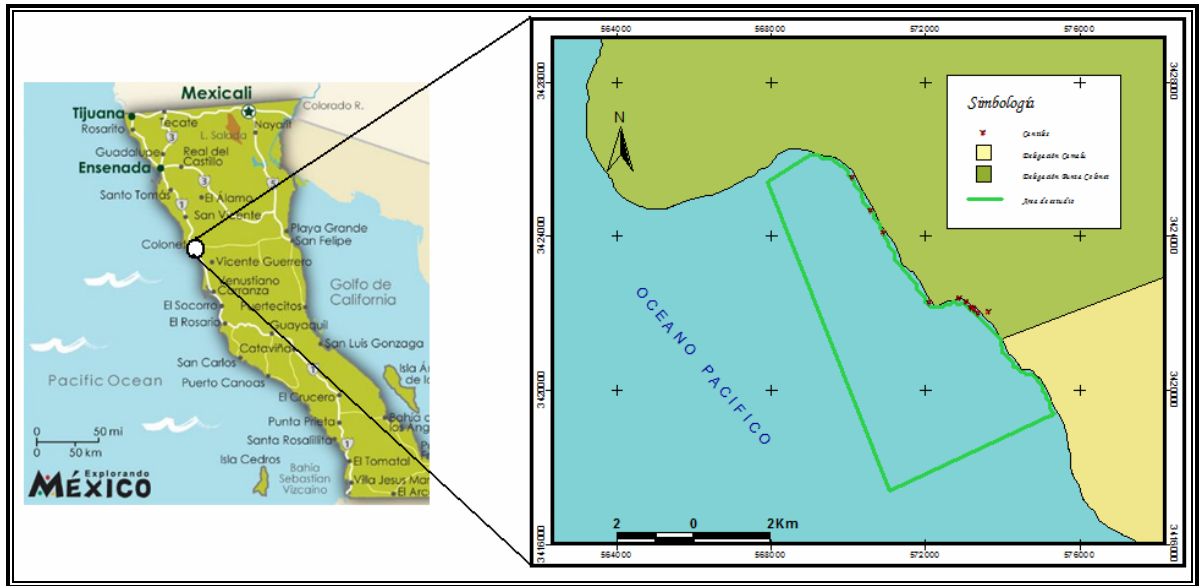


Figura 2. Localización del área de estudio. En la Península de Baja California y el área de Bahía Colonet (Imagen tomada de INEGI). El recuadro muestra la ubicación de las estaciones de muestreo y levantamiento de los perfiles (Imagen tomada de INEGI).

Geología

En la zona predominan los materiales sedimentarios de origen marino que corresponden a la formación Rosario, tales como limolitas, areniscas, lutitas y algunos horizontes ricos en gravas y arenas. Las formaciones geológicas más frecuentes son de los períodos Terciario, Cuaternario y Cretácico superior e inferior, están representados por aluviones y médanos. El Tiempo Paleoceno está representado por areniscas calcáreas con conchas arcosas, arenas y lutitas, incluyendo sedimentos tanto marinos como fluviales. (Miller .V, y Abbott.P, 1988).

Es una costa formada por bloques de roca volcánica en la cual existen pequeñas playas de gravas. Desde Bahía Colonet hasta 2 km al Norte de Bahía

Camalú, la costa está conformada por una terraza del Pleistoceno. En las playas dominan los guijarros y cantos rodados, existiendo arena en muy pocos lugares (Martínez, 1981). El litoral es de cantiles altos excepto en las playas de las desembocaduras de los arroyos, que cabe mencionar están conformadas por piedra bola.

Las sierras que conforman la región se caracterizan por presentar una pendiente suave al oeste, y abrupta al este. El drenaje natural de la zona está caracterizado por corrientes intermitentes de la vertiente del Pacífico. Los principales ríos son San Vicente, San Antonio del Mar, San Telmo y San Rafael. De la misma manera, la plataforma continental de San Antonio del Mar es amplia y de pendiente suave, la cual varía en promedio de 0.23° y 0.40° , la zona de mayor pendiente se presenta al oeste de Cabo Colonet, y coincide con una costa formada por paredes de acantiladas. Por el contrario, la zona de menor pendiente, ubicada al este-sureste de Cabo Colonet y al noreste de Punta San Isidro, coincide con la descarga de los Ríos San Telmo y San Rafael (Carranza-Edwards, 1988).

El arroyo San Rafael es intermitente y fluye solo durante la estación de lluvias que ocurre en el invierno. Se origina en las inmediaciones de la Sierra San Pedro Mártir, dirigiéndose hacia el Suroeste hasta desembocar en la Bahía Colonet. Sus aguas erosionan las rocas del tipo grabo, tonalita, gneiss, volcánica no diferenciada, granodiorita, conglomerado y aluvión (Gastil, *et al*, 1975).

De acuerdo con Shepard (1973), clasifica la costa desde el punto de vista geomorfológico y genético en: una costa secundaria por erosión de oleaje, promontorios cortados por olas, costas de línea de playa y costas de terrazas elevadas cortadas por oleaje.

De acuerdo con Martínez (1981), la dirección predominante del transporte litoral en Bahía Colonet es de Norte a Sur.

METODOLOGÍA

La metodología utilizada se centró en la observación, medición, toma de sedimentos y descripción de los cantiles en el área de estudio. Para esto se usaron fotografías de los cantiles que fueron tomadas desde la playa, así como la realización de la columna estratigráfica para una mejor descripción.

La medición de los cantiles fue realizada con un estadal, el cual se colocaba en la base del cantil y se registraba en la cresta la altura, así mismo se midieron las capas. Y en algunas ocasiones para la medición de las capas se uso un cinta métrica para facilitar el trabajo.

La descripción litológica se realizó en el campo incluyendo las características relacionadas a su homogeneidad, lo cual se refiere al tipo de sedimento, grado de consolidación y resistencia. También se observaron las condiciones intrínsecas a su naturaleza (altura, derrumbes, grietas, deslizamientos, vegetación en la cara del cantil, escurrimientos, drenaje fluvial y residual, humedad en la base). Esto para describir el tipo de material que componen los cantiles de la zona de estudio, por lo que se tomaron muestras de sedimento en las tres capas representativas de los cantiles (lutita, arenisca y conglomerado).

Se realizó el análisis granulométrico de acuerdo al método de Folk y Ward (1957), y Royce (1970); para los tamaños mayores a gravas se tomaron sus medidas en el campo. Se midió con una cinta métrica el eje mayor de los clastos.

De acuerdo a las etapas de un cantil con base al modelo de Emery y Kuhn (1982). Se comparan los cantiles de Bahía Colonet de acuerdo: a los cambios producidos por la erosión subaérea y/o marina. De manera gráfica explican la etapa en la que se encuentran para las dos zonas estudiadas; el número uno es la etapa original o menos erosionada y el mayor número es la etapa que ha presentado mas

cambio. Los cantiles que acompañan a los modelos, son fotografías tomadas in-situ y se indica su ubicación en la zona de estudio de acuerdo a la numeración ya presentada en el mapa (Fig. 5).

De acuerdo a las características del área de estudio y la morfología de los cantiles, se dividió la franja costera de Bahía Colonet en dos zonas: Norte y Sur, para hacer de manera general y conjunta más representativa la línea de costa con los diferentes perfiles de los cantiles.

Se identificó el tipo de playas, sus características morfológicas y el tipo de rompiente; en las diferentes zonas de muestreo.

Zonificación

La zonificación se hizo en dos, cada área está representada en recuadros y los divide en la parte media una saliente rocosa que es conocida localmente como “Cuatro Casas”. En la primera zona (Sur), corresponde los muestreos y mediciones del 1 al 8; y los de la Zona Norte corresponde del 9 al 11(Fig. 5).

Las estaciones de muestreo se georeferenciaron con un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y posteriormente se ubicaron en los mapas del área de estudio.

RESULTADOS

Las alturas de los cantiles en la costa de Bahía Colonet son muy variadas, por tal motivo se midieron y muestrearon en diferentes sitios. La excepción fue en la Zona Norte que se conoce como Punta Colonet, presenta los cantiles más altos y está naturalmente protegida del oleaje y viento, siendo muy complicado su muestreo (Fig. 3).

En ésta zona no incide de manera directa el oleaje y los cantiles no están totalmente expuestos al agente de erosión marino, siendo principalmente la erosión subaérea por viento y escurrimientos pluviales lo que aparentemente aporta sedimento a la playa, como se apreció en la franja costera durante el tiempo de muestreo.



Figura 3. Punta Colonet en la parte Norte de la zona de estudio.

Por otra parte, en la franja costera de estudio donde se realizó la división de los cantiles, es la parte de Bahía Colonet que está expuesta al oleaje (Fig. 4). Es por lo que los efectos de erosión marina observadas, son más evidentes y de manera constante a lo largo del año de muestreo. Por estas características, la zona costera de estudio se dividió en dos: Zona Sur y Zona Norte (Fig.5), con el fin de describir a detalle las etapas en las que se encuentran durante el muestreo.



Figura 4. Zona costera de Bahía Colonet durante marea baja, donde es evidente el efecto del oleaje.

Los cantiles de la zona sur , corresponden a la zona del arroyo San Telmo que en promedio tiene una altura de 7.3 m y va disminuyendo gradualmente hacia el norte (Fig. 6). La sección norte de ésta zona corresponde a Punta San Telmo (Cuatro Casas), donde los cantiles tiene un altura promedio de 4 m.

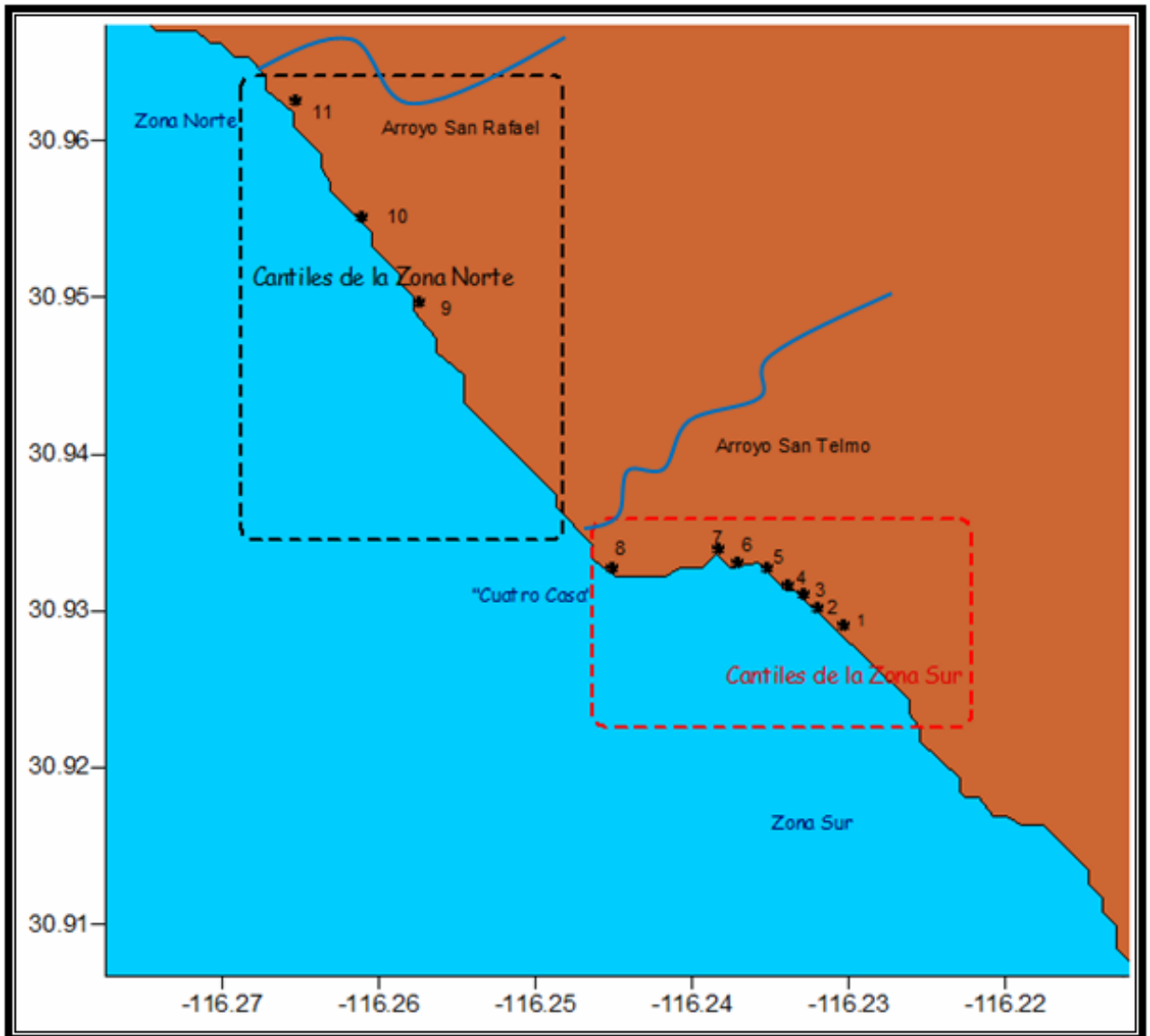


Figura 5. Mapa del área de estudio con los puntos georeferenciados de los cantiles y las dos zonas en las que se dividió.

En la zona norte (Fig. 6) se presentaron los cantiles con menor altura de toda el área de estudio, es la zona conocida como San Rafael por estar el arroyo del mismo nombre en su límite norte. Estos cantiles registraron una altura promedio de 2.7 metros.

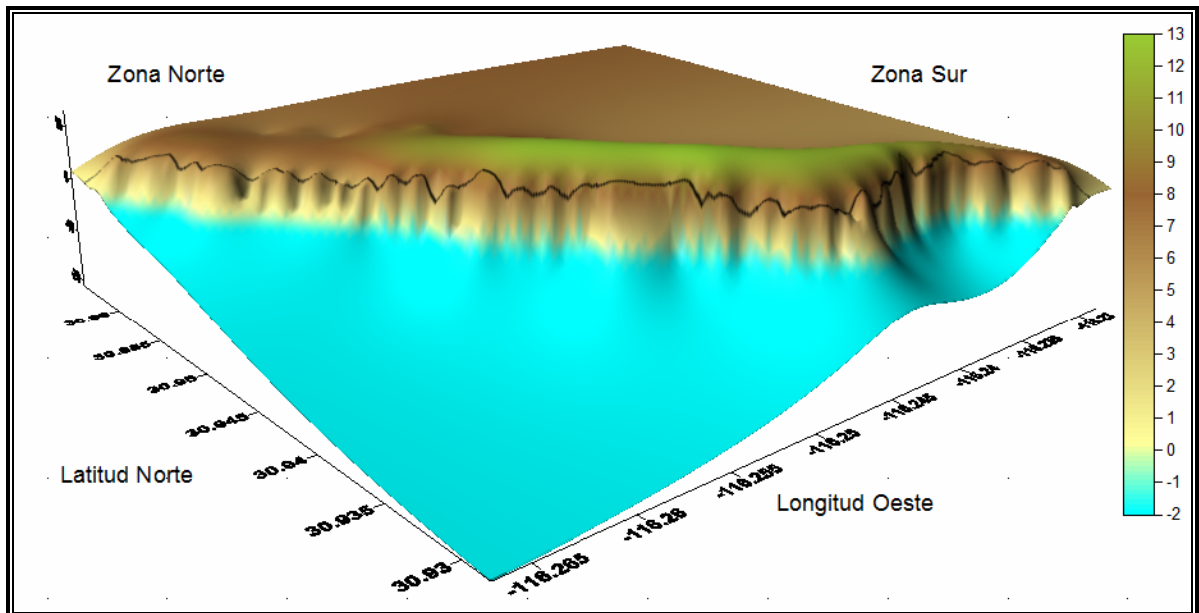


Figura 6. Alturas a lo largo de la franja costera de la Zona Sur y Norte en Bahía Colonet. La línea negra indica como se comporta la altura de los cantiles (crestas).

La escala gradual de los colores indica las alturas que hay a lo largo de la línea de costa; donde podemos observar que el color verde representa las alturas mayores y se encuentran principalmente en la zona sur y también en una sección de la zona norte. La mayoría de los cantiles que se encuentran en la zona norte, están representados por un color café más claro los cuales corresponden a cantiles con una altura menor.

Descripción de los cantiles

Grado de Consolidación.- De acuerdo al grado de consolidación de los cantiles se presentan tres categorías: a) consolidado: en caso de que el material se encuentre cementado y compactado, b) semiconsolidado: si el sedimento está compactado pero es inconsistente, y c) no consolidado: cuando el material no está cementado ni compactado y es inconsistente.

Escurrecimientos.- Se detectaron los cantiles que presentan escurrecimientos ya sea por aporte de las lluvias (tanto pluvial como fluvial) (Fig. 1) o de aguas residuales, en especial donde están la zona urbana.

Grietas en el cantil.- El caso en el que el cantil presente coronas de derrumbe, esto se observa cuando los bloques se están desprendiendo del material que lo conforma (Fig. 7).



Figura 7. Cantil con corona de derrumbe provocado por los agentes erosivos (flecha amarilla). Cantiles Zona Sur, punto de muestreo 7.

Derrumbes.- Es el caso donde se encontraron bloques colapsados en la base del cantil, o bloques en la cara de los mismos que están a punto de colapsar, debido a una grieta o fractura(Fig. 8).



Figura 8. Cantil de San Rafael entre el punto de muestreo (10 y 11), la flecha curvada indica el derrumbe y la flecha vertical indica el bloque ya colapsado

Vegetación estacional.- Se registro los cantiles que prestan vegetación en la cresta y/o en la base (Fig. 9).



Figura 9. En este cantil de la Zona Sur, se ve la vegetación en la cresta y base del cantil.

Erosión en la base.- Se encontraron dos tipos: unos con socavado en la base y otros sin dicho socavado (Fig. 10).

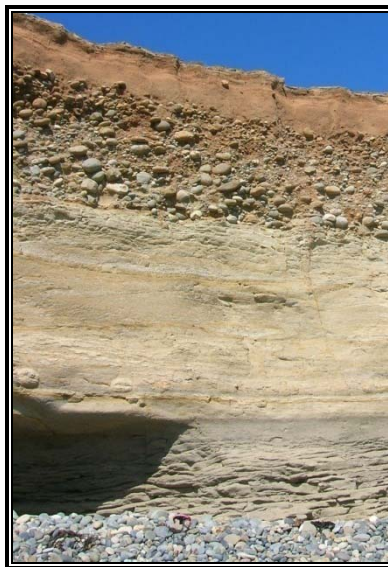


Figura 10. Socavado representativo de un cantil de Bahía Colonet.

Columna estratigráfica

La columna estratigráfica fue lateralmente muy persistente en el área de estudio (Fig. 7). Se observan tres estratos o capas que los caracterizan y a partir de la base son: 1) aluvión: conformado principalmente por limos bien consolidados de color café claro; 2) conglomerado: conformada por una matriz de arcilla, donde se encuentran cementados sedimento grueso de 10mm de diámetro, hasta 200mm los mas grandes; y 3) lutita que esta conformada por arcillas, con una consolidación menor de color café rojizo.

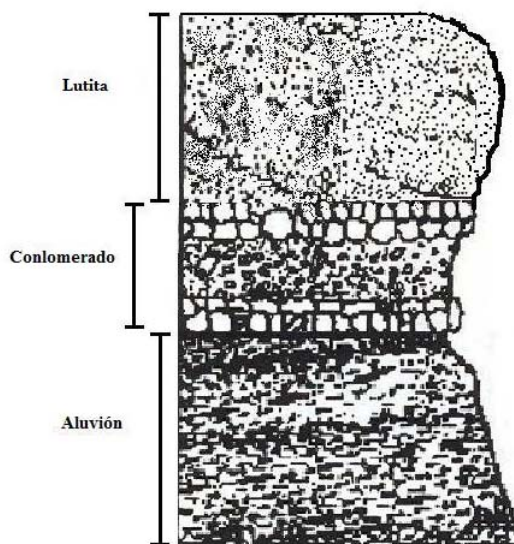


Figura 11 Columna representativa de las tres capas que componen a los cantiles de Bahía Colonet.

Se encontraron tres capas principales para todo los cantiles que bordean la línea de costa. La primera capa es una capa de lutita la cual esta compuesta por material de arcillas, la segunda capa que encontarmos es una capa de conglomerado la cual esta compuesta por una matriz de lutita donde se encuentran cementados particulas como: arenas gruesas (ϕ) hasta tamaños grandes como guijarros (-7ϕ) y la tercer capa es una capa de material tambien fino arenisca que va desde arenas finas a gruesas.

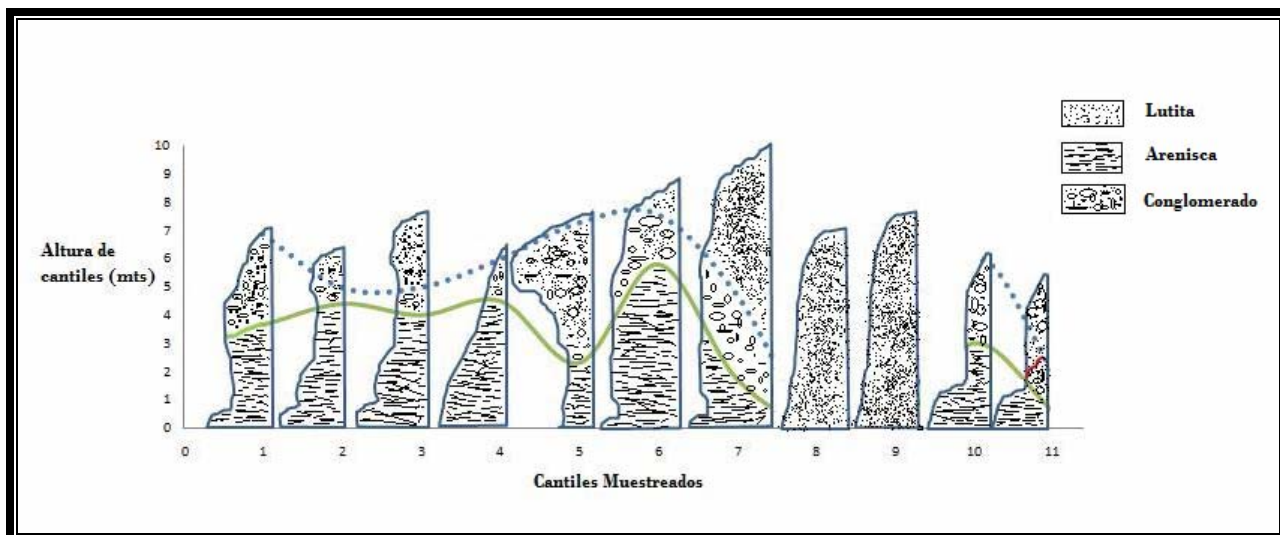


Figura 12. Perfiles de los cantiles representativos de cada secci6n que se hizo el muestreo, se observan tambi6n las capas que conforman al cantil

En la Fig. 12 podemos observar, los 11 cantiles que se muestrearon a lo largo de la l6nea de costa de Bah6a Colonet. Del n6mero 1 al 9, representan los cantiles de la zona sur; cabe recalcar que los cantiles 8 y 9 son los que corresponden a Punta San Telmo (cantiles homog6neos) y los cantiles 10 y 11 son los representativos de la zona norte. Como podemos observar los cantiles 1, 4, 5 y 10, solamente presentan dos capas. Los cantiles 2, 3, 6, 7, presentan tres capas. Los cantiles 8 y 9 son cantiles homog6neos solamente est6n compuestos por una capa. Y el cantil 11 es el 6nico que presento 4 capas. Tambi6n podemos observar el comportamiento de las capas estratigr6ficas a lo largo de la bah6a; la primera capa (de la base a la cresta) est6 compuesta por un dep6sito de aluvi6n, la segunda capa est6 conformada por conglomerado y la tercera la compone una arenisca. Para el caso de los cantiles 8 y 9 est6n compuestos de lutita, que a su vez est6n sobre un dep6sito de aluvi6n (Gastil, *et al*, 1975).

Granulometria

En la Tabla I. se presenta el análisis granulométrico que se hizo a las muestras tomadas en el campo, éstas muestras se tomaron en las diferentes capas que conforman los cantiles en general. El parametro de la media como se sabe es el promedio aritmetico de todos los tamaños de particula en cada muestra tomada de los cantiles. La desviación estandar es la expresion matemática para determinar el grado de sorteamiento de una muestra. Mientras que la asimetria indica hacia donde tiende el tamaño predominante si hacia los finos o gruesos, depende de donde tienda su asimetria. Los tamaños predominantes los podemos observar en la parte donde esta mejor sorteado, como lo indica la Kurtosis.

Tabla 1. Resultados de los parámetros estadísticos de las muestras tratadas.

Cantiles	Media	Desviación	Asimetría	Kurtosis
Estación No.1 (Aluvión)	6.712	1.590	0.318	2.474
Estación No.1 (Lutita)	5.148	1.971	1.576	4.273
Estación No.3 (Base del Cantil)	4.390	1.049	2.287	8.471
Estación No. 3 (Aluvión)	5.30	1.772	1.171	3.431
Estación No.3 (Conglomerado)	6.250	2.80	0.418	2.028
Tamiz	1.251	1.285	-0.017	1.493

Comparación de los Modelos de Emery y Kuhn

Zona Sur

A lo largo de la franja costera de la Zona Sur, los cantiles se clasifican como activos, sin embargo varían las etapas en las que se encuentran, ya sea por composición litológica que es diferente y/o cambio de homogeneidad. El primer punto de muestreo que se realizó corresponde a la Zona Sur Cantil No.1; en este cantil se puede notar que actualmente está en la etapa 2 (Fig. 13).

En este punto de la Zona Sur los (cantiles No.2 y 3) podemos observar que presta un cambio en la estratigrafía a los cantiles del punto de muestreo anterior, así como su proceso de erosión marcado por el modelo, haciendo una analogía con la foto (Fig. 14). Donde muestra que los cantiles están en la etapa más afectada por la erosión (etapa 3).

Para el punto de muestreo cuatro de la Zona Sur se observa una capa más resistente y menos erosionada en la base del cantil a diferencia de la capa superior donde se ve más desgastada por el efecto de erosión. Comparando la foto con el modelo se hace la analogía con la etapa 3 (Fig. 15).

La Zona Sur se caracteriza por tener erosión marina y subaérea es se puede notar, ya que en su base compuesta por arenisca, está socavada y la cresta o parte superior está ligeramente redondeada con grietas de escurrimiento. Al comparar el cantil con el modelo se puede observar una mejor analogía con la etapa 3 (Fig. 16); es evidente que está en esa etapa ya que el bloque de la capa superior sobresale, como se muestra en el modelo de Emery y Kuhn (1982).

La sección que corresponde a los Cantiles No.6 y 7, podemos ver que la capa de conglomerado se va haciendo más angosta esto debido a la erosión que está afectando el cantil, la capa se va desgastando. Se hace una analogía con la

etapa 3 del modelo Emery y Kuhn (1982), se puede observar el proceso de erosión que puede tener hasta la etapa cinco (Fig.17).

Punta San Telmo (Cuatro Casas)

En la sección Norte que corresponde también a la zona Sur conocida localmente como “Cuatro Casa” (Fig. 5). Los cantiles que se encuentran aquí se caracterizan por ser homogéneos en su corte vertical ya que están compuestos por un solo tipo de roca (luitita). Presentan una pendiente abrupta y están siendo afectados tanto por la erosión marina como subaérea. Con respecto a ésta última, son evidentes los efectos por escurrimiento a lo largo de él (Fig. 18).

Zona Norte, San Rafael.

De acuerdo con el modelo de Emery y Kun, se clasifica a este cantil en la etapa 3, lo cual indica que el efecto erosivo ha sido más intenso de la parte media hacia la cresta, erosión subaérea. Recordemos que dicho modelo describe la etapa 1 como el cantil menos erosionado, por lo que dicho efecto es significativo ya que al parecer está tendiendo hacia la última etapa.

Esta comparación es la representativa de los cantiles de muestreo 9, 10 y 11; de la Zona Norte (Fig. 19).

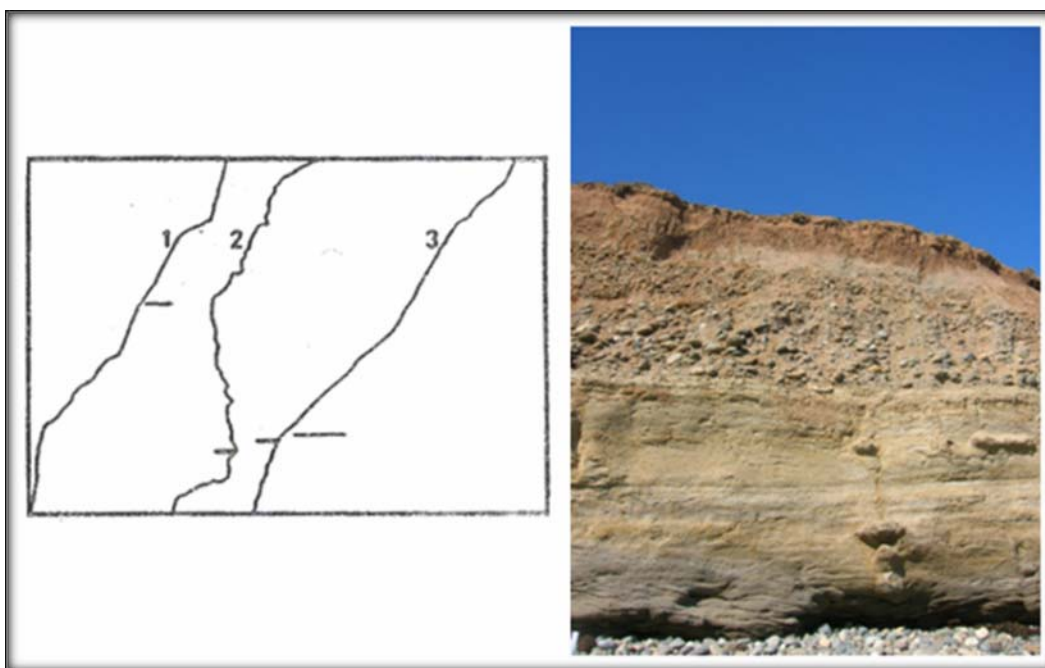


Figura 13. Cantil No.1 que corresponde a la Zona Sur en comparación con el modelo de Emery y Kuhn (1982).

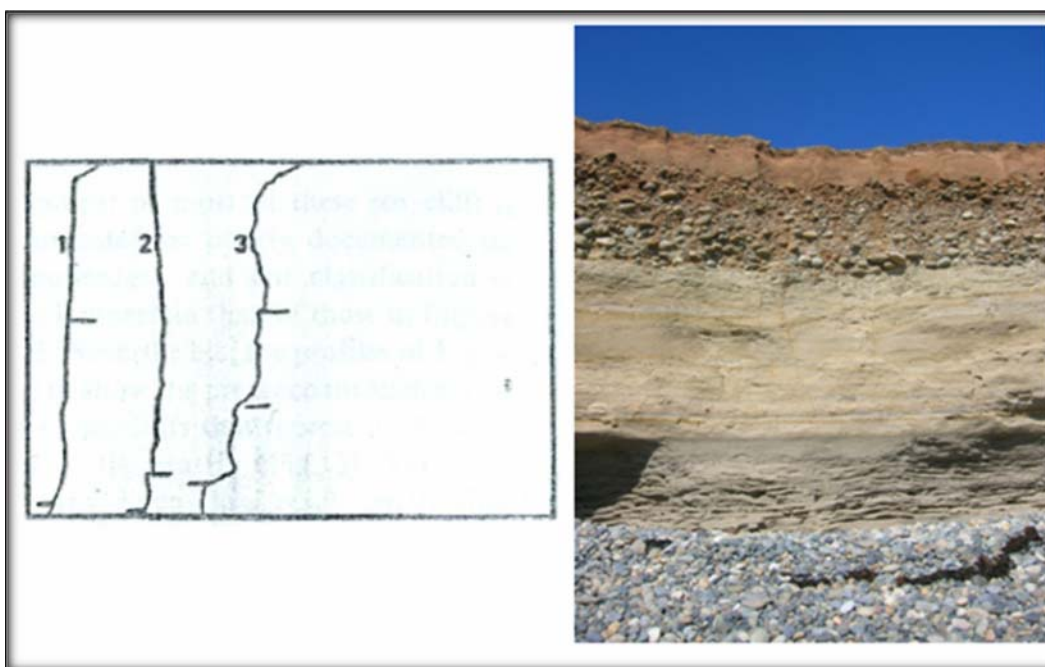


Figura 14. Imagen del Cantil No. 2 Bahía Colonet, donde muestra su etapa de erosión, observando el modelo de Emery y Kuhn (1982).

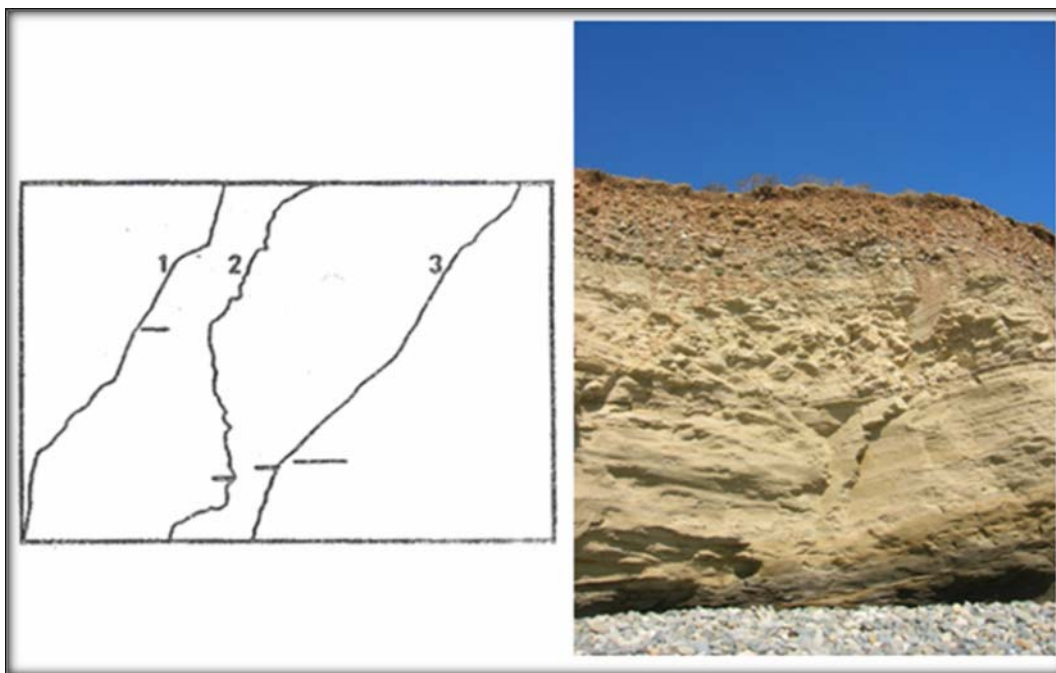


Figura 15. Modelos representativos del cantil 4. Corresponde a la etapa 3, en comparación con e modelo de Emery y Kuhn (1982).

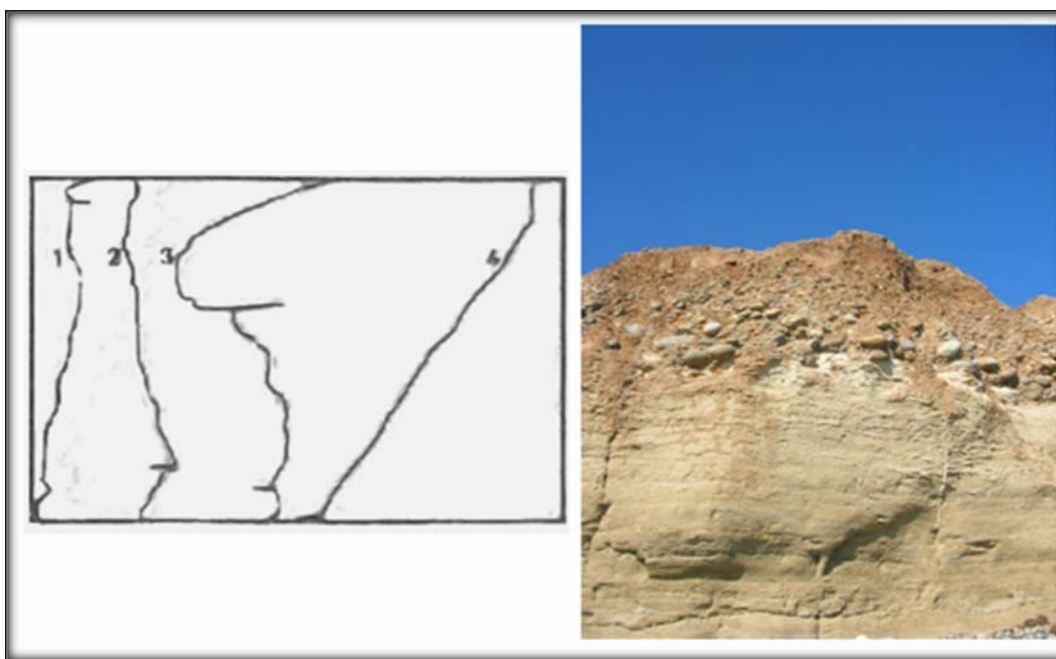


Figura 16. Comparación del cantil de la Zona Sur (cantil No.5) con el modelo de Emery y Kuhn (1982), mostrando analogía con la etapa 3.

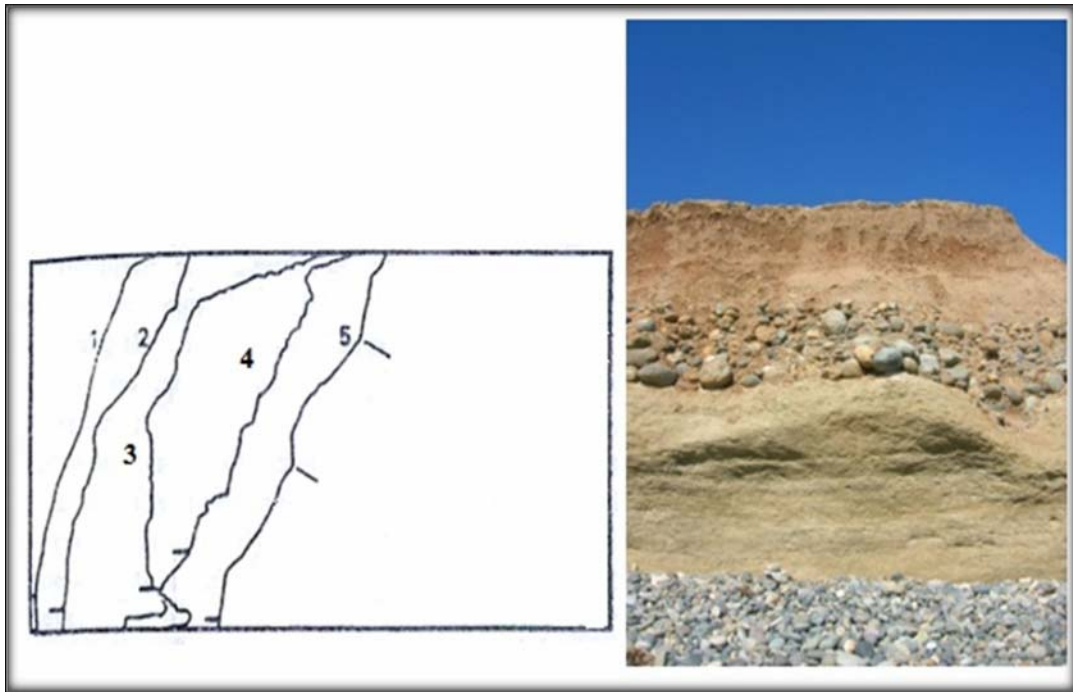


Figura 17. Comparación de los cantiles (No.6 y 7) Zona Sur , en relación al modelo de Emery y Kuhn (1982), mostrando analogía con la etapa 3.

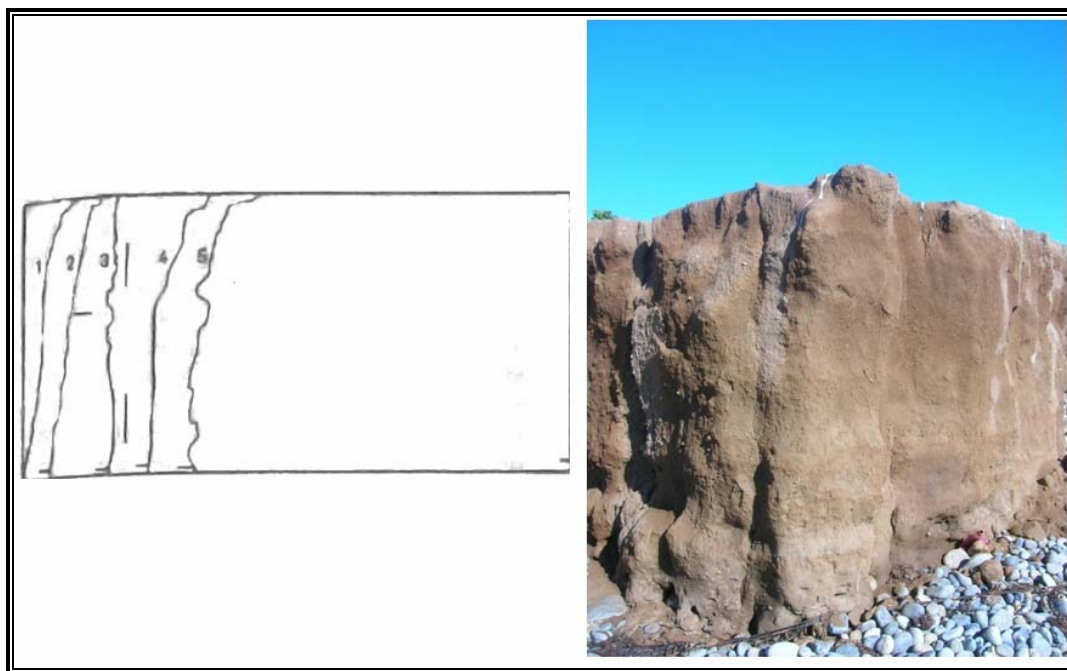


Figura 18. Cantil de Cuatro Casas que muestra su homogeneidad, así como la comparación con el modelo de Emery y Kuhn (1982), donde muestra analogía con la etapa 3. Corresponde al punto de muestreo 8.

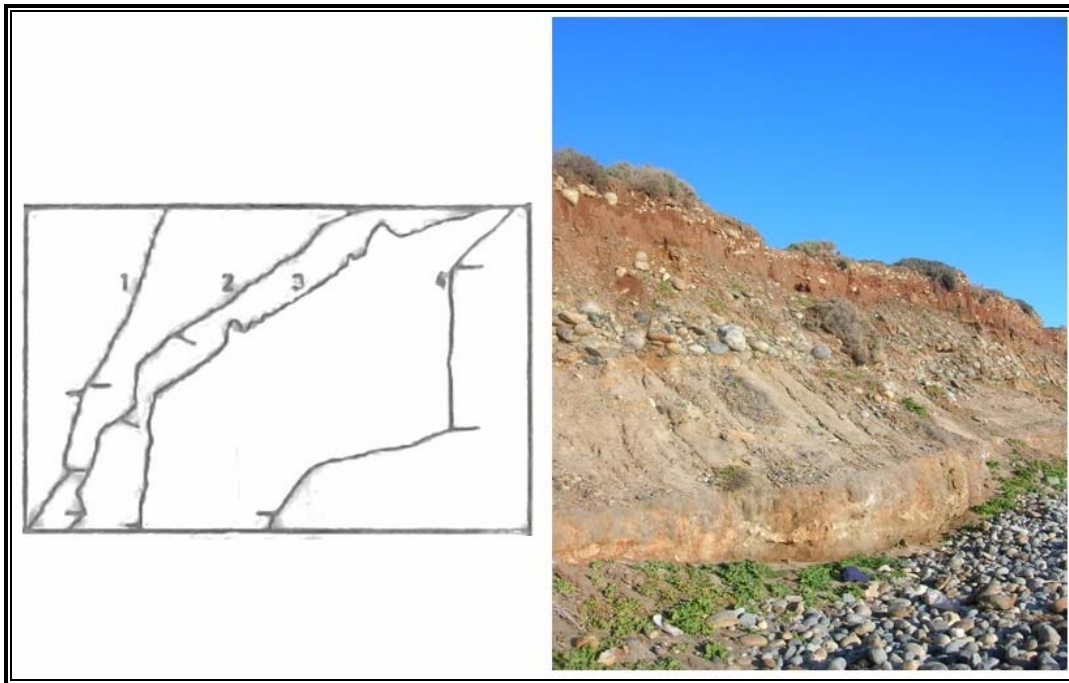


Figura 19. Cantil de la Zona Norte que está en la etapa 3 de acuerdo al modelo Emery y Kuhn (1982). Corresponde al punto 10 de muestreo.

En esta zona los cantiles están dominados por la erosión sub-aérea con vegetación endémica en la cresta (Fig. 19) que en cierta forma minimiza dicho proceso de erosión. En la base del cantil hay cantos rodados y la pendiente que presentan en esta zona es menor, a diferencia de los anteriores.



Figura 20. Cantil en a la Zona Norte (San Rafael) en donde se aprecia que la cresta tienen poca vegetación natural.

DISCUSIONES

Granulometría.- Las capas donde se muestreo y se realizó el analisis granulometrico corresponden a las capas caracteristicas y representativas de los cantiles en general. Esto debido a que los cantiles presentan las tres mismas capas (lutita, conglomerado y aluvion), lo que cambia es el espesor y acomodo; a excepcion de los cantiles que se encuentran en la punta de cuatro casa (cantil 8; Fig.17) estan compuestos por un solo tipo de material, es por eso que son homogeneos.

La capa de conglomerado en la Zona Sur se comporta de manera descendente en cuanto a grosor, en la parte mas al Sur es de mayor tamaño y conforme uno se acerca a la Zona de San Telmo, donde los cantiles se vuelven homogeneos la capa de conglomerado desaparece, podemos decir que la capa de conglomerado se adelgaza y acuña hacia San Telmo. El último punto de muestreo

donde se presenta la capa de conglomerado en la Zona Sur es en el cantil No.7 (Fig. 21).



Figura 21. Punto de muestreo (cantil No. 7) donde la capa de conglomerado es muy delgada.

Los cantiles que están descritos por los modelos de Emery y Kuhn, es posible que puedan llegar a las etapas finales debido a que están en constante erosión y los que ya se encuentran en las etapas finales, puedan seguir erosionándose con el paso del tiempo y así, sobre pasar esas etapas marcadas en los modelos.

Los puntos de muestreo en la Zona Sur son más, se hicieron mas cercanos unos con otros, a diferencia de los que estan en la Zona Norte del área de estudio. Esto debido a que son cantiles que estan afectados principalmente por los dos agentes erosivos (marino y subaereo); la morfología, altura y desgaste que presentan es muy diferente.

Zona Sur

El conjunto de estos factores de erosión hacen que los cantiles se desgasten y aporten gran cantidad de material sedimentario a la playa, esto lo podemos notar por: coronas de derrumbe, bloques colapsados y los cantos rodados que componen la playa. Este material es parte de la capa de conglomerado que tiene el cantil. La otra parte de esta capa es la matriz de arenisca la cual por ser un material más fino lo suspende y remueve con mayor facilidad, incorporándolo al sistema litoral y posteriormente ser depositado en otro ambiente correspondiente.

La abrasión en la base del cantil está presente y es evidente por la alta energía a la que está expuesta esta zona de la Bahía. Tal es el caso del cantil No.2 (Fig.15), el cual posiblemente llegue a la etapa 4, debido a que el bloque que se encuentra en la parte alta del cantil se derrumbe puesto que no tiene un soporte a causa de la erosión en la capa inferior. Por lo tanto, gran parte del material se depositará en la base del cantil y/o será transportado dentro del sistema litoral o hacia el mar. La erosión subaérea también está presente y es considerable, por eso las capas superiores de los cantiles y las crestas se encuentran erosionadas, esto se hace evidente al observar tanto las fracturas, grietas y canales de escurrimiento que presentan en la cresta.

Las características de la playa es un factor importante a considerar, hay que hacer mención de que la playa de la Zona Sur tiene poca longitud y como se mencionó anteriormente, está compuesta principalmente por cantos rodados, gravas y arenas gruesas. La pendiente de esta playa es marcada y corresponde a una playa reflectiva, ya que las olas inciden de manera directa en la cara de la playa (Fig. 22) y el tipo de rompiente corresponde al tipo deslizante (surging). Esto la caracteriza como una playa de media a alta energía.

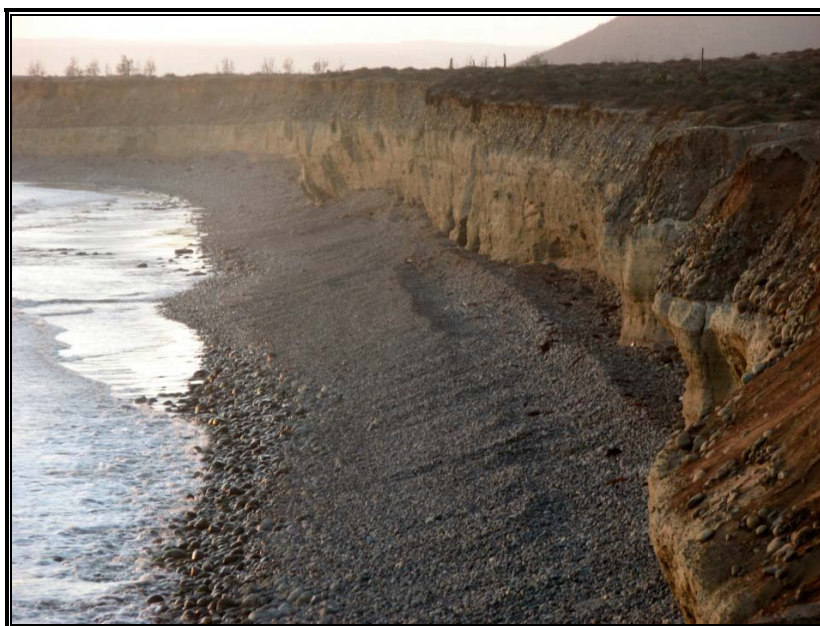


Figura 22. Cantiles de la Zona Sur expuestos a los dos agentes erosivos marino y subaereo.

Punta San Telmo

La sección norte de la Zona Sur presenta cantiles con otro tipo de composición litológica la capa de lutita es más gruesa y los tamaños de los cantiles no son tan grandes como los que se encuentran en la sección sur. En el modelo de Emery y Kuhn y la analogía con la foto de la sección (Fig.17), podemos observar que la pendiente de los cantiles es vertical debido a la influencia de los dos agentes erosivos. Estos cantiles se encuentran en la desembocadura del arroyo San Telmo; presentan un escurrimiento en la parte superior, producto de la erosión sub-aérea ya que el aporte pluvial ayudó a esta erosión por la alta precipitación que se dio en la temporada pasada .

La playa que se encuentra en esta sección de los cantiles presentan playas de mayor tamaño (Fig. 23) tiene pendientes suaves y la energía del oleaje se va disipando conforme se acerca a la playa esto es debido a que presenta depósitos

de sedimentos, desde clastos hasta bloques que se han colapsado. El tipo de rompiente que presenta esta zona de la bahía es de derrame (spilling), rompe a distancia de la línea de costa sobre un fondo plano y de suave pendiente, por lo que la energía se distribuye sobre una amplia zona de rompiente y surf que tiende a mover arena hacia la playa en forma tanto perpendicular como paralela (Fig. 23).



Figura 23. Playa Disipativa que corresponde a la zona de Punta Cuatro Casas con tipo de rompiente de derrame (Spilling).

Del cantil No.8 al No.11 presentan playas de características disipativas, esto se observa en la topografía y tipo de rompiente de la ola. Debido a esto el agente erosivo marino no es dominante en esta parte de la bahía y sin embargo, notamos en el campo que en condiciones extremas si afecta seriamente. Lo anterior se notó durante el último muestreo (Marzo 2008) ya que pasó una tormenta tardía de invierno y se pudo ver que el oleaje llegó hasta la base del cantil, lo cual produjo la caída de unas secciones que estaban agrietadas (Fig. 24).



Figura 24. Bloques derrumbados después de una tormenta, Zona de Punta San Telmo.

Zona Norte San Rafael

Los cantiles representativos de esta zona se pueden distinguir por tener una pendiente entre 25° y 30° en promedio; menos abrupta que la de los cantiles homogéneos de la sección de cuatro casas y los de la Zona Sur en general lo cual nos afirma que el agente dominante es el sub-aéreo. Los cantiles de esta zona (cantiles del 9 al 11) en algunas épocas del año pueden ser confundidos por cantiles inactivos debido a la estabilidad que uno puede llegar a observar, esto es debido a que en la parte de la base del cantil podemos notar un depósito de sedimento del mismo cantil (Fig. 25).



Figura 25. Cantiles con pendientes menos abruptas de la Zona Norte, San Rafael.

En esta zona las playas más extensa se atribuye a su configuración de fondo y altura de la ola. Presenta el tipo de ola de derrame (spilling) puesto que a lo largo de la playa hay demasiado material sedimentario que se ha ido depositando con el paso del tiempo; clastos, una capa de roca y bloques que se han ido colapsa producto de la erosión. Esto ayuda de cierta manera a disminuir la intensidad con que llega el efecto erosivo marino, ya que no permite que incida de forma directa el oleaje en la base del cantil. Por tal motivo los cantiles de esta sección no están siendo afectados por el agente marino (Fig. 26). Siempre y cuando no haya presencia de algún evento de tormenta.



Figura 26. Corresponde a la Zona Norte de Bahía Colonet, donde presenta mayor erosión subaerea que marina.

El cantil No. 11 (Fig.5). Se localiza como último punto de muestreo, ya que termina la zona de cantiles e inicia una playa compuesta de cantos rodados y guijarros, los cantiles se presentan nuevamente en la Punta Norte que delimita el área de estudio: los cuales no se muestrearon debido a que se necesitan otro tipo de instrumentos de medición (Fig. 27).



Figura 27. Playa de Cantos rodados de la Zona Norte.

Zona Norte Punta Colonet.

El desgaste de esta zona de los cantiles es por erosión predominantemente subaéreo y se nota una mayor homogeneidad a lo largo de él, concretamente hay intemperismo (Fig. 28), por lo que existe cierta erosión diferencial. La superficie del cantil desgastada en algunas secciones presenta redondez en la cresta debido al mismo agente erosivo. También presenta escurrimientos en algunas partes tanto de la cresta como de la parte media (Fig. 29). En la base del cantil no se observa una acumulación de material sedimentario (talud), producto de un desgaste del cantil, por lo que el cantil es activo. El oleaje es considerable, aunque no es lo suficientemente fuerte como para socavar la base, como se registro en los cantiles de la zona Sur. Presenta playas disipativas, debido a que las olas no inciden directamente.



Figura 28. Cantiles de la zona no muestreada que corresponden a Punta Colonet.



Figura 29. Parte media y la cresta del cantil en Punta Colonet, donde es evidente la erosión por escurrimiento.

CONCLUSIONES

Dependiendo de la temporada del año, los cantiles pueden aportar más o menos material sedimentario al sistema litoral.

Los cantiles se clasifican como activos, por tal motivo son una fuente importante para el aporte de sedimento en Bahía Colonet. Esto se puede aseverar ya que en la playa adyacente, el material sedimentario de mayor tamaño que corresponde al derivado del cantil, se encuentra depositado en la playa y el material fino erosionado de los cantiles es transportado fuera de la costa debido al oleaje de alta energía.

Los cantiles de la Zona Sur son los que aportan mayor material al sistema y los que están mayormente influenciados por la erosión marina. Esto se puede observar por su perfil morfológico que presentan.

Conforme uno se va hacia la Zona Norte, a partir de Punta San Telmo el agente erosivo marino es menor y el agente sub-aéreo es el principal causante de erosión en los cantiles.

En la zona de “Cuatro Casas”, parte media del área de estudio, se presenta un equilibrio de los dos agentes erosivos. En cambio, en “Punta Colonet” que es la parte más al Norte, está dominada por el agente sub-aéreo y al parecer son los cantiles menos activos. Sin embargo presentan una pendiente muy pronunciada y poca acumulación de sedimentos derivados de la erosión.

La dominancia del agente sub-aéreo, es debido al intemperismo y a la erosión por escurrimientos de agua, producto de un aporte pluvial y fluvial de los Arroyos San Telmo y San Rafael correspondientes a cada zona.

Bahía Colonet presenta playas disipativas en la Zona Norte y reflectivas en la Zona Sur, esto por la pendiente de la playa y la incidencia del oleaje.

RECOMENDACIONES

Es importante conocer la tasa anual de retroceso de la línea de costa en Bahía Punta Colonet, para tener un aproximado de la razón de erosión, en la zona de estudio y también saber cuáles son las áreas más susceptibles por los efectos de erosión.

BIBLIOGRAFIA:

Appendini, C. y D. Fischer (1998). Hazard management planning for severe storm erosion. *Shore&Beach*. Vol. 66 (4)5:8 pp.

Cruz-Colin, M y Cupul- Magaña, L.A. 1997. Erosión y Aporte de los Cantiles Marinos de la Bahía de Todos Santos, Baja California, en el periodo de 1970 a 1991. *Ciencias Marinas*. 23(3): 303-315.

Doland, et.al. 1978. Shoreline erosion rates along the middle Atlantic coast of the United States. *Geology*, V7, pp 602-606.

Gastil, R., Phillips, R., Allison, E. (1975) Reconnaissance Geology of the State of Baja California. The Geological Society of America, INC. U.S.A. 154 pp.

K. O. Emery, and G. G. Kuhn, 1982; Sea Cliffs Their processes, profiles, and classification. *Global Society of America Bulletin*. 93(7):644-654.

Martínez, P. (1981) Dirección del Transporte Litoral en la Costa Oeste del Estado de Baja California. Tesis de Licenciatura. Escuela Superior de Ciencias Marinas. UABC. Ensenada, B.C.

Ramos-Olvera, R. (1993). Cantiles en la zona de El Sauzal de Rodríguez: perfiles, procesos y problemas. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, BC, México, 35 pp.

SHEPARD, F. P., Submarine Geology, Harper and Row. Nueva York, 1967. 517 p.

Short, D. A. 1999. Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics. Willey. England. 379 pp.

V.V. Miller, and P.L. Abbott, 1988. Sedimentology of the Upper Paleocene – Lower Eocene Sepultura Formation Near Colonet, Baja California. Paleogene Stratigraphy, West Coast of North America. V58, pp 23-34.

<http://biblioweb.dgsca.unam.mx/cienciasdelmar/centro/1975-1/articulo13.html>

<http://www.t21.biz/revista/63/6312txt.htm>