

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA



**FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
OCEANOLÓGICAS
POSGRADO EN OCEANOGRAFÍA
COSTERA**



“BALANCE SEDIMENTARIO EN BAHÍA COLONET, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO”

Tesis

Que para obtener el grado de

Maestro en Ciencias en Oceanografía Costera

Presenta

Anahí Esmeralda Silva Alcantar

Ensenada, Baja California México a 9 de Septiembre de 2011.

“BALANCE SEDIMENTARIO EN BAHÍA COLONET, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO”

TESIS

QUE PRESENTA

ANAHÍ ESMERALDA SILVA ALCANTAR

APROBADA POR:

Dr. Luis Antonio Cupul Magaña
Presidente del Jurado

Dr. Guillermo E. Ávila Serrano
Sinodal Propietario

M.C. Rigoberto Guardado France
Sinodal Propietario

RESUMEN

Se ha planeado el desarrollo de nuevos puertos en Baja California, uno de ellos es en Bahía Colonet, que será un puerto de 30 km², por lo que sería el puerto más grande en México y el tercero más grande del mundo. Los desarrollos costeros han modificado la línea de costa, y los cambios más significativos son la erosión y la depositación, por lo que es importante evaluar y reconocer los procesos que tiene lugar en la franja costera. Los cambios en la línea de costa, involucran la geomorfología, litología, fauna y vegetación, estructuras sedimentarias, el aporte sedimentario, el tamaño de grano, oleaje, corrientes, marea. El objetivo de este trabajo es el determinar el balance sedimentario de Bahía Colonet y poder determinar los problemas que traería la construcción del puerto. El Balance Sedimentario se hará con base a lo propuesto por Shuisky y Schwartz (1983), tomando datos de oleaje, corrientes, vientos, batimetría, sedimento y levantamientos topográficos. También se utilizarán fotografías aéreas que serán digitalizadas para obtener la línea de costa de los diferentes años. En Bahía Colonet en invierno se que dominan los procesos erosivos, y en verano los depositacionales, por las condiciones hidrológicas, donde el mayor aporte de sedimentos es por los cantiles, siendo el oleaje el factor que determina la morfología de la costa. El balance sedimentario es un aspecto importante para lograr un buen manejo de la zona costera, ya que la mala ubicación del puerto traería un desequilibrio en la zona costera.

ABSTRAC

It is planned to develop new port in Baja California, one of them is Colonet Bay, which is a port 30 km², making it the largest port in Mexico and the third largest in the world. Coastal development have altered the coastline and the most significant changes are the erosion and deposition, so it is important to evaluate and identify processes that occurs in the coastal strip. Changes to coastline, involving geomorphology, lithology, fauna and vegetation, sedimentary structures, sediment input, the size of grain, waves, currents, tides The aim of this study is to determine the sedimentary balance of Colonet Bay and to determine the problems that would build the port. The sediment budget will be based on the proposal of Shuisky and Schwartz (1983), using data from waves, currents, winds, bathymetry, sediment and topographic surveys. It is also used aerial photographs will be digitized for the coastline of the different years. In Colonet Bay in winter, which dominate the erosion processes, and depositional summer by hydrological conditions, where most sediment is the cliffs, the waves being the factor that determines the morphology of the coast. The sediment budget is an important aspect for a successful coastal zone management, as the poor location of the port would bring an imbalance in the coastal zone.

ESCÚCHAME MAR

Ahora me voy
Me voy pero no te dejo
porque es imposible dejar el corazón
y llevarse solo el cuerpo.....

Me voy hacia tierra adentro
pero llevo pegado a mis costados
todo tu mundo abierto de promesas
que has dejado colgadas
de mi alma mensajera.

Y llevo tus olas y la furia
de tus vientos contrapuestos,
y la sangre de tus gentes laborantes
y de las gentes que se pierden
en tu frontera maldita.

Y llevo tu magia y tus misterios,
Tus colores y el ronroneo incesante
de la música de tu cuerpo
cuando choca con el aire
o cuando besa las arenas soñadoras
de las playas recelosas.

Y llevo, sobre todo y más que nada,
llevo todas tus promesas
y todos tus silencios.....

Te llevo, mi mar
hacia donde la tierra
huele y sabe a materia prometida,
donde el viento choca con las rocas
y el agua no tiene salitre
ni peces, ni algas, ni cangrejos.....

Pero te llevo hasta la próxima

DEDICATORIA

A Dios por siempre estar conmigo y guiarme en mi camino.

A mis abuelos Epifanio Silva[†], Antonio Alcantar[†] e Irene López[†], por haber sido una parte importante en mi vida y más que nada ser un ejemplo de vida para mi superación.

A mis padres Javier Silva Palma y Ofelia Alcantar López que amo con todo mi corazón, por sus consejos y regaños, porque sin ellos este sueño hubiera sido casi inalcanzable.

A mis hermosos hermanos Liz, Diana y Xavier por su apoyo, su amor y sacrificio para que yo alcanzara mi meta, los amo hermanos y no los cambiaría por nada.

A mi sobrino Fabián Méndez Silva por ser una de las pequeñas luces que guía mi camino y me impulsa a seguir adelante.

A mi abuelita Felicitas Palma, por su amor, regaños pero sobre todo ser un ejemplo de vida.

A mis Ti@s por su ejemplo, cariño, sus sabios consejos y sus regaños para que yo logre conseguir lo que quiero.

A mis prim@s por apoyarme y motivarme a seguir adelante.

A mi cuñado Fabián Méndez y demás sobrinos por brindarme su cariño y ser un impulso en vida.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Baja California, a la Facultad de Ciencias Marinas por ser mi alma mater y poder ser orgullosamente una egresada de esta universidad.

A CONACYT por otórgame la beca para la realización de mis estudios de maestría.

A mi comité de tesis Dr. Luis A. Cupul Magaña, Dr. Guillermo E. Ávila Serrano y el M.C Rigoberto Guardado France, por su apoyo, sus comentarios y su tiempo para el enriquecimiento y mejora de esta tesis.

A mis profesores de la licenciatura y la maestría por ser un ejemplo y motivarme para seguir en esta hermosa profesión.

A la Secretaria de Marina Armada de México por su apoyo en la obtención de datos para la realización de este estudio.

A mis amig@s que siempre han hecho que la estancia en Ensenada sea mejor, por su ayuda, tiempo, y amistad, por todos aquellos buenos y malos momentos, los quiero chicos!!

Al Oc. Disraely Gonzáles Acevedo por rescatar mi tesis todas las veces que mi lap murió y yo no tenía respaldo, sin su ayuda esto no sería posible.

A la secretaria de Posgrado Angelica Arce Bastidas porque sin ella todo seria un caos!!!

A todas aquellas personas que fueron y son una parte importante en mi formación profesional y personal.

ÍNDICE

Capítulo 1 Introducción y Antecedentes

- 1.1 Introducción
- 1.2 Antecedentes

Capítulo 2. Justificación

Capítulo 3. Objetivos

- 3.1 Objetivo General
- 3.2 Objetivos Particulares

Capítulo 4 Área de Estudio

- 4.1 Geología
 - 4.1.1 Franja sedimentaria del Cretácico Superior (Ks)
 - 4.1.2 Franja volcánica del Triásico Superior-Cretácico Medio (Km)
- 4.2 Clima
- 4.3 Suelos
- 4.4 Hidrología
- 4.5 Vientos
- 4.6 Oleaje

Capítulo 5 Metodología

- 5.1 Volumen de Sedimento aportado por el cantil (A)
 - 5.1.1 Razón de retroceso del cantil (W_A)
 - 5.1.2 Altura del cantil (H)
 - 5.1.3 Longitud del cantil (D)
- 5.2 Volumen de sedimento aportado por transporte eólico (Q_e)
- 5.3 Sedimento depositado en la parte Expuesta de la Costa (O_s)
- 5.4 Volumen de transporte fluvial (Q_f)

Capítulo 6 Resultados

- 6.1 Volumen Aportado por Cantiles (A).
- 6.2 Volumen de transporte eólico (Q_e)
- 6.3 Volumen depositado en la parte expuesta de la playa (O_s)
- 6.4 Volumen de transporte fluvial (Q_f)
- 6.5 Balance Sedimentario

Capítulo 7 Discusiones

Capítulo 8 Conclusiones

Capítulo 9 Referencias

Apéndices

- Apéndice A

Apéndice B
Apéndice C

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema general de un balance sedimentario (Modificado de Komar, 1976).

Figura 2. Esquema general de una celda litoral (Modificado de Komar, 1976).

Figura 3. Localización del área de estudio (Bahía Colonet), y su ubicación en la Península de Baja California (Imagen LandSat resolución espacial 30 m).

Figura 4. Imagen de la Cuenca San Rafael modificado del modelo de Elevación Digital de la Nasa con una resolución espacial de 15 m (Modificado de Escoto-Rodríguez, 1994).

Figura 5. Imagen de la Cuenca San Telmo modificado con del modelo de Elevación Digital de la Nasa con una resolución espacial de 15 m (Modificado de Escoto-Rodríguez, 1994).

Figura 6. Modelo propuesto para Bahía Colonet modificado de Shuisky Schwartz 1983.

Figura 7. Imagen de la línea de cantiles en Bahía Colonet de los diferentes años, para determinar la razón de retroceso (W_A).

Figura 8. Líneas de playa para los diferentes años en Bahía Colonet, para identificar las áreas de erosión y depositación.

Figura 9. Sedimento drenado para las cuencas San Rafael y San Telmo.

Figura 10. Delimitación de las Celdas Litorales (líneas rojas) en Bahía Colonet, a partir de su parte norte (Imagen LandSat resolución espacial de 30 m).

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Características hidrológicas de de las cuencas principales de la zona de estudio (CONAGUA, 2008).

Tabla II. Valores para la constante de clasificación de playas (C) del Método de los Momentos Geométrico de Folk y Ward (1957).

Tabla III. Clasificación del terreno con base a la altura crítica en la que existe movimiento de sedimento (Modificado de Davenport et. al, 2000).

Tabla IV. Valores de C para el cálculo del escurrimiento (Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1977).

Tabla V. Razón de retroceso (W_A) de la línea de costa en la zona del Cabo en Bahía Colonet.

Tabla VI. Razón de retroceso (W_A) de la línea de costa en la zona del Cabo en Bahía Colonet.

Tabla VII. Razón de retroceso (W_A) de la línea de costa en la zona del Cabo en Bahía Colonet.

Tabla VIII. Razón de retroceso de la línea de costa en la zona del Cabo en Bahía Colonet.

Tabla IX. Erosión y depositación de la línea de playa, en la Zona de Cabo Colonet.

Tabla X. Erosión y depositación en la línea de playa para la Zona Norte de Bahía Colonet.

Tabla XI. Erosión y depositación en la línea de playa de la Zona Sur de Bahía Colonet.

Tabla XII. Erosión y depositación a partir de la línea de playa en Bahía Colonet.

Tabla XIII. Volumen de Sedimento por Transporte Eólico en Bahía Colonet para las tres Zonas.

Tabla XIV. Volumen de Sedimento en la playa de Bahía Colonet (Modificado de Urquijo-Pla, 2011). Las unidades son $m^3/año$.

Tabla XV. Volumen de Sedimento por Transporte Fluvial en Bahía Colonet.

Tabla XVI. Elementos positivos (depositación) para el balance en Bahía Colonet.

Tabla XVII. Elementos negativos (erosión) para el balance en Bahía Colonet.

Tabla XVIII. Balance Sedimentario en Bahía Colonet para cada una de las zonas.

Capítulo 1: Introducción y Antecedentes

1.1 INTRODUCCIÓN.

La costa es una fuente abundante de recursos naturales ya que es una de las regiones más variables y complejas de nuestro planeta, formando la única interfase entre los tres principales ambientes de la Tierra: los continentes, la atmosfera y el océano; por lo que en los últimos años se ha estimado que al menos 3 mil millones de personas viven en esta zona, lo cual ha traído consigo la construcción de grandes desarrollos urbanos, turísticos e industriales, originando que esta sea una zona importante en el transporte global de mercancía y personas (Dolan & Fisher, 1977; Woodroffe, 2003).

La línea de costa se encuentra en constante cambio debido a la dinámica de los procesos que en ella se presentan como los son las mareas, las estaciones, las variaciones climáticas a gran escala, y las fluctuaciones en el nivel de mar, siendo las playas las que responden con gran sensibilidad a las fuerzas que actúan en ella, que son principalmente las olas y el viento, donde las olas proveen la energía necesaria para mover sedimento a lo largo y dentro de la costa (Patsch & Griggs, 2006; Inman, 1991). Los cambios que presenten las playas pueden ser totales (por ejemplo su pérdida), o parciales (cambios en los patrones del oleaje), y en estos cambios también han intervenido las actividades del hombre, ya que interfieren con los procesos naturales que ocurren en la costa (Reeve, *et al.*, 2004).

El material sedimentario que es transportado en la playa proviene de gran variedad de fuentes, incluyendo ríos, cantiles marinos, dunas y posiblemente otras fuentes que se encuentran fuera de la costa. El sedimento generalmente permanece en la playa solo por un corto tiempo hasta que es arrastrado y transportado por las corriente litorales. Cuando la remoción de arena (salida) excede al sedimento aportado (entrada), resulta en una erosión o estrechamiento de las playas. Contrariamente, el crecimiento de la playa se da cuando las entradas de sedimento exceden a las salidas, o si existe alguna barrera como lo

son los espigones o escolleras, los cuales son construidos para almacenar arena generando que la salida de material disminuya, lo cual ocasiona que el transporte litoral sea interrumpido (Patsch & Griggs, 2006).

La planeación del manejo de la costa es relevante para la sustentabilidad y uso de la misma, ya que muchas de las actividades o modificaciones hechas a ellas han alterado gravemente su flujo natural. En un esfuerzo para entender mejor los procesos que ocasionan los cambios en las playas, los científicos han empleado el concepto balance sedimentario para identificar y cuantificar en medida de lo posible, las adiciones y pérdidas de material, así como la influencia en el ancho de la playa (Patsch & Griggs, 2006). Este no es más que la aplicación de la ley de la conservación de la materia, donde se toman los cambios entre el sistema, es decir, donde hay pérdida o ganancia de material. Si las pérdidas de material es mayor que la ganancia habrá erosión, si las ganancias sobrepasan a las pérdidas habrá depositación. Mientras que si las pérdidas y ganancias tienen igual magnitud, el balance final es cero lo que indica un estado de equilibrio.

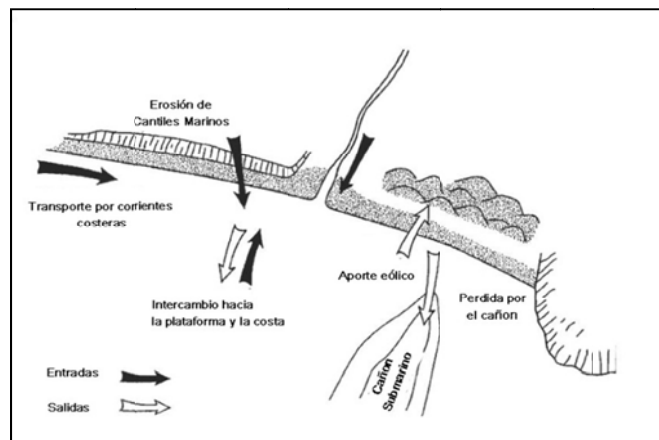


Figura 1. Esquema general de un balance sedimentario (Modificado de Komar, 1976).

Para poder determinar el balance sedimentario, la zona costera se divide en secciones llamadas celdas litorales (Fig.2), que se caracterizan por tener un ciclo completo de sedimentación, incluyendo fuentes, patrones de transporte y pérdidas; éstas se encuentran delimitadas por un área geográfica. Las fuentes de sedimentos son comúnmente los arroyos o ríos, los cantiles, migración de bancos

de arena, entre los principales. Las pérdidas de material están dadas por el patrón de transporte a lo largo de la costa y fuera de la costa, la mayor parte de las pérdidas son hacia los cañones submarinos y la migración de las dunas. La límites entre cada celda está determinada por los cambios en la tasa de transporte de sedimento y sus límites pueden ser las puntas rocosas que actúan como una barrera para la deriva litoral (Inman, 2003).

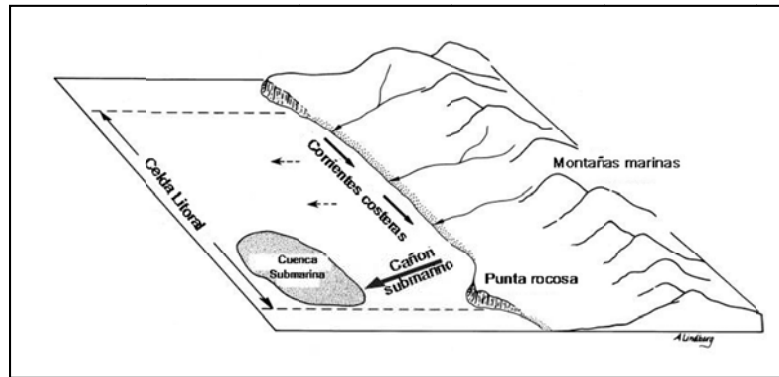


Figura 2. Esquema general de una celda litoral (Modificado de Komar, 1976).

La línea de costa ha sido desarrollada durante siglos, con la construcción de puertos y marinas para apoyar a las comunidades locales y el desarrollo de la zona, sin embargo estas construcciones tienen efectos perjudiciales en la franja costera. Lo anterior ha dado lugar a la necesidad de comprender detalladamente los factores que influyen en la evolución costera, para poder determinar los cambios generados a lo largo de ella, identificando diversos elementos como son la geomorfología, la litología, la flora y fauna, las estructuras sedimentarias, el aporte sedimentario, el tamaño de grano del sedimento; también las condiciones hidrodinámicas, tales como corrientes, clima de la ola, vientos, entre los más importantes. Por lo anterior es de gran importancia reconocer y evaluar los procesos que tienen lugar en la franja costera, ya que con esto es posible prevenir o mitigar sus problemas para tener un adecuado aprovechamiento de la misma (Harris, *et al.*,2005).

Los desarrollos turísticos, obras portuarias y de protección, interfieren con la circulación de agua y sedimentos, produciendo erosión en algunas zonas y

deposición en otras (Edge, *et al.*, 1982; Leidsfordet *al.*, 1994 en Guardado-France, 1997). La construcción de estructuras tales como espigones, escolleras y rompeolas causa un desajuste en el equilibrio natural del transporte litoral. Tales estructuras actúan como trampas de sedimento, obstruyendo el movimiento del mismo. Este desequilibrio modifica la configuración costera debido a los cambios en los sitios de deposición y erosión por la transformación en el arribo del oleaje (Komar, 1978; U.S.A.C.E.R., 1977), causando la remoción de arena y eliminando el papel amortiguador de la playa, y en consecuencia, promoviendo la erosión del cantil.

La estimación del balance sedimentario se debe realizar sobre todo si en la costa existen actividades de importancia económica, como pesquerías, actividades turísticas, comerciales y portuarias, para tener un manejo adecuado de la misma. Los puntos de la costa donde predominan los procesos de erosión o deposición, servirá para poder predecir el tipo de vocación de ese segmento de la costa, y que tal vez en un futuro podrá ser explotado adecuadamente, evitando cuantiosas pérdidas económicas (Cruz-Colín, 1994).

Un modelo de balance sedimentario se logra adaptando las condiciones climatológicas y geomorfológicas de cada lugar, considerando el volumen de sedimento aportado por cantiles, transporte eólico, precipitación, aporte de ríos, por corrientes y transporte litoral. Conocer estos aportes de material, proporcionará información más precisa que permitirá un mejor uso y explotación de la zona costera.

El desarrollo de nuevos puertos de uso comercial y recreativo en Baja California, se ha planeado debido a que existen puertos como el Sauzal de Rodríguez y el Puerto de Ensenada que empiezan a exceder su capacidad de carga; por lo que se pretende la construcción del Puerto de Bahía Colonet el cuál sería el más grande en México y el tercero más grande del mundo, después de Singapur y Hong Kong. Debido a su cercanía con otros puertos y ciudades, será un puerto que tendrá una superficie total de 2,769.7 Ha, donde 83 Ha estarán en tierra y 2,686.6 Ha serán de aguas de mar territorial, siendo aún más grande que

los puertos de Los Ángeles y de Long Beach. Según la Corporación de Desarrollo Económico de Los Ángeles, los puertos de Los Ángeles y Long Beach son los más ocupados de Estados Unidos de Norteamérica. Ambos en el 2008 manejaron 14.3 millones de contenedores, lo que los colocó en el primer lugar; y en el 2000 manejaron 9.5 millones, que representó un tercio del total de tráfico de ese país (Kyser, et. al. 2009). Aunado al puerto, el desarrollo contempla la construcción de vías férreas que conectarían Punta Colonet con las vías que corren de Oeste a Este de Estados Unidos de Norteamérica y se cumpliría el principal objetivo, que es transportar la carga de productos asiáticos hacia el Este de nuestro vecino país (González-Olimón, 2009).

El realizar el presente estudio sobre el Balance Sedimentario en Bahía Colonet proveerá de información sobre el estado evolutivo de la costa y podrá ser utilizado como una herramienta en estudios sobre gestión y vulnerabilidad, que permitirá prever los posibles impactos que traería consigo la construcción de puerto.

1.2 ANTECEDENTES.

La estimación del balance sedimentario es un estudio que ha sido utilizado por diversos investigadores como una herramienta de apoyo para elaborar planes de manejo de la zona costera (Patsch & Griggs, 2006). Los estudios de esta índole se iniciaron en los años 70's en las costas de California en los Estados Unidos de Norte América.

En la costa de Baja California se han realizado algunos estudios sobre balance sedimentario, sin embargo ninguno de ellos se ha hecho en Bahía Colonet, Los estudios que se han realizado versan sobre caracterización geológica y de los cantiles, proveniencia de los sedimentos, batimetría, clima del oleaje y el transporte litoral, entre otros.

Miller y Abbott (1988), realizaron un estudio geológico en la zona de Bahía Colonet, determinando que los cantiles de la zona son parte de la Formación Sepultura (Eoceno Inferior al Paleoceno Superior) y se encuentra expuesta a lo largo de ellos. También encontraron que las características geológica estuvieron gran movilidad a lo largo del tiempo y que los depósitos aluviales así como la concentración de conglomerados, indican un fuerte arrastre de material pétreo desde Valle San Telmo hasta la costa (Bravo-Cortez, 2009).

Palacios-Chávez (2008), diseñó un modelo de Ordenamiento Ecológico de Territorio (OET) en la zona costera Punta Colonet a Camalú. En función a este trabajo se determinó los principales usos que tendrá el territorio del nuevo desarrollo portuario el cual contempla dos zonificaciones del área: la primaria que está dividida en tres secciones (Norte, Centro y Sur); y la secundaria la cual detalla los usos de suelo para el sector centro por el mayor desarrollo urbano y el óptimo desarrollo del Puerto. Esta zona está comprendida por los arroyos San Rafael y San Telmo, dejando principalmente como reservas las mesetas de San Antonio-El Rodeo al norte, y San Jacinto al sur. Los principales usos de suelo son agropecuario, parque ecológico, canalización de arroyo, mixto (actividades de servicio y comerciales), industrial, servicios portuarios, puerto, reservas,

habitacional, áreas verdes, áreas de conservación y predios rústicos (García-Escobedo, 2009).

Bravo-Cortez (2009), clasificó los cantiles que se encuentran en Bahía Colonet con base a sus características y procesos erosivos de acuerdo a la clasificación de Emery y Kuhn (1982). El investigador dividió el área en Zona Norte y Sur, la cual sus cantiles tienen alturas de 7 a 4 m y presentan socavado en la base, por lo que se determinó que el agente erosivo marino es predominante. Mientras que la Zona Norte tiene alturas menores a los 2.7 m. y el agente erosivo predominante fue el subaéreo.

García-Escobedo (2009), determinó la proveniencia de los sedimentos en Bahía Colonet, localizando tres fuentes de sedimento: La Zona Norte en los cantiles del Cabo Colonet; la Zona Sur en los cantiles de Punta San Telmo; y la que pertenece a los arroyos San Rafael y San Telmo, en las que determinó tres petrofacies predominantes: cuarzosa, arcósica y de mezcla. Así también en función de los parámetros texturales, determinó que el transporte de sedimentos en la Bahía es de NW a SE, y en la parte media de S a N.

Jiménez-Esquivel (2009), determinó la longitud y orientación de un rompeolas conectado a la costa para el Puerto de Bahía Colonet, mediante el uso de la altura significativa y la dirección de arribo del oleaje. Las dimensiones que propuso debería tener el rompeolas es: 7,380 km de longitud con un área protegida de 20.133 km², un ángulo de talud ideal de 26.57°, runup de 2.38 m en el nivel de bajamar medio para evitar el rebase de la estructura al 10% de seguridad. La estructura también debería tener una altura de morro de 31.3 m, sin embargo, debido a las dimensiones propone que se utilice otro tipo de materiales para su mejor efectividad.

Madrigal-Sánchez (2009), analizó los aspectos oceanográficos para el diseño de una obra marítima en la zona, tales como el levantamiento batimétrico, el análisis estadístico y patrón de refracción del oleaje incidente en Bahía Colonet. La batimetría de la zona mostró una configuración morfológica altamente irregular debido a los constantes cambios en los contornos batimétricos, consecuencia de

la acción del oleaje con alta energía. Encontró que la altura significativa (H_s) tiene valores mínimos en verano (~ 0.5 m) y máximos en invierno (~ 3 m); un periodo del pico espectral (T_p) con rango de 4 hasta 24 s, que caracteriza un comportamiento no estacional; y una dirección de arribo del oleaje de Sur-Suroeste ($\sim 180^\circ$). En el patrón de refracción la zona de estudio se caracterizó la presencia de dos regiones de concentración de energía (extremos), y una zona de disipación (región central).

Urquijo-Pla (2011), determinó el transporte litoral en Bahía Colonet, donde la dirección fue de N- S a lo largo del año, pero en febrero esta dirección cambia de S-N, también observó que las corrientes de retorno y la redistribución del sedimento cambian estacionalmente. Igualmente encontró que existe una variación en el tamaño y acumulación de sedimento de la bahía a lo largo del año, así como cambios estacionales en las corrientes litorales.

Capítulo 2: Justificación

2. JUSTIFICACIÓN.

Debido a su ubicación y cercanía con la frontera, el desarrollo de un puerto en Bahía Colonet representa una gran oportunidad para México ya que de esta forma se puede aprovechar de la mejor manera la reactivación del comercio internacional debido al incremento en el tráfico comercial que se registra actualmente entre Asia y Norteamérica, a través del Océano Pacífico, generando una ruta más directa entre ambos continentes, incluso más directa que el Canal de Panamá y el de Suez. Por lo anterior, Bahía Colonet es una zona que ha tomado gran interés en los últimos años debido a que se pretende llevar a cabo la construcción de un mega puerto el cual será el más grande de México. Sin embargo y como ya se mencionó, es una zona que ha sido poco estudiada por lo que se desconocen los factores que influyen en la dinámica costera, como lo son el transporte sedimentario, el volumen de sedimento aportado por los cantiles y el drenado por los arroyos, es decir un estudio de balance sedimentario. El contar con esta información, proporcionará mayor cantidad de elementos para planear de manera adecuada el aprovechamiento de esta zona costera, debido que la falta de incorporar este tipo de información en la toma de decisiones en proyectos de gran tamaño en la ingeniería costera e hidráulica, se ha traducido a problemas costosos para la sociedad.

En el caso del que será el Puerto de Colonet, una infraestructura portuaria podría causar un grave desequilibrio al balance sedimentario por la construcción del rompeolas y espigones, ya que generan alteraciones en la dinámica costera como son el transporte de sedimentos y canalización de los ríos, lo cual podría resultar en procesos erosivos por limitar o anular los aportes de sedimentos al sistema. Es por ello que este trabajo consistirá en estimar el balance sedimentario. Lo anterior proporcionará información en la base de datos dinámicos y que permitirá tener en primera instancia las consecuencias que traería la construcción de un rompeolas.

Capítulo 3: Objetivos

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar el balance sedimentario de Bahía Colonet, Baja California

3.2 OBJETIVOS PARTICULARES

- Definir los elementos del balance sedimentario.
- Identificar y cuantificar cada uno de los elementos que influyen en la estimación del balance sedimentario.
- Determinar las celdas litorales que componen el sistema de Bahía Colonet.
- Representar de manera gráfica la línea de costa y las celdas litorales del área de estudio.

Capítulo 4: Área de Estudio

4. ÁREA DE ESTUDIO.

Bahía Colonet se localiza a 130 km al sur de la ciudad de Ensenada en la costa del Pacífico de Baja California, ubicado entre los 31°N y $116^{\circ}23' \text{W}$ a $30^{\circ}55' \text{N}$ y $116^{\circ}11' \text{W}$. y 200 km al sur de la frontera con los EE.UU. Delimita al norte por Punta Colonet, al sur por Punta San Telmo y Cuatro Casas, siendo una de las regiones más productivas de Baja California

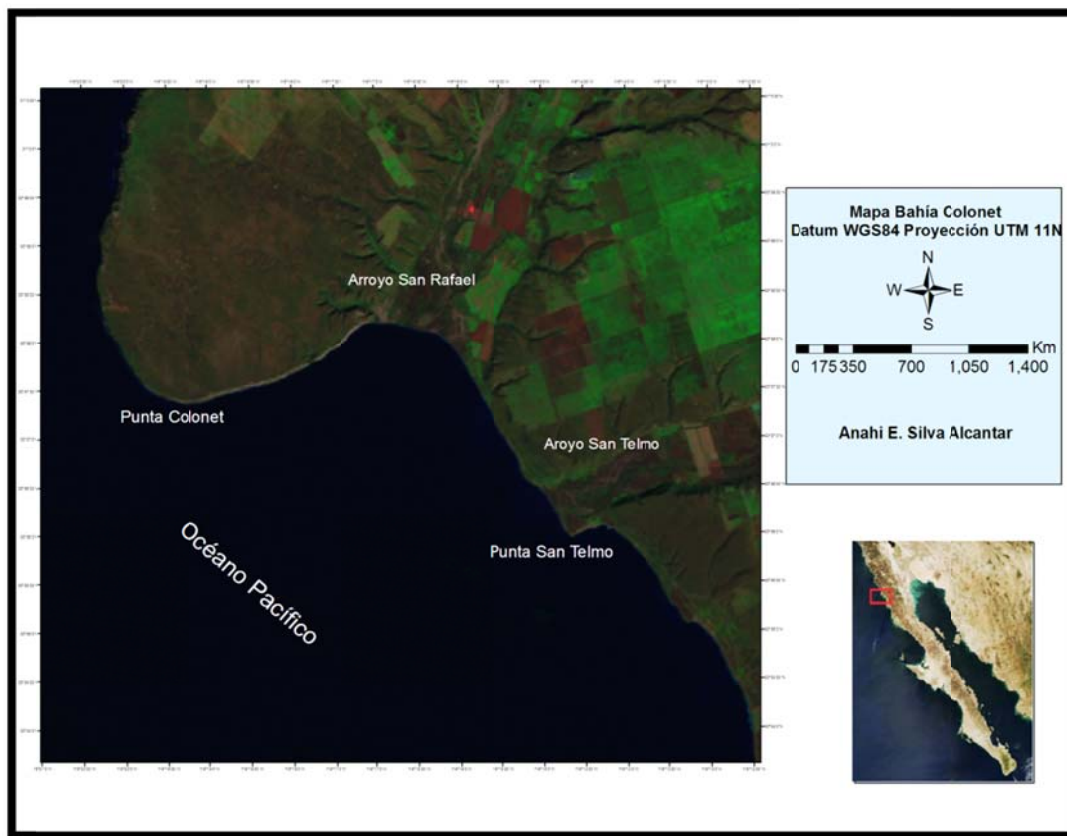


Figura 3. Localización del área de estudio (Bahía Colonet), y su ubicación en la Península de Baja California (Imagen LandSat resolución espacial 30 m).

4.7 Geología

Por su ubicación geográfica, a la Región de Colonet le corresponden dos tipos diferenciados de formaciones geológicas: la franja volcánica del Triásico Superior-

Cretácico Medio, y la franja sedimentaria del Cretácico Superior en algunas porciones costeras.

4.1.1 Franja sedimentaria del Cretácico Superior (Ks)

Se localiza al occidente del estado de Baja California y está formada por sedimentos marinos y continentales del Cretácico Superior, que se encuentran poco consolidados y sin evidencias notables de deformación. Consiste en estratos de arenisca, limolita y conglomerado con presencia de fósiles marinos y huesos de saurios, lo que indica una variación de ambiente continental, de plataforma y talud con líneas de costa fluctuantes, con una orientación casi paralela a la franja volcánica del Triásico Superior-Cretácico Inferior (COPLADEM, 2008).

4.1.2 Franja volcánica del Triásico Superior-Cretácico Medio (Km)

La porción occidental del estado de Baja California se caracteriza por la presencia de un conjunto de rocas volcánicas, volcanoclásticas, sedimentarias interestratificadas, y en menor proporción, rocas metamórficas de bajo grado en las porciones basales de la secuencia, que constituyen lo que se conoce como terreno Alisitos. Las rocas que la constituyen son: pizarra, conglomerado, cuarcita, caliza ligeramente metamorfozada, rocas volcánicas andesíticas y dique-estratos emplazados en graúvacas, limolitas y lutitas. El área de la Delegación Colonet presenta conglomerados del Cenozoico y Paleógeno, rocas metamórficas, tipo metasedimentarias del Mesozoico (COPLADEM, 2008).

4.8 Clima

La mayor parte del estado de Baja California se caracteriza por clima desértico y por sus lluvias escasas. El clima está bien delimitado en diferentes regiones, en general es caliente y seco, pero por estar al norte del Trópico de Cáncer su estación fría es muy definida.

En la Delegación Colonet se presenta un clima árido templado en invierno, con temperatura media anual de entre 12°C y 18°C; la temperatura del mes más frío es de - 3°C a 18°C, la del mes más caliente es menor a 22 °C. El porcentaje de lluvia

invernal es superior a 36% del total anual y la precipitación anual está entre 100 y 300 mm (COPLADEM, 2008).

4.9 Suelos

Los suelos de la región de Colonet de acuerdo con la clasificación de la FAO-UNESCO (1988), son principalmente de los tipos *regosol*, *planosol*, *xerosol* y *fliviosoles*. Los *regosoles* son blanquecinos o amarillentos y poco profundos; poseen contenidos bajos o moderados en nutrientes y materia orgánica, y son muy susceptibles a la erosión. Están formados de materiales no consolidados como arenas, y se utilizan en la agricultura de riego con restricciones bajas a moderadas por su contenido de sales y sodio (SPP, 1982; INEGI, 2001). Los *litosoles* son suelos con una profundidad menor a 10 cm y se presentan asociados a otros suelos como los regosoles. Por lo regular tienen una textura media y pH que oscila entre 6 y 8.3. Su escasa profundidad y pedregosidad impiden su utilización agrícola (INEGI, 2001). Los suelos de tipo *planosol* son de origen aluvial y residual, y se caracterizan por la presencia de un horizonte E álbico de textura arenosa, del que se han removido arcilla y óxidos de hierro libres, y que sobreyace a un horizonte de lenta permeabilidad (INEGI, 2001). Los *xerosoles* son suelos cuyo origen es a partir de rocas sedimentarias como las areniscas, en ellos el proceso de calcificación es el dominante; su textura va de media a gruesa. Los *fluvisoles* se encuentran en los lechos de los arroyos, están formados a partir de materiales acarreados por el agua y han tenido poca evolución en su perfil, se caracterizan por tener capas alternas de arena, arcilla o gravas (INEGI, 2001). Aluvión es el terreno que queda al descubierto después de las avenidas (de los arroyos y ríos) y de los que se forman lentamente por los desvíos y variaciones en dichas avenidas (COPLADEM, 2008).

4.10 Hidrología

La zona de Colonet forma parte de la Región Hidrológica No. 1, cuenca del Arroyo las Ánimas- Santo Domingo, que incluye las subcuencas Arroyo El Salado, San Rafael, San Telmo y Santo Domingo. Los escurrimientos superficiales

principales en el área de estudio son los arroyos San Rafael y San Telmo (Tabla I y Figs. 4 y 5) (CEA, 2003).

Tabla I. Características hidrológicas de de las cuencas principales de la zona de estudio (CONAGUA, 2008).

Cuenca	Área (Km ²)	Volumen (Mm ³)		Volumen de salida Millones de m ³	Precipitación Anual media (mm)
		E.M.A ⁺	A.M.A [*]		
Arroyo San Rafael	1,336.40	30.7	0.10	15.836	279.50
Arroyo San Telmo	925.30	16.42	0.10	7.639	193.60

+ Volumen de escurrimiento medio anual (E.M.A).

*Volumen de aprovechamiento medio anual (A.M.A).

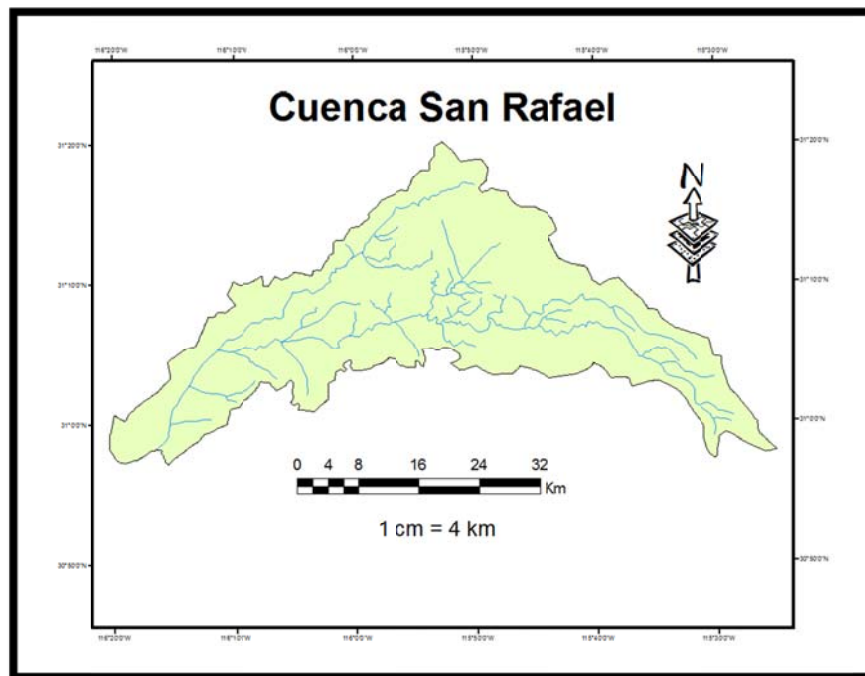


Figura 4. Imagen de la Cuenca San Rafael modificado del modelo de Elevación Digital de la Nasa con una resolución espacial de 15 m (Modificado de Escoto-Rodríguez, 1994).

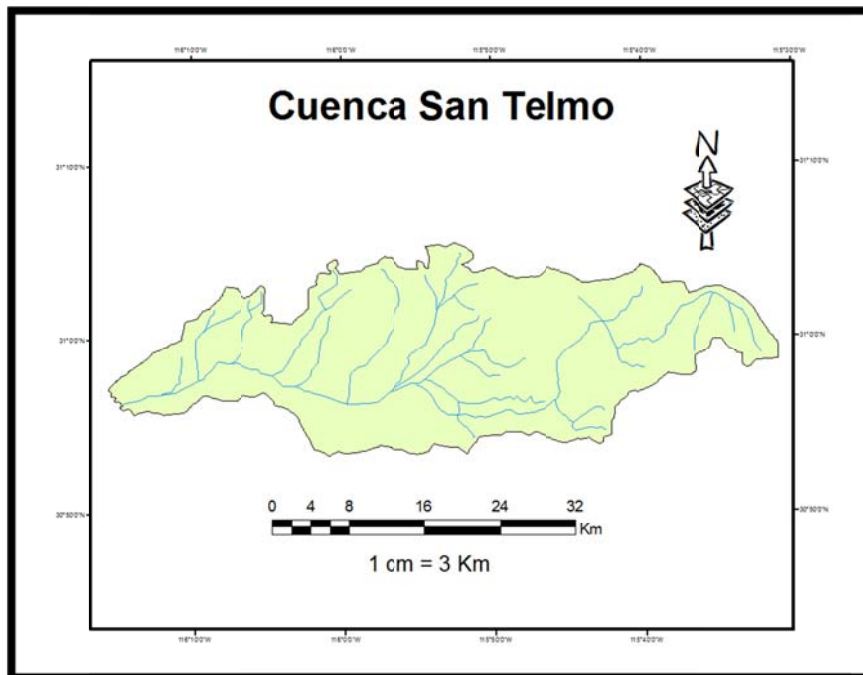


Figura 5. Imagen de la Cuenca San Telmo modificado con del modelo de Elevación Digital de la Nasa con una resolución espacial de 15 m (Modificado de Escoto-Rodríguez, 1994).

4.11 Vientos

La clasificación o régimen que se le da a los vientos para las costas de Baja California es la de brisas, las cuales se presentan como vientos de mar a tierra durante el día y en sentido opuesto durante la noche. La dirección dominante presenta componentes del NW con intensidades de 4 m/s, seguido de las direcciones del N y W con intensidades similares durante el verano. De septiembre a febrero se presentan direcciones del E, NW y SW con intensidades moderadas de 8 a 10 m/s. Durante los meses de octubre a enero este régimen de brisas se ve suspendido esporádicamente y es entonces cuando se presenta el fenómeno conocido como “Condición Santana”, que consiste en la presencia de vientos de escasa humedad y alta intensidad (20 m/s) en dirección E, que persisten durante el día y la noche por un lapso de 2 a 3 días. En la zona se presenta un sistema de tormentas zonales (Tormentas invernales) con dirección de W a E (Bermúdez, 1999 en Jiménez-Esquivel, 2009).

4.12 Oleaje

En la zona oceánica frente Bahía Colonet, la dirección del transporte de sedimentos es de Norte a Sur, mientras que la parte media de la bahía la dirección es NW-SE. La dirección de arribo del oleaje en la zona de estudio es de dirección E-NE con ángulos de 70° - 90° en condiciones de Santa Ana, mientras que la dirección predominante del oleaje es de S-SW en intervalos de $170-190^\circ$ a $200-220^\circ$. La altura significativa (H_s) con valores mínimos en verano ($\sim 0.5\text{m}$) y máximos en invierno ($\sim 3\text{m}$); periodo del pico espectral (T_p) con un rango de 4 hasta 24 s, (Madrigal-Sánchez, 2009).

5. Metodología

El método para determinar el balance sedimentario es el propuesto por Shuisky Schwartz (1983), el cual consiste en identificar todos elementos que influyen en la zona. La base principal de estos estudios es que se debe considerar cada componente del sistema, ya que la poca precisión de esta compilación preliminar determina la exactitud subsecuente de los cálculos y resultados finales. La compilación final es representada en forma de ecuación (1):

$$A + d + Q_f + Q_e + O_t + k_{gl} + I = O_s + O_{ds} + Q_{e'} + k_{gl'} + T_g + T_t + k_{red} \quad (1)$$

Dónde:

A= Sedimento erosionado del cantil.

d= Sedimento erosionado de la plataforma.

Q_f= Volumen de sedimento fluvial.

Q_e= Transporte de material eólico.

O_t= Volumen de material biogénico.

k_{gl}= Sedimento erosionado por aguas de deshielo hacia adentro de la costa.

I= Contribución por erupción volcánica.

O_s= Sedimento depositado en la parte expuesta de la costa (playa, berma, dunas, barras).

O_{ds}=Material suspendido acarreado hacia afuera de la costa por corrientes.

Q_{e'} = Transporte eólico hacia afuera de la costa.

k_{gl'}= Sedimento erosionado por aguas de deshielo hacia afuera de la costa.

T_g= Sedimento perdido en cañones submarinos.

T_r = Sedimento removido por corrientes de marea.

kr_{ed} = Pérdida debida a la desintegración/ abrasión de material.

La primera parte del trabajo consistió en revisar las fuentes bibliográficas disponibles y rasgos geomorfológicos referentes a Bahía Colonet, en donde se presentaran información sobre datos de corriente litoral (velocidad y dirección), fuentes y zonas de depositación de material sedimentario, características del sedimento (tamaño y tipo), oleaje, batimetría, vientos predominantes, épocas de precipitación. Esta recopilación permite identificar los elementos del balance sedimentario e inferir las celdas litorales de acuerdo al comportamiento de todos los parámetros anteriores.

Una vez hecho lo anterior y utilizando como base fotografías aéreas e imágenes de satélite se procedió a generar mapas de la zona de estudio, a fin de ser utilizados para mostrar los principales rasgos geomorfológicos como zona de cantiles, playas y desembocadura de ríos.

Ya que se identificaron los elementos que contribuyen al balance sedimentario en Bahía Colonet, estos fueron los únicos considerados al utilizar la ecuación de Shuisky Schwartz, bajo la siguiente consideración: los elementos positivos o de entrada se colocan del lado izquierdo y los negativos o de salida del lado derecho:

$$A + Q_f + Q_e = O_s + Q_e' \quad (2)$$

En el caso particular de Bahía Colonet los elementos positivos que definen la celda litoral son: sedimento erosionado por el cantil (A), volumen de sedimento fluvial (Q_f) y transporte de material eólico (Q_e); como elementos negativos: sedimento expuesto de la costa (O_s) (playas, berma, duna, barras), transporte eólico hacia afuera de la costa (Q_e') (Fig. 6).

El resultado obtenido para el balance sedimentario, indica la dominancia relativa de los procesos erosivos y depositacionales en un lapso de tiempo

prolongado los procesos involucrados en la zona de estudio, es decir, si está en proceso de erosión o depositación lo anterior para un prolongado lapso de tiempo.

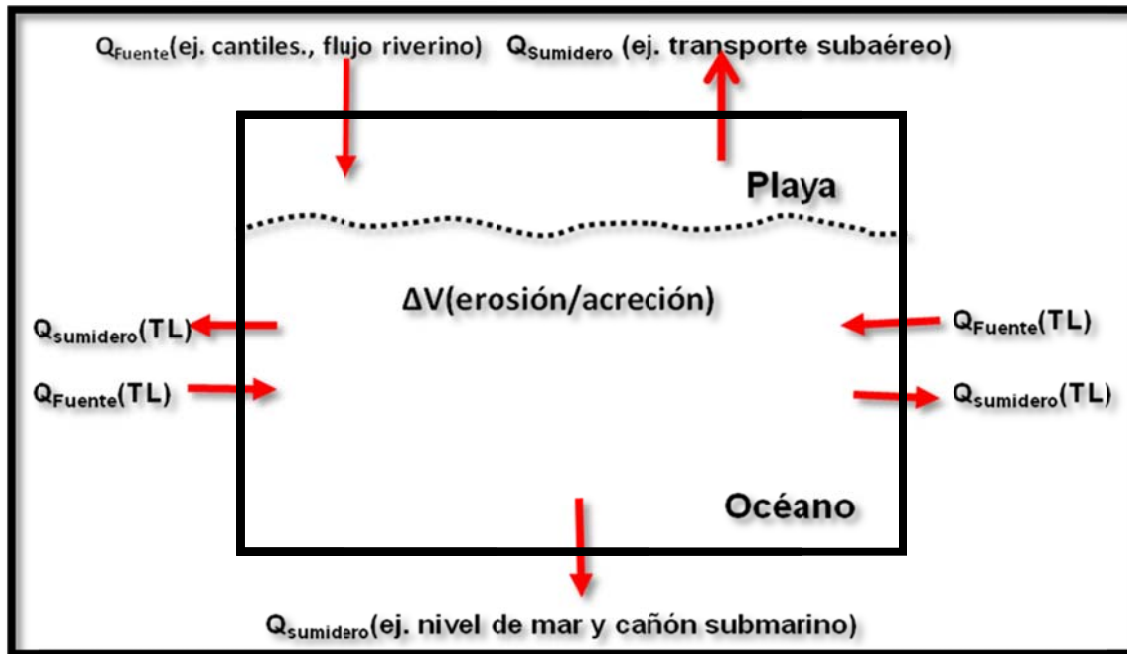


Figura 6. Modelo propuesto para Bahía Colonet modificado de Shuisky Schwartz 1983.

Debido a que no existe información sobre el volumen aportado por el cantil, de transporte eólico y por transporte fluvial, se estimaron de acuerdo los métodos que a continuación se describen.

5.1 Volumen de Sedimento aportado por el cantil (A)

La metodología empleada es la recomendada por Shuisky Schwartz (1983) que se expresa de la siguiente manera:

$$A = W_A * H * D \quad (3)$$

Dónde:

A= Volumen de sedimento aportado por el cantil ($m^3/año$).

W_A= Razón promedio de retroceso de cantil ($m/año$).

H= Altura promedio del cantil (m).

D= Longitud erosionable del cantil (m).

Los cálculos de la ecuación (3) definen el volumen total producido por un cantil a lo largo de un sector de la costa. Si dentro de la zona de estudio existen varios sectores, como es el caso de Bahía Colonet, entonces el volumen aportado por los cantiles (*A*) será la suma del volumen aportado para cada uno de los sectores (A_1, A_2, \dots, A_N):

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_N \quad (4)$$

La magnitud del aporte de cada uno de los elementos de la ecuación (3) se obtuvo a partir de fotografías aéreas del INEGI (clave H11B53), con escalas 1:75000 y 1:40000, con una resolución de 1.35 y 0.72 m respectivamente, que cubriesen el mayor lapso de tiempo que en este caso fueron: 1973, 1986, 1993. También se usaron imágenes de satélite LandSat 4-5 TM (Thematic Mapper) con una resolución espacial de 30 m de los años 2000, 2003, 2007 y 2009, obtenidas por la US. Geological Survey (<http://glovis.usgs.gov/>), donde se eligió la combinación de las bandas 742, debido a que esta combinación es la más adecuada por que resalta las características geológicas y se puede obtener la evolución más detallada de la línea de costa.

5.1.1 Razón de retroceso del cantil (**W_A**)

Una vez ubicada la zona de cantiles se georeferenciaron las fotografías del área de estudio la Orthofoto del INEGI (clave H11BE53), sin embargo, como no se

tenía una foto que abarcara toda la zona de estudio, se procedió a transponer varias imágenes y se obtuvo la imagen completa de Bahía Colonet, para cada uno de los diferentes años. Para las imágenes de Satélite LandSat 4-5TM usando el programa ER Mapper versión 6 para crear un archivo tipo .ers, que contiene una serie de datos de las diferentes bandas espectrales. Una vez que las imágenes y las fotografías fueron tratadas con el dicho programa, se procedió a digitalizar lo que se identificó como la cresta del cantil con el programa Arc Gis versión 9.3.1, dando como resultado dicha cresta para cada uno de los años ya mencionados. Posteriormente, las imágenes obtenidas fueron empalmadas y comparadas año con año para determinar el retroceso mediante una evaluación visual de la morfología de la costa con ayuda de herramientas cartográficas, midiendo la distancia entre ambas líneas de costa para poder observar los cambios ocurridos. Se compararon: 1973-1986, 1986-2000, 2000-2003, 2003-2007, 2007-2009 y 2009- 2003 (Apéndice A, Figs. 1a - 20a,).

5.1.2 Altura del cantil (H)

La altura del cantil se obtuvo a partir de los resultados encontrados por Bravo-Cortez en 2009, el dividió el área de estudio en dos zonas: Zona Sur y Zona Norte, tiene alturas promedio de 7.3 m y 2.7 m respectivamente. Sin embargo a pesar de esa clasificación, aquí se incluye una tercera Zona que es la de Punta Colonet, en la cual hay cantiles con alturas promedio a los 100 m (Urquijo-Pla, 2011). Así mismo, se hizo una verificación en campo para corroborar lo propuesto por Bravo-Cortez midiendo los cantiles en zonas determinadas a lo largo del área de estudio.

5.1.3 Longitud del cantil (D)

Una vez ubicados las zonas de cantiles dentro de Bahía Colonet, a partir de las imágenes se determinó la longitud erosionable del cantil (D). Para Zona Punta Colonet se tiene una longitud de 6,500 m, en la Zona Norte ~7,000 m y en la Zona Sur ~3,000 m (Urquijo-Pla, 2011).

5.2 Volumen de sedimento aportado por transporte eólico (Q_e)

El Transporte eólico se calculó a partir de la ecuación desarrollada por Bagnold (1954) (Ec. 5), quien para poder resolver problemas en la zonas desérticas, modela el transporte eólico realizando experimentos de laboratorio en un túnel de viento y bajo condiciones controladas, y propone el transporte (q) en unidades de masa por unidades de longitud y tiempo. Esta ecuación se resolvió mediante un algoritmo de MatLab versión 2007^a, este programa resuelve en base a las variables del tamaño medio de grano, la densidad del sedimento, la velocidad y dirección del viento. Los resultados obtenidos son la cantidad de sedimento que es movido por el viento en unidades de masa por longitud por tiempo.

$$q = C \sqrt{\frac{d}{D} \frac{\delta}{g}} U_*^3 \quad (5)$$

Dónde:

d = Diámetro medio del grano en cuestión.

D = Diámetro medio o de referencia de una partícula típica (0.25 mm).

δ = Densidad del aire (0.00129 gr/cm³).

g = Aceleración debida a la gravedad (981 cm/s²).

C = Constante de clasificación para playas (Tabla II).

Tabla II. Valores para la constante de clasificación de playas (C) del Método de los Momentos Geométrico de Folk y Ward (1957).

C	Grado de clasificación para playas
1.27	Arena muy bien clasificada
1.34	Arena bien clasificada
1.52	Arena moderadamente bien clasificada
1.81	Arena moderadamente clasificada
3.0	Arena mal clasificada

Para resolver la ecuación de Bagnold (5) es necesario conocer la velocidad ejercida por el viento (U_*), la cual es una relación semiempírica usada para describir la distribución vertical y horizontal de la velocidad del viento por encima del suelo y se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$U_* = KU \log \left(\frac{z}{z'} \right) + U_{*c} \quad (6)$$

Dónde:

U = Velocidad media del viento (cm/s).

z = Altura a la que se midió U (cm).

z' = 0.1, altura crítica para que exista movimiento de sedimento (Tabla III).

U_{*c} = Velocidad crítica a partir de la cual empieza el movimiento.

K = Constante de Von-Karman (0.4).

El valor de la U_{*c} que es la velocidad crítica a partir de la cual empieza el movimiento de sedimento, se resolvió mediante la siguiente ecuación.

$$U_{*c} = A \left[\left(\frac{\rho_s - \delta}{\delta} \right) g d \right]^{0.5} \quad (7)$$

Dónde:

A= 0.1, constante establecida en el SPM.

δ = Densidad del aire (0.00129 gr/cm³).

ρ_s = Densidad del sedimento (2.65 gr/cm³).

g= Aceleración debida a la gravedad (981 cm/s²).

El valor de la altura crítica para que exista movimiento de sedimento (z'), se obtuvo mediante valores ya establecidos, siendo una medida correctiva para considerar el efecto de la rugosidad de la superficie del flujo del viento, que está entre 1/10 y 1/30 de la altura media de los elementos de rugosidad en el suelo (Tabla III).

Tabla III. Clasificación del terreno con base a la altura crítica en la que existe movimiento de sedimento (Modificado de Davenport et. al, 2000).

Clase		Z'(m)	Características del Paisaje
No.	Nombre		
1	Mar	0.0002	Aguas abiertas, planicies de marea, nieve con un fetch arriba de los 3 Km
2	Liso	0.005	Características de la tierra y Hielo
3	Abierto	0.03	Llanura con hierba y vegetación muy baja, pista de aeropuerto
4	Aproximadamente Abierto	0.10	Tierra cultivada, cultivos de bajos
5	Rugoso	0.25	obstáculos en paisajes abiertos,
6	Muy Rugoso	0.5	Paisajes con arbustos, bosques poco densos
7	Cerrado	1.0	Espacios abiertos con bosques densos y edificios de poca altura

8	Caótico	Más de 2.0	Distribución irregular de grandes elementos, como los centros de la ciudad, edificios de gran altura y grandes bosques
---	---------	---------------	--

Los datos de viento se obtuvieron de la Estación Meteorológica de San Telmo colocada por la Secretaria de Marina, Armada de México, que es en una serie de valores de velocidad media y dirección de los vientos dominantes para Colonet, registrados mensualmente entre el año 2007 y 2008. Debido a que solamente se cuenta con un año de información, se decidió promediarlos por mes y luego por estación, generando una lista de 4 datos, los cuales representan las estaciones: primavera, verano, otoño e invierno (Apéndice B, Tabla Ib y IIb). Para encontrar el tamaño medio de grano del área de estudio se usaron los datos generados por García-Escobedo en el 2009 (Apéndice B, Tabla IVb).

5.5 Sedimento depositado en la parte Expuesta de la Costa (O_s)

Del volumen aportado por los cantiles y los arroyos, cierta fracción se queda en la parte expuesta de la playa (O_s), por lo que para este cálculo se utilizó los resultados obtenidos por Urquijo-Pla (2011), la cual utilizo perfiles topográficos mediante el método de King (1972) y análisis granulométrico por el método de los momentos de Folk de 1974.

5.6 Volumen de transporte fluvial (Q_f)

Para poder calcular el volumen de sedimento por transporte fluvial se realizó un algoritmo en el programa MatLab versión 2007^a, el cual resuelve la ecuación de Langbein y Schum (1958). Esta ecuación se usó debido a que relaciona la variación climática contra el aporte sedimentario, considerando paralelamente el efecto erosivo de la lluvia, contra la acción protectora de la vegetación y es expresada de la siguiente manera:

$$S = a P^m \left(\frac{1}{1 + b P^n} \right) \quad (8)$$

Donde:

S= Carga anual en toneladas por kilómetro cuadrado.

P= Precipitación anual media efectiva en milímetros.

m y n= Son exponentes.

a y b= Son coeficientes.

aP^m = La acción erosiva de la lluvia en ausencia de la vegetación.

bP^n = La acción protectora de la vegetación.

Los valores de las constantes se obtuvieron a partir de depósitos sedimentarios conocidos (Millaman y Meade, 1983), donde $a= 41.14 \times 10^{-4}$, $b= 1.47 \times 10^{-8}$, $m=2.3$ y $n=3.33$. En función a las características fisiográficas y climáticas de Baja California y el tipo de datos disponibles, Pou-Alberú y Pozos-Salazar (1992), la expresan matemáticamente de la siguiente manera:

$$S = \frac{(41.14 \times 10^{-4} (P^{(2.3)}))}{1 + 1.47 \times 10^{-8} (P^{(3.33)})} \quad (9)$$

Donde:

Los valores constantes son para un depósito de sedimento.

S= carga anual en toneladas por kilómetro cuadrado.

P= precipitación anual efectiva, y es igual a la altura (**h**) de la capa de agua caída, es decir, a lo equivalente en litros de agua precipitados por metro cuadrado de superficie. Para poder conocer **h** es necesario calcular el Escurrimiento medio (**E_m**) por medio de la ecuación:

$$E_m = ACPm \quad (10)$$

Donde:

E_m= Escurrimiento medio en metros cúbicos.

A= Área de la cuenca en metros cuadrados (CONAGUA)².

C= Coeficiente de escurrimiento, que depende las características de la cuenca y uso de suelo (Tabla IV).

P_m= Precipitación media de la cuenca (CONAGUA, 2008)

Tabla IV. Valores de C para el cálculo del escurrimiento (Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1977).

Topografía Cobertura Vegetal	Textura del suelo		
	Grueso	Medio	Fino
Bosques			
Plano (0°- 5° pendiente)	0.10	0.30	0.40
Ondulado (6°- 10° pendiente)	0.25	0.35	0.50
Escarpado (11°- 30° pendiente)	0.30	0.50	0.60
Pastizales			
Plano (0°- 5° pendiente)	0.10	0.10	0.40
Ondulado (6°- 10° pendiente)	0.16	0.16	0.55
Escarpado (11°- 30° pendiente)	0.22	0.22	0.60
Terrenos de cultivo			
Plano (0°- 5° pendiente)	0.30	0.50	0.60
Ondulado (6°- 10° pendiente)	0.40	0.60	0.70
Escarpado (11°- 30° pendiente)	0.52	0.72	0.82

Para poder determinar el coeficiente de escurrimiento de la zona de estudio, se utilizó un Modelo de Elevación Digital obtenido por la NASA con una resolución de 15 m (<http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/>)y poder determinar las pendientes, obteniendo un valor de C para cada una de las cuencas que se localizan en el área de estudio (Cuenca San Rafael y San Telmo). Las pendientes en ambas cuencas se calcularon mediante el programa Arc Gis 9.3.1 extraídas del Modelo de Elevación Digital (Apéndice C, Figs. 1c-10c).

Los datos de precipitación media anual se obtuvieron mediante las Estaciones Meteorológicas operadas por el Servicio Meteorológico Nacional y la

Comisión Nacional del Agua (<http://www.smn.cna.gob.mx/>), considerando las estaciones de San Telmo y San Rafael (Tabla I).

La precipitación media efectiva (m) se calculó con la siguiente ecuación:

$$h = \frac{E_m}{A} \quad (11)$$

Donde:

E_m = Escurrimiento medio en metros cúbicos.

A = Área de la cuenca en metros cuadrados.

El criterio básico de medición de la precipitación en un pluviómetro, es en milímetros. Es el espesor o la altura de la capa de agua que llovió, o lo que equivale en litros de agua precipitados por metro cuadrado de superficie; por lo que h calculada es equivalente a la precipitación anual media efectiva (**P**) (Ec. 12), así que la ecuación 11 se puede reescribir de la siguiente manera:

$$P = \frac{E_m}{A} \quad (12)$$

El resultado obtenido por la ecuación 12 fue sustituido en la ecuación 8 para determinar la carga anual en toneladas por kilómetro cuadrado para cada cuenca (S). Posteriormente a **S** (Ec. 9,) se le multiplicó el área de drenaje de la cuenca (km²) y de esta forma se obtuvieron las toneladas que cada cuenca aporta anualmente (MD) a Bahía Colonet:

$$MD = (S) * (A) \quad (13)$$

Para poder representar mejor estas cantidades (toneladas), fue conveniente expresarlas en términos de volumen, que ocupa el depósito generado anualmente en cada cuenca y su suma total, de esta forma se estimó el volumen de aporte anual de sedimento a la Bahía Colonet. Para realizar esto se utilizó una relación hecha por Langbein y Schum (propuesta a partir de observaciones de campo, 1958), en la cual proponen que una tonelada de sedimento va a formar un depósito con un volumen de 0.3337 m^3 , por lo que para obtener el volumen del depósito anualmente en m^3 (**VD**), se puede representar de la siguiente manera:

$$VD = (MD) * (0.3775) \quad (14)$$

Capítulo 6: Resultados

6. RESULTADOS

Considerando las características geomorfológicas y la definición de celda litoral. Bahía Colonet se dividió en tres Zonas: Cabo Colonet, Norte y Sur, donde la zona Norte está influenciada por el Arroyo San Rafael y la Zona Sur es influenciada por el Arroyo San Telmo.

El litoral de la Bahía Colonet está compuesto en su mayoría por cantiles altos, excepto en las playas de desembocaduras de los arroyos que se componen básicamente de conglomerados, aluvión y areniscas (García-Escobedo, 2009). Por lo anterior la determinación de la celdas litorales se hizo en base a los cambios en la morfología de la costa y las desembocaduras de los arroyos y su delimitación quedó dada por esos factores, por lo anterior se determinaron tres celdas: La celda I que se ubica de lo que es Punta Colonet (que es la saliente rocosa) al inicio de la desembocadura del Arroyo San Rafael, la Celda II que se encuentra desde la Desembocadura del arroyo San Rafael hasta la desembocadura del Arroyo San Telmo y la Celda III se delimita por la Punta San Telmo (saliente rocosa) hasta Cuatro Casas.

6.1 Volumen Aportado por Cantiles (A).

Una vez delimitadas cada una de las zonas, se midió en cada una de ellas el retroceso del cantil y se compararon las imágenes y fotografías para los años considerado, 1973 –2009 (Tablas V, VI, VII y Fig. 7). El mayor retroceso se percibe al comparar 2009-Orthofoto con 128.88 m para la Zona Cabo Colonet,

302.83 m en la Zona Norte y para la Zona Sur 285.94 m que evidencian un proceso de erosión constante. Los cambios menos significativos se observan entre los años 2003- 2007 con 40.72 m en la Zona Cabo Colonet, para la Zona Norte 44.96 y 35.61 m para la Zona Sur.

Tabla V. Razón de retroceso (W_A) de la línea de costa en la zona del Cabo en Bahía Colonet.

ZonaCabo	
Años	$W_A(m)$
1973-1986	47.627
1986-2000	70.867
2000-2003	49.760
2003-2007	40.727
2007-2009	58.341
2009-Ortho	182.288
Total	449.611

Tabla VI. Razón de retroceso (W_A) de la línea de costa en la zona del Cabo en Bahía Colonet.

ZonaNorte	
Años	$W_A (m)$
1973-1986	68.761
1986-2000	136.946
2000-2003	64.521
2003-2007	44.958
2007-2009	112.244
2009-Ortho	302.831
Total	730.261

Tabla VII. Razón de retroceso (W_A) de la línea de costa en la zona del Cabo en Bahía Colonet.

ZonaSur	
Años	$W_A (m)$
1973-1986	15.462
1986-2000	136.046
2000-2003	47.607
2003-2007	35.610
2007-2009	67.982
2009-Ortho	285.944
Total	588.651

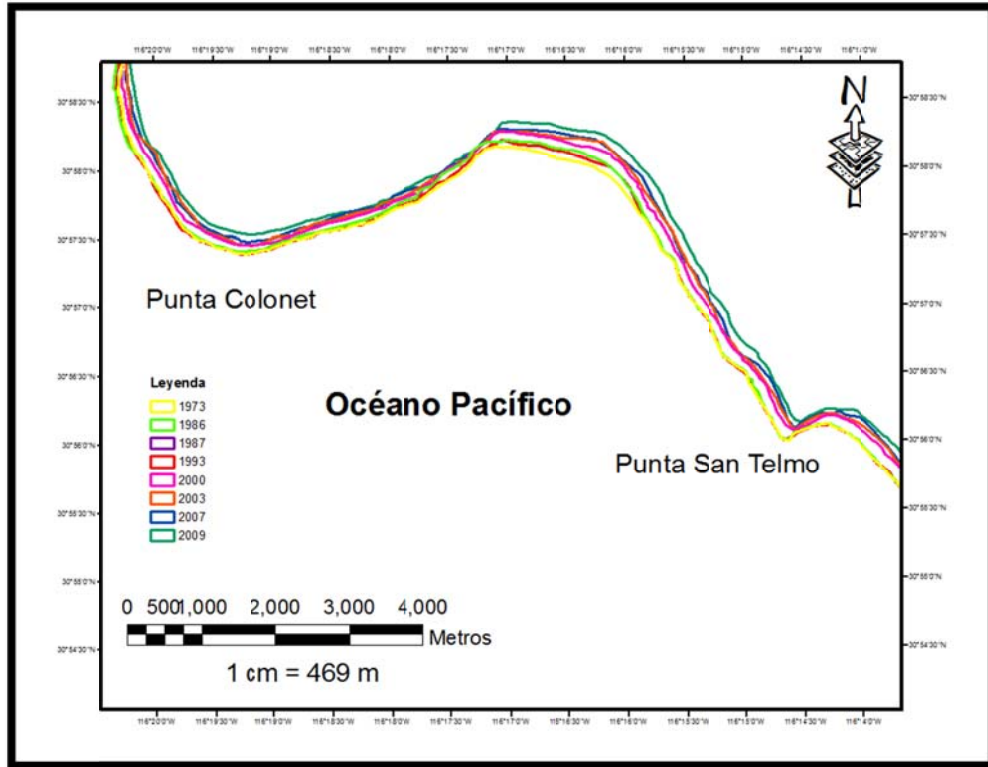


Figura 7. Imagen de la línea de cantiles en Bahía Colonet de los diferentes años, para determinar la razón de retroceso (W_A).

El mayor aporte de sedimento por los cantiles se da en la Zona de Cabo Colonet con 48,707,809 m³/año (Tabla VIII) dentro de Bahía Colonet, mientras que para las Zonas Norte y Sur la cantidad de sedimento aportado por los cantiles es mucho menor en comparación a la Zona del Cabo.

Tabla VIII. Razón de retroceso de la línea de costa en la zona del Cabo en Bahía Colonet.

Zona	Retroceso del Cantil W_A (m)	Altura del Cantil H (m)	Long. Erosionable del Cantil D (m)	Vol. Aportado Cantiles A (m ³)
Cabo	74.935	100	6500	48,707,809
Norte	208.646	2.7	7000	3,943,410.4
Sur	98.108	7.3	3000	2,148,575.5

La zona que presento mayor depositación fue la zona del Cabo con 60.482 m, y la mayor erosión se midió en la zona Norte con 59.120 m (Tabla XII).

Tabla IX. Erosión y depositación en la línea de playa, en la Zona de Cabo Colonet.

Años	Erosión	Depositación
1986-1987	18.759	87.095
1987-1993	17.690	63.096
1993-1995	26.287	55.922
1995-2000	36.290	42.5343
2000-2003	16.568	18.176
2003-2007	85.203	70.386
2007-2009	79.966	71.555
2009-Ortho	127.135	75.086
Total	50.987	60.481

Tabla X. Erosión y depositación en la línea de playa para la Zona Norte de Bahía Colonet.

Años	Erosión	Depositación
1986-1987		106.637
1987-1993	62.361	103.264
1993-1995	57.421	60.674
1995-2000	35.740	27.024
2000-2003	14.836	12.927
2003-2007	56.126	
2007-2009	96.161	53.428
2009-Ortho	91.195	45.822
Total	59.120	58.539

Tabla XI. Erosión y depositación en la línea de playa de la Zona Sur de Bahía Colonet.

Años	Erosión	Depositación
1986-1987	11.734	97.854
1987-1993	64.780	11.402
1993-1995	15.146	67.081
1995-2000	56.835	41.189
2000-2003	22.515	37.570
2003-2007	44.292	35.32
2007-2009	34.442	32.970
2009-Ortho	19.556	36.014
Total	33.662	44.925

Tabla XII. Erosión y depositación a partir de la línea de playa en Bahía Colonet.

Zona	Retroceso (m/año)	Avance (m/año)
Cabo	50.988	60.482
Norte	59.120	58.539
Sur	33.663	44.925

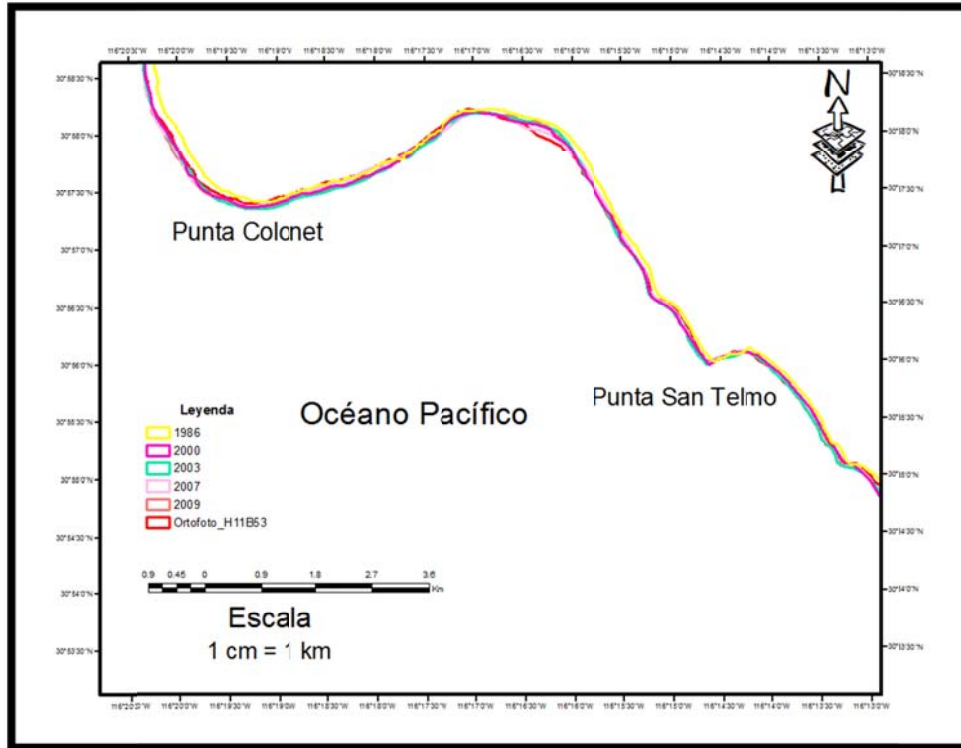


Figura 8. Líneas de playa para los diferentes años en Bahía Colonet, para identificar las áreas de erosión y depositación.

6.2 Volumen de transporte eólico (Q_e)

El volumen de sedimento promedio transportado por el viento hacia fuera de la costa para las Zona Sur y Norte para primavera, verano, otoño e invierno en el 2006, fue de $97.26 \text{ m}^3/\text{m}/\text{año}$ para la zona Sur y de $65.75 \text{ m}^3/\text{m}/\text{año}$ para la zona Norte, mientras que en la zona del Cabo Colonet no se obtuvieron estos datos (Tabla XIII) debido a que es una zona de gran energía que impide que se deposite material en esta parte de costa

Tabla XIII. Volumen de Sedimento por Transporte Eólico en Bahía Colonet para las tres Zonas.

Zona	Estaciones	Q _e (m ³ /m/año)	
		Playa (-)	Cantiles (+)
Sur	Primavera	21.270	26.758
	Verano	24.561	30.804
	Otoño	23.026	28.918
	Invierno	28.4029	35.519
	Total	97.261	122.00
Norte	Primavera	14.349	11.957
	Verano	16.606	13.838
	Otoño	15.553	12.961
	Invierno	19.244	16.037
	Total	65.753	54.794
Cabo Colonet	Primavera	0	32.110
	Verano	0	36.965
	Otoño	0	34.702
	Invierno	0	42.623
	Total	0	146.40

6.6 Volumen depositado en la parte expuesta de la playa (O_s)

El volumen de sedimento que se encuentra en la parte expuesta de la playa, se obtuvo solo para la Zona Norte y Sur debido a que en la Punta Colonet la intensidad del oleaje impide que se deposite sedimento en esta zona. El promedio anual para la Zona Norte fue 38,102. 70 m³/año y 10,496.96 m³/año para la Zona Sur (Tabla XIV). También es evidente que la mayor variación en el volumen de sedimento depositado en la parte expuesta de la playa se presenta en la Zona Norte que abarca de los perfiles 19 al 29, sin embargo el mayor volumen

depositado se encuentra en los perfiles 21-22 con 52,883.46 m³/año. Mientras que para la Zona Sur que abarca de los perfiles 1 al 10 hay una menor cantidad de material depositado en la parte expuesta de la playa y se puede observar que el mayor volumen en esta área es entre los perfiles 1-2 con un volumen de 21,433.82 m³/año.

Tabla XIV. Volumen de Sedimento en la playa de Bahía Colonet (Modificado de Urquijo-Pla, 2011). Las unidades son m³/año.

	Zona Sur			Zona Norte	
	Perfil	Anual		Perfil	Anual
	(1-2)	21,433.82		(19-20)	31,655.81
	(2-3)	12,109.18		(20-21)	42,264.08
	(3-4)	5,374.81		(21-22)	52,883.46
	(4-5)	8,659.1		(22-23)	4,8337.58
	(5-6)	10,368.61		(23-24)	42,041.26
	(6-7)	9,787.88		(24-25)	42,163.37
	(7-8)	9,762.08		(25-26)	32,915.1
	(8-9)	9,687.58		(26-27)	25,957.29
	(9-10)	7,289.62		(27-28)	24,706.34
	Promedio Anual	10,496.964		Promedio Anual	38,102.700

6.7 Volumen de transporte fluvial (Q_f)

Los valores de volumen de sedimento que aportan anualmente cada una de las cuencas difiere mucho (Tabla XV y Fig. 9), siendo la de San Rafael la de mayor valor con poca más de tres veces la de San Telmo y el total de ellas es 69,335 m³/año.

Tabla XV. Volumen de Sedimento por Transporte Fluvial en Bahía Colonet.

Cuenca	Q_f (m³/año)	Zona
San Rafael	53,118	Norte
San Telmo	16,217	Sur

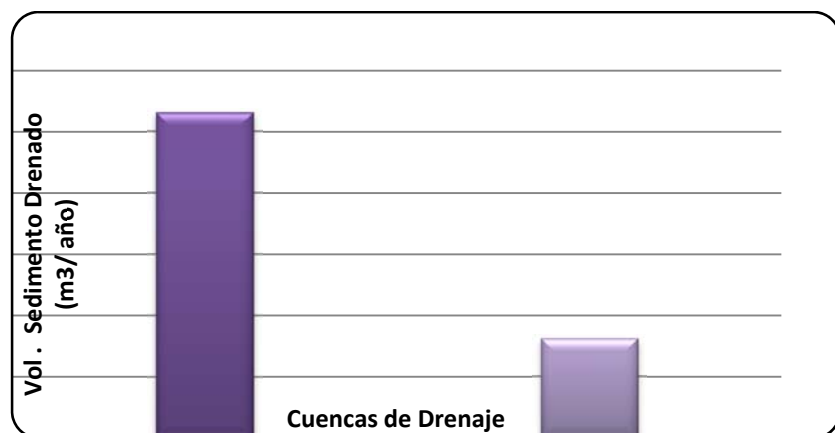


Figura 9. Sedimento drenado para las cuencas San Rafael y San Telmo.

6.8 Balance Sedimentario

Los resultados obtenidos indican de manera general que Bahía Colonet se encuentra en condición de depositación, siendo mayor en su parte norte y disminuyendo hacia el sur (Tabla XVIII).

Tabla XVI. Elementos positivos (depositación) para el balance en Bahía Colonet.

Celda	Zona	Q_i (m ³ /año)	Q_e (m ³ /año)	A (m ³ /año)	Total
I	Cabo Colonet	0	146.402	48,707,808.8	48,707,955
II	Norte	53,118	54.794	3,943,410.397	3,996,583
III	Sur	16,217	122.002	2,148,575.519	2,164,915

Tabla XVII. Elementos negativos (erosión) para el balance en Bahía Colonet.

Celda	Zona	Q_e (m ³ /año)	O_s (m ³ /año)	Total
I	Cabo Colonet	0	0	0
II	Norte	65.754	38,102.698	38,168.453
III	Sur	97.261	10,496.964	10,594.226

Tabla XVIII. Balance Sedimentario en Bahía Colonet para cada una de las zonas.

Balance(m ³ /año)				
Celda	Zona	Positivos	Negativos	(+)
I	Cabo Colonet	48,707,955.2	0	48,707,955.200
II	Norte	3,996,583.19	38,168.452	3,958,414.739
III	Sur	2,164,914.52	10,594.225	2,154,320.296

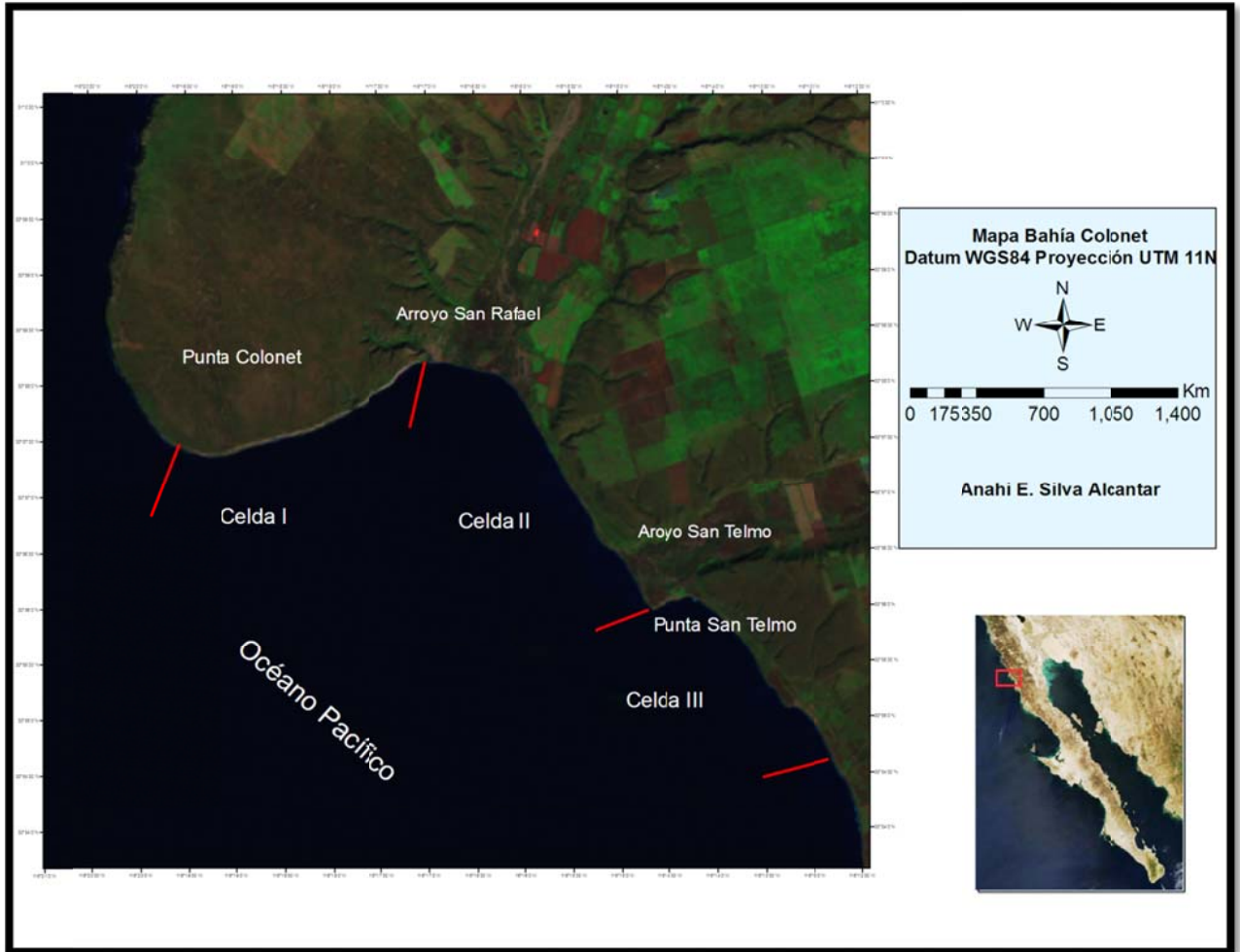


Figura 10. Delimitación de las Celdas Litorales (líneas rojas) en Bahía Colonet, a partir de su parte norte (Imagen LandSat resolución espacial de 30 m).

Capítulo 7: Discusiones

7. DISCUSIONES.

Con base a los resultados obtenidos se pudieron identificar 3 zonas: Cabo Colonet, Norte y Sur, estas delimitaciones se hicieron función en las características morfológicas de la bahía que se pudieron observar con ayuda de las fotografías e imágenes, es decir se consideraron los cantiles, ríos o cualquier cambio que indicara variación en la dinámica costera en las diferentes zonas. Así mismo, también se utilizaron datos obtenidos por estudios hechos por otros autores en Bahía Colonet, ya que es una zona que no está tan estudiada.

Se trazó la línea del cantil a partir de su cresta y la línea de playa; sin embargo debido a la baja calidad (nitidez o resolución) de las imágenes, la ubicación de la línea de costa para los distintos años presentan error, pero son una buena aproximación a la realidad.

Los datos obtenidos por el aporte de sedimentos drenado por las cuencas de San Rafael y San Telmo son una buena aproximación, debido a que solo se contaba con la precipitación anual media del año 2008. Para mejorar el análisis es preferible contar con datos de diferentes años y estaciones meteorológicas tal y como lo hacen Pou-Alberú y Pozos-Salazar para tener una mayor precisión en el análisis, sin embargo para este estudio no se contaba con esa información.

La parte del sedimento expuesto en la playa (O_s) se hizo mediante los resultados obtenidos por Urquijo-Pla, sin embargo en función a la cantidad de datos se decidió escoger solo los meses de agosto y febrero del 2009, ya que había meses y perfiles donde no se tenían datos, los valores que se utilizaron en este estudio se hicieron promediando los datos para obtener un valor anual de O_s para la zona Norte y Sur.

En general 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 las montañas hacia la costa (.).

Celda I o Punta Colonet

En esta zona no hay evidencia de que exista erosión marina, solo subaérea la cual se relaciona con los escurrimientos en sus laderas (Bravo-Cortez, 2009). La constitución de los cantiles de la zona del Cabo Colonet son basaltos en su base y limonitas de la parte media hacia la cresta, poseen pendientes $>35\%$ siendo no aptas para ningún tipo de construcción, así mismo porque es una zona donde se observan bloques caídos del cantil, otro factor importante también es la pendiente que hay en esta parte de la bahía siendo una zona propensa a deslizamientos de las laderas y por consiguiente a la erosión, debido a que a mayor grado de inclinación del terreno mayor es la erosión del suelo (Disectrices Generales de Desarrollo Urbano Punta Colonet). Los elementos de salida de sedimento en esta zona están dados por el material en suspensión acarreado fuera de la costa, ya que el oleaje es intenso lo cual impide que se deposite

material en la zona expuesta de la playa, por lo que el oleaje provoca que este sedimento sea llevado hacia el mar por lo que no se tiene un valor de O_s (Tabla XIV).

En cuanto el retroceso de la línea de costa los cambios más significativos se dan en periodos de tiempo mayores a 10 años, lo cual se debe quizá a que este tipo de eventos es posible observarlos en lapsos de tiempo prolongados, los cuales son visibles en las comparaciones de los del 2009-Orthofoto, donde hay 16 años entre una línea de costa y otra, teniendo valores para la zona de Cabo Colonet de 182.29 m, así mismo para la comparación que existe entre 1986-2000, ya que hay 14 años de diferencia con un valor de 70.87 m, estos datos nos indican que existió un proceso de erosión en esta zona de la bahía (Tabla V), con los resultados obtenidos se destaca que en esta celda el principal aporte de sedimento está determinado por los cantiles con $48,707,809 \text{ m}^3$ (Tabla VIII).

Para la línea de playa de la zona de Cabo Colonet en las comparaciones hechas entre las fotografías e imágenes de los diferentes años (Tabla VIII), donde se pueden destacar las siguientes comparaciones: 2000-2003 la erosión (85.21 m) fue mayor a la depositación (70.4 m); en 2007-2009 se presentó 79.97 m de erosión de la línea de costa siendo mayor que la depositación. Para esta zona también se destaca la comparación del 2009-Orthofoto(1993), en la cual se presenta un periodo de transición de 16 años, donde la erosión tuvo un valor de 127.34 m mientras que la depositación de 75.09 m, lo anterior posiblemente se debe al tiempo de análisis por lo que es posible detectar más variación, ya que las modificaciones más significativas se dan en grandes periodos de tiempo.

El volumen aportado por el viento en la zona de Cabo Colonet no se tiene ningún dato del sedimento que es acarreado hacia fuera de la costa, debido a que el oleaje es muy intenso en esta zona ocasionando que el sedimento se deposite la base del cantil o cercana a ella y sea acarreado hacia afuera de la costa. Sin embargo en esta zona el volumen aportado por el viento está dado por el desgaste que se da en el terreno, el cual también se ve afectado por la presencia de vegetación. El mayor volumen de sedimento por vía se encontró en periodo Otoño-Invierno con $42.62 \text{ m}^3/\text{m}/\text{año}$ (Tabla XIII), lo cual se debe a que en esta temporada se presentan vientos de gran intensidad generando aporte de material, sin embargo en esta zona el mayor aporte está dado por los cantiles.

Celda II o Zona Norte

Esta zona es delimitada por la desembocadura del arroyo San Rafael hasta la desembocadura de Punta San Telmo. El mayor aporte de sedimentos en esta zona es el arroyo San Rafael, ya que en épocas de lluvia este arroyo tiene un mayor cauce debido a que su volumen de salida es casi el doble que el del arroyo San Telmo y lo anterior también se puede observar por el material que se encuentra en la playa los cuales son cantos rodados que son llevados por el cauce del arroyo hacia la costa.

Los cambios en la línea de costa para la Zona Norte más significativos están indicados para las comparaciones 2009-Ortho y 1986-2000 (Tabla VI), con un retroceso de 302.831 m y 136.946 m respectivamente. Siendo el aporte por los cantiles de $3,943,410 \text{ m}^3/\text{año}$ (Tablas VIII y XV), causado posiblemente por la

erosion subaérea de los cantiles, lo cual también se observar en el material que ha sido depositado con el paso del tiempo en la playa y que corresponde a las características litológicas de los cantiles de la zona Norte, denotando que los cantiles podrían ser el agente más importante en el aporte de sedimentos, por lo que es de esperar que las variaciones de la línea de costa obtenidas a partir de fotografías aéreas e imágenes de satélite se perciban en periodos de tiempo en el orden de décadas.

Los valores de erosión más altos fueron para los años 2003-2007, 2007-2009 y 2009-Ortofoto (2003) (Tabla X), donde el valor más significativo debido al periodo de tiempo (6 años) es la última donde la erosión fue 91.19 m y la depositación de 45.82 m. También es importante destacar la comparación de 1986-1987, la cual no presentó ningún valor de erosión, lo cual se puede explicar que debido a que solo hay un año entre una y otra foto, los cambios no son significativos y/o no se pueden observar. Para los años 2003-2007 no hubo depositación, quizá esto se debió a que existió una baja o nula precipitación en la zona, generando poco o nulo aporte de sedimentos a la costa (Tabla XI).

En la zona Norte el sedimento aportado por el viento en el periodo Otoño-Invierno es hacia fuera de la costa es mayor ($16.04 \text{ m}^3/\text{m}/\text{año}$) que el que se aporta hacia adentro de la costa ($19.24 \text{ m}^3/\text{m}/\text{año}$) (Tabla XIII). Esto posiblemente se deba a que en dicha época el oleaje es más intenso, lo que origina que se deposite el material ocasionando que disminuya la amplitud de la playa y se pierda sedimento. El volumen de sedimento expuesto en la playa $38,102.70 \text{ m}^3/\text{año}$, siendo un elemento de salida y se puede contrastar con el volumen aportado por

el arroyo y los cantiles que juntos aportan mayor cantidad de material al sistema que el de que se va (Tablas XIV y XV). En esta zona las playas son más extensas, lo cual se atribuye a su configuración del fondo y la altura de la ola, ya que se puede observar que hay material sedimentario que ha sido depositado con el paso del tiempo debido a la erosión de los cantiles, el aporte del viento y el arroyo (Cortez- Bravo, 2009).

El aporte de sedimento por transporte pluvial para la zona Norte (Tabla XV), es determinado por el arroyo San Rafael con 53,120 m³/año. Este valor solo se obtuvo con los datos de precipitación anual media del año 2008, ya que no se contaba con información de estaciones meteorológicas con información suficiente o cercana a esta cuenca, por lo que se optó por solo utilizar ese valor para calcular la el acarreo de material por este arroyo.

En esta celda el mayor aporte se da por los cantiles y el arroyo San Rafael con 3,943,410 m³/año y 53,120 m³/año, respectivamente. Lo anterior quizá se deba a que los cantiles aportan sedimento prácticamente durante todo el año a diferencia del arroyo que solo aporta cuando son temporadas de lluvias en la región.

Celda III o Zona Sur

Esta zona es delimitada por Punta San Telmo a Cuatro Casas. La clasificación del sedimento indica que el transporte litoral en esta zona es del Norte a Sur, debido a que va disminuyendo su tamaño hasta llegar a Punta San Telmo (García-Escobedo, 2009). Los cantiles son activos y presentan erosión

subaérea y marina, lo cual se observó por el desprendimiento de bloques y el socavamiento de los mismos (Bravo-Cortez, 2009), donde el volumen aportado por los cantiles en la zona sur es de 2,148,575. 5 m³/año (Tabla VIII), por lo anterior se podría decir que el volumen de sedimento por este medio es uno de los más importantes contribuyentes de material.

Al igual que en la Zona Norte las variaciones de la línea de costa se perciben en el orden de décadas, como es el caso de las comparaciones hechas entre 2009-Ortho y 1986-2000 con 16 y 14 años de diferencia entre una y otra, donde los valores obtenidos para la Zona Sur son de 285.94 m (2009-Ortho) y 136.046 m (1986-2000), donde en esta zona se pueden notar los bloques de cantil, las crestas erosionadas y socavamientos en la base del cantil, donde el agente erosivo es el subaéreo y el marino (Tabla VII).

Las comparaciones hechas para los años: 1987-1993, 1995-2000, 2003-2007 y 2007-2009(Tabla X), se observa que los valores de erosión fueron mayores para estas comparaciones, lo cual posiblemente se debe a que hubo periodos es de sequía o baja precipitación en estos periodos de tiempo, originando que el aporte de sedimentos al sistema fuera bajo o nulo, ya que el mayor contribuyente a esta zona es el Arroyo San Telmo (Tabla XIII y Fig. 9) y si hay una baja precipitación el acarreo de sedimentos a la costa es bajo, aunado a las condiciones del oleaje, ya que en estas condiciones se pierde gran cantidad de sedimento que es llevado fuera de la bahía. En la comparación de los años 1987-1993 se puede observar que la erosión tuvo un valor de 67.78 m a diferencia de la depositación que fue de 11.4 m, esta gran diferencia es debido al periodo de

tiempo que hay (6 años), por lo que las modificaciones en la línea de costa son más significativos.

En esta zona el sedimento aportado por el viento hacia dentro de la costa es $32.52 \text{ m}^3/\text{m}/\text{año}$ y hacia fuera es de $28.40 \text{ m}^3/\text{m}/\text{año}$. A diferencia de las otras zonas para la misma temporada, es mayor lo que aporta hacia adentro de la costa, asimismo el sedimento expuesto en la playa tuvo un volumen de $10,496.96 \text{ m}^3/\text{año}$, lo cual quizá se debe probablemente a que en esta zona el oleaje es menos intenso que en Punta Colonet (Celda I) por lo que genera que el sedimento acarreado fuera de la costa sea menor, sin embargo a diferencia de la Zona Norte (Celda II) las playas en esta zona son de menor amplitud, ya que presenta pendiente marcadas y el oleaje incide de manera directa en la playa (Bravo-Cortez. 2009). El aporte de sedimento por transporte pluvial para la zona Sur (Tabla XV) es determinado por el arroyo San Telmo, con $16.217 \text{ m}^3/\text{año}$. Por lo anterior se podría decir que el mayor contribuyente de material en esta zona son los cantiles, por lo que se puede observar un comportamiento es similar a las otras dos celdas, ya que también aquí se puede observar en la playa grandes bloques de cantil, en los cantiles se les observa las crestas erosionas, grietas y canales de escurrimiento.

En general para cada una de las celdas el principal aporte se debe los cantiles lo cuales se clasifican como activos y son fuente importante de sedimento en Bahía Colonet; aquí el agente erosivo en estos cantiles es el subaéreo debido al intemperismo y el escurrimiento del agua producto del aporte pluvial y fluvial de los Arroyos San Telmo y San Rafael, sin embargo en la zona Sur se presenta el

agente erosivo subaéreo y marino. Las reducciones de los aportes de sedimento en cualquiera de las zonas se debe principalmente por la ausencia de acarreo de material a la línea de costa, posiblemente por épocas de sequias constantes debido a la baja precipitación. Para la comparación del aporte de sedimentos que se da por el transporte eólico se puede decir que las estaciones Primavera-Verano y Otoño-Invierno tienen un comportamiento similar entre ambos, es decir, en Primavera-Verano se caracterizan por que el oleaje es menos intenso por lo que el acarreo de material es menor hacia afuera de la costa, a diferencia de la época de Otoño-Invierno (Tabla XIII) que sucede lo contrario. Sin embargo, para las 4 épocas del año se presentan vientos de intensidad alta a moderada, lo que origina se tengan constantes aportes de material por parte de los cantiles hacia adentro de la costa. Debido a la ausencia de datos de precipitación o la poca cantidad de información obtenida de las estaciones meteorológicas cercanas a las cuencas de San Rafael y San Telmo, se utilizaron los datos generados por la CONAGUA en el 2008, con lo cual solo se generaron dos valores, con esto podemos observar que el arroyo San Rafael es el principal aporte de sedimentos a la bahía (Fig. 9).

Balance Sedimentario

En el caso de Bahía Colonet (Tabla XVIII) debido a que la zona de estudio se dividió en 3 celdas litorales se obtuvieron los siguientes valores en el cálculo del balance: 48,707,955.2 m³/año para la Celda I, donde el principal aporte se debe a los cantiles. En la Celda II es de 3,958,414.739 m³/año; la Celda III es de 2,154,320.296 m³/año, donde el mayor contribuyen de sedimentos al sistema es la

Celda I, debido a que en esta zona se encuentran los cantiles de mayor altura y debido a su pendiente pueden ser fácilmente erosionados. Debido a la configuración de la línea de costa Bahía Colonet que es una área donde predominan los cantiles, se puede decir que tal vez el mayor aporte de material está dado por los cantiles.

Los cálculos para el balance de sedimentos son obstaculizados por la falta una batimetría confiable y topografía de la costa; por la falta de mapas exactos y niveles confiables de datos.

En Bahía Colonet con base a los datos obtenidos en este estudio se puede decir que los principales contribuyentes son los cantiles y los arroyos. En el caso de los cantiles cualquier construcción de viviendas y otras infraestructuras amenaza la dinámica natural que hace aumentar el grado de exposición de las personas y de sus bienes, debido a que los cantiles que aquí se encuentran son activos (Bravo-Cortez, 2009) y se encuentran en constante erosión. También en el caso del volumen aportado por transporte eólico cualquier infraestructura construida supone la creación de una pantalla frente a la dinámica eólica natural, aunado a la destrucción de hábitats y la modificación de la morfología litoral. El sedimento drenado por los arroyos también se ve afectado si es que hay construcción de presas y sobreexplotación que puede generar que se disminuya el aporte y con esto generar graves problemas de erosión.

Debido a la magnitud de la infraestructura que tendrá el mega Puerto de Colonet se vería modificada la dinámica costera, ya el aporte de los principales contribuyentes de sedimento a la bahía determinados en este estudio se sería poco o casi nulo, afectando a la costa causando graves problemas de erosión, que se traducen en grandes pérdidas económicas para un proyecto de tal envergadura. Los resultados obtenidos en el presente trabajo nos ayudan para poder diseñar una estrategia de protección que no permita que se dañe el flujo sedimentario.

Capítulo 8: Conclusiones

8. CONCLUSIONES.

Se determinaron 3 celdas litorales para Bahía Colonet, la Celda I en Cabo Colonet, la Celda II está Norte y va de la desembocadura del arroyo San Rafael al inicio de la desembocadura del Arroyo San Telmo, y Celda III va de la desembocadura del Arroyo San Telmo a Cuatro Casas.

Los principales aportes para la Celda I son los cantiles, mientras que para las Celdas II y III son los arroyos y cantiles. Sin embargo para cada una de las celdas el mayor aporte de material está dado por los cantiles.

Los valores aportados de material sedimentario son: 48,707,955.2 m³/año para la Celda I; en la Celda II es de 3,958,414.739 m³/año; la Celda III es de 2,154,320.296 m³/año. Los valores numéricos obtenidos para el Balance Sedimentario muestran que Bahía Colonet se encuentra en depositación en las tres celdas que compone este sistema.

Los principales elementos positivos (entrada de sedimentos) son los cantiles, arroyos y el sedimento que es aportado por el viento.

Los principales elementos negativos (salida de sedimentos) son el sedimento acarreado hacia afuera de la costa por erosión debida al oleaje, viento y/o escurrimiento y el sedimento que se encuentra expuesto en la playa.

Capítulo 9: Referencias

9. REFERENCIAS

- Bravo-Cortés, L. M. 2009. Caracterización y descripción de los cantiles en Bahía Colonet, Baja California, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, México. 40 pp.
- COPLADEM., 2008. Programa de Desarrollo Regional “Región Colonet”.
- Cruz-Colín, ME., 1994. Balance Sedimentario de la Bahía de Todos Santos, B.C., México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California. Facultad de Ciencias Marinas, Ensenada, 77 pp.
- Cruz-Colín, M.E. y L. A. Cúpul-Magaña. 1997. Erosión y aporte sedimentario de los cantiles marinos en la Bahía de Todos Santos, Baja California, en el periodo de 1970 a 1991. Revista de Ciencias Marinas, 23(3)303-315.
- Davenport, A.G., C.S.B. Grimmond, T.R., Oke and J. Wiering. 2000. Estimating roughness off cities and sheltered countries. Press 12thm AMS Conf on Applied Climatology, Ashville, 96-99.
- Directrices Generales de Desarrollo Urbano Punta Colonet.
http://www.imipens.org/IMIP_files/CP-PDUCP-PUNTA-COLONET.pdf
- Dolan, R., Fisher JS., 1977. Beach Processes and Coastal Hydrodynamics. Dowden Hutchinson & Ross. USA, 383 pp.
- Escoto-Rodríguez, M. 1994. Balance del agua de suelo en tres sitios de estudio en la Sierra de San Pedro Mártir, B.C., México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California. Facultad de Ciencias, Ensenada, 77 pp.

- García- Escobedo, R. 2009. Proveniencia de Sedimentos en la Zona Costera de Colonet, Baja California, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, B.C. 65 pp.
- González – Olimón, C. C. 2009. Representaciones mediáticas socioambientales en torno al proyecto de megapuerto en Bahía Colonet. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, B.C. 53 pp.
- Guardado-France, R., 1997. Funcionalidad de las Obras de Protección Costera construidas en la Bahía de Todos Santos, B.C., México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Baja California. Facultad de Ciencias Marinas- Instituto de Investigaciones Oceanológicas, Ensenada, 145 pp.
- Harris, SM., Gayes, PT, Kindinger, JL, Flocks, JG, Krantz, DE. y Donovan, P. 2005. Quaternary Geomorphology and Modern Coastal Development in Response to an Inherent Geologic Framework: An Example from Charleston, South Carolina. *Journal Coastal Research*, 21(1):49-64.
- Inman, DL. and Masters, PM., 1991. Coastal Sediment Transport Concepts and Mechanisms. <http://repositories.cdlib.org/sio/cm9>
- Inman, DL., 2003. Littoral Cells. <http://repositories.cdlib.org/sio/cm4>
- Jiménez-Esquivel, V. M. 2009. Propuesta de Diseño de Rompeolas para Puerto Colonet, B.C. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, B.C. 81 pp.
- Komar P.D. 1976. *Beach Processes and Sedimentation*. 2^{da} edición. Prentice-Hall. USA, 425 pp.
- Komar, D.P. (1978). Wave Conditions on the Oregon coast during winter of 1977-78 and the resulting erosion of Nestucca. *Shore and Beach*. Vol 46 No. 10 3-8 pp.

- Kyser, JS., N. Ritter, K. Guerra, F. 2009. 2009-2010 Economic Forecast and Industry Outlook: Mid-Year Update. Los Angeles County Economic Development Corporation. The Kyser Center for Economic Research.
- López-Luna, M.G. 1990. Cuantificación del volumen del sedimento transportado por la corriente litoral en las playas, El Sauzal y Pesquera Zapata, ubicadas al norte de la Bahía de Todos Santos, Baja California, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California. Facultad de Ciencias Marinas, Ensenada, 57 pp.
- Madrigal-Sánchez, A. 2009. Levantamiento Batimétrico, Análisis Estadístico y Patrón de Refracción del oleaje de Punta Colonet, B.C., México Abril 2007- Abril 2008. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, B.C. 94 pp.
- Patsch, K. G. Griggs, 2006. Littoral Cells, Sand Budgets, and Beaches: Understanding California's Shore Line. <http://www.dbw.ca.gov/csmw/PDF/LittoralDrift.pdf>
- Pérez-Soto, J.L. 1995. Volumen de sedimento drenado a Bahía Concepción, Baja California Sur, México (1922 – 1988). Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, BC. 50 pp.
- Pou-Alberú, S., G. Pozos-Salazar. 1992. Cantidad de sedimento drenado hacia la costa del Pacífico en el Noroeste del Baja California, México. Ciencias Marinas. 18(3):125-141.
- Reeve, D., A. Chadwick y C. Fleming. 2004. Coastal engineering: processes, theory and design practice.** Spon Press, USA. 461 pp.
- Shuishky, Y. D., Shwartz, M.L. 1983. Basics principles of sediment budget study in the coastal zone. Shore and Beach, USA.

Urquijo-Pla, N. 2011. Transporte Litoral en Bahía Colonet, B.C., México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, BC. 50 pp.

U.S.A.C.E.R. (1977). Shore protection naval US Army Coastal Eng- Res US Army Corps. Third Ed. Vol I y II . pags, 116 154 y 133, 180.

Woodroffe, C.D. 2003. Coasts: forms, process and evolution. Cambridge University Press. USA. 623 pp.

Apéndices

Apéndice A

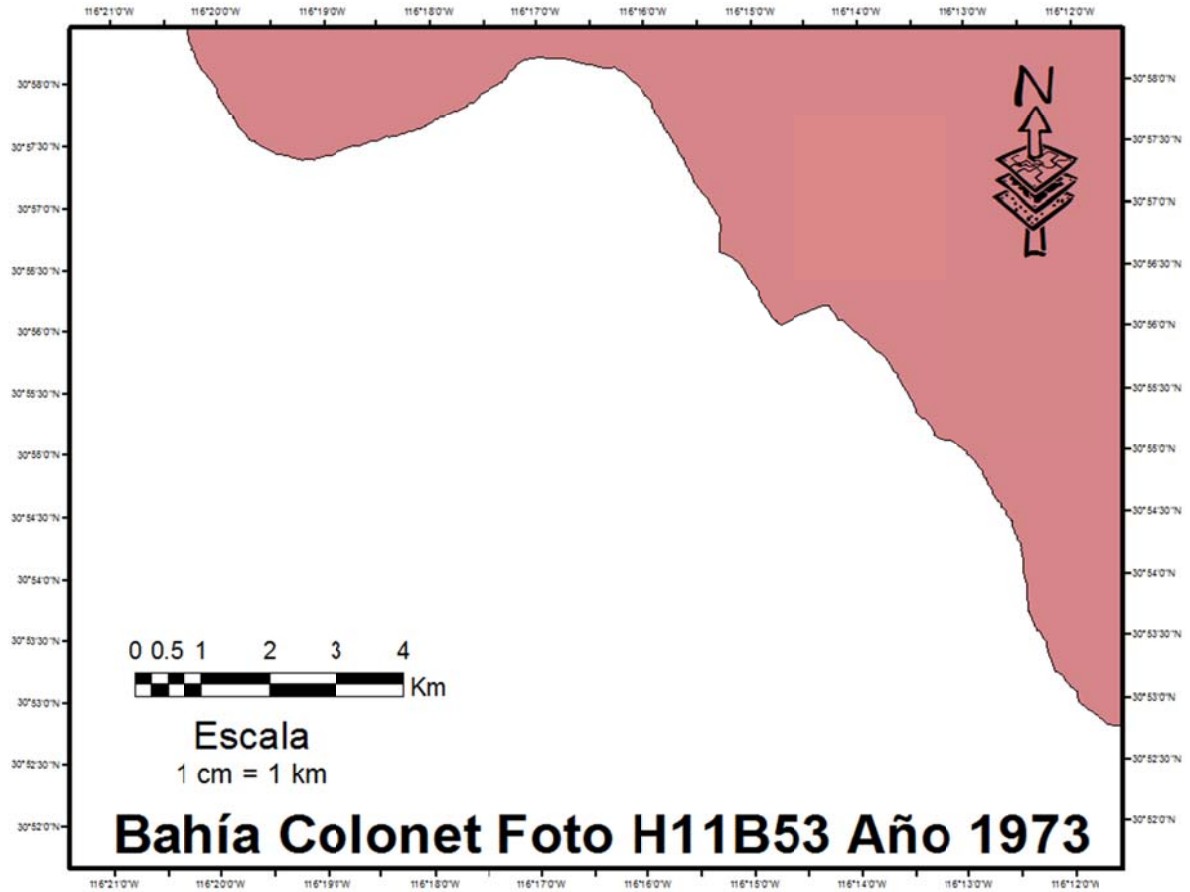


Figura 1a. Línea de Costa de Bahía Colonet modificada de la fotografía aérea del INEGI H11B53 del año 1973.

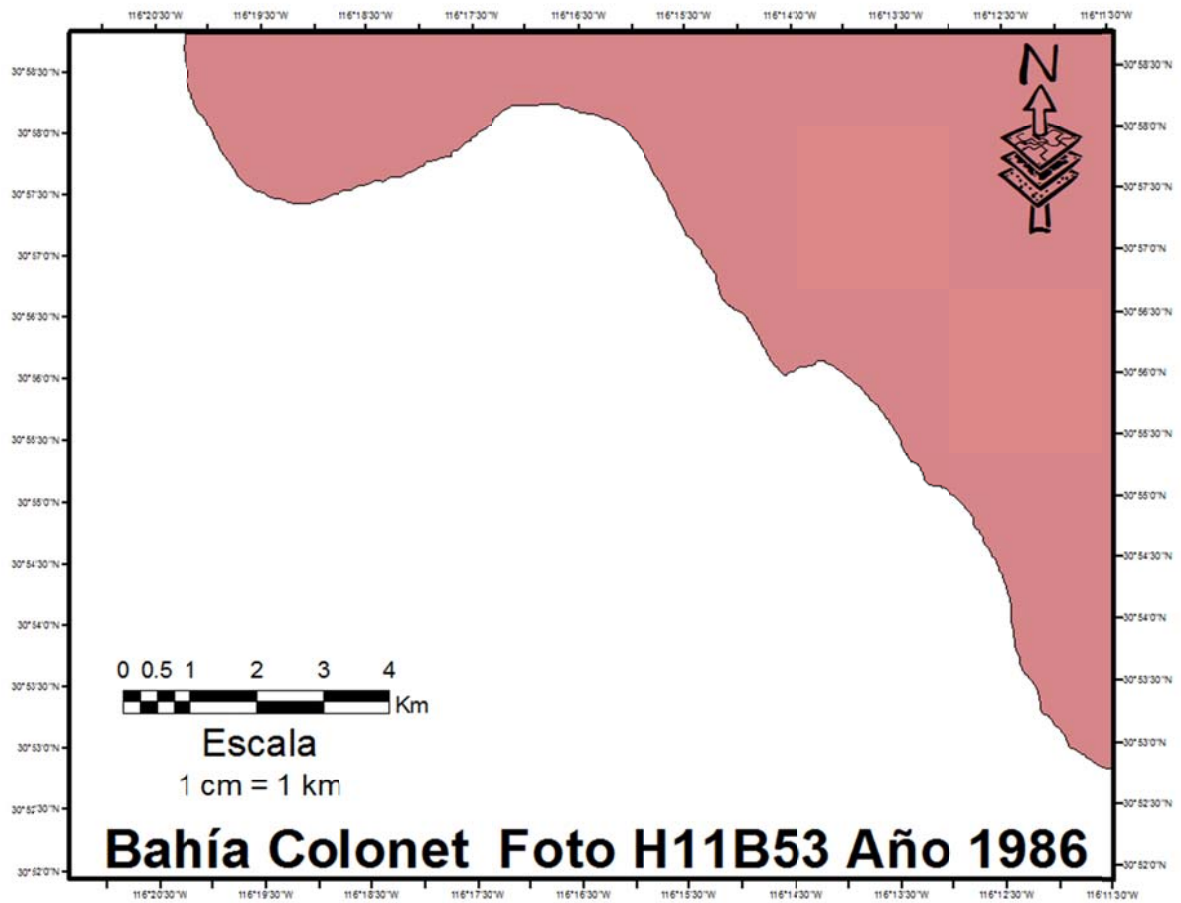


Figura 2a. Línea de Costa de Bahía Colonet modificada de la fotografía aérea del INEGI H11B53 del año 1986.

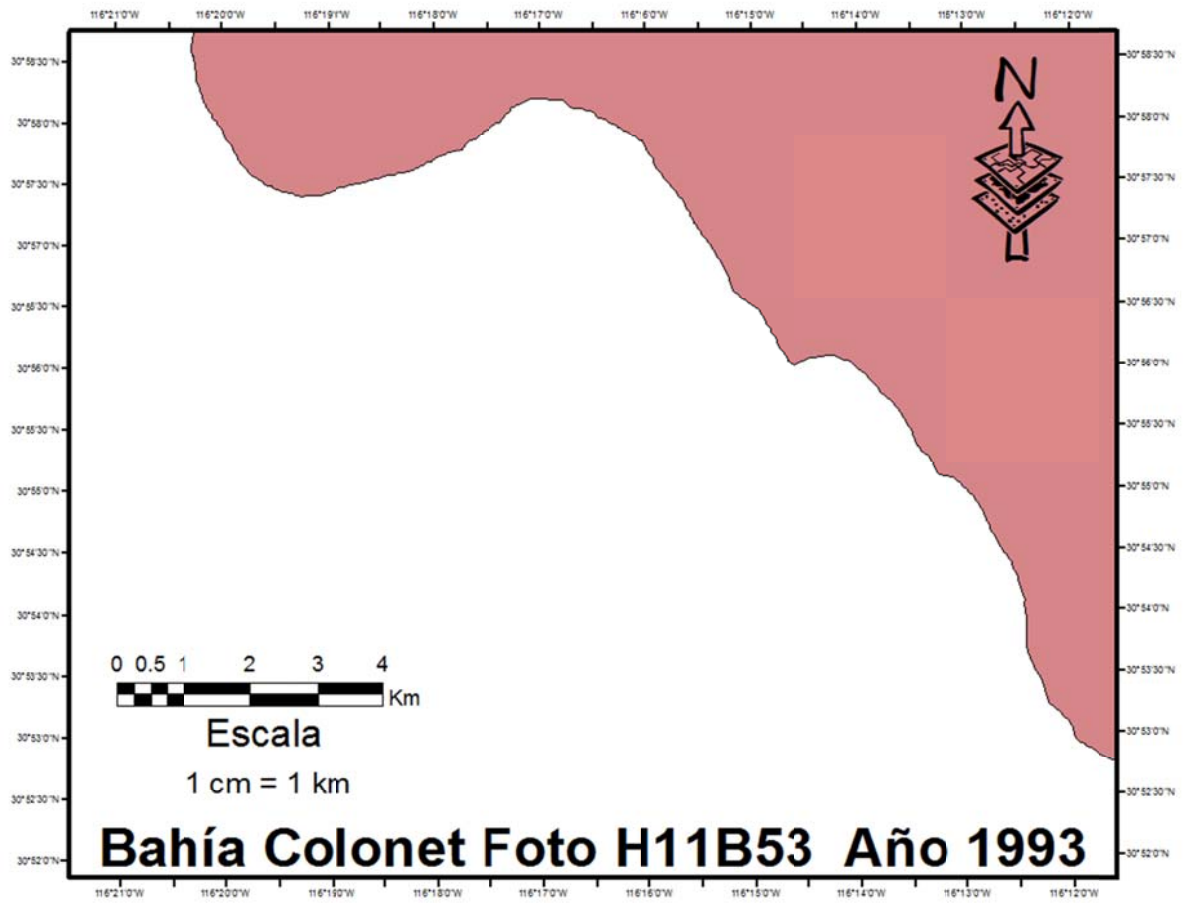


Figura 3a. Línea de Costa de Bahía Colonet modificada de la fotografía aérea del INEGI H11B53 del año 1993.

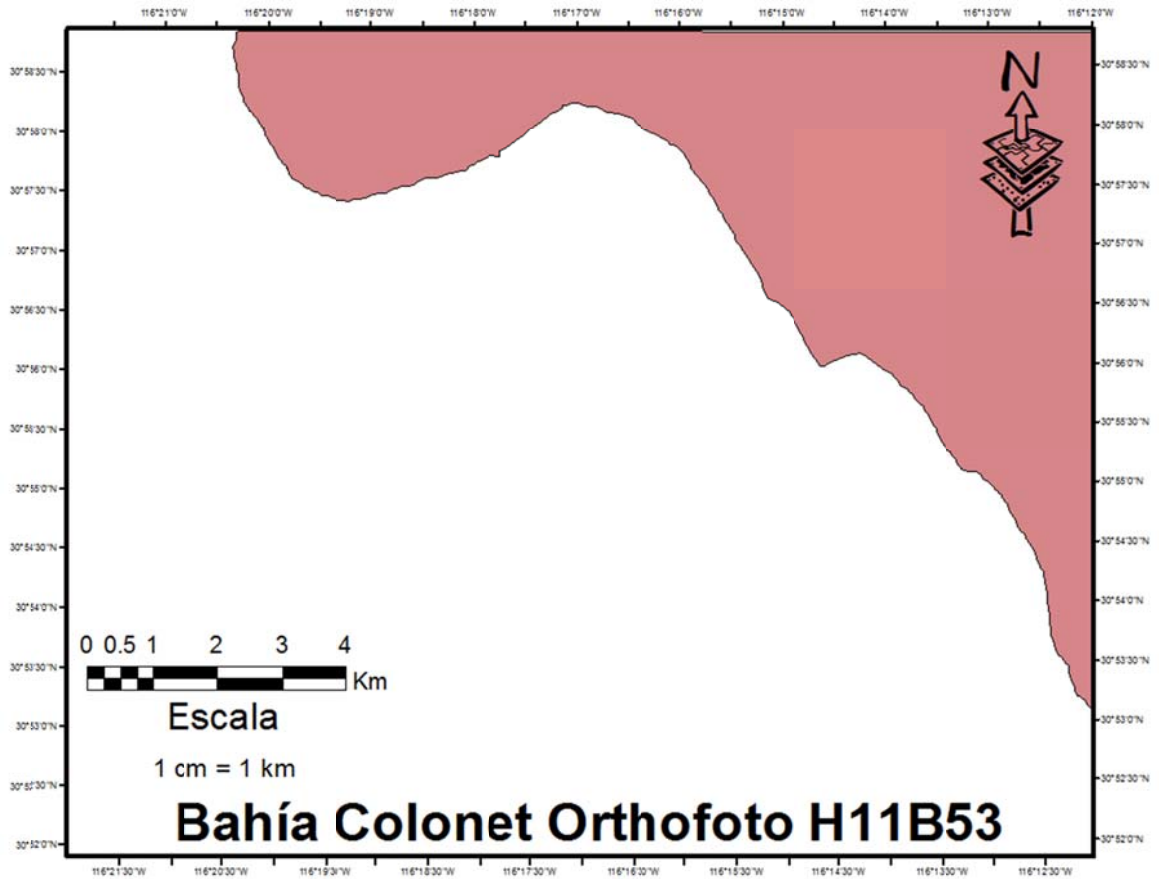


Figura 4a. Línea de Costa de Bahía Colonet modificada de la Orthofoto del INEGI H11B53.

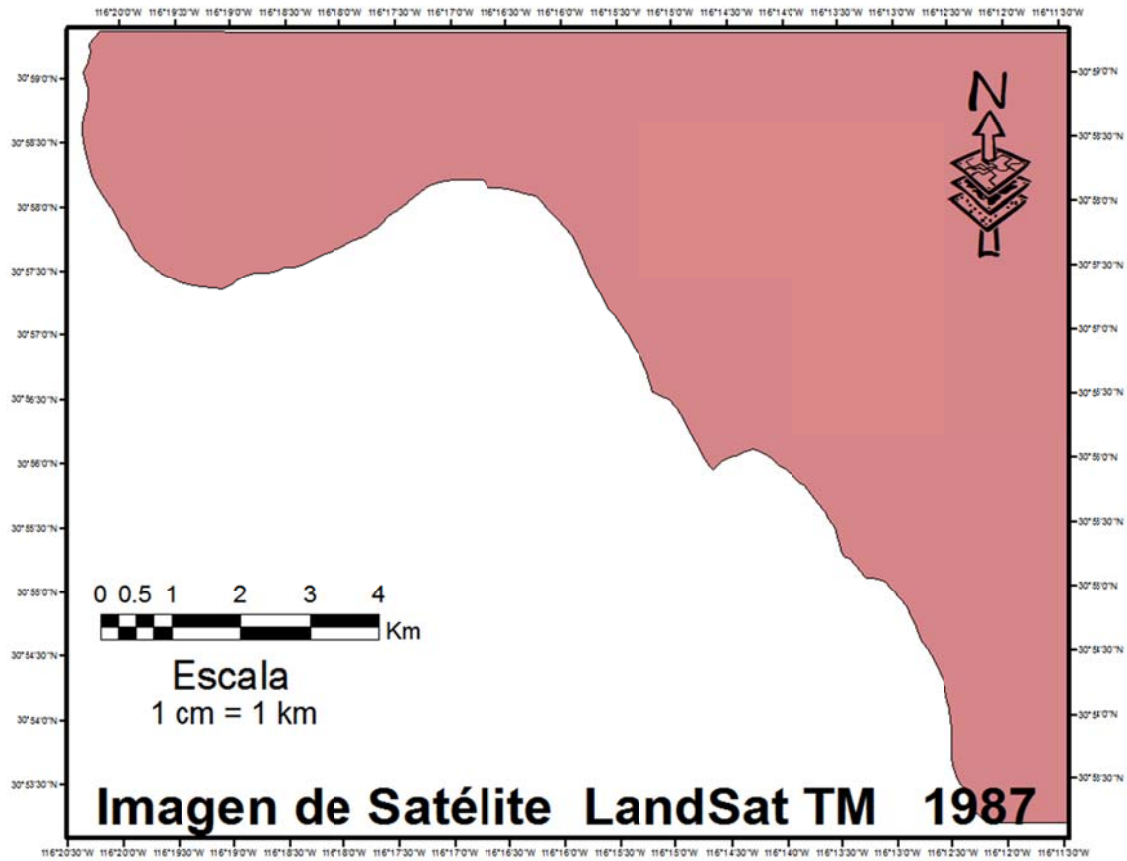


Figura 5a. Línea de Costa de Bahía Colonet modificada de la imagen de Satélite LandSat del año de 1987.

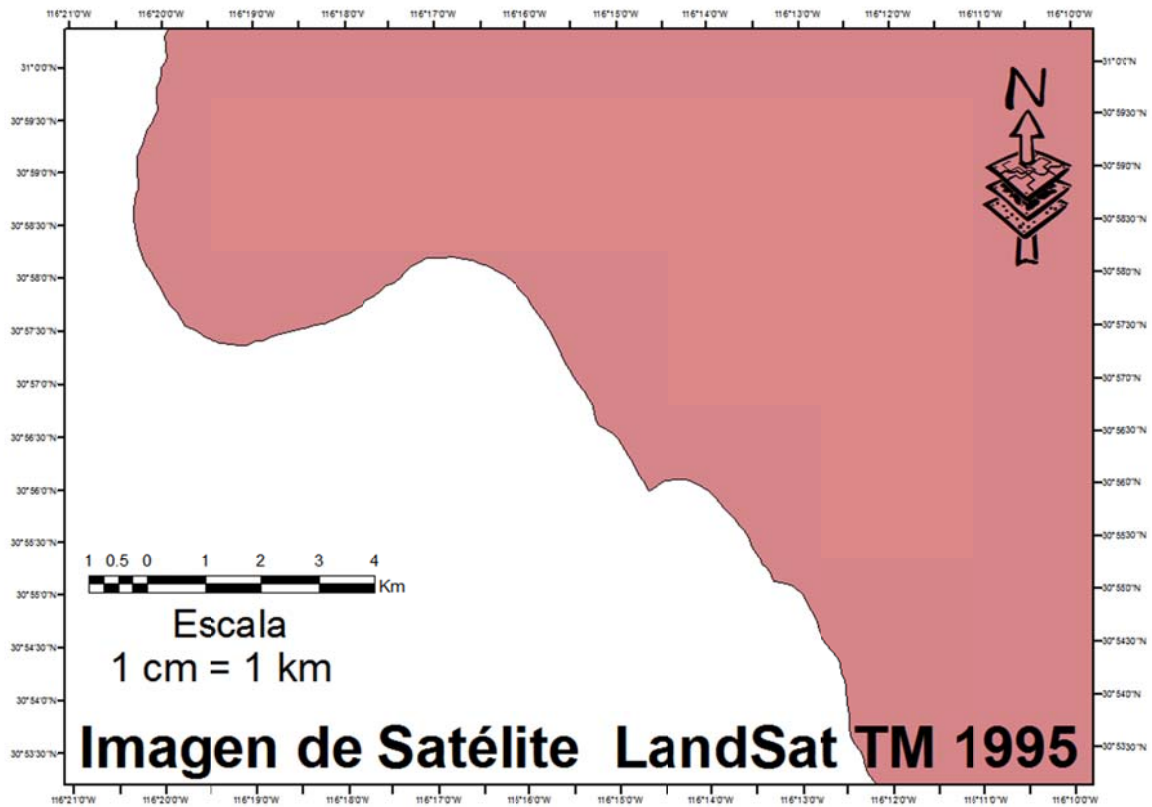


Figura 6a. Línea de Costa de Bahía Colonet modificada de la imagen de Satélite LandSat del año de 1995.

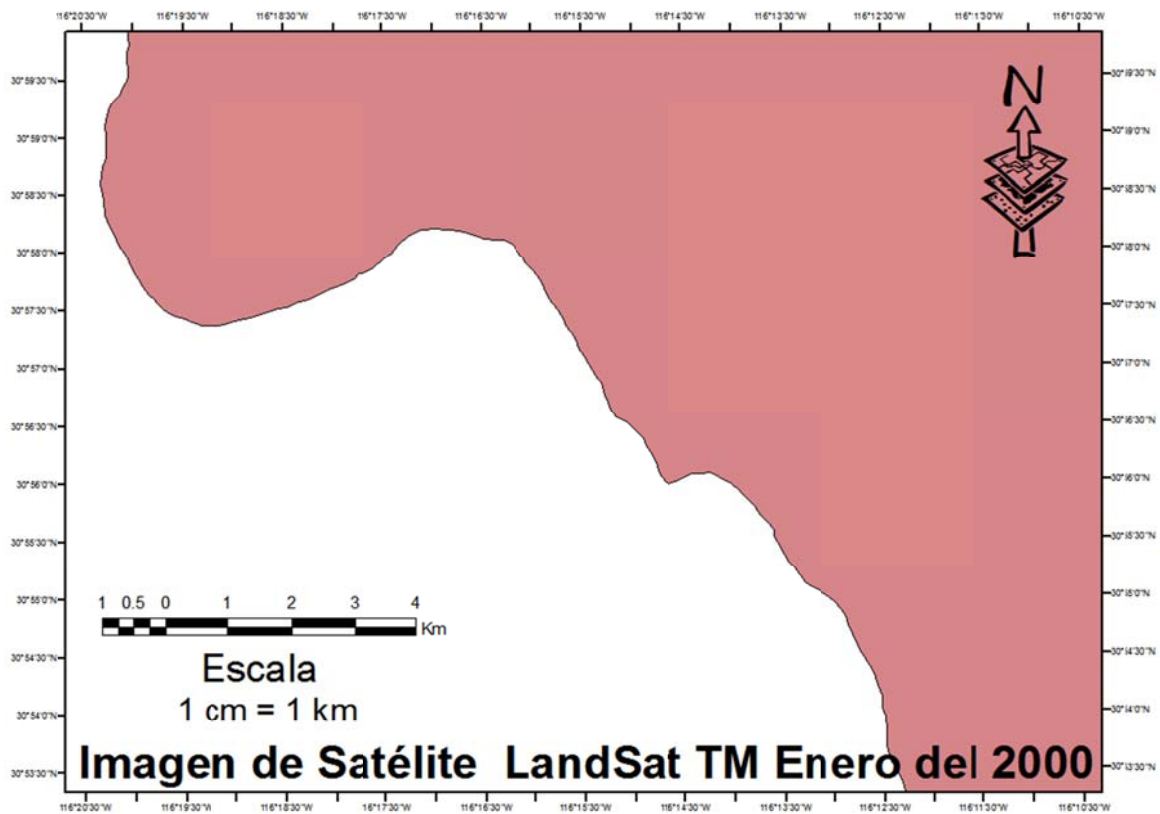


Figura 7a. Línea de Costa de Bahía Colonet modificada de de la imagen de Satélite LandSat del año de 2000 del mes de Enero.

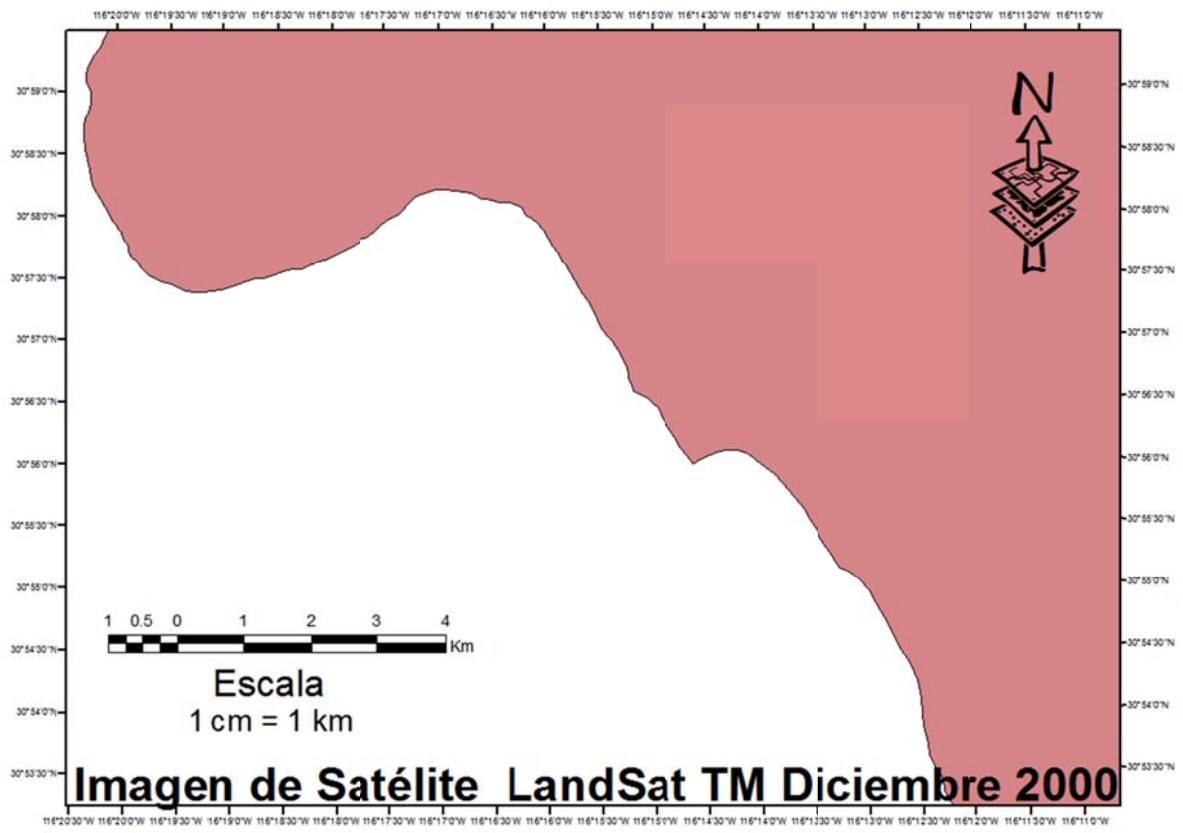


Figura 8a. Línea de Costa de Bahía Colonet modificada de la imagen de Satélite LandSat del año de 1987 del mes de Diciembre.

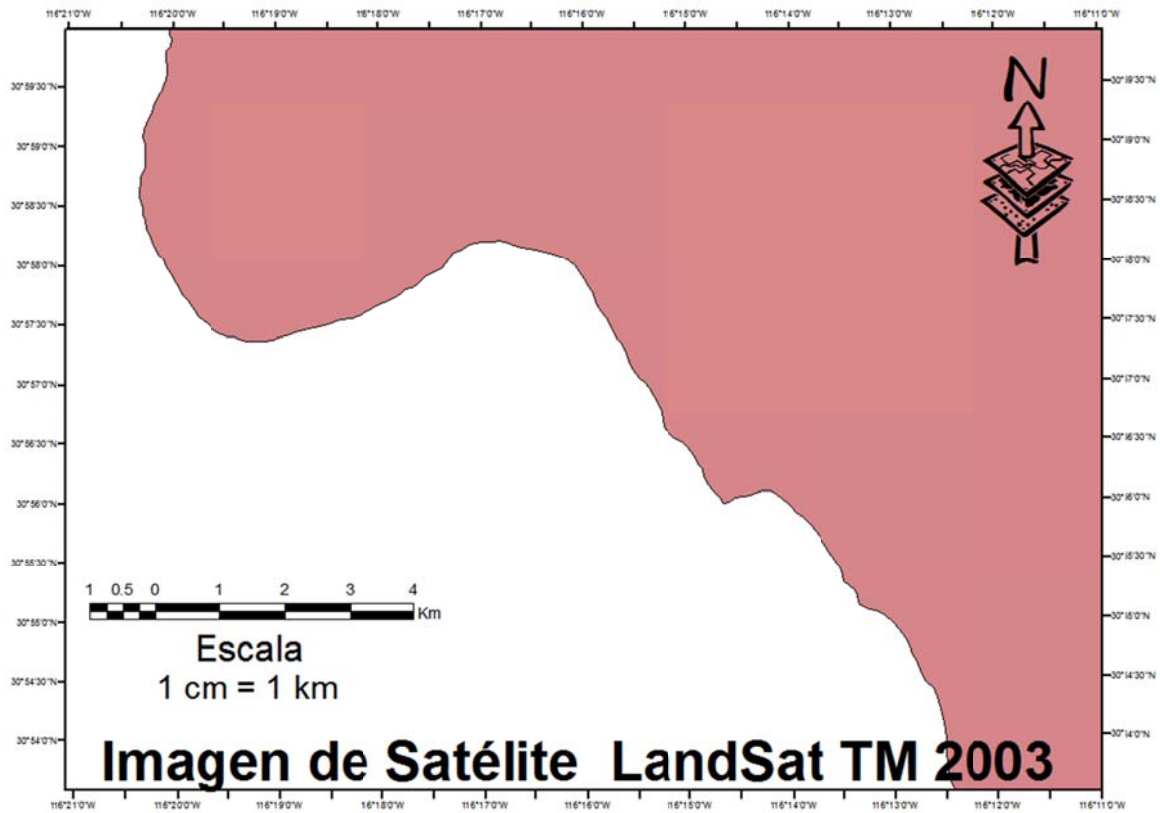


Figura 9a. Línea de Costa de Bahía Colonet modificada de la imagen de Satélite LandSat del año de 2003.

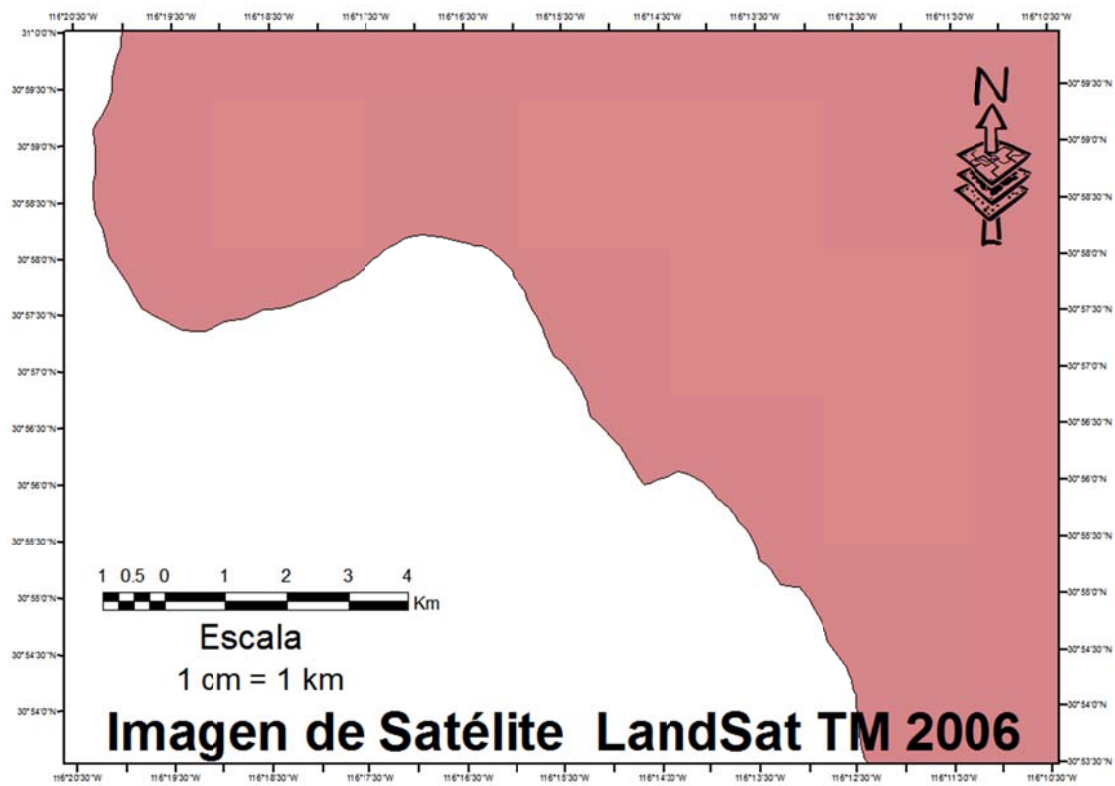


Figura 10a. Línea de Costa de Bahía Colonet modificada de la imagen de Satélite LandSat del año de 2006.

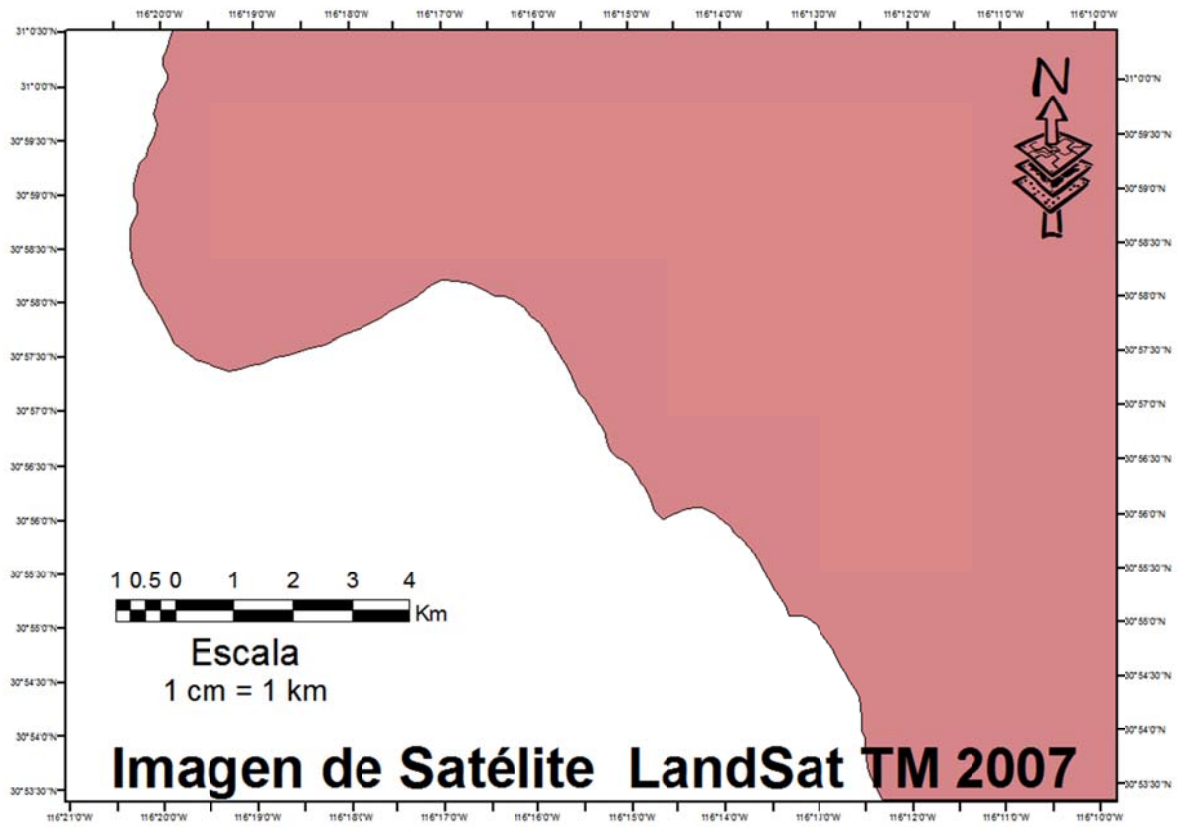


Figura 11a. Línea de Costa de Bahía Colonet modificada de la imagen de Satélite LandSat del año de 2007.

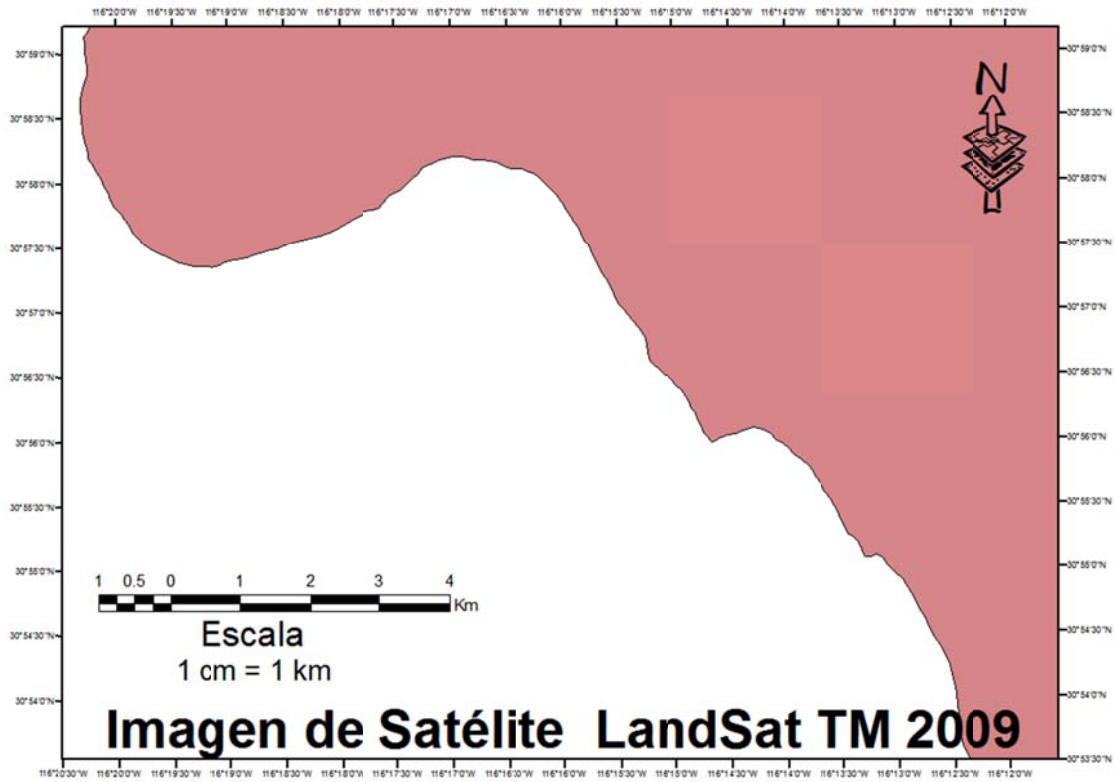


Figura 12a. Línea de Costa de Bahía Colonet modificada de la imagen de Satélite LandSat del año de 2009.



Figura 13a. Imagen de Satélite LandSat del año de 1987 de Bahía Colonet resolución de 30m con una combinación de bandas 742.



Figura 14a. Imagen de Satélite LandSat del año de 1995 de Bahía Colonet resolución de 30m con una combinación de bandas 742.



Figura 15a. Imagen de Satélite LandSat del año de 2000 del mes de Enero de Bahía Colonet resolución de 30m con una combinación de bandas 742.



Figura 16a. Imagen de Satélite LandSat del año de 2000 del mes de Diciembre de Bahía Colonet resolución de 30m con una combinación de bandas 742.

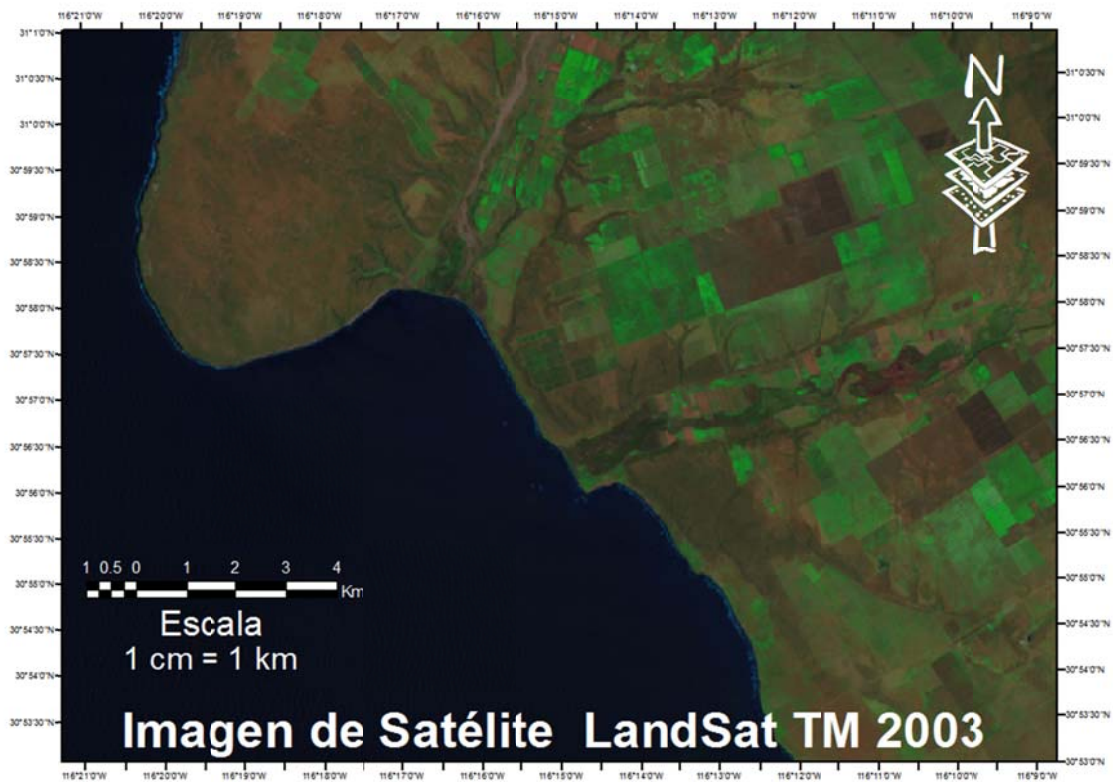


Figura 17a. Imagen de Satélite LandSat del año de 2003 de Bahía Colonet resolución de 30m con una combinación de bandas 742.

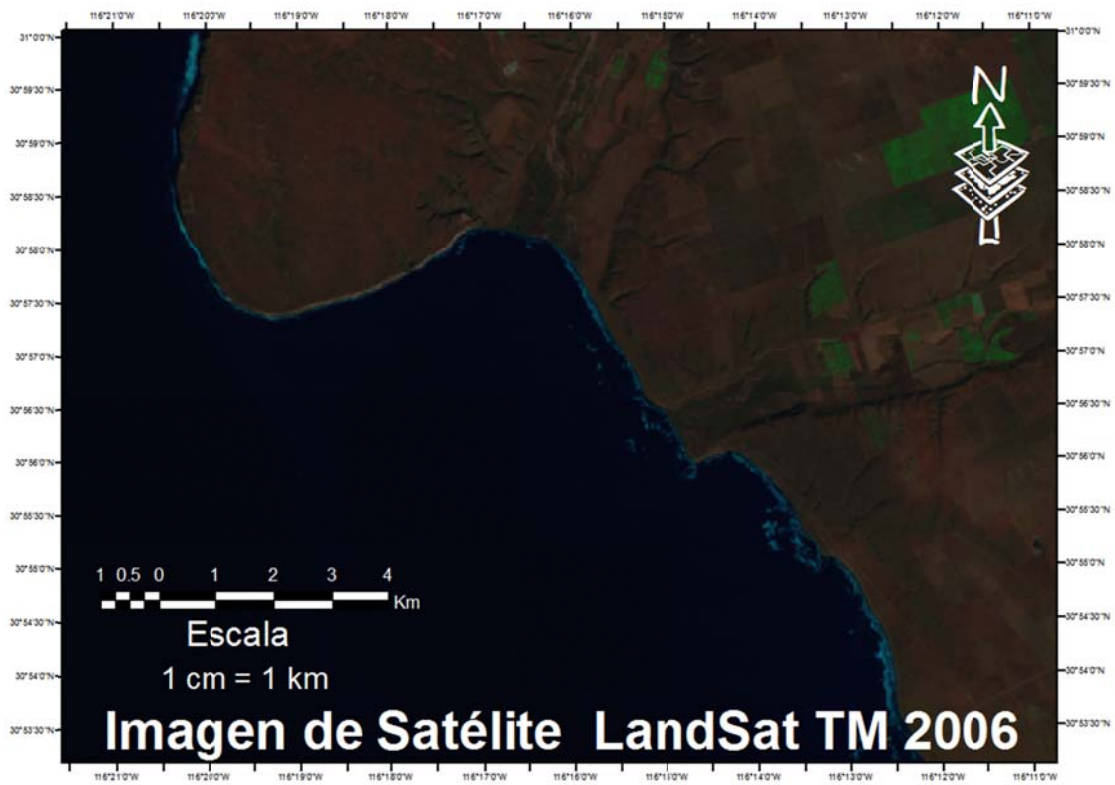


Figura 18a. Imagen de Satélite LandSat del año de 2006 de Bahía Colonet resolución de 30m con una combinación de bandas 742.

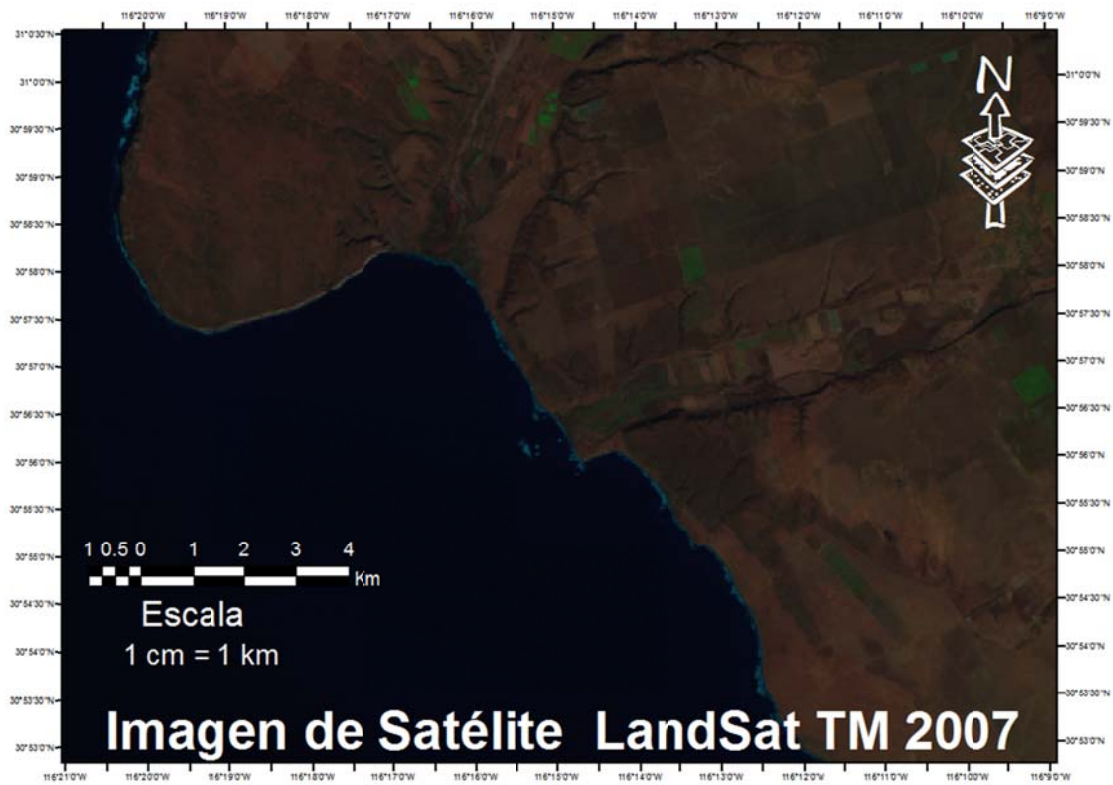


Figura 19a. Imagen de Satélite LandSat del año de 2007 de Bahía Colonet resolución de 30m con una combinación de bandas 742.

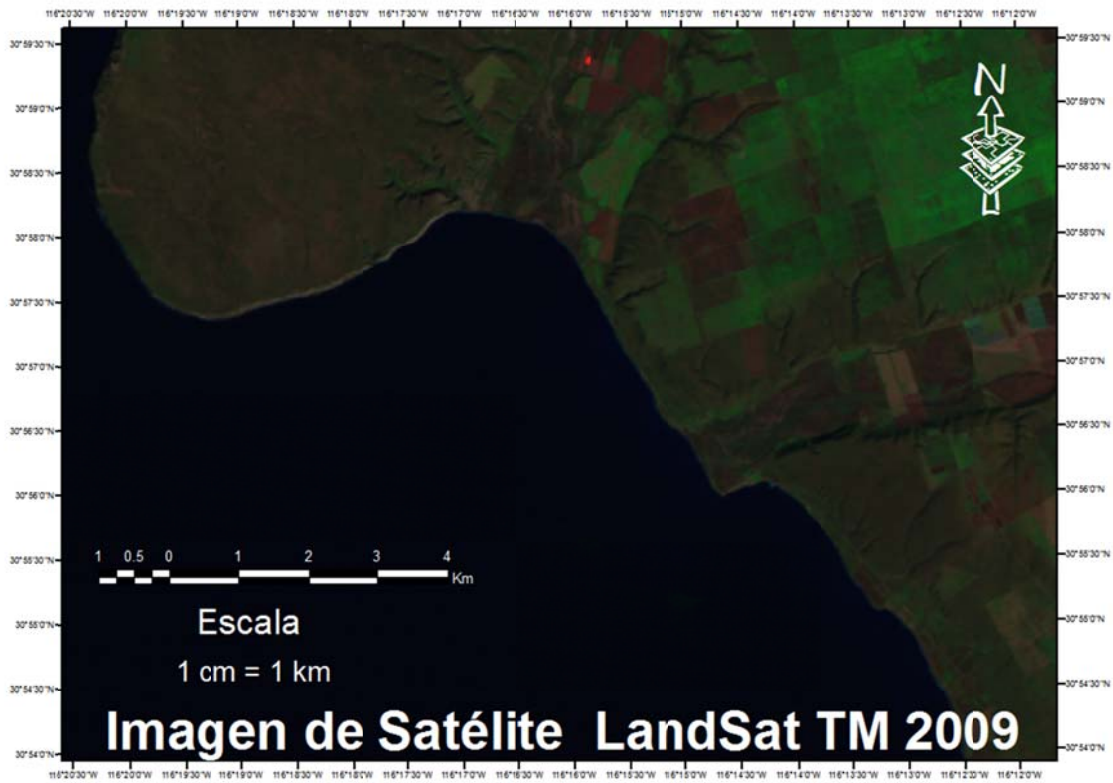


Figura 20a. Imagen de Satélite LandSat del año de 2009 de Bahía Colonet resolución de 30m con una combinación de bandas 742.

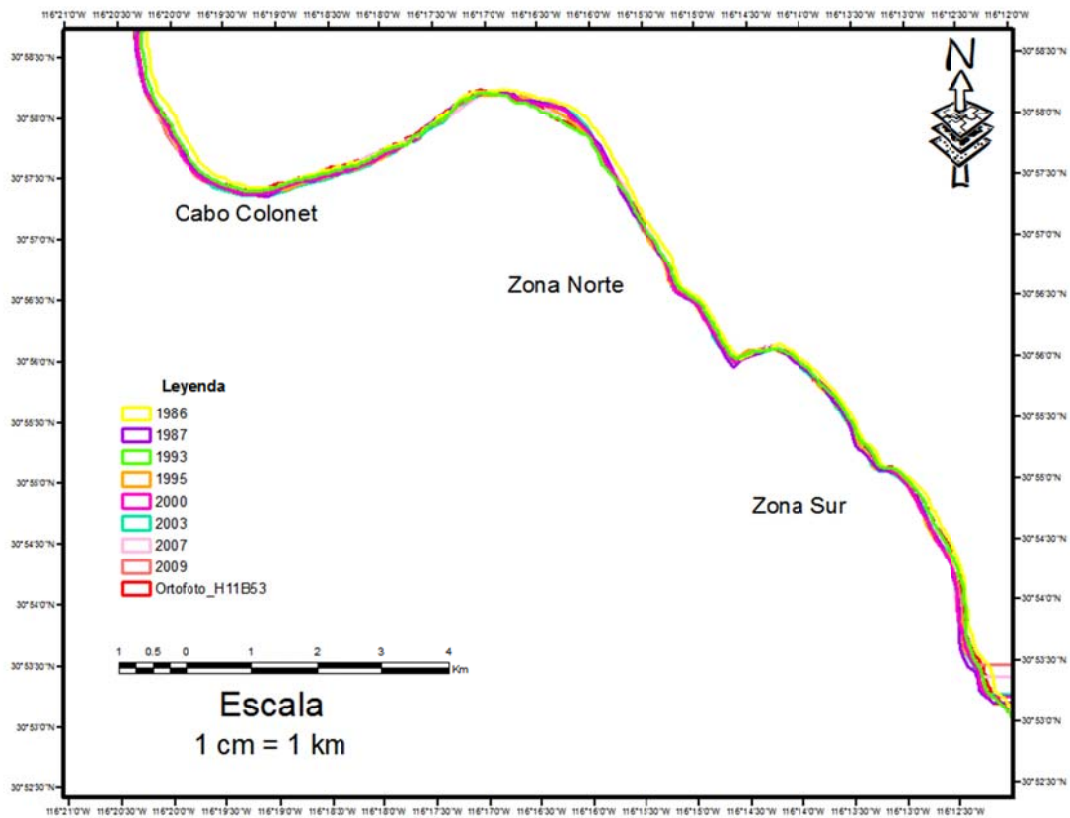


Figura 21a. Líneas de costa para diferente años en Bahía Colonet para determinar la razón de retroceso.

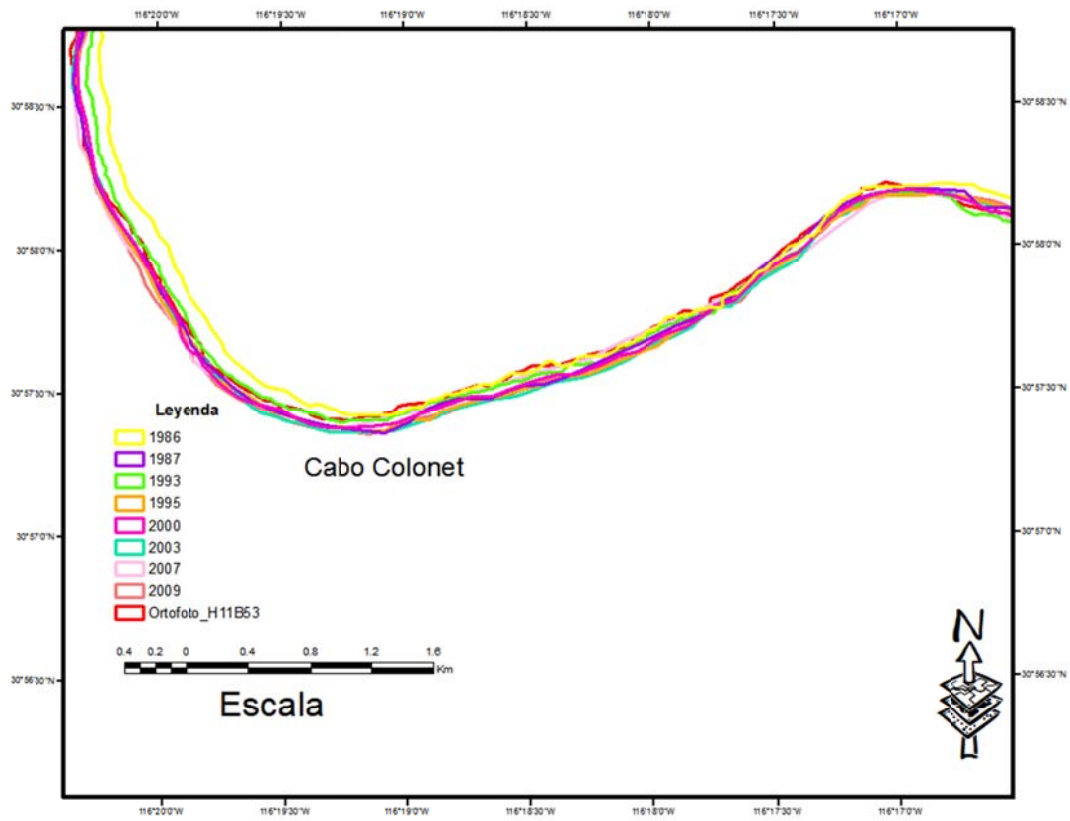


Figura 22a. Líneas de costa para diferentes años para determinar la razón de retroceso en la zona del Cabo Colonet.

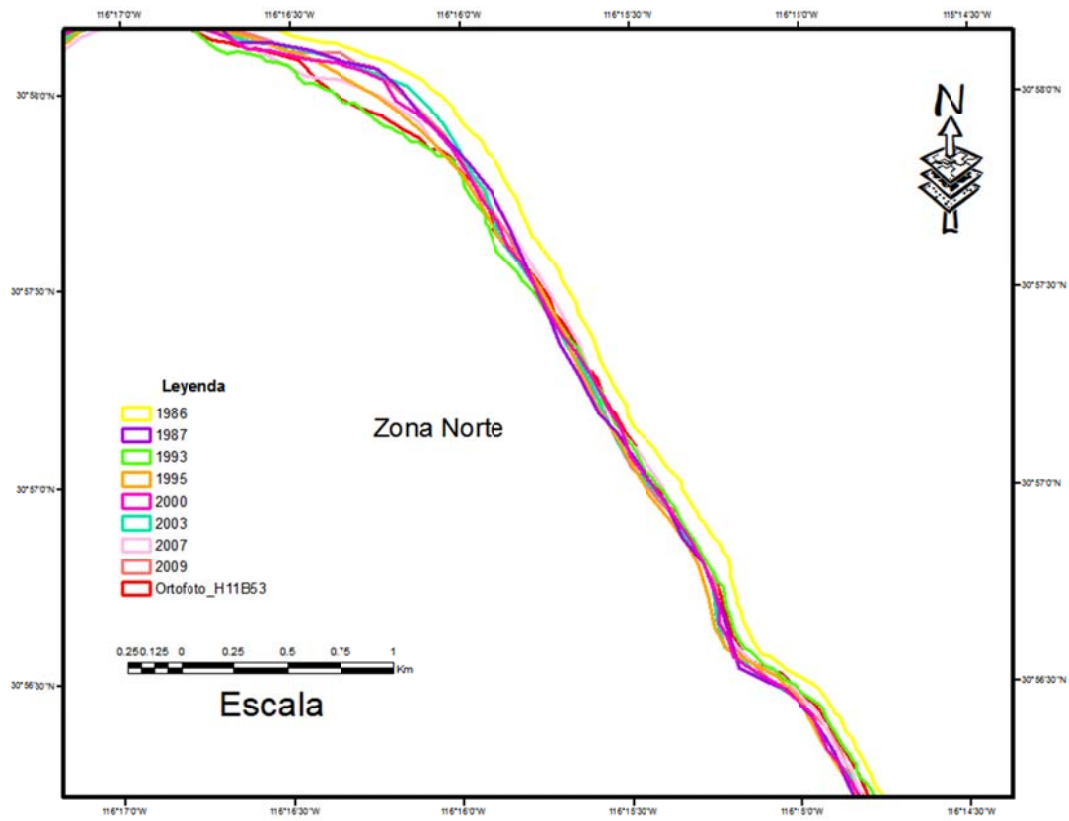


Figura 23a. Líneas de costa para diferentes años para determinar la razón de retroceso en la zona norte de Bahía Colonet.

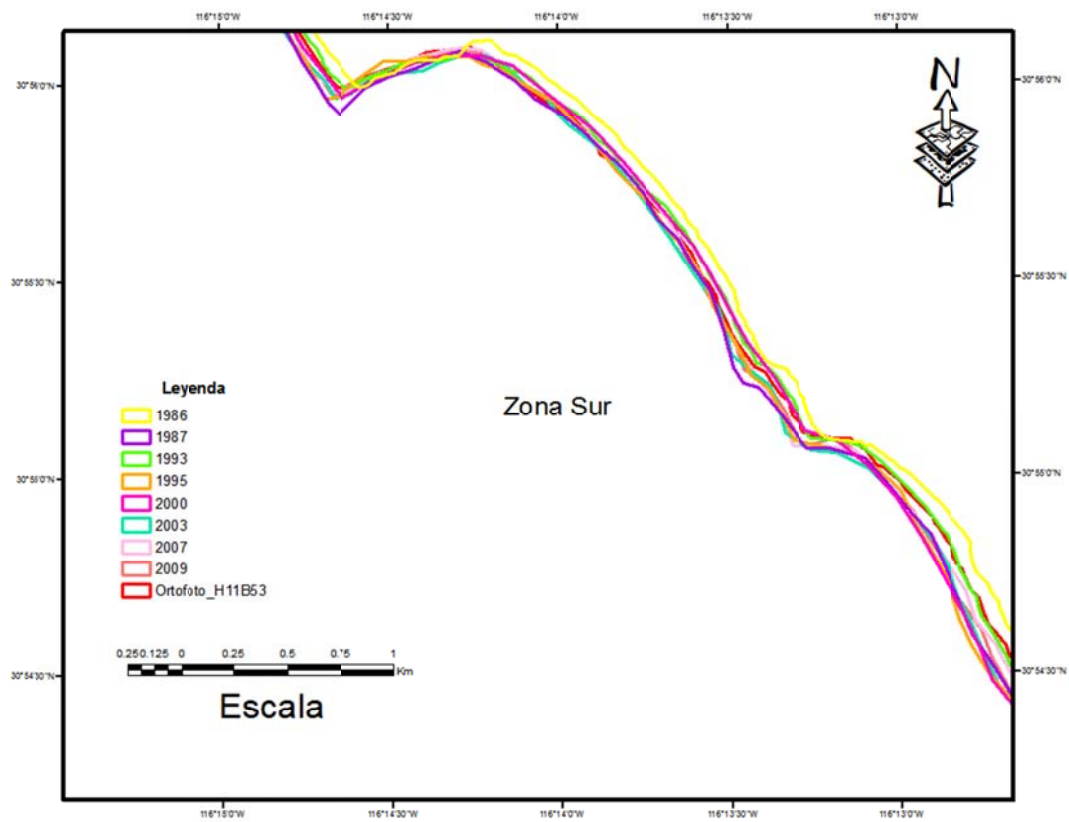


Figura 24a. Líneas de costa para diferentes años para determinar la razón de retroceso en la zona sur de Bahía Colonet.

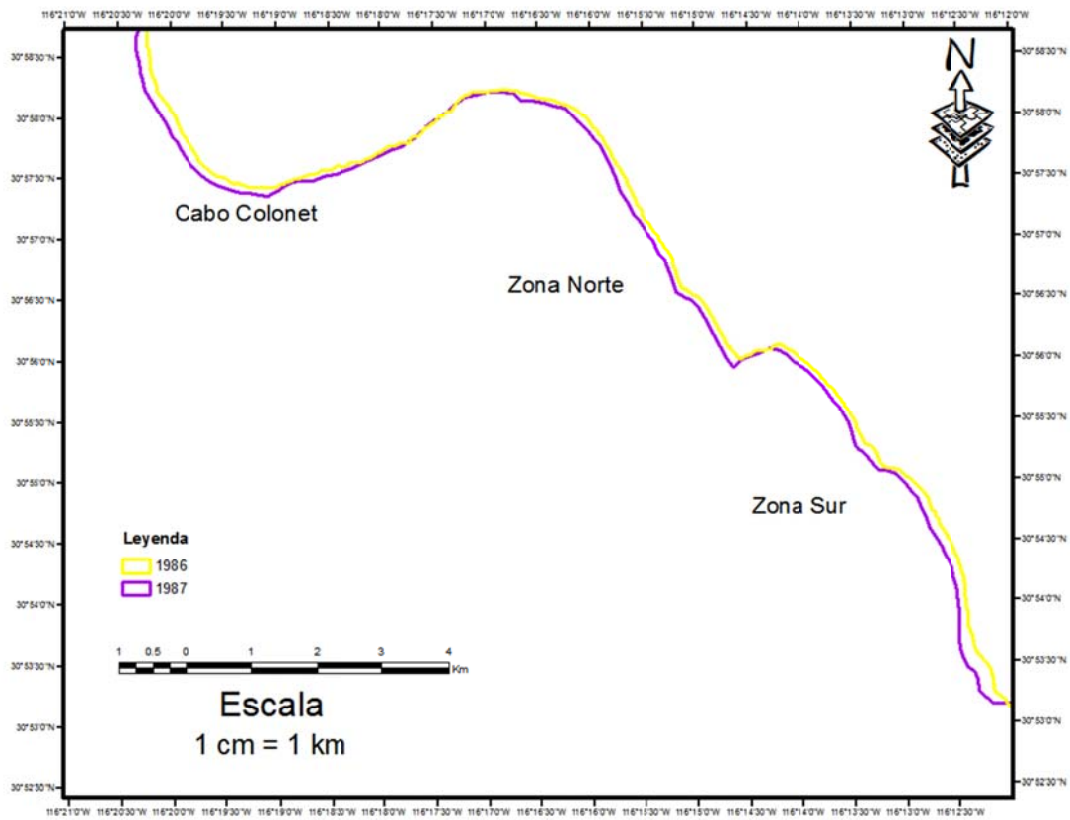


Figura 25a. Líneas de costa para los años de 1986-1987 en Bahía Colonet para determinar la razón de retroceso.

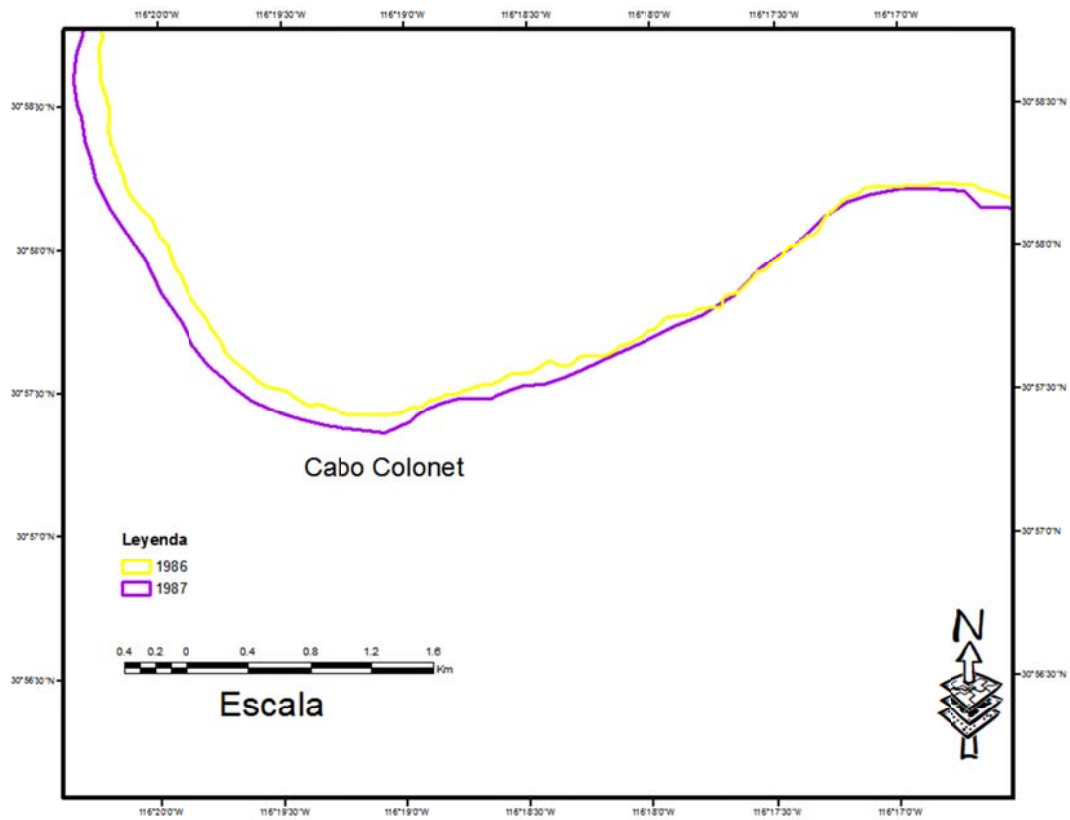


Figura 26a. Líneas de costa para los años 1986-1987 para determinar la razón de retroceso en la zona del Cabo Colonet.

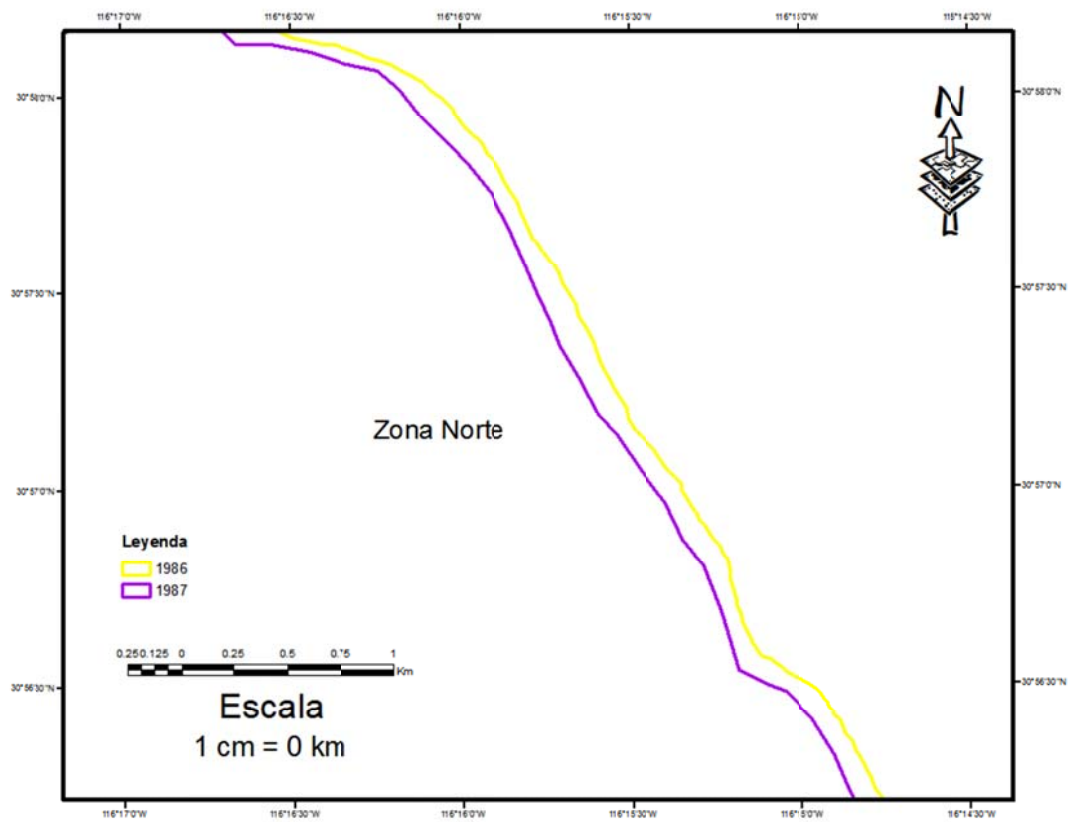


Figura 27a.. Líneas de costa para los años 1986-1987 para determinar la razón de retroceso en la zona norte de Bahía Colonet.

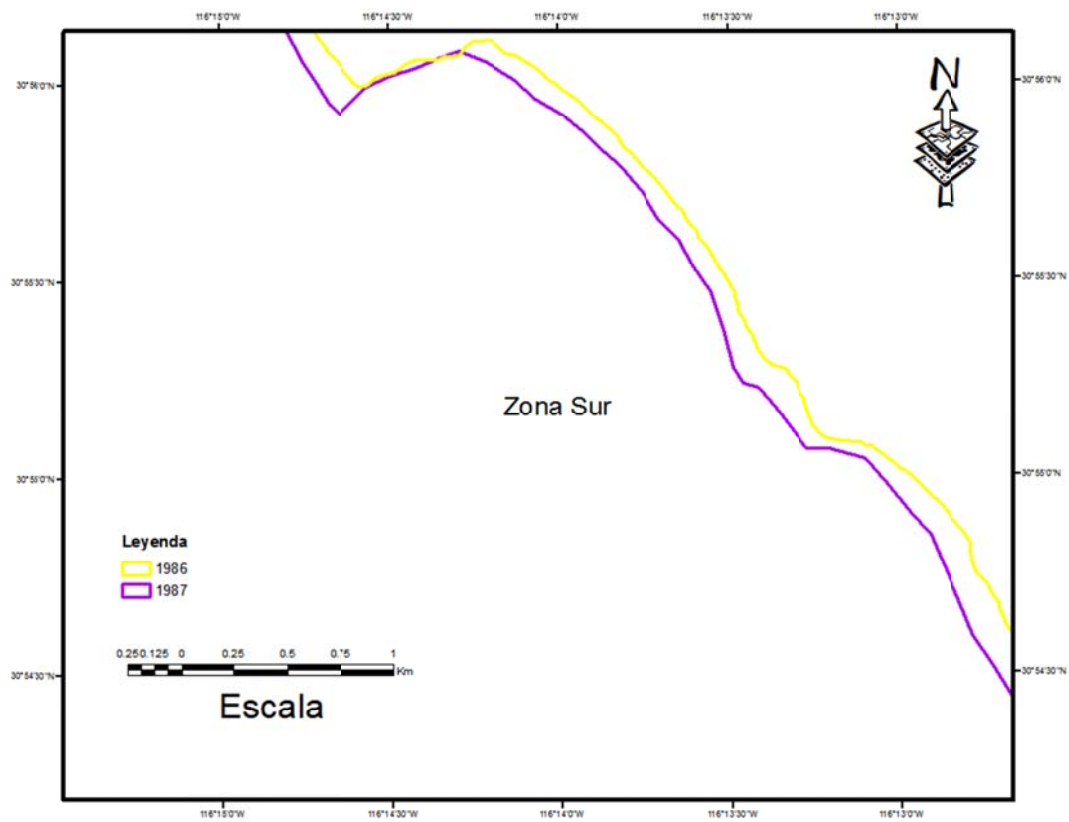


Figura 28a. Líneas de costa para los años 1986-1987 para determinar la razón de retroceso en la zona sur de Bahía Colón.

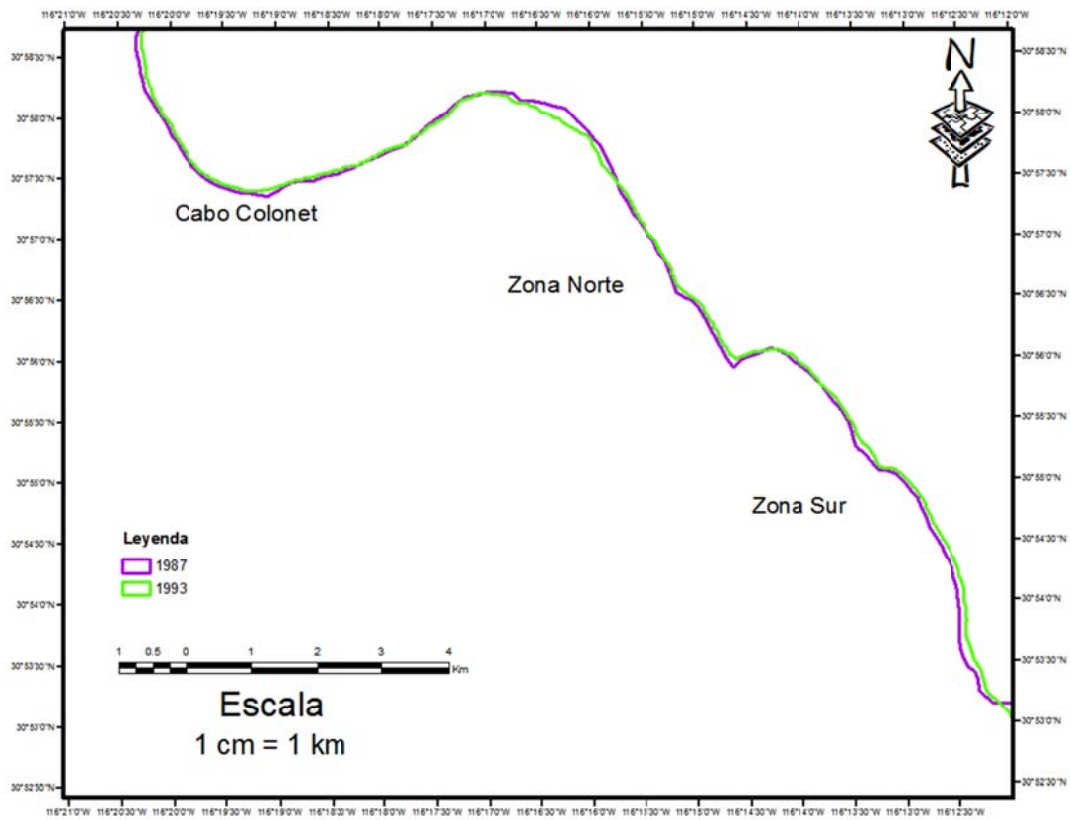


Figura 29a.. Líneas de costa para los años de 1987-1993 en Bahía Colonet para determinar la razón de retroceso.

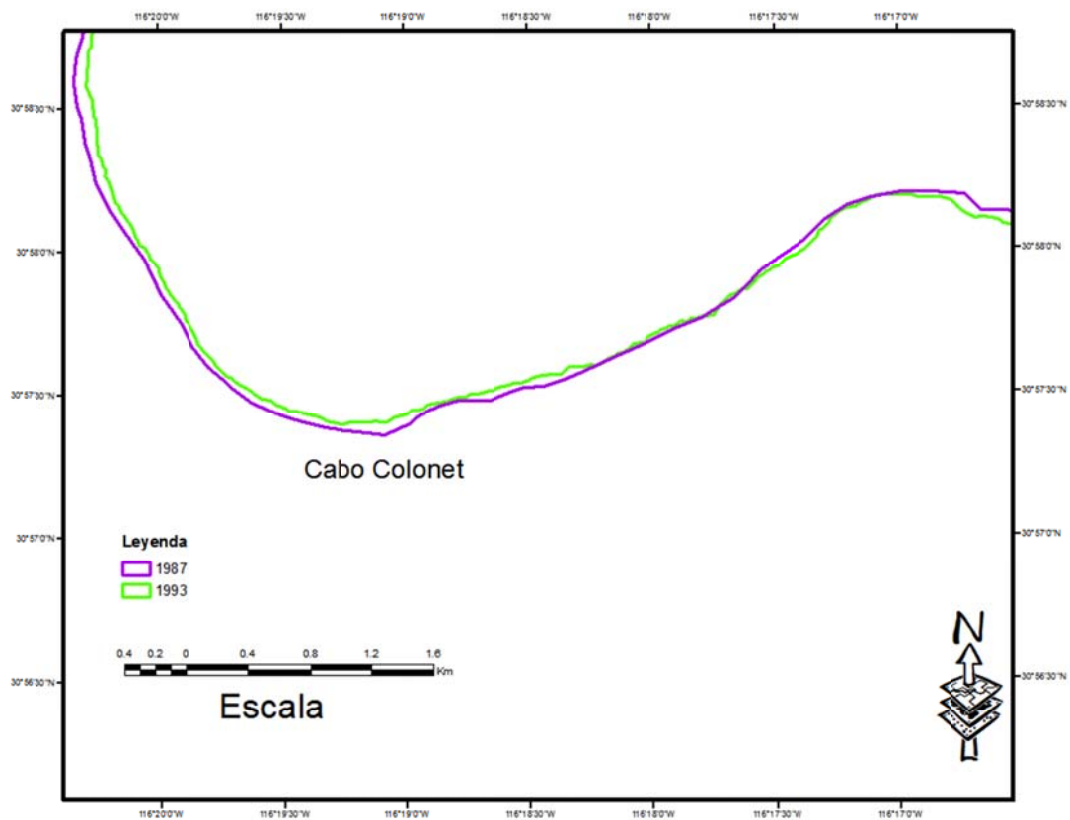


Figura 30a. Líneas de costa para los años 1987-1993 para determinar la razón de retroceso en la zona del Cabo Colonet.

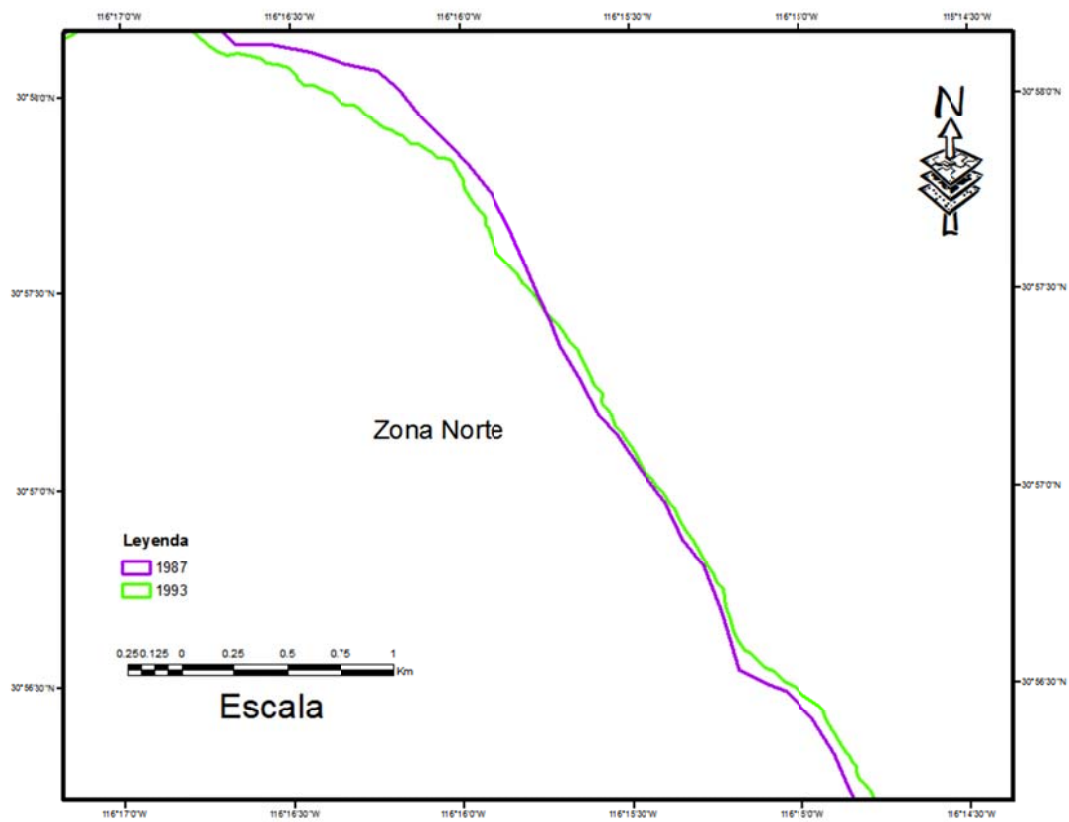


Figura 31a. Líneas de costa para los años 1987-1993 para determinar la razón de retroceso en la zona norte de Bahía Colonet.

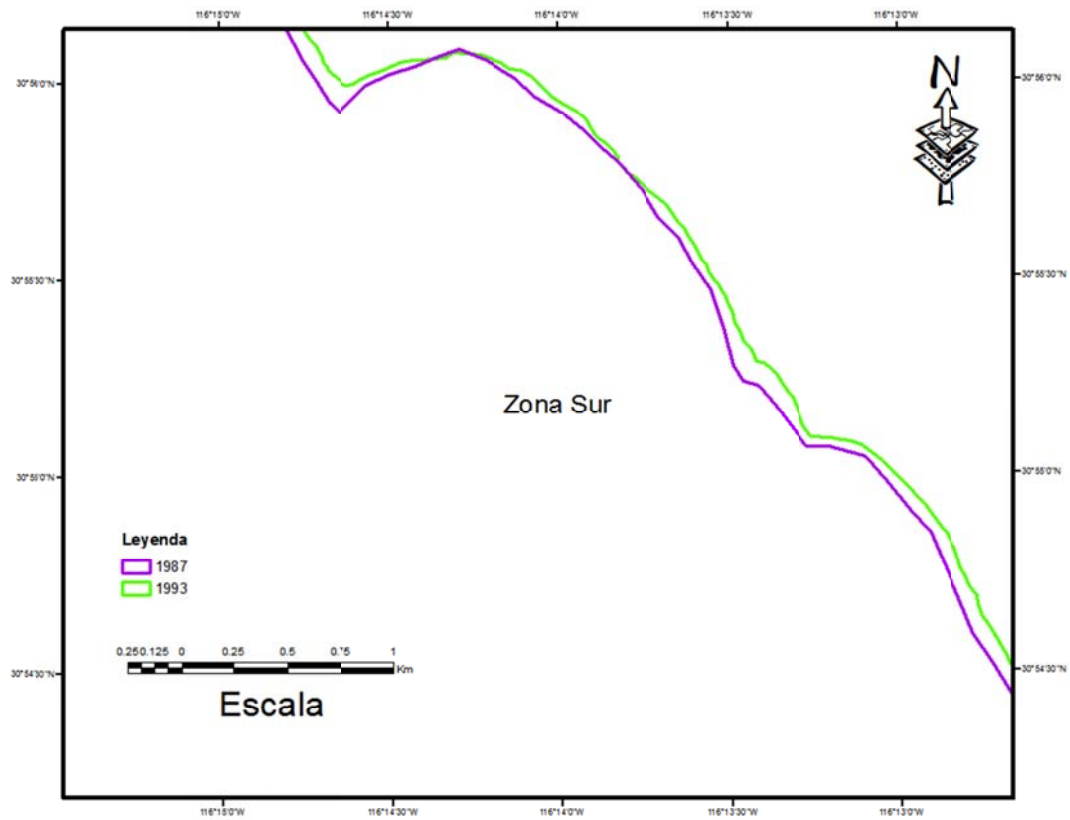


Figura 32a. Líneas de costa para los años 1987-1993 para determinar la razón de retroceso en la zona sur de Bahía Colón.

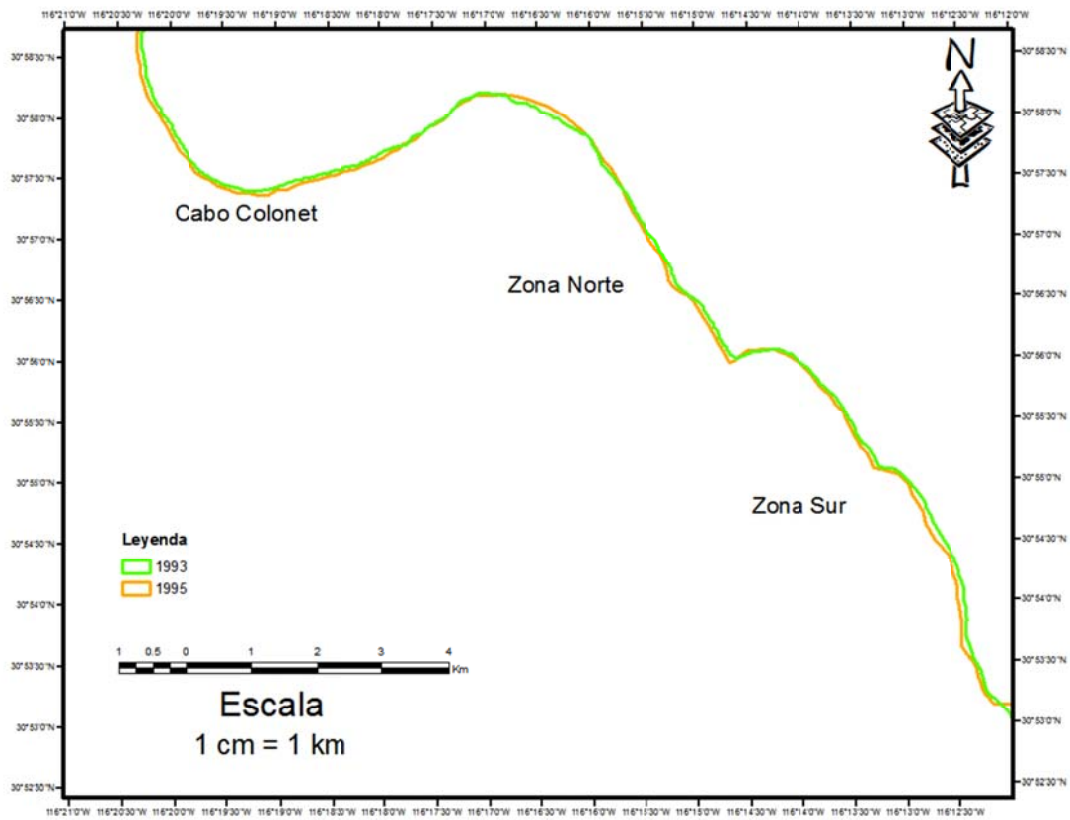


Figura 33a. Líneas de costa para los años de 1993-1995 en Bahía Colonet para determinar la razón de retroceso.

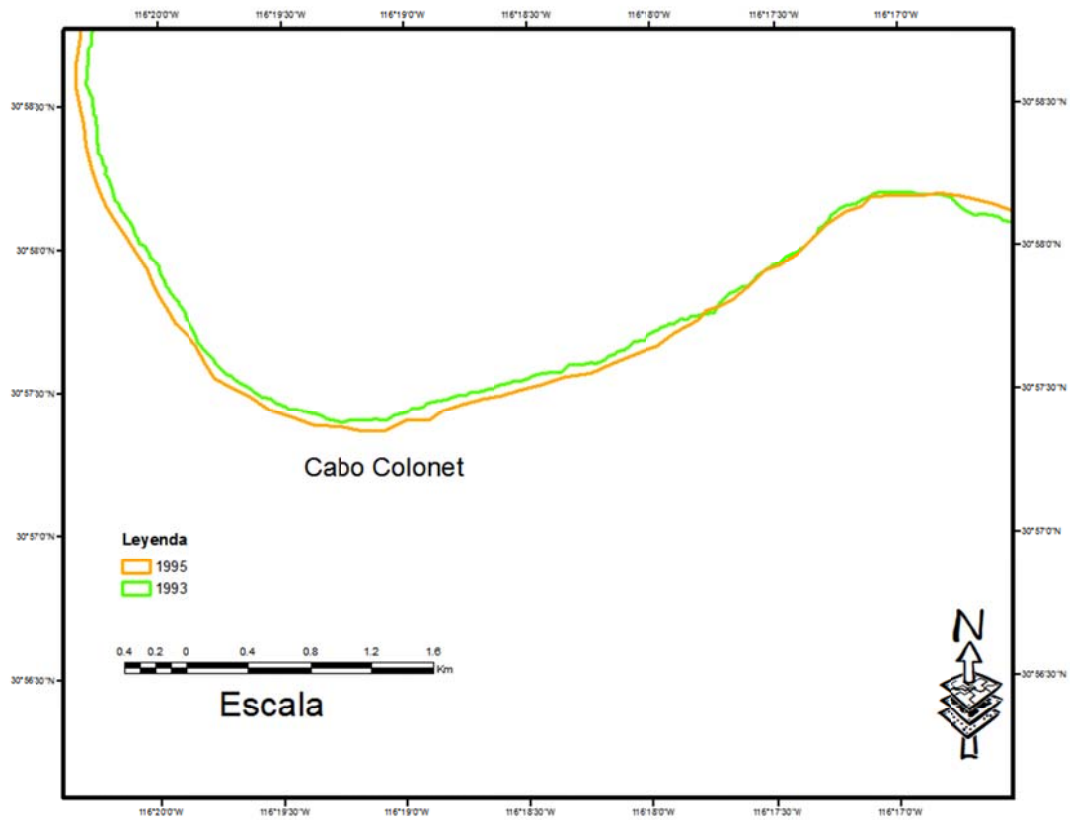


Figura 34a. Líneas de costa para los años 1993-1995 para determinar la razón de retroceso en la zona del Cabo Colonet.

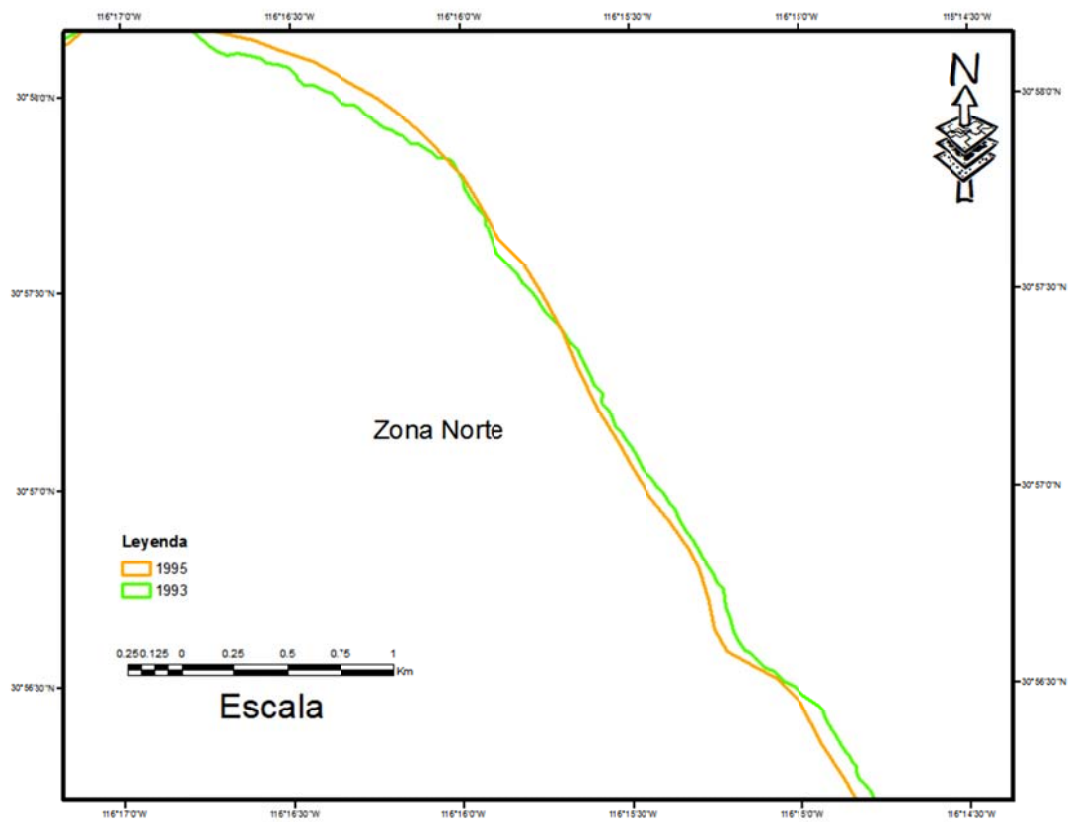


Figura 35a. Líneas de costa para los años 1993-1995 para determinar la razón de retroceso en la zona norte de Bahía Colonet.

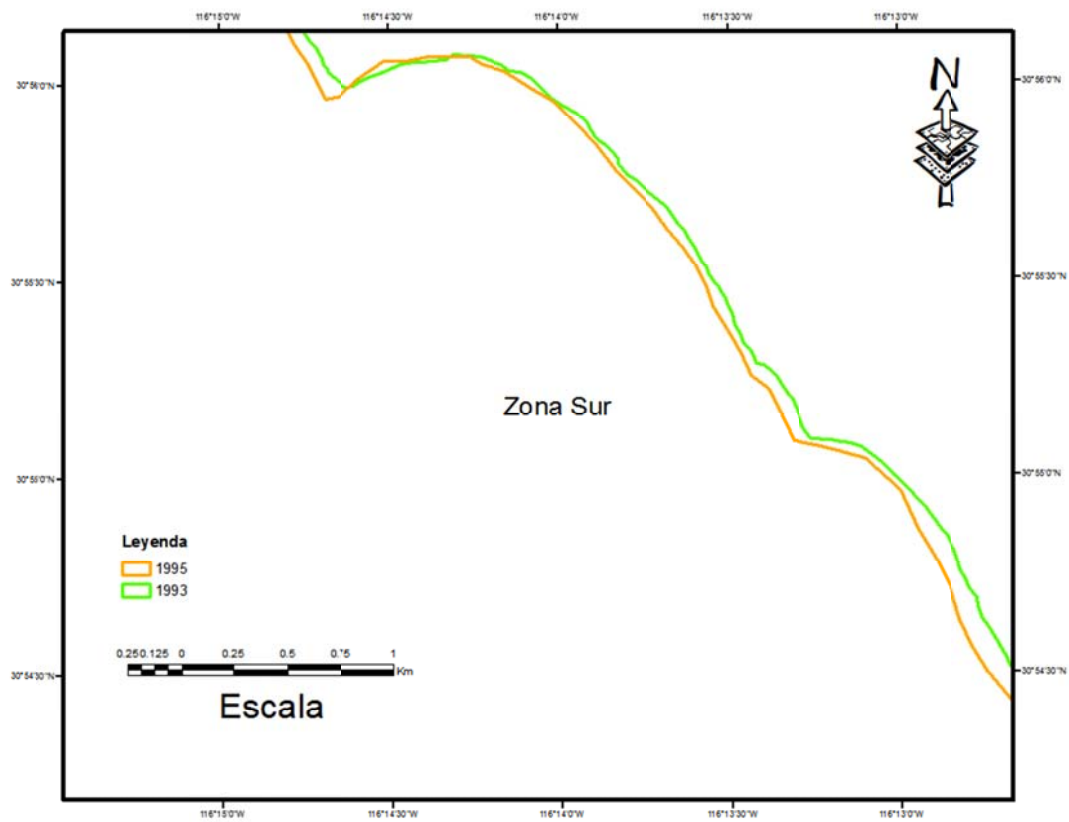


Figura 36a. Líneas de costa para los años 1993-1995 para determinar la razón de retroceso en la zona sur de Bahía Colón.

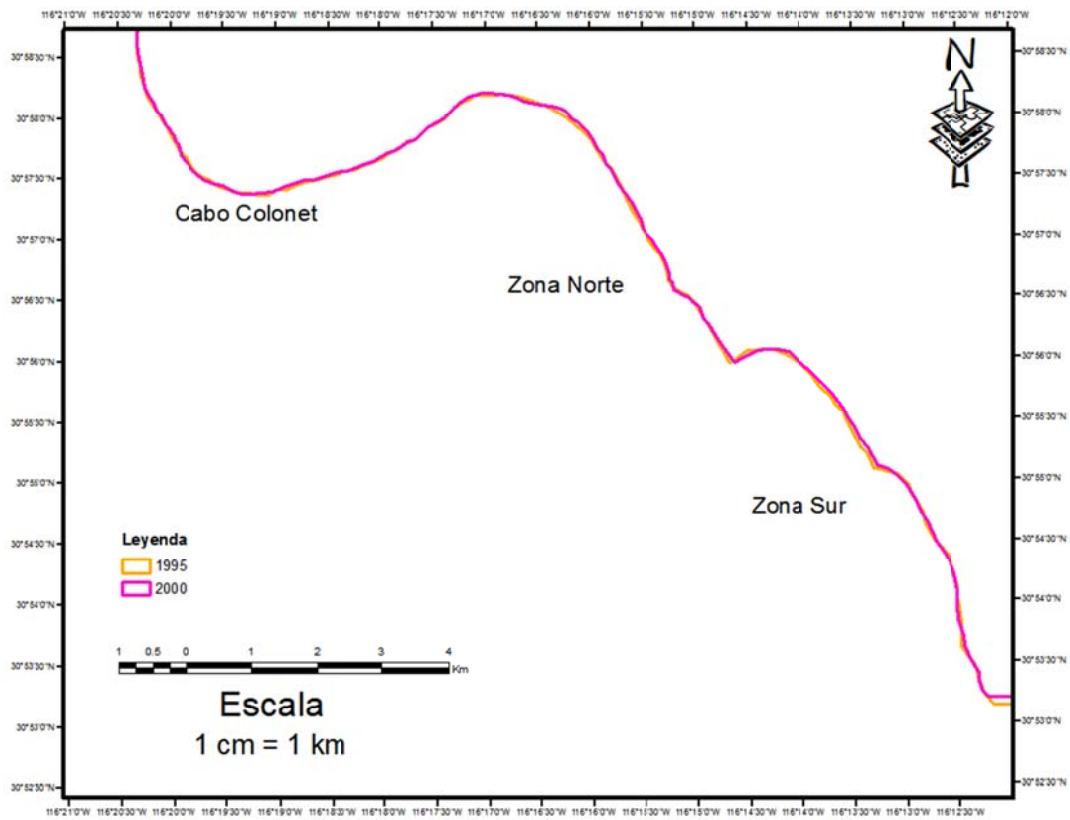


Figura 37a. Líneas de costa para los años de 1995- 2000 en Bahía Colonet para determinar la razón de retroceso.

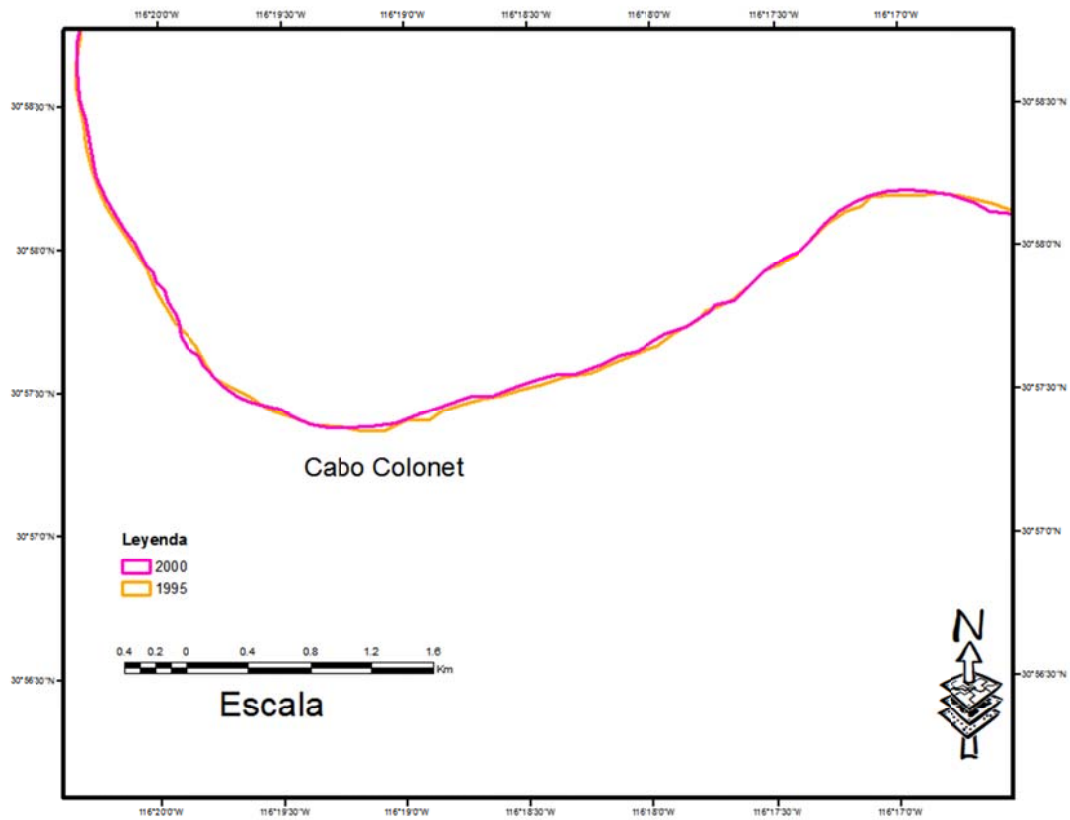


Figura 38a. Líneas de costa para los años 1995-2000 para determinar la razón de retroceso en la zona del Cabo Colonet.

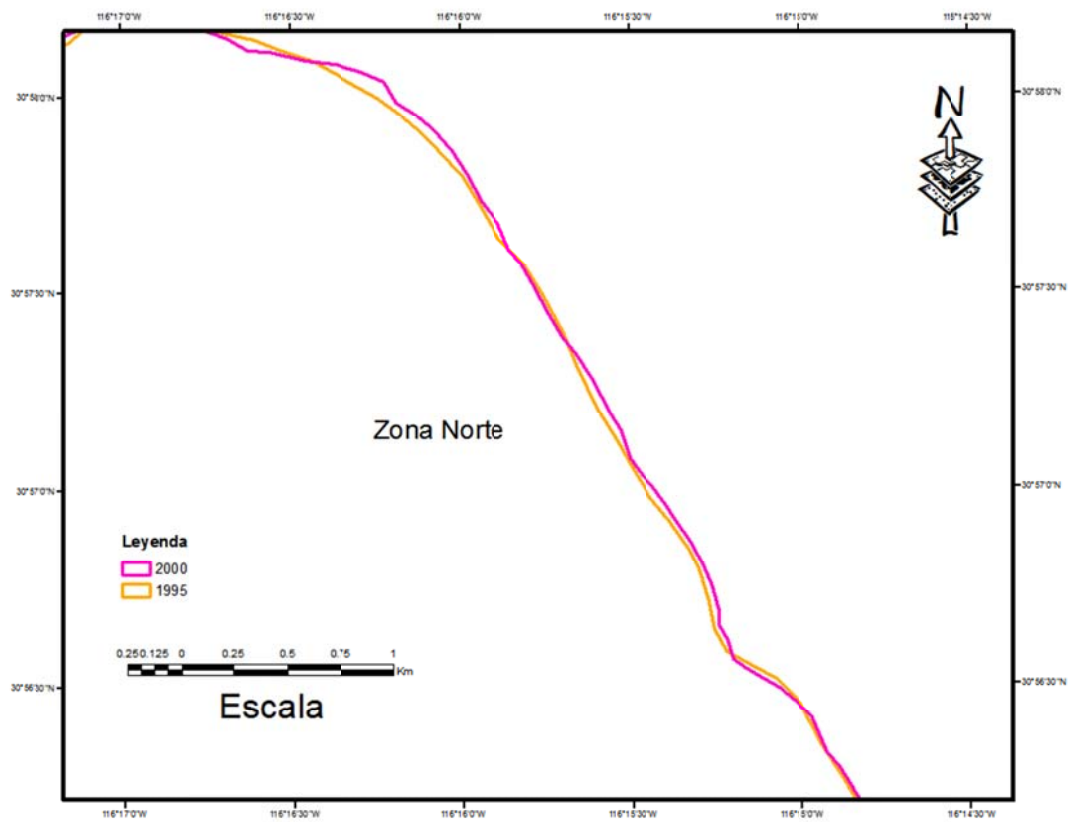


Figura 39a. Líneas de costa para los años 1995-2000 para determinar la razón de retroceso en la zona norte de Bahía Colonet.

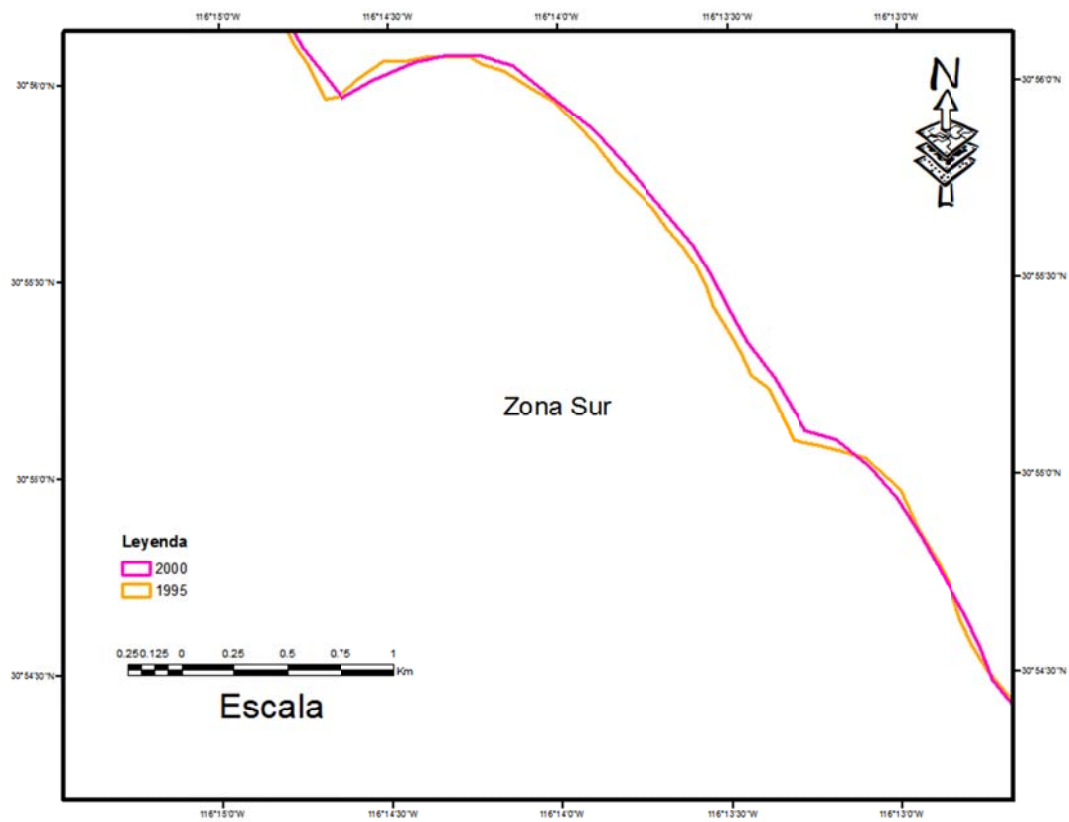


Figura 40a. Líneas de costa para los años 1995-2000 para determinar la razón de retroceso en la zona sur de Bahía Colonet.

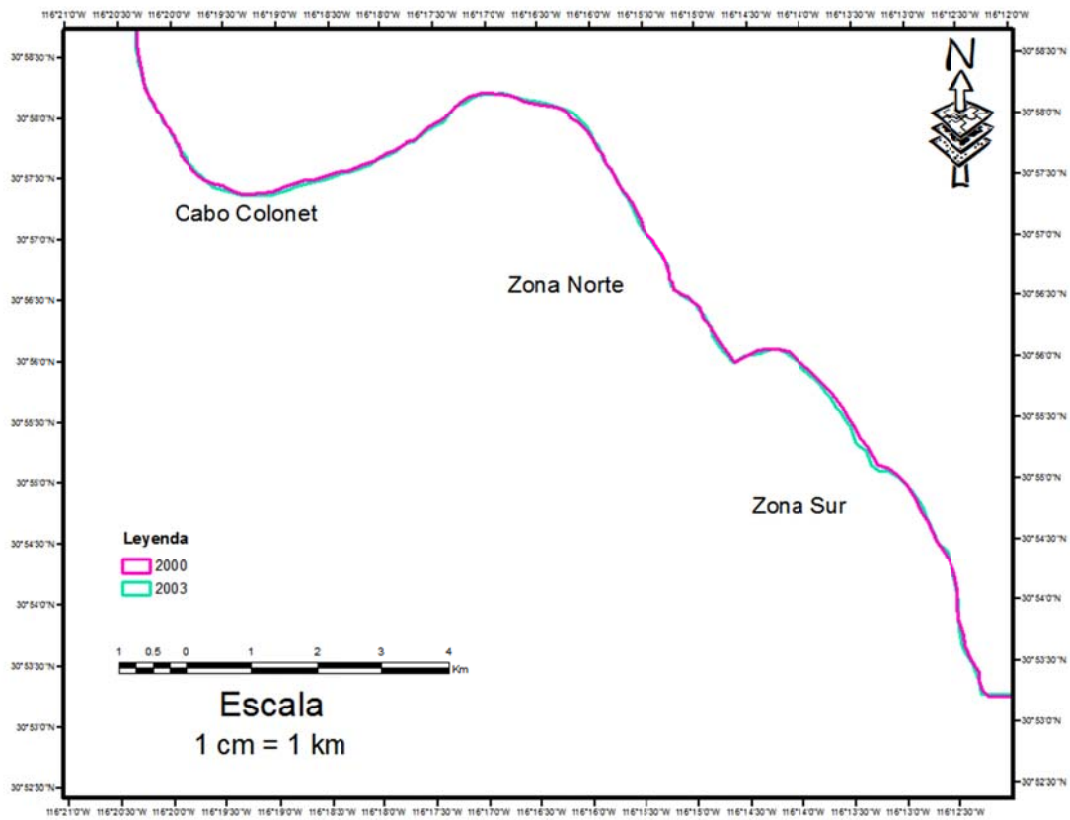


Figura 41a. Líneas de costa para los años de 2000-2003 en Bahía Colonet para determinar la razón de retroceso.

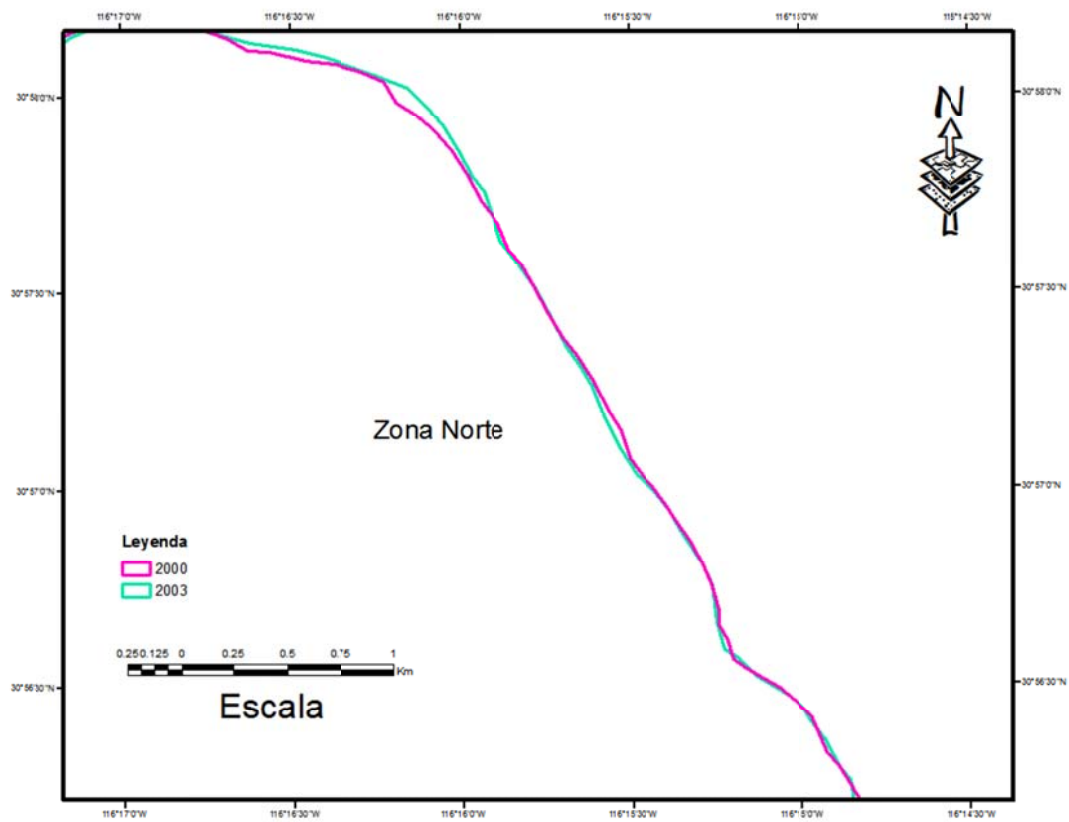


Figura 42a. Líneas de costa para los años 2000-2003 para determinar la razón de retroceso en la zona del Cabo Colonet.

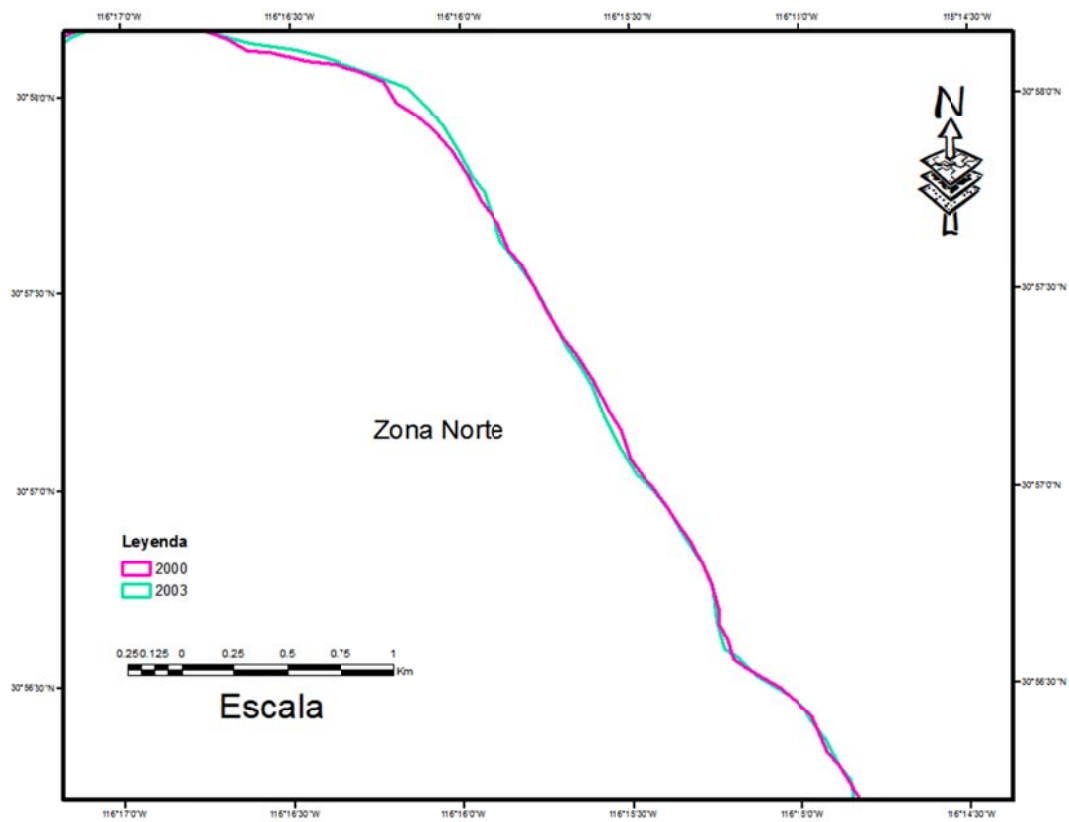


Figura 43a. Líneas de costa para los años 2000-2003 para determinar la razón de retroceso en la zona norte de Bahía Colonet.

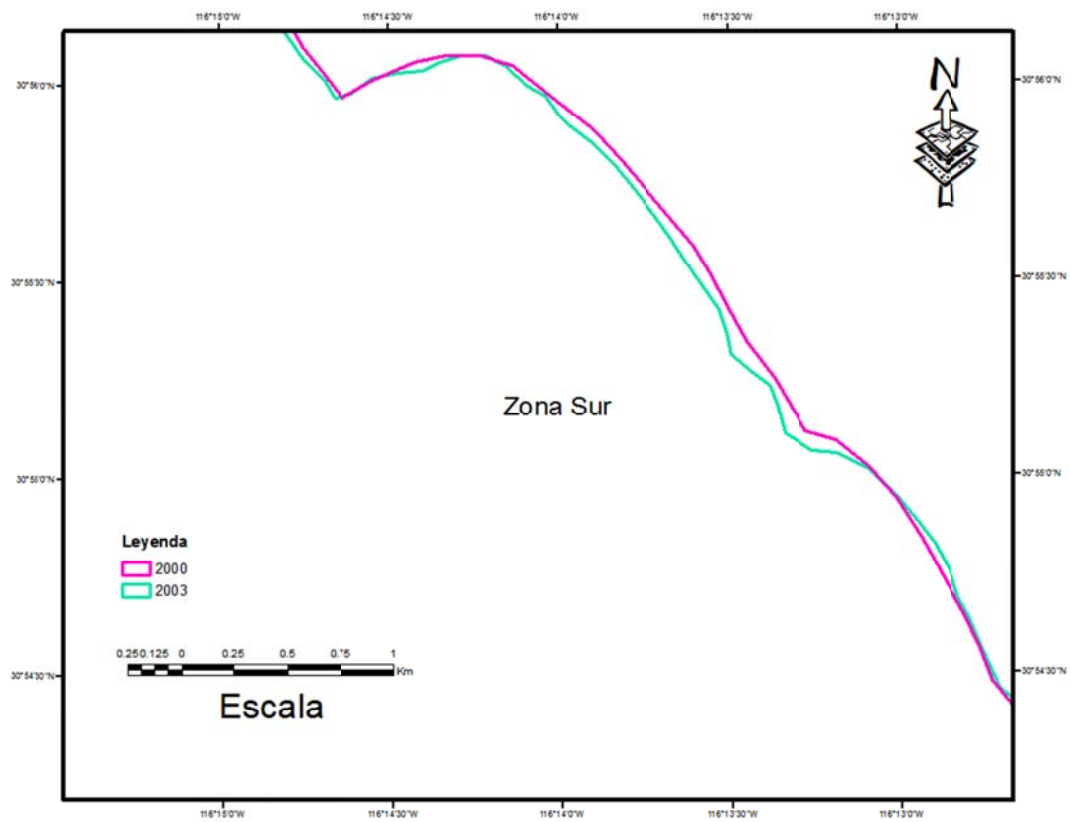


Figura 44a. Líneas de costa para los años 2000-2003 para determinar la razón de retroceso en la zona sur de Bahía Colonet.

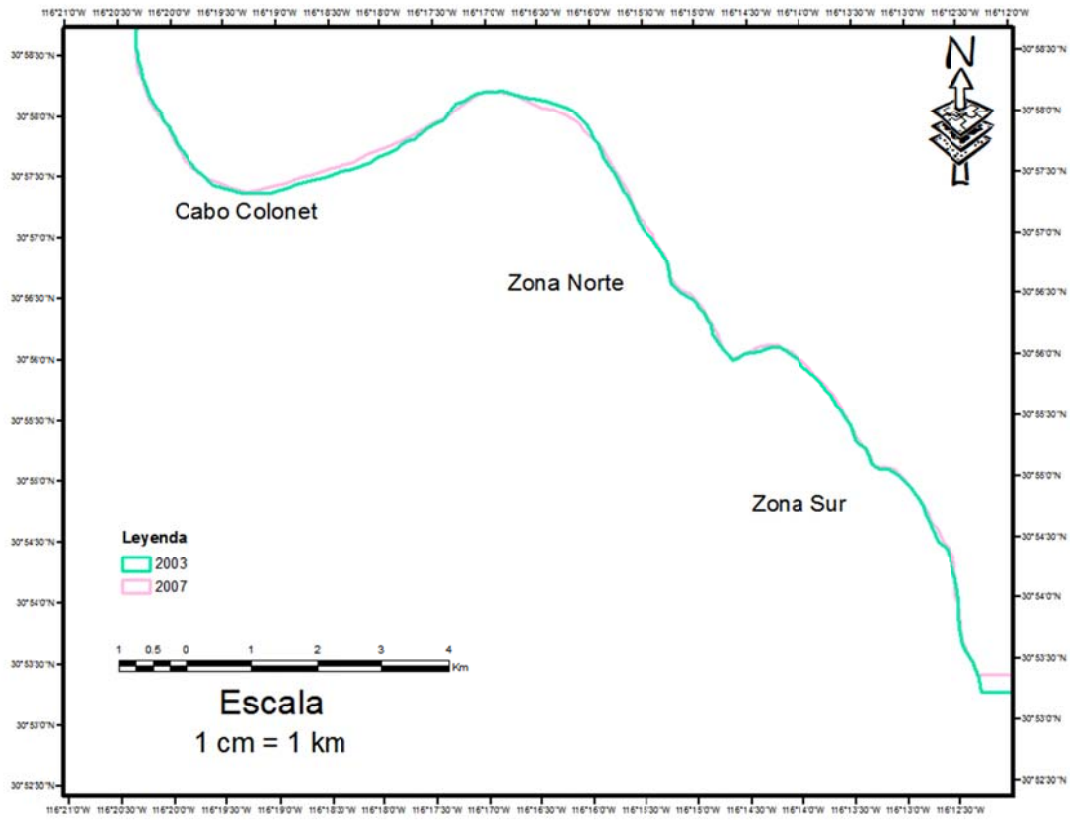


Figura 45a. Líneas de costa para los años de 2003-2007 en Bahía Colonet para determinar la razón de retroceso.

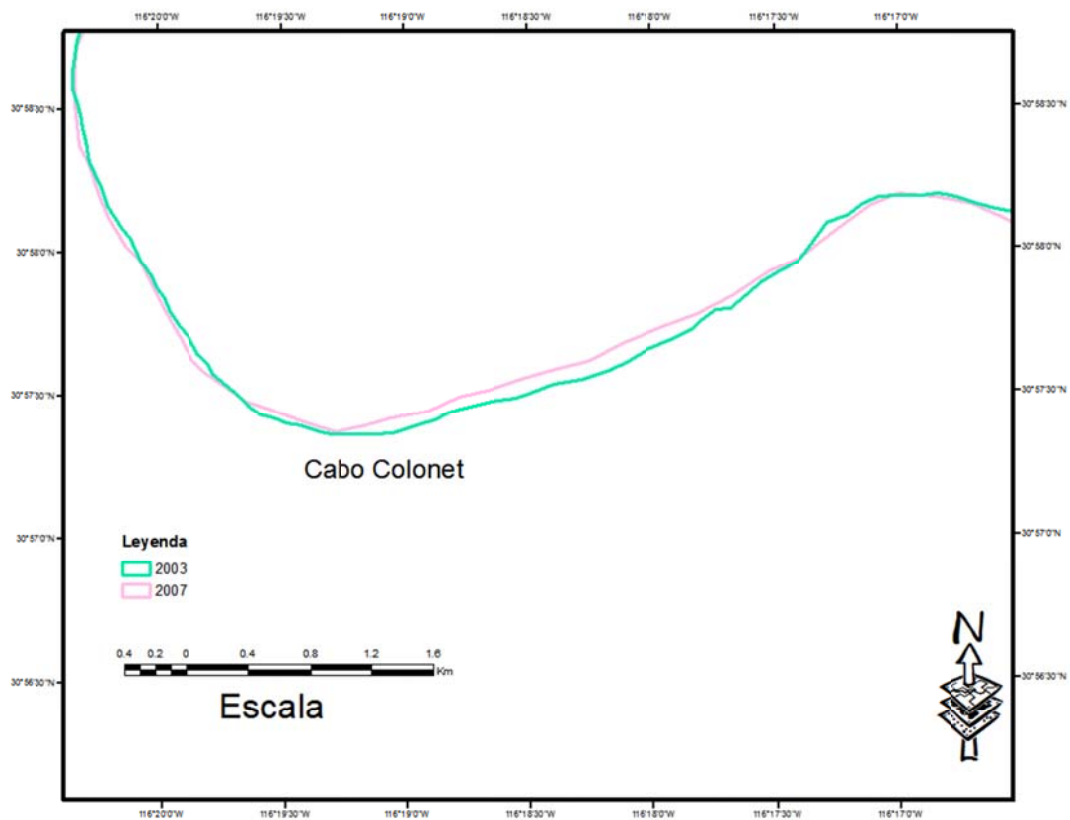


Figura 46a. Líneas de costa para los años 2003-2007 para determinar la razón de retroceso en la zona del Cabo Colonet.

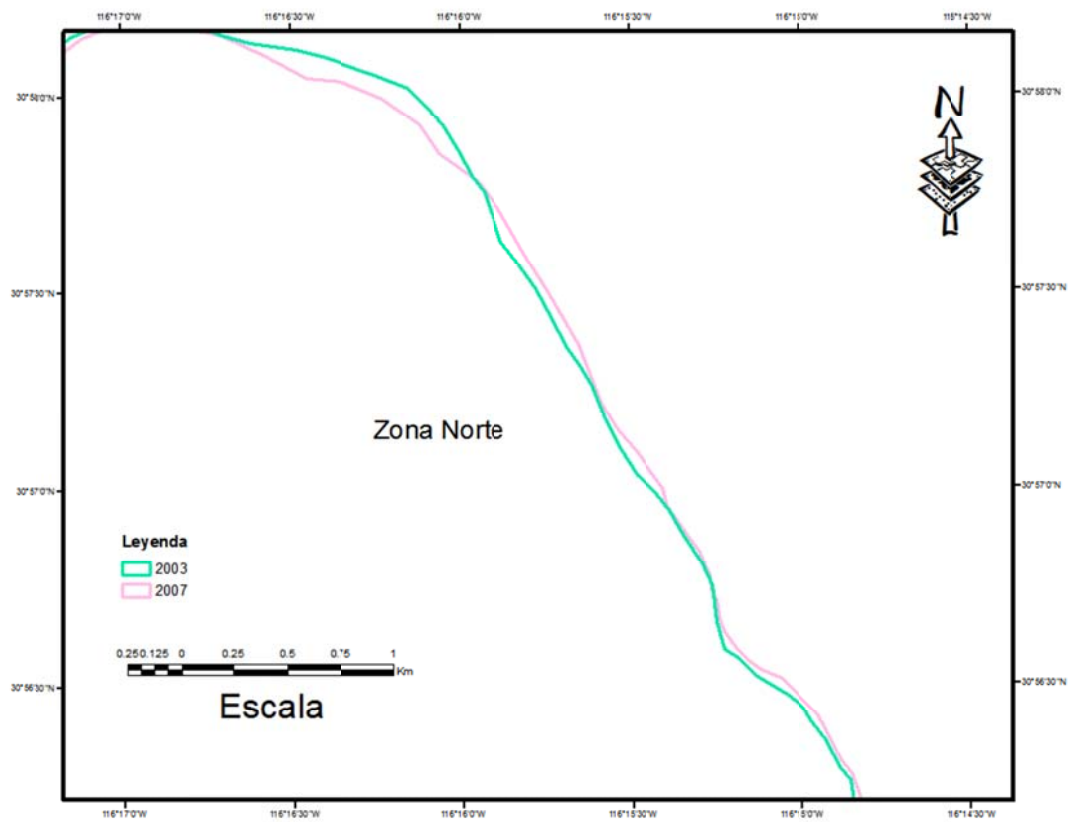


Figura 47a. Líneas de costa para los años 2003-2007 para determinar la razón de retroceso en la zona norte de Bahía Colonet.

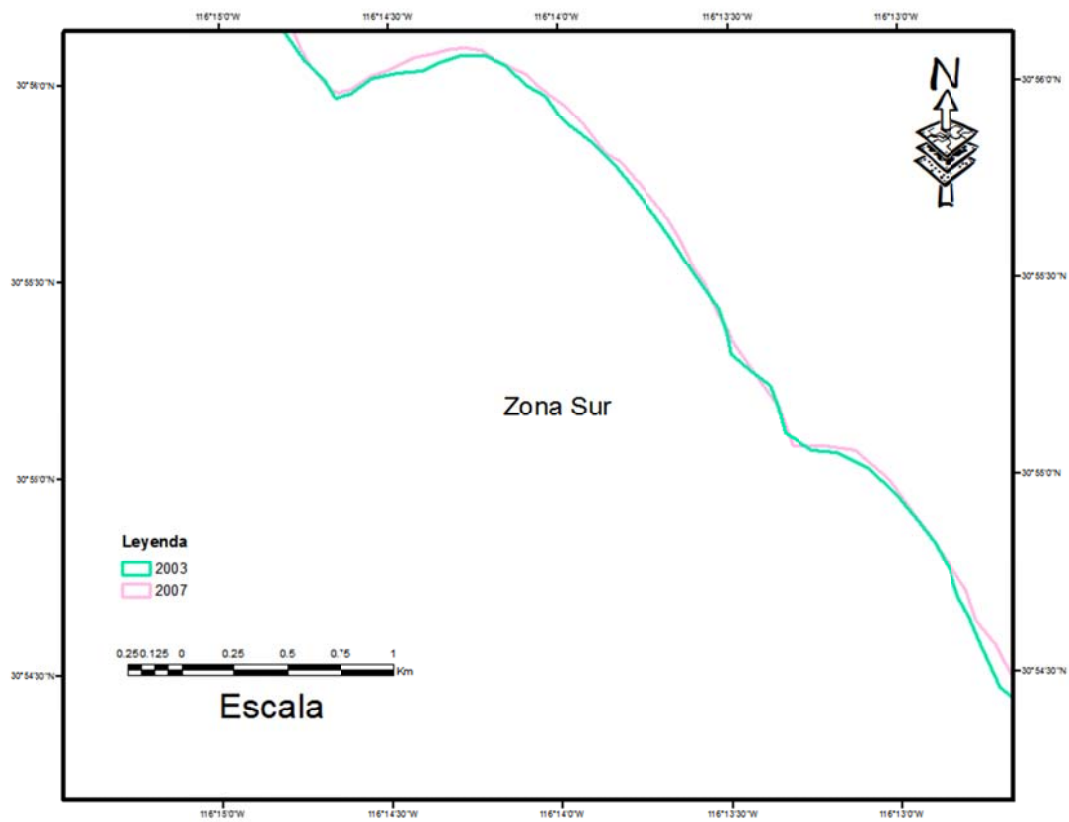


Figura 48a. Líneas de costa para los años 2003-2007 para determinar la razón de retroceso en la zona sur de Bahía Colón.

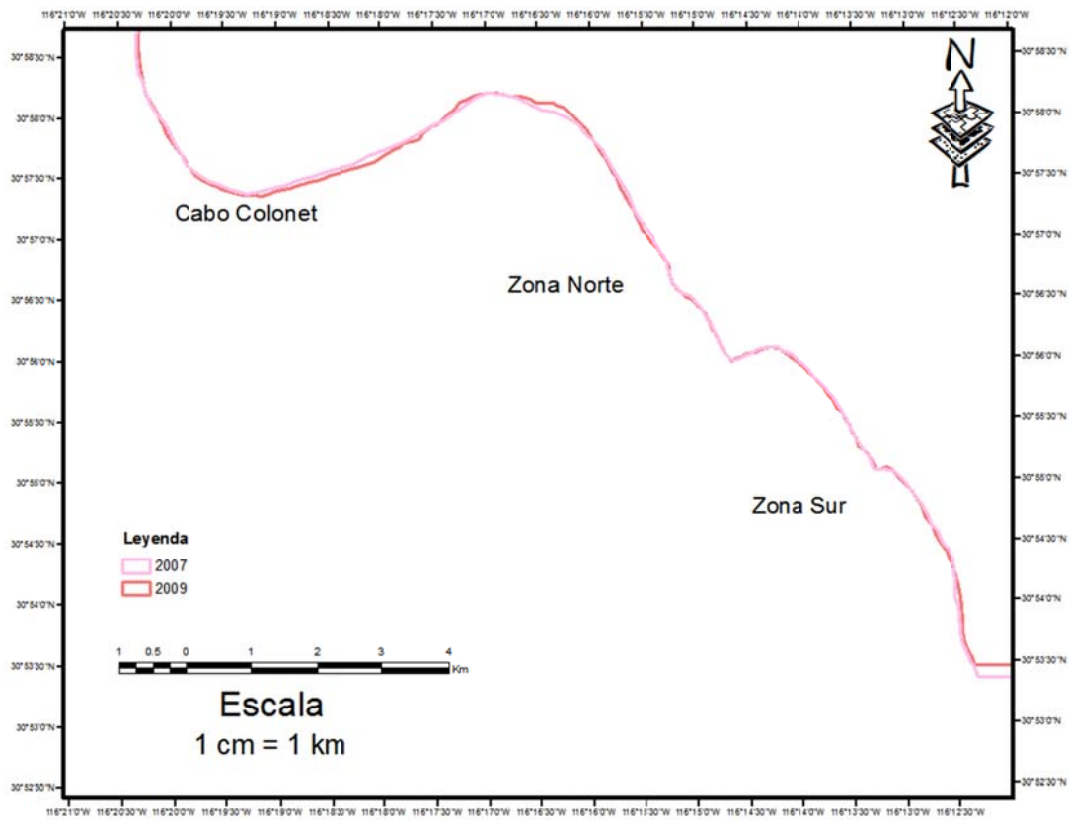


Figura 49a. Líneas de costa para los años de 2007-2009 en Bahía Colonet para determinar la razón de retroceso.

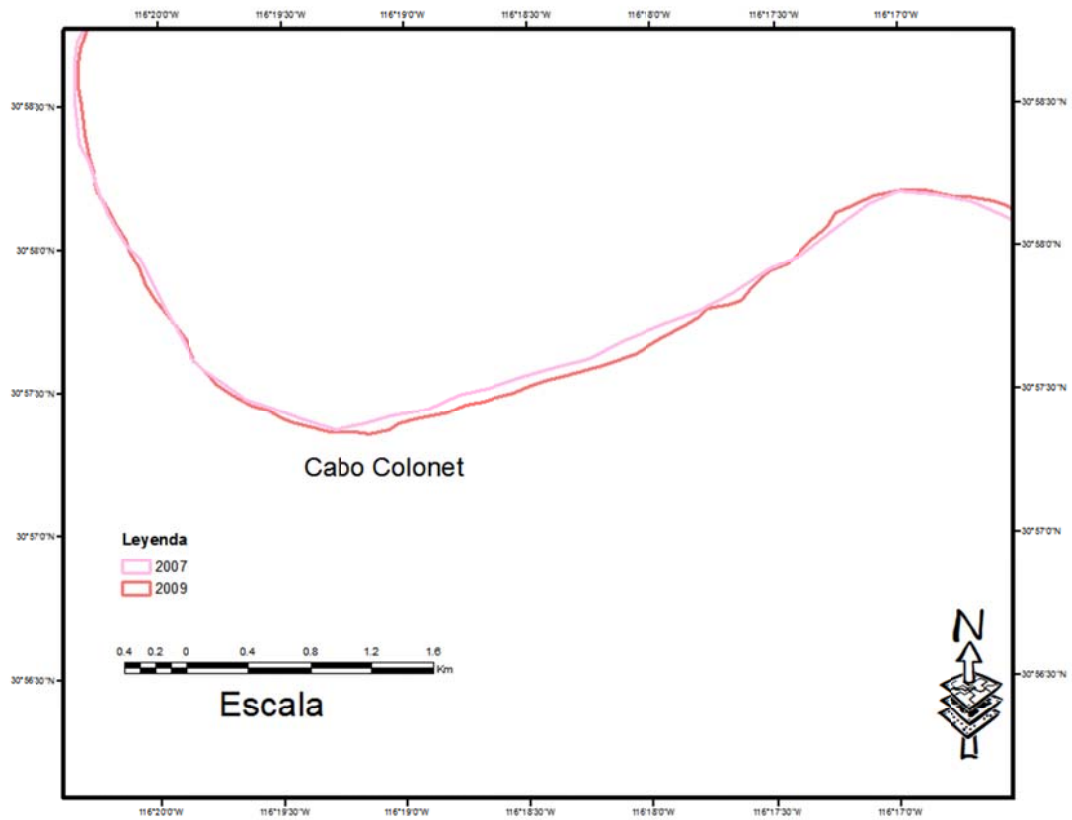


Figura 50a. Líneas de costa para los años 2007-2009 para determinar la razón de retroceso en la zona del Cabo Colonet.

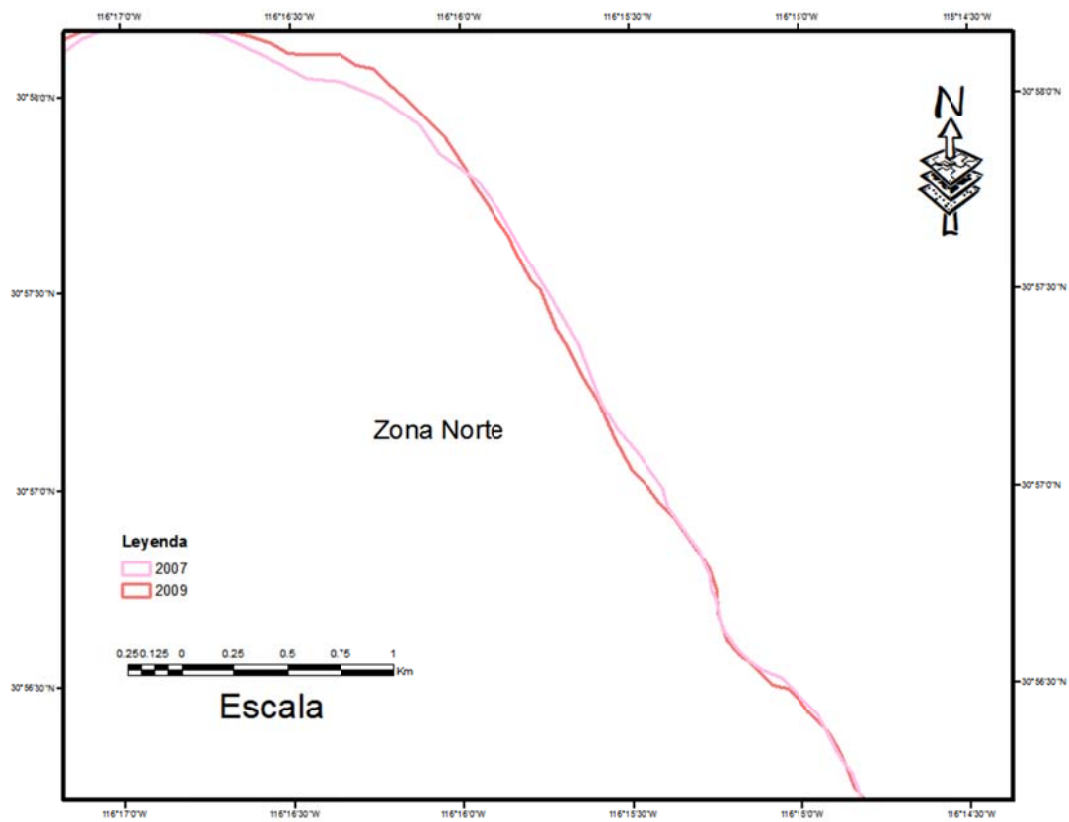


Figura 51a. Líneas de costa para los años 2007-2009 para determinar la razón de retroceso en la zona norte de Bahía Colonet.

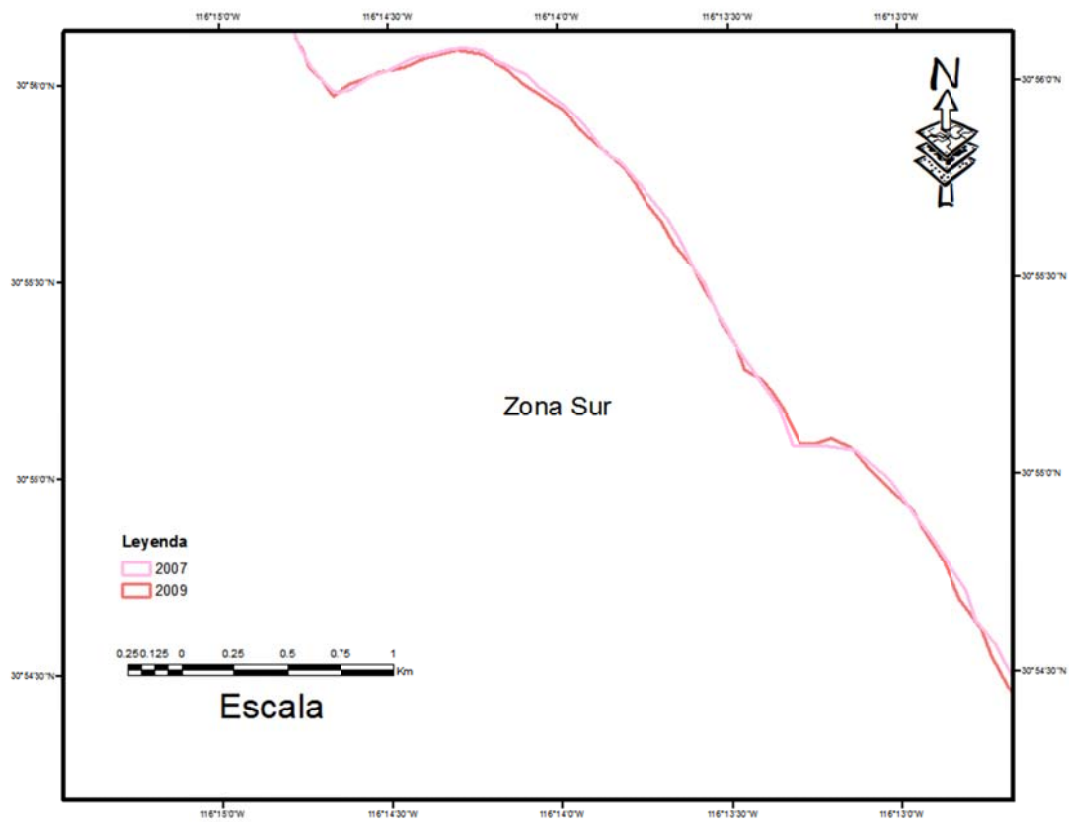


Figura 52a. Líneas de costa para los años 2007-2009 para determinar la razón de retroceso en la zona sur de Bahía Colónet.

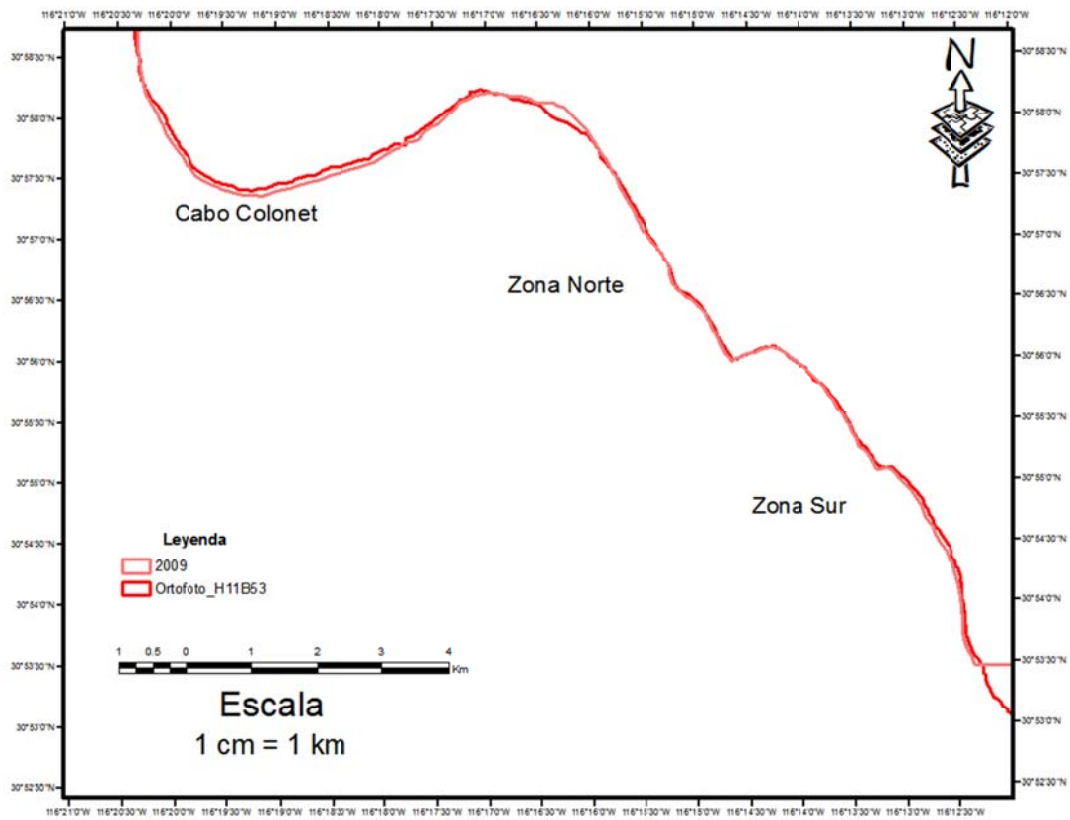


Figura 53a. Líneas de costa para los años de 2009-Ortofoto en Bahía Colonet para determinar la razón de retroceso.

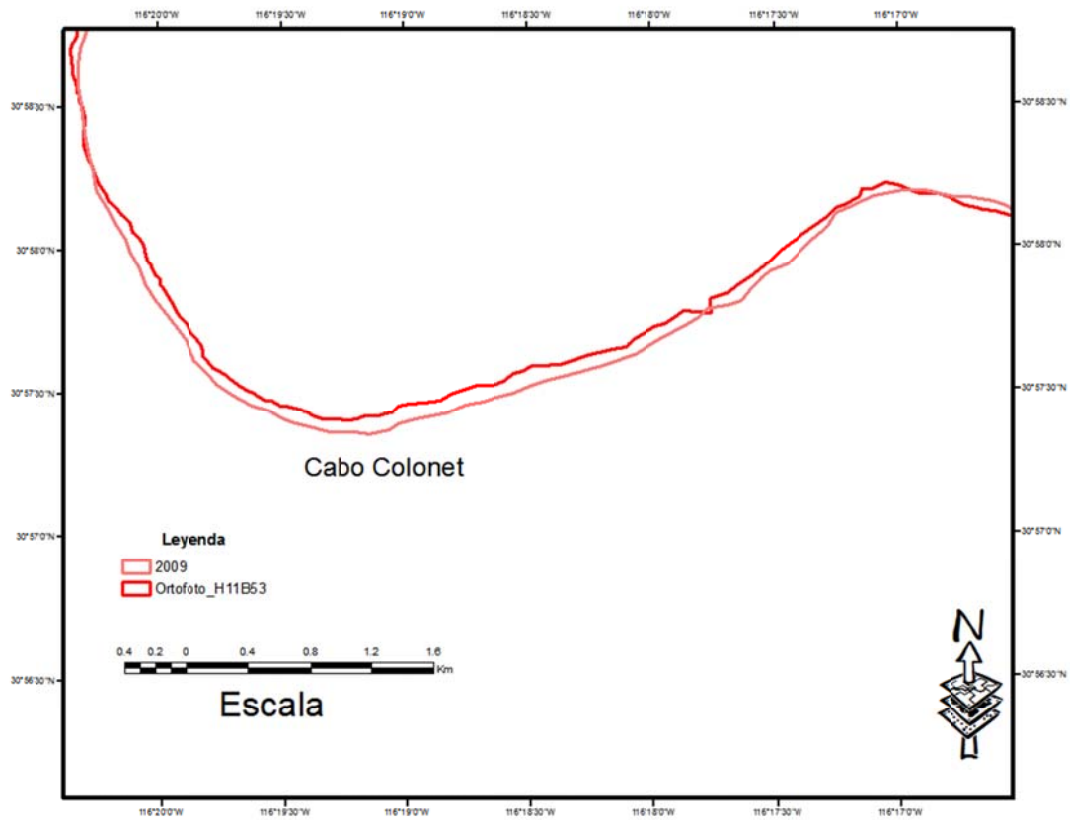


Figura 54a. Líneas de costa para los años 2009-Ortho para determinar la razón de retroceso en la zona del Cabo Colonet.

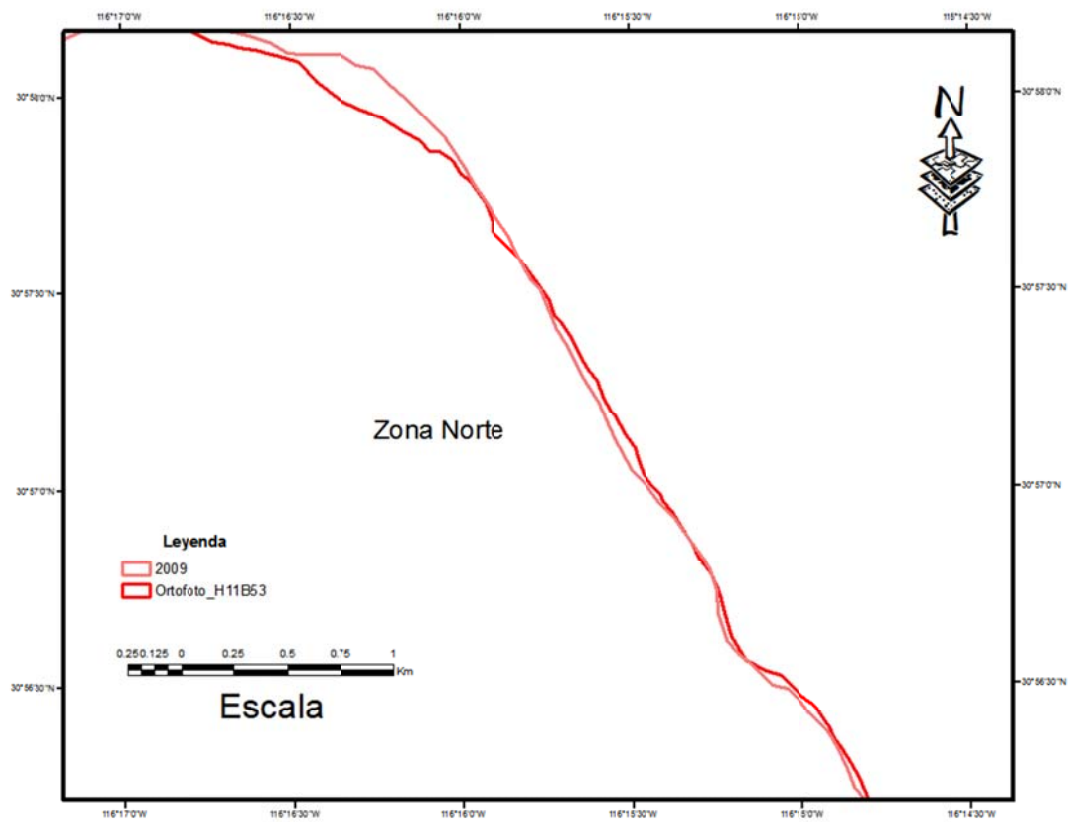


Figura 55a. Líneas de costa para los años 2009-Ortho para determinar la razón de retroceso en la zona norte de Bahía Colonet.

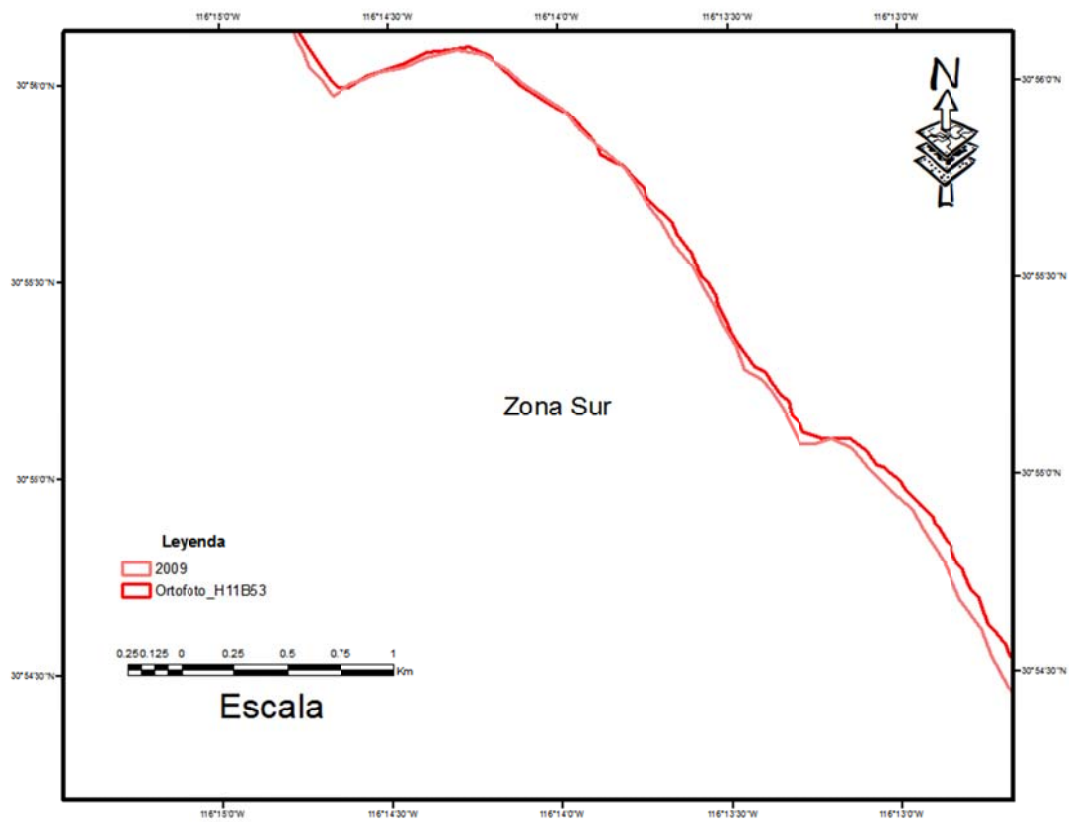


Figura 56a. Líneas de costa para los años 2009-Ortho para determinar la razón de retroceso en la zona sur de Bahía Colonet.

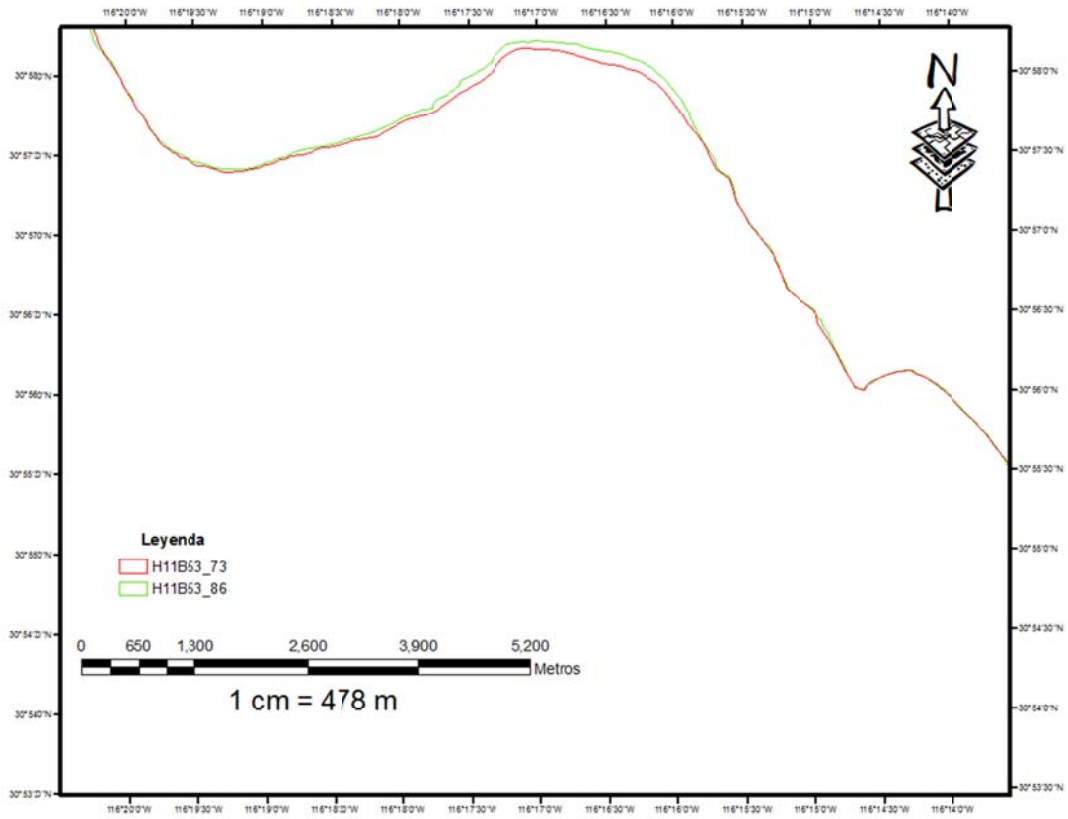


Figura 57a. Líneas de costa para los años 1973-1986 para determinar la razón de retroceso en la zona sur de Bahía Colón

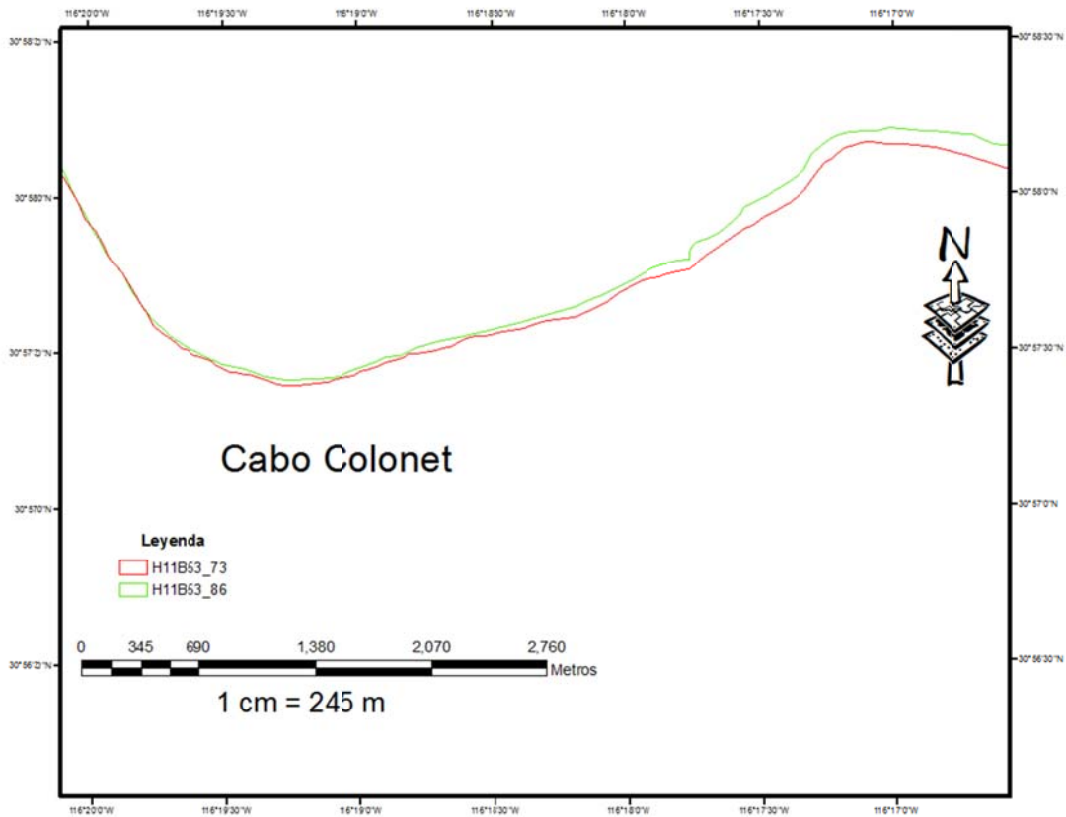


Figura 58a. Líneas de costa para los años 1973-1986 para determinar la razón de retroceso en la zona del Cabo de Bahía Colonet

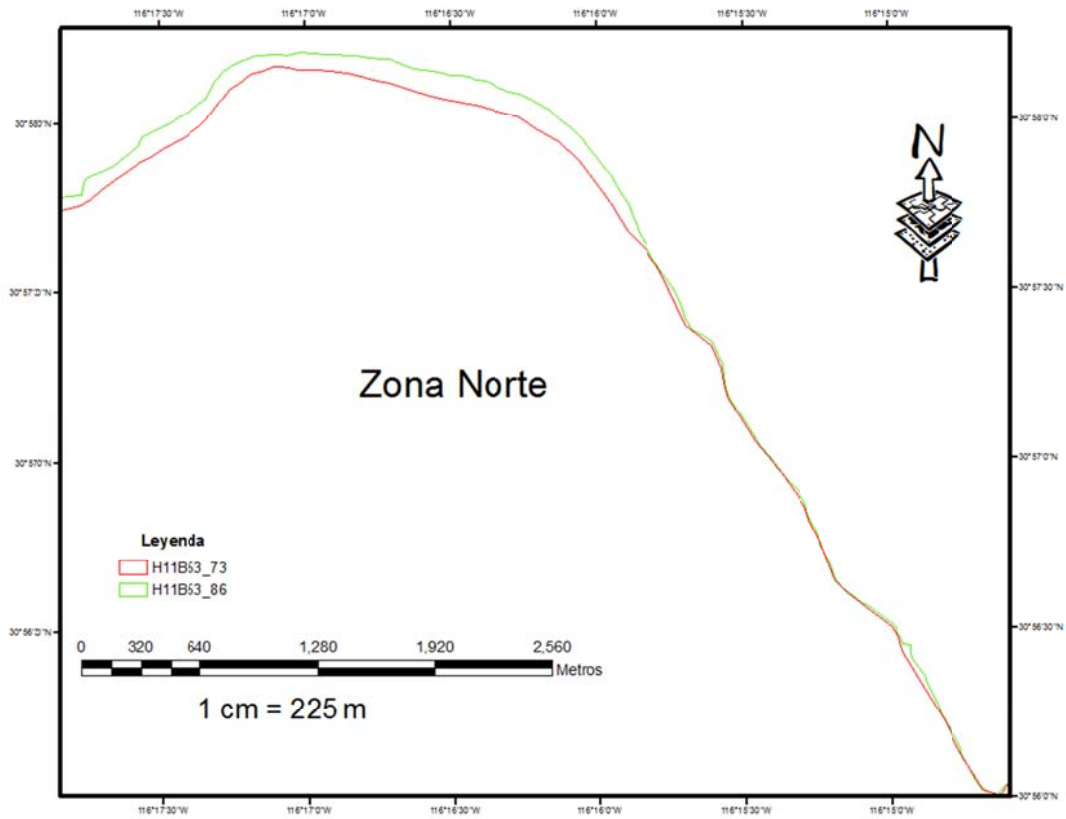


Figura 59a. Líneas de costa para los años 1973-1986 para determinar la razón de retroceso en la zona norte de Bahía Colonet

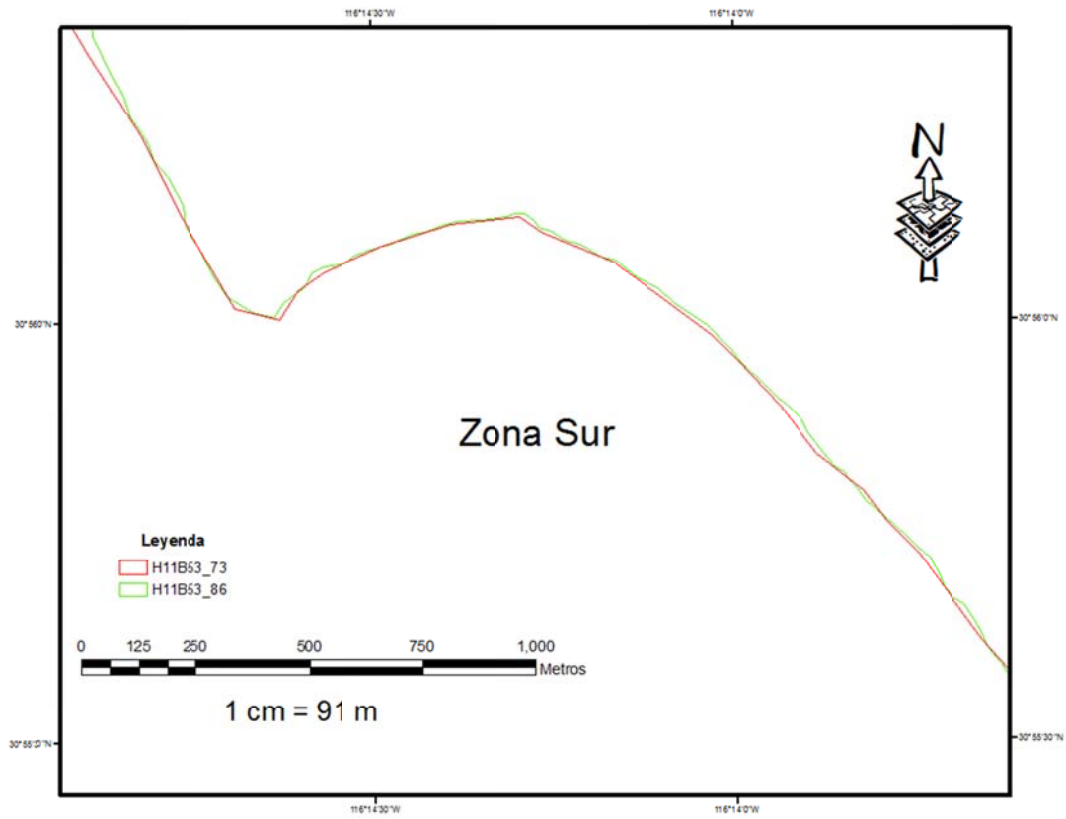


Figura 60a. Líneas de costa para los años 1973-1986 para determinar la razón de retroceso en la zona sur de Bahía Colonet

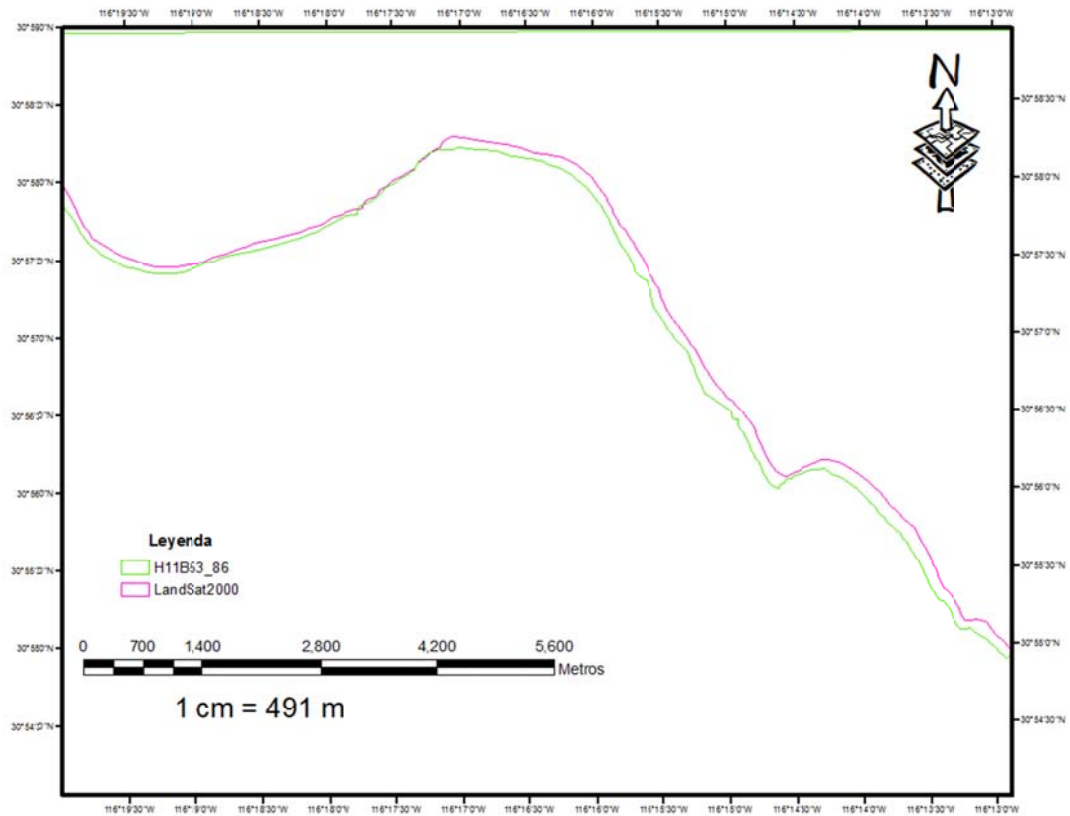


Figura 61a. Líneas de costa para los años 1986-2000 para determinar la razón de retroceso en de Bahía Colonet

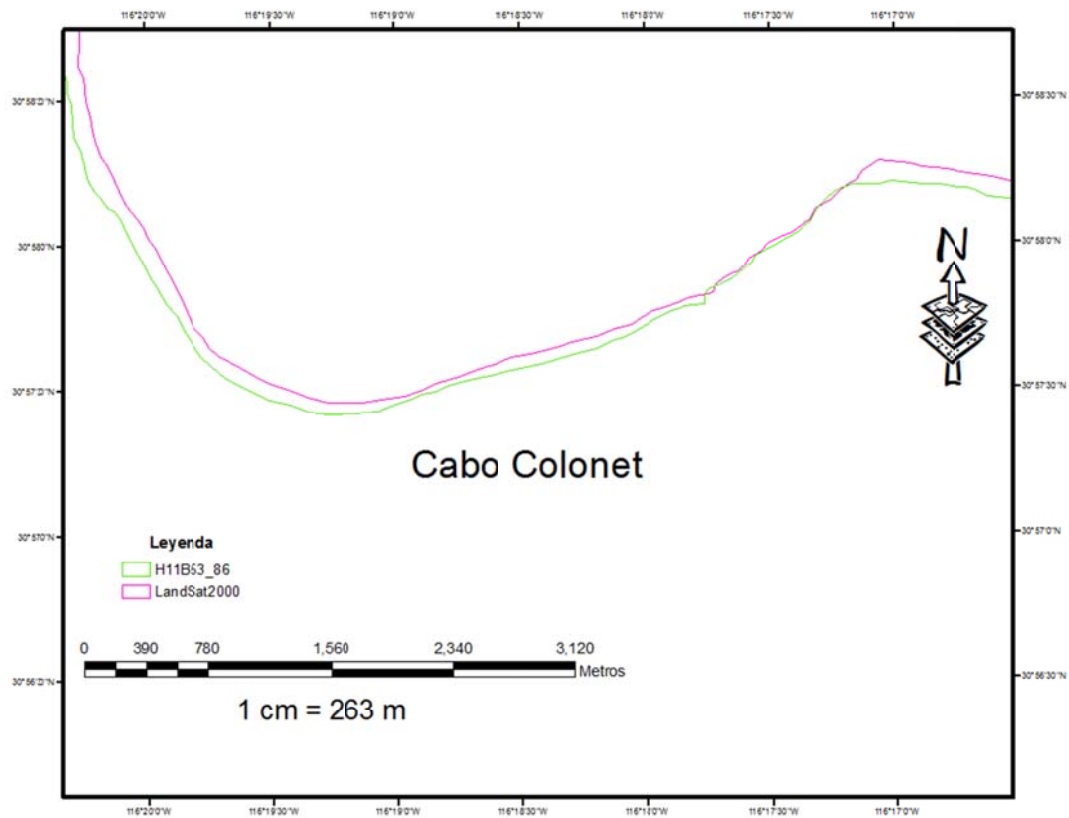


Figura 62a. Líneas de costa para los años 1973-1986 para determinar la razón de retroceso en la zona del Cabo Colonet de Bahía Colonet

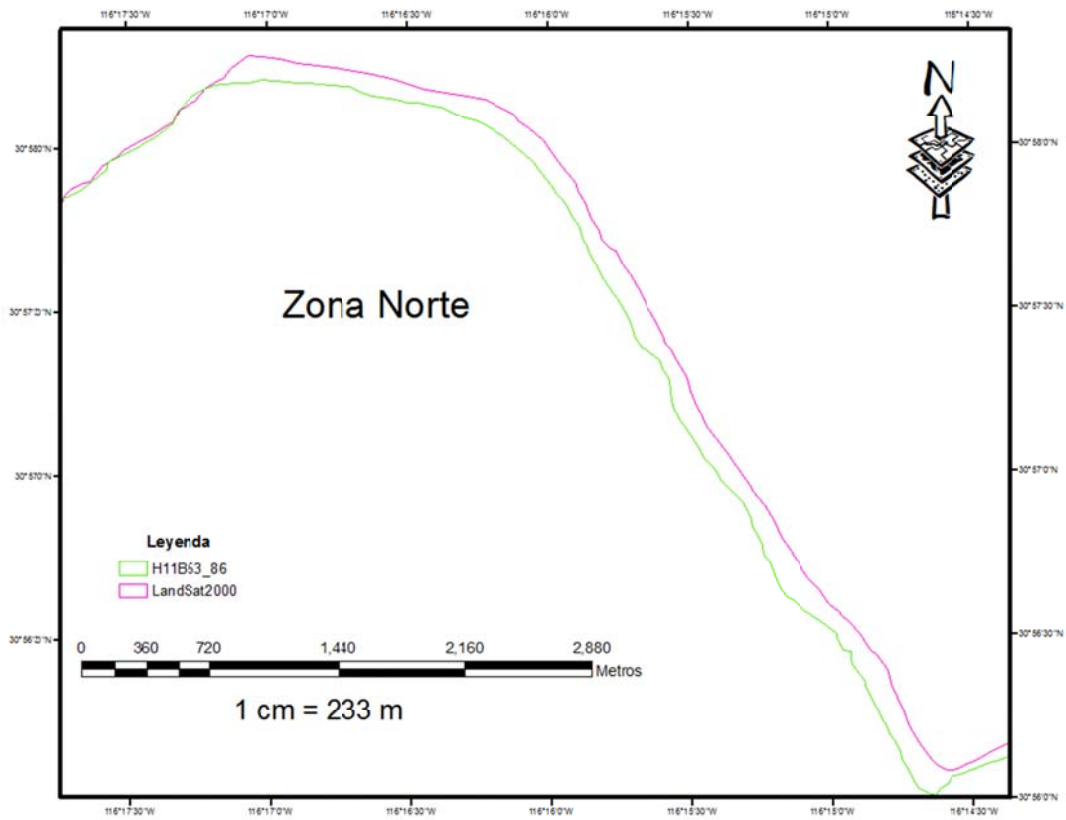


Figura 63a. Líneas de costa para los años 1973-1986 para determinar la razón de retroceso en la zona norte de Bahía Colonet

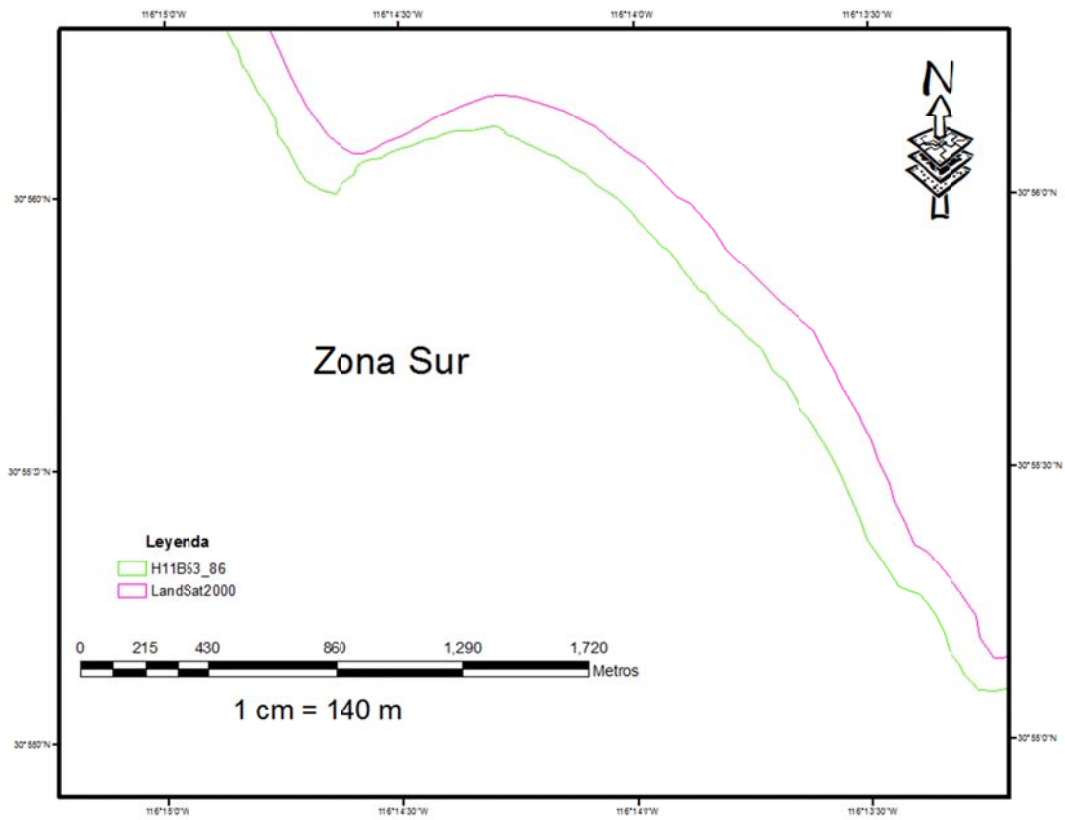


Figura 64a. Líneas de costa para los años 1973-1986 para determinar la razón de retroceso en la zona sur de Bahía Colonet

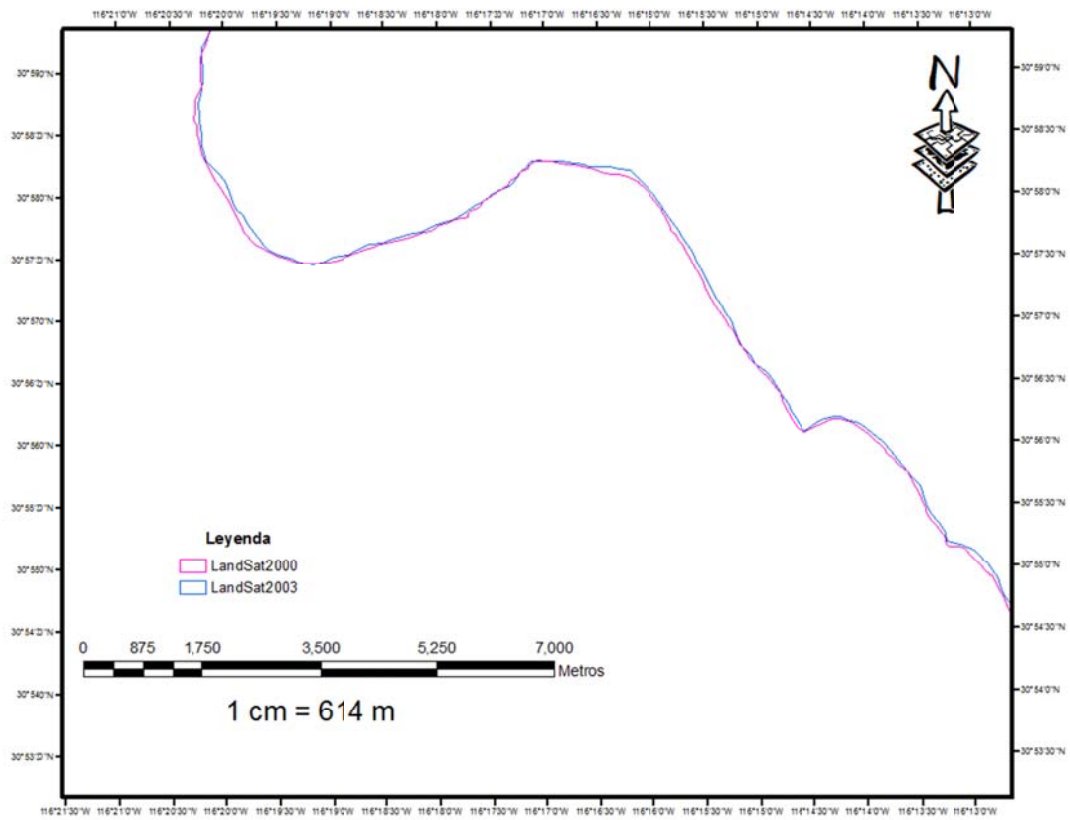


Figura 65a. Líneas de costa para los años 2000-2003 para determinar la razón de retroceso en Bahía Colonet

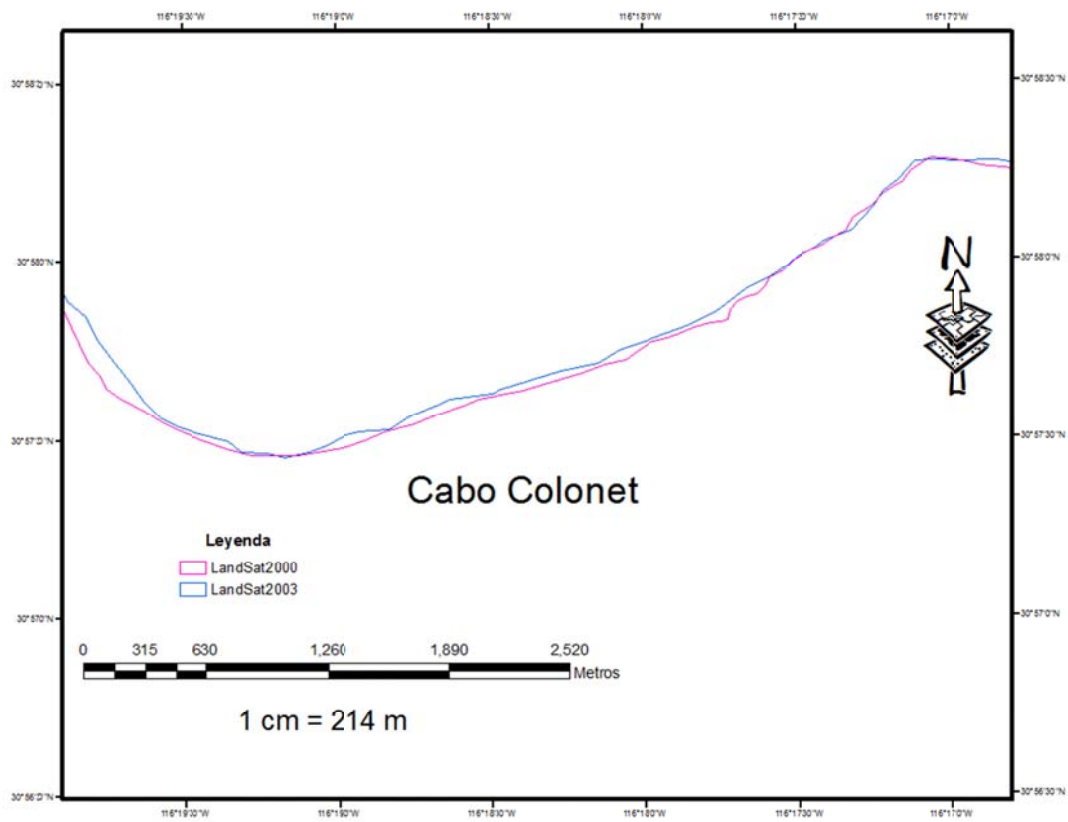


Figura 66a. Líneas de costa para los años 2000-2003 para determinar la razón de retroceso en la zona cabo de Bahía Colonet

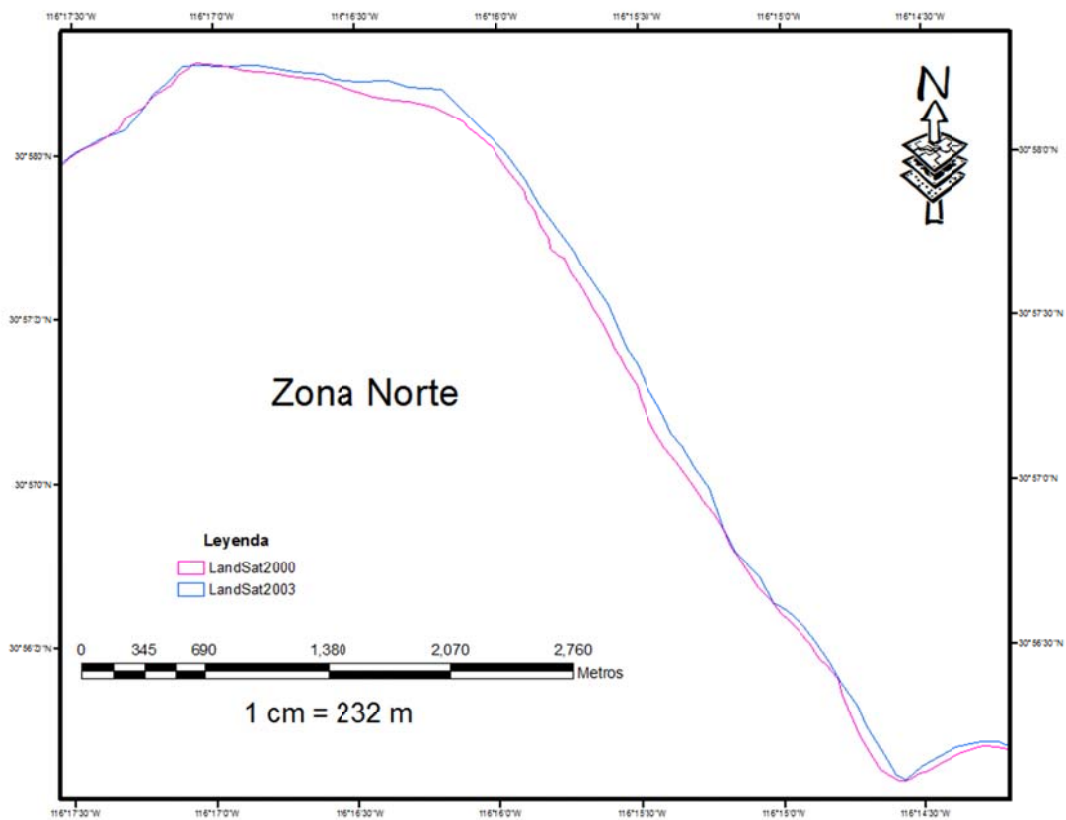


Figura 67a. Líneas de costa para los años 2000-2003 para determinar la razón de retroceso en la zona norte de Bahía Colonet

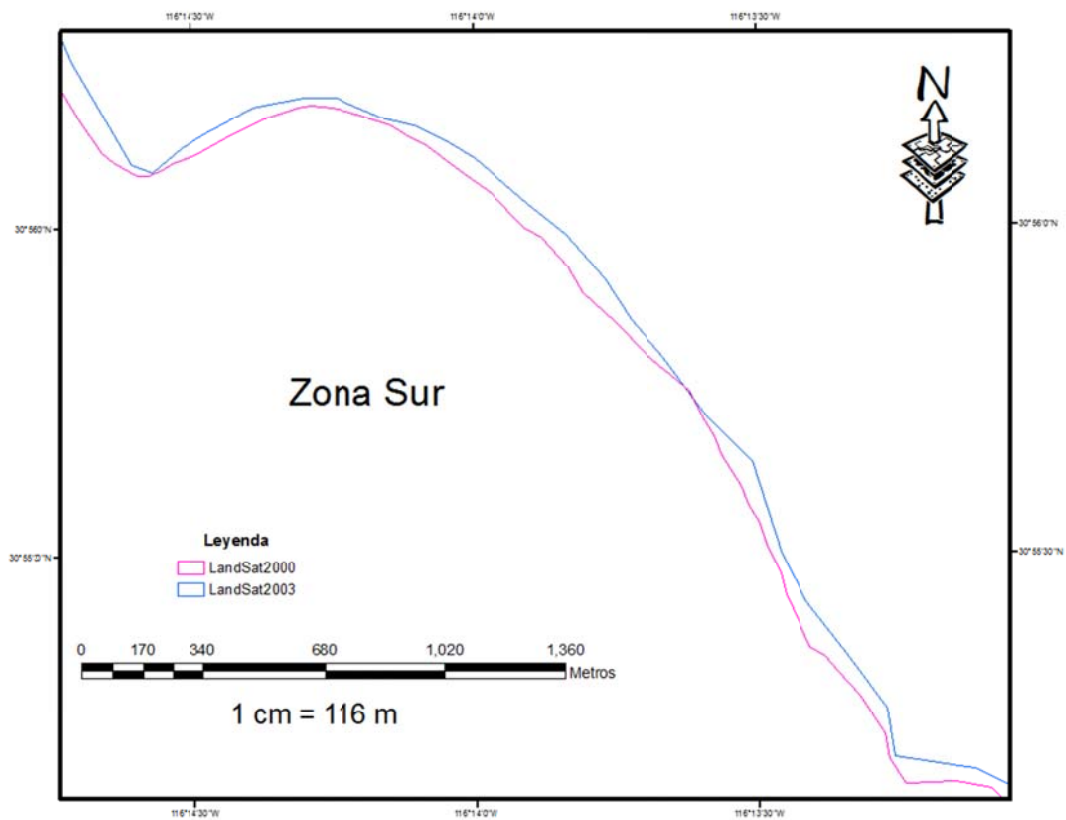


Figura 68a. Líneas de costa para los años 2000-2003 para determinar la razón de retroceso en la zona sur de Bahía Colonet

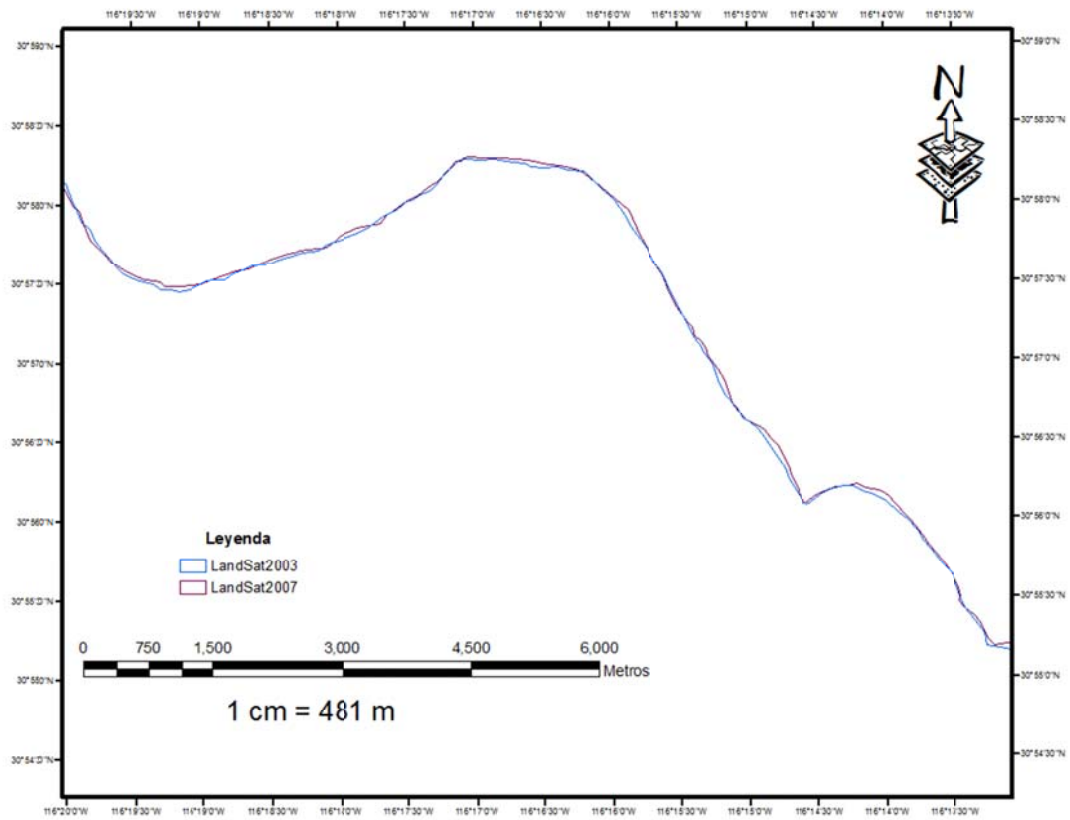


Figura 69a. Líneas de costa para los años 2003-2007 para determinar la razón de retroceso en Bahía Colonet

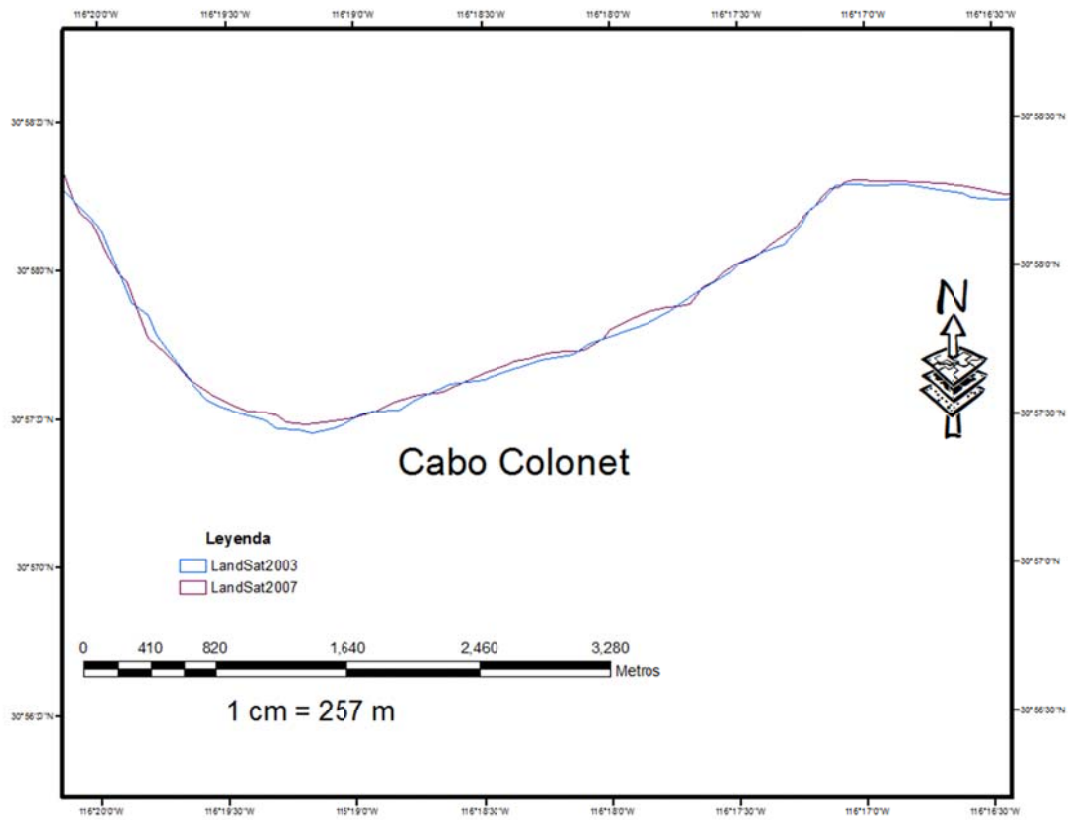


Figura 70a. Líneas de costa para los años 2003-2007 para determinar la razón de retroceso en la zona del cabo Bahía Colonet

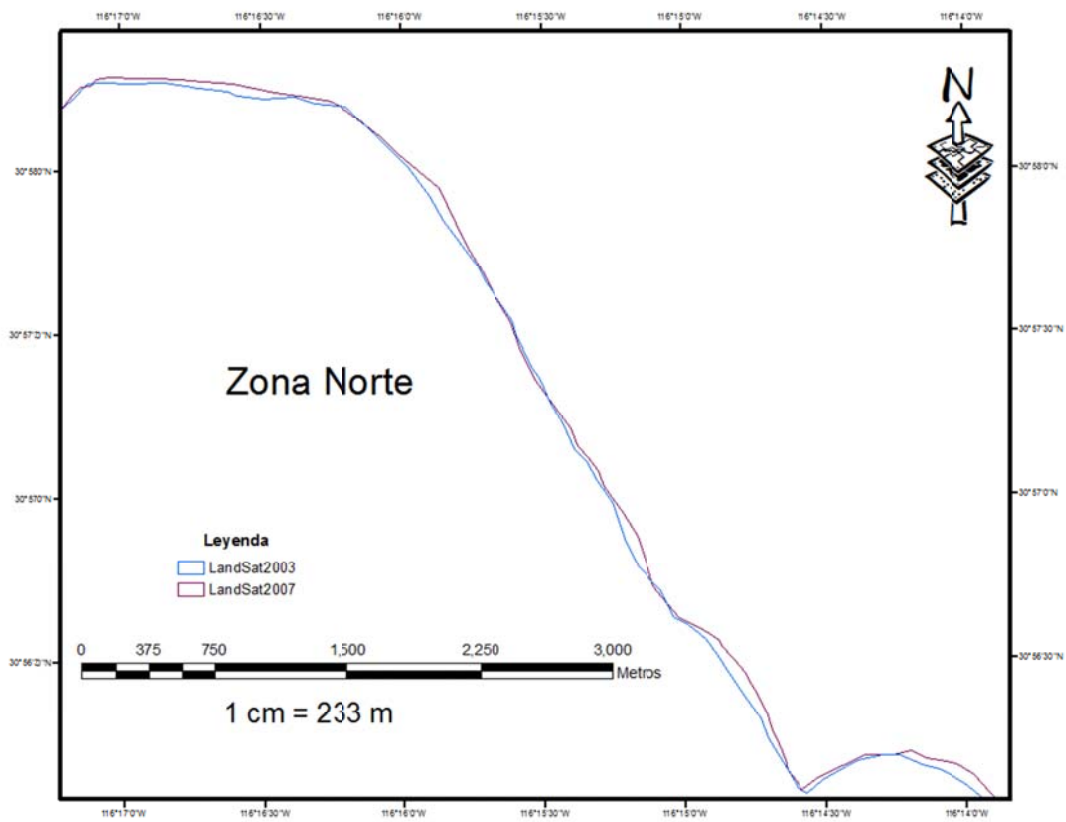


Figura 71a. Líneas de costa para los años 2003-2007 para determinar la razón de retroceso en la zona del norte Bahía Colonet

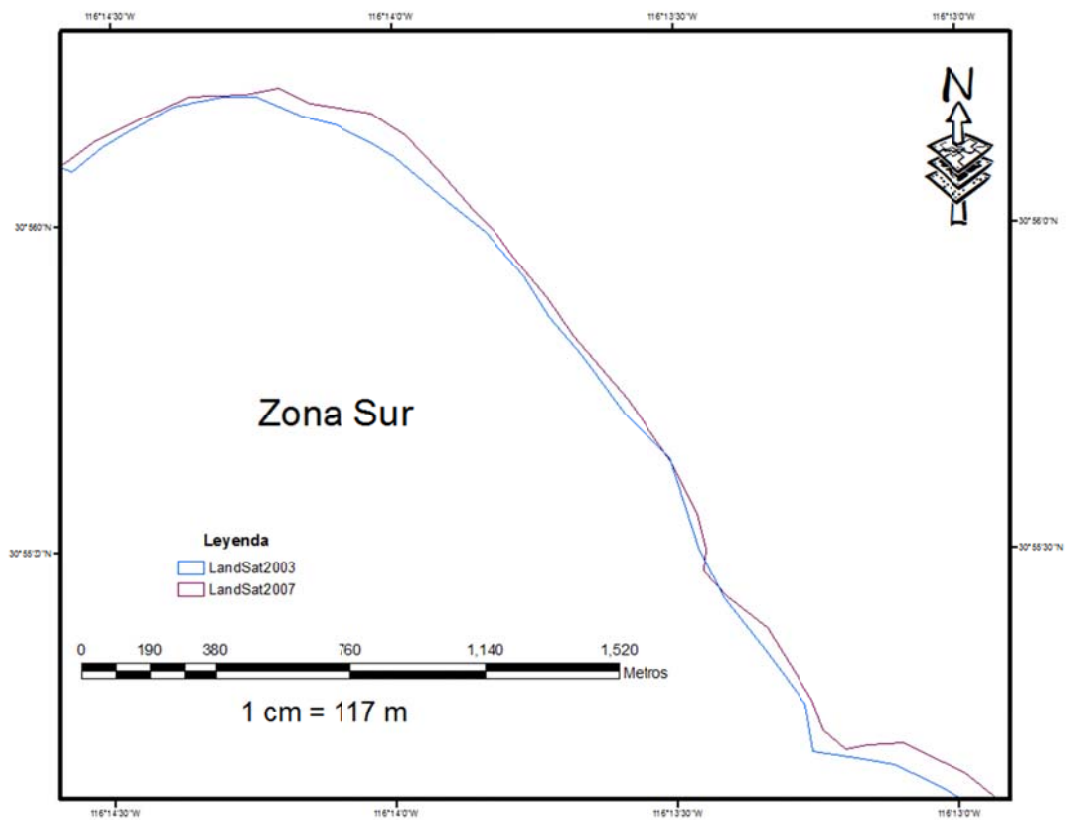


Figura 72a. Líneas de costa para los años 2003-2007 para determinar la razón de retroceso en la zona sur Bahía Colón

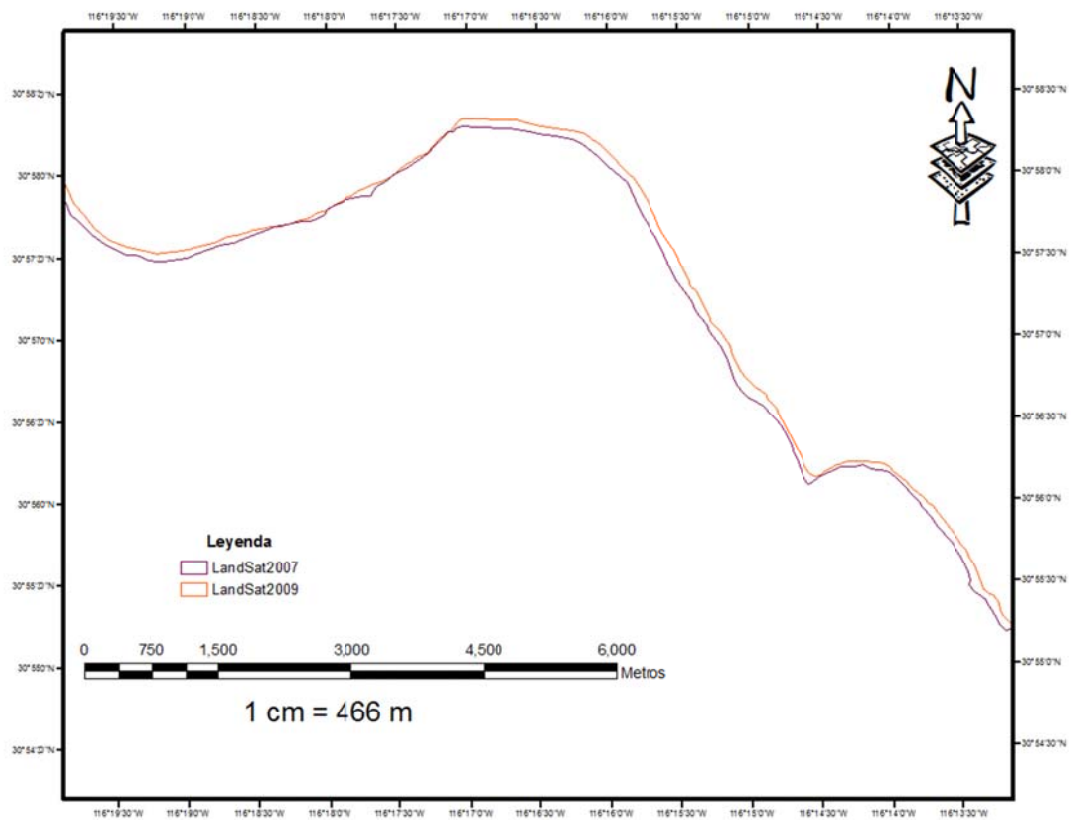


Figura 73a. Líneas de costa para los años 2007-2009 para determinar la razón de retroceso en Bahía Colonet

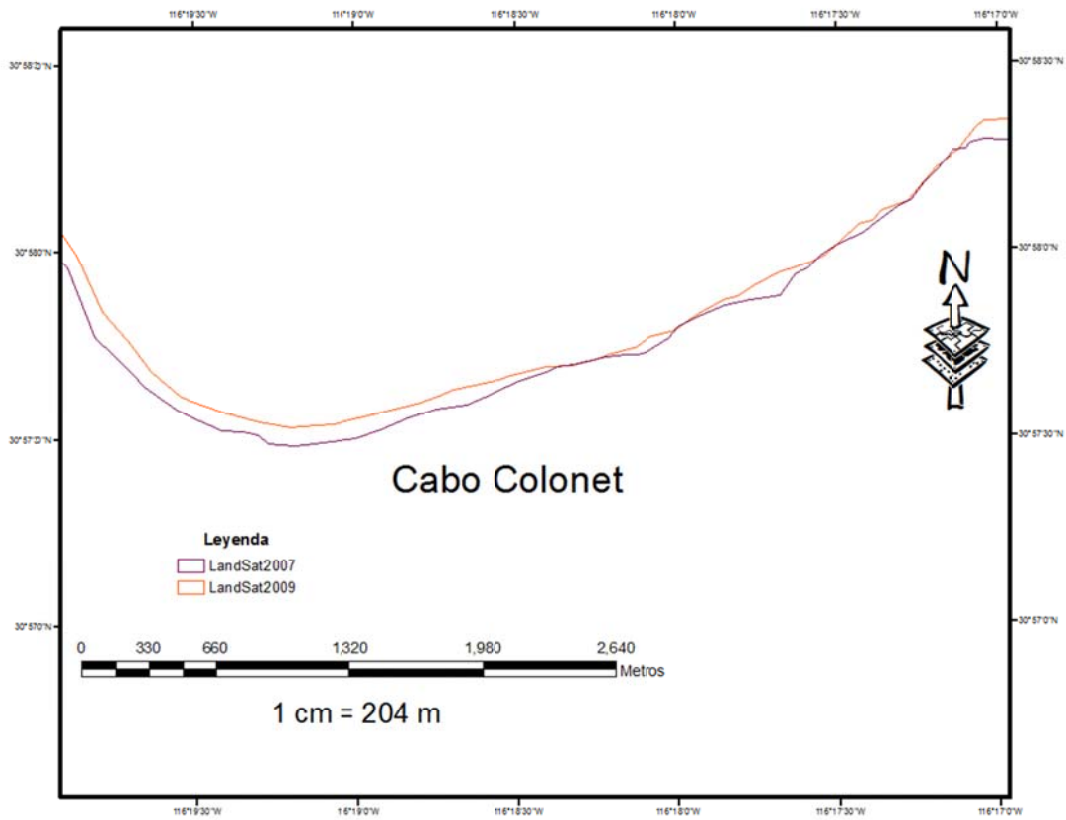


Figura 74a. Líneas de costa para los años 2007-2009 para determinar la razón de retroceso en la zona del cabo Bahía Colonet

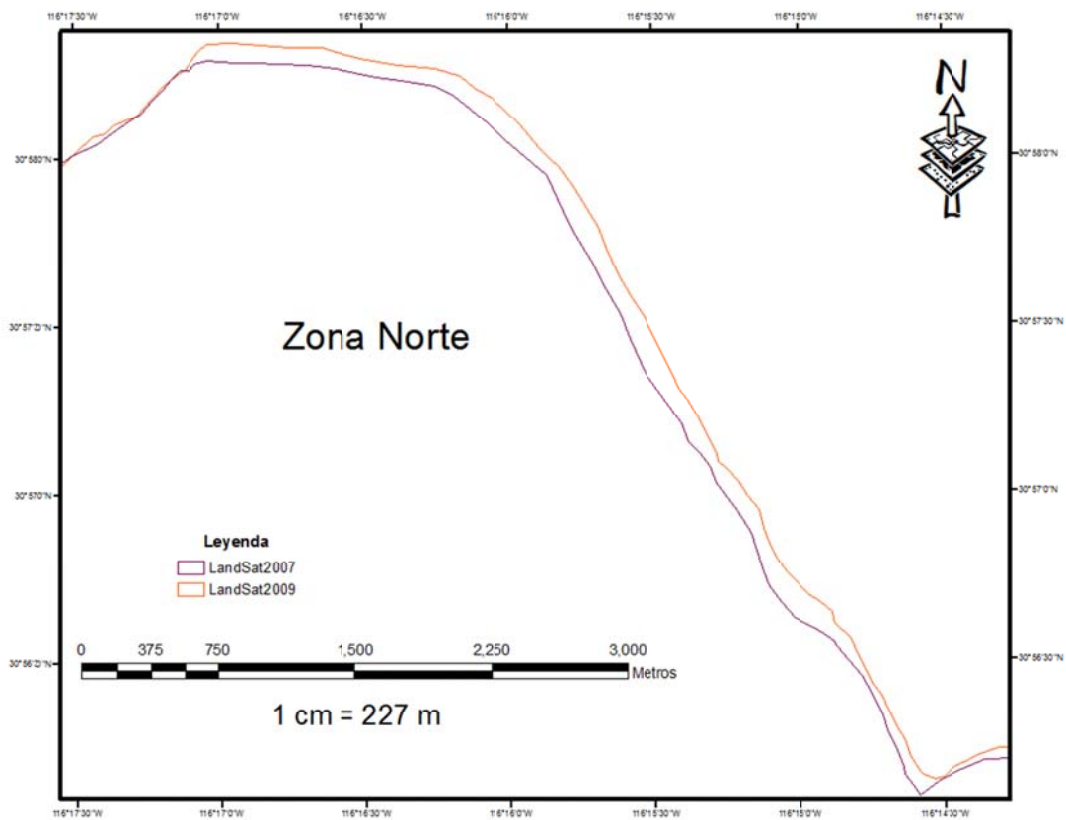


Figura 75a. Líneas de costa para los años 2007-2009 para determinar la razón de retroceso en la zona norte de Bahía Colonet

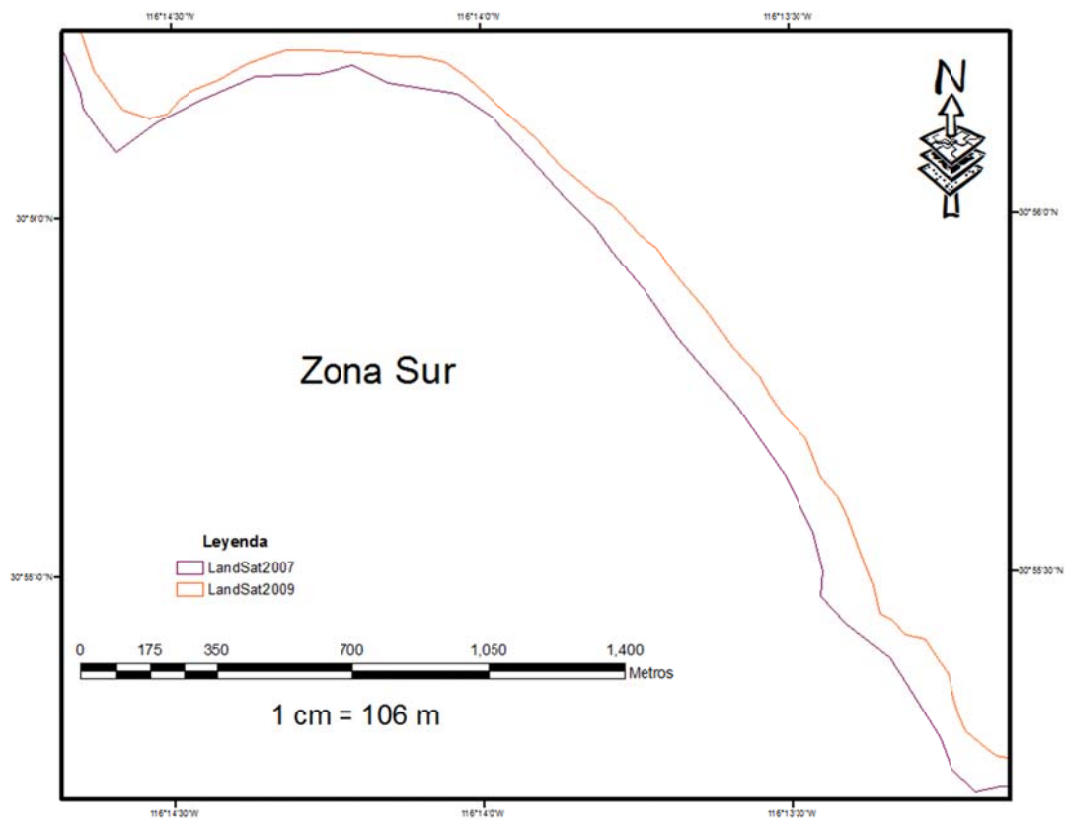


Figura 76a. Líneas de costa para los años 2007-2009 para determinar la razón de retroceso en la zona sur de Bahía Colonet

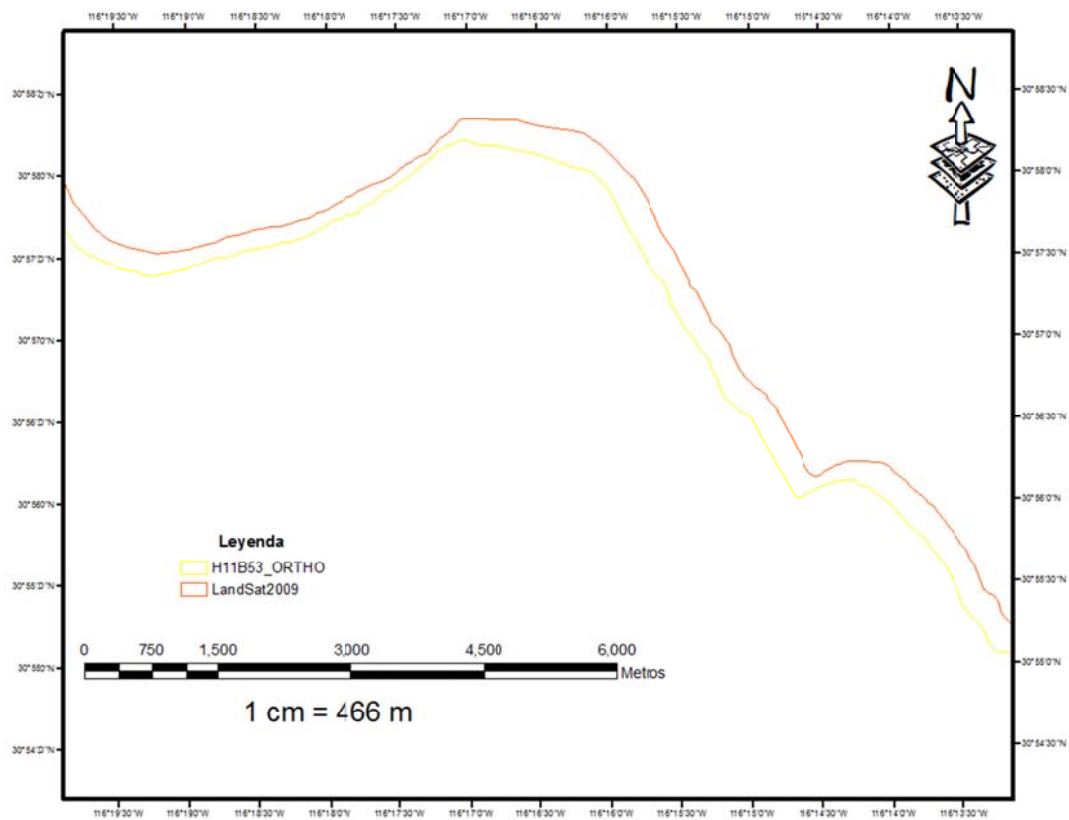


Figura 77a. Líneas de costa para los años 2009-Ortho para determinar la razón de retroceso en Bahía Colonet

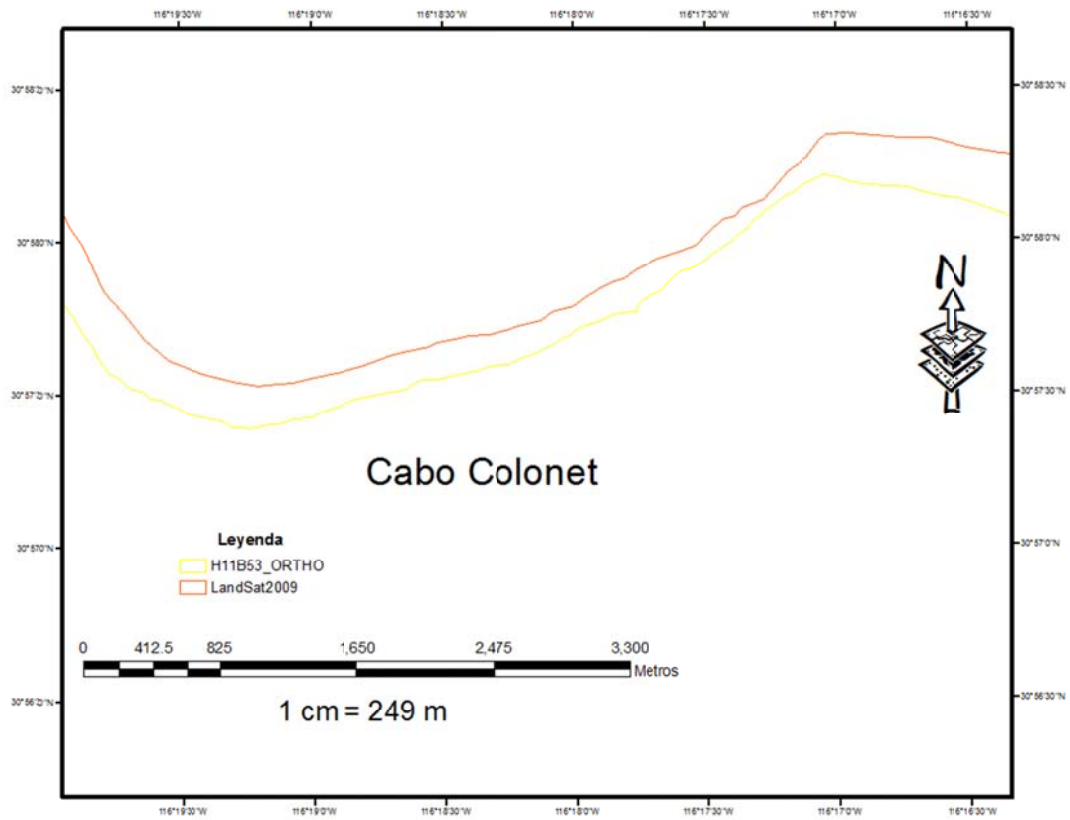


Figura 78a. Líneas de costa para los años 2009-Ortho para determinar la razón de retroceso en la zona del cabo en Bahía Colonet

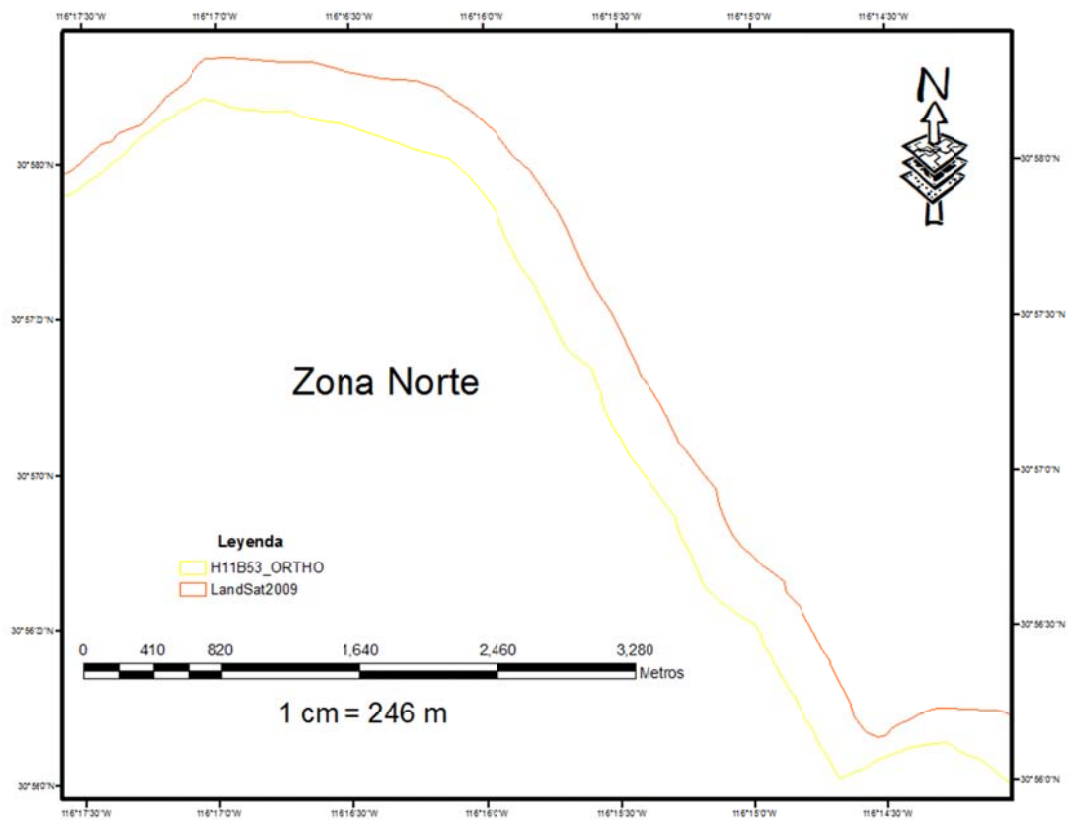


Figura 79a. Líneas de costa para los años 2009-Ortho para determinar la razón de retroceso en la zona norte en Bahía Colonet

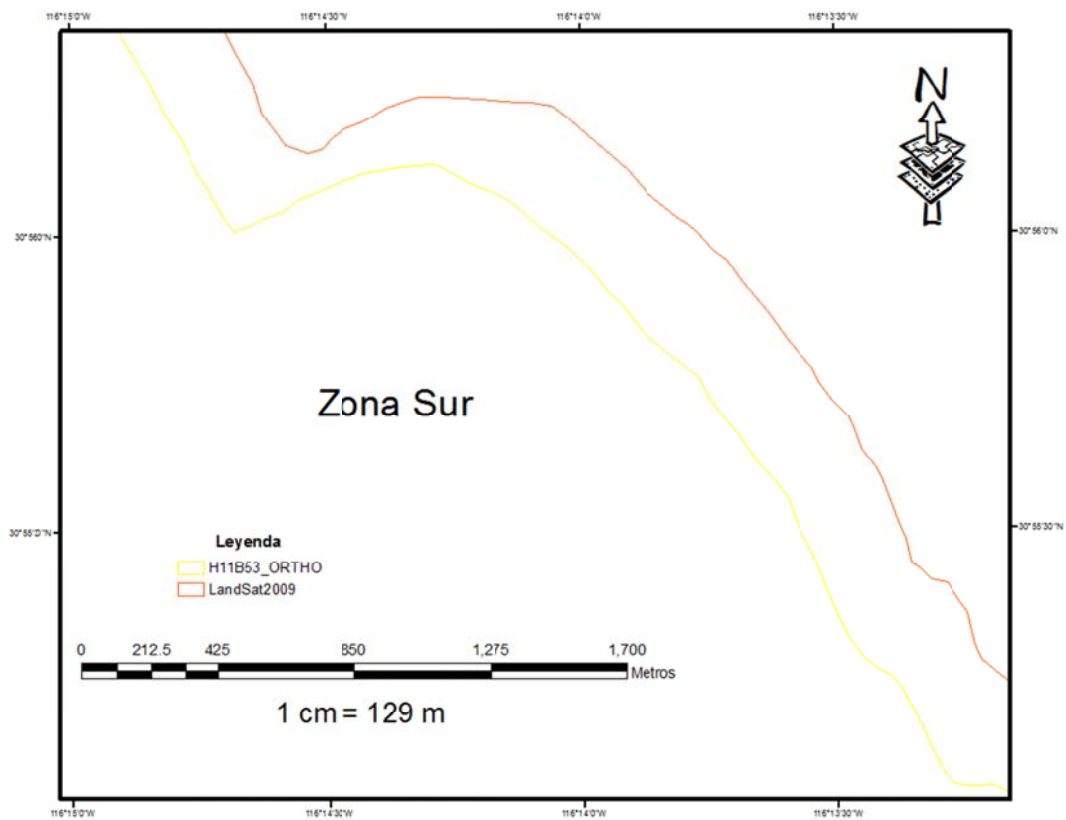


Figura 80a. Líneas de costa para los años 2009-Ortho para determinar la razón de retroceso en la zona sur de Bahía Colonet

Apéndice B

Tabla Ib. Velocidad del viento y dirección registrado para un año de mediciones de la Estación Meteorológica de San Telmo (SEMAR)

Mes	Año	Vel. del Viento (Km/hr)	Dirección del Viento
Enero	2008	7.6855	122.7597
Febrero	2008	7.2653	175.5202
Abril	2008	7.0379	225.4601
Mayo	2008	6.5532	244.8879
Junio	2007	7.6559	274.2043
Julio	2007	6.4519	265.2577
Agosto	2007	7.3363	206.8561
Septiembre	2007	6.3217	170.5287
Octubre	2007	7.6541	190.9779
Diciembre	2007	7.6146	130.2260

Tabla IIb. Velocidad promedio del viento de las cuatro estaciones del año obtenida de los datos de la Estación Meteorológica de San Telmo (SEMAR).

Estaciones	Meses	Vel. Prom. del Viento (Km/hr)	Dir Prom del Viento
Primavera	Abril	6.7956	235.1741
	Mayo		
Verano	Junio	7.1481	248.7727
	Julio		
	Agosto		
Otoño	Septiembre	6.9879	180.7534
	Octubre		
Invierno	Diciembre	7.5218	142.8353
	Enero		
	Febrero		

Tabla IIIb. Velocidad del viento necesaria para poder mover sedimento de un diámetro determinado.

Tipo de Sedimento	Diámetro (mm)	Velocidad viento (Km/h)
Limo	0.05 - 0.01	0.36 - 0.18
Arena Fina	0.1 - 0.5	3.6-5.4
Arena Media	0.5 - 1	16.5-21.6
Arrena Gruesa	1	36-43.2

Tabla IVb. Tamaño promedio del sedimento en la zona de Bahía Colonet tomada de García-Escobedo, 2009.

Zona	Localización	Tipo de Sedimento	Tamaño de sedimento	Grado de Clasificación
Sur	Playa	Arena Media	2.0 ϕ (0.25 mm)- 3.0 ϕ (0.125 mm)	Moderadamente bien clasificada
	Cantiles	Arenas gruesas	1.0 ϕ (0.5 mm)- 2.0 ϕ (0.25 mm)	Bien Clasificada a muy bien clasificada
Norte	Playa	Arenas finas	3.0 ϕ (0.125 mm)-4.0 ϕ (0.065 mm)	Clasificación moderada
	Cantiles	Arenas finas	3.0 ϕ (0.125 mm)-4.0 ϕ (0.065 mm)	Clasificación moderadamete buena
Punta Colonet	Cantiles	Arenas gruesas	1.0 ϕ (0.5 mm)- 2.0 ϕ (0.25 mm)	Clasificación moderadamete buena

Apéndice C

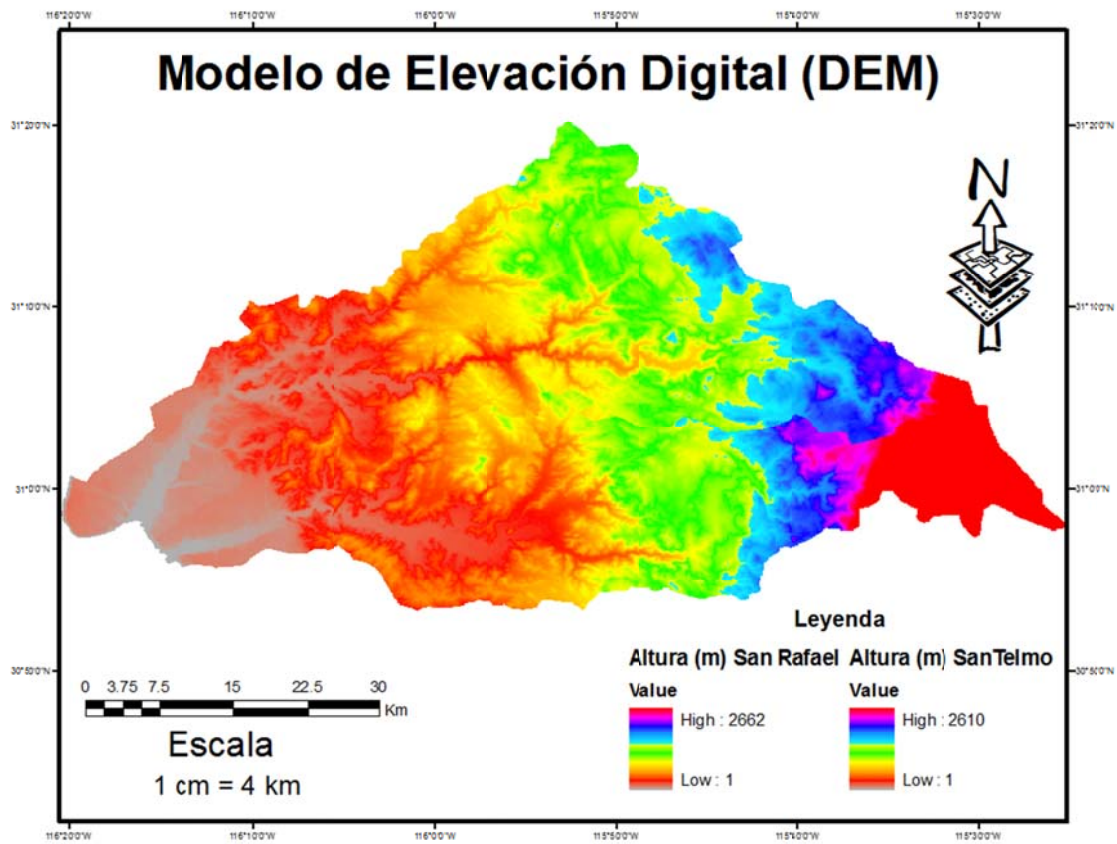


Figura 1c. Modelo de Elevación Digital de la Nasa con una resolución espacial de 15 m de la zona de estudio (Cuenca San Rafael y San Telmo).

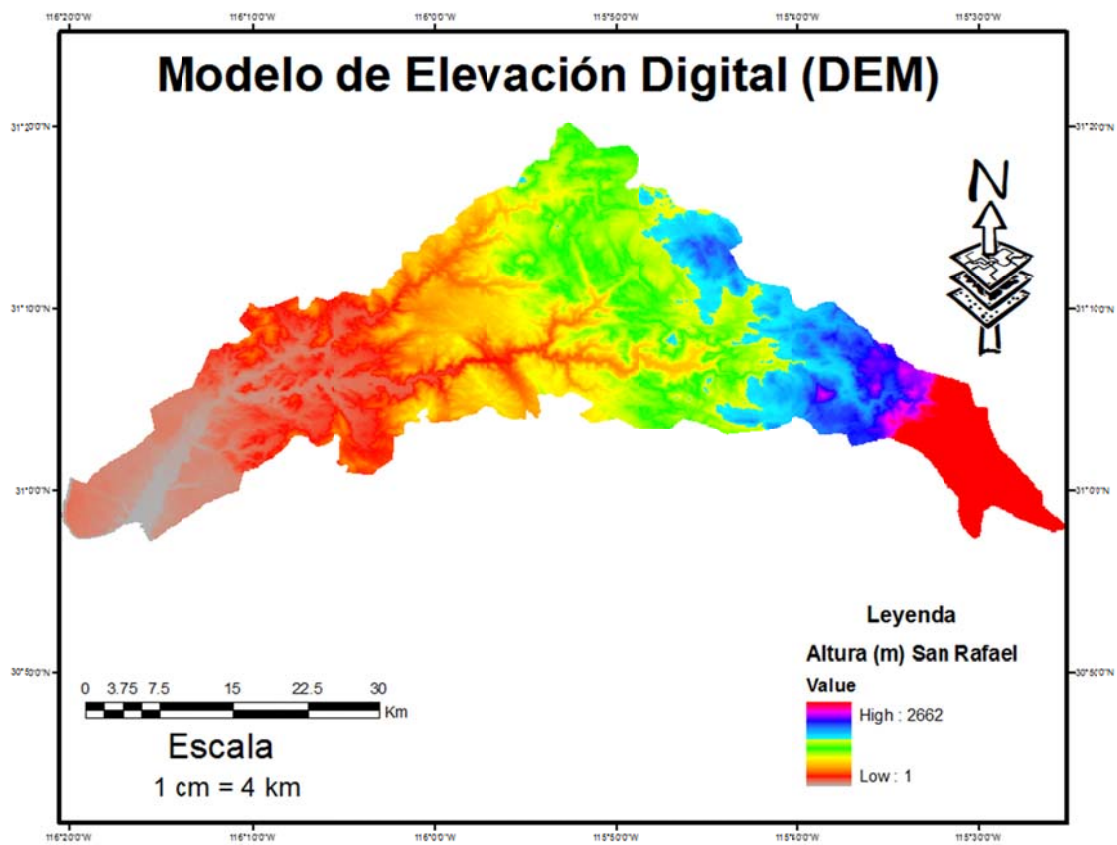


Figura 2c. Modelo de Elevación Digital de la Nasa con una resolución espacial de 15 m de la Cuenca San Rafael.

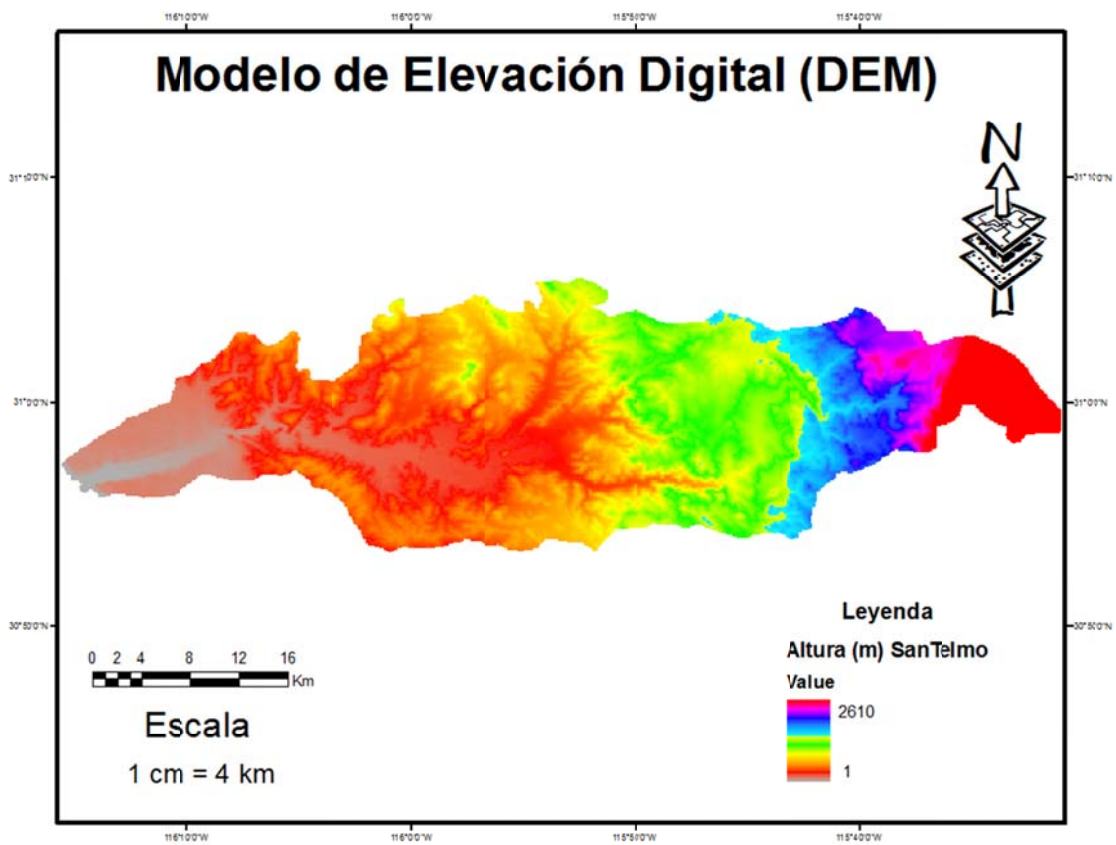


Figura 3c. Modelo de Elevación Digital de la Nasa con una resolución espacial de 15 m de la Cuenca San Telmo.

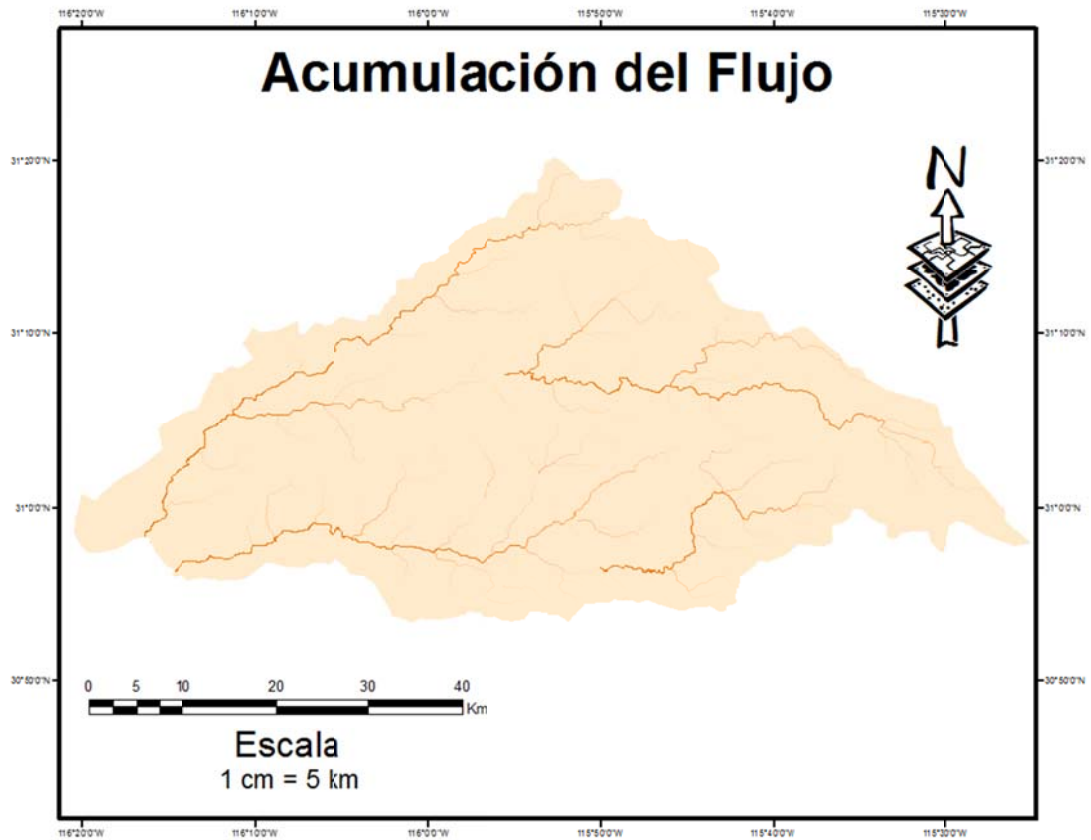


Figura 4c. Representación de las zonas de mayor acumulación de flujo dentro de los canales de las cuencas en la zona de estudio obtenido del Modelo de Elevación Digital de la Nasa con una resolución espacial de 15 m.

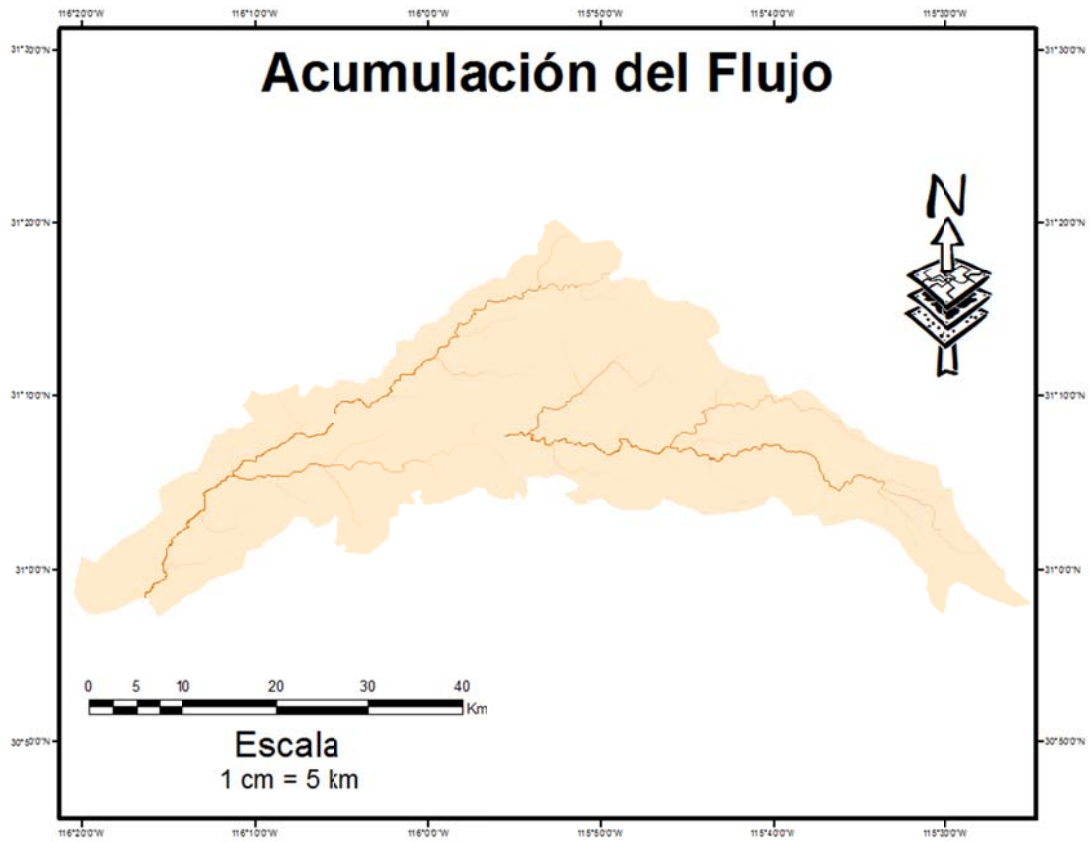


Figura 5c. Representación de las zonas de mayor acumulación de flujo dentro de los canales de la Cuenca San Rafael obtenido del Modelo de Elevación Digital de la Nasa con una resolución espacial de 15 m.

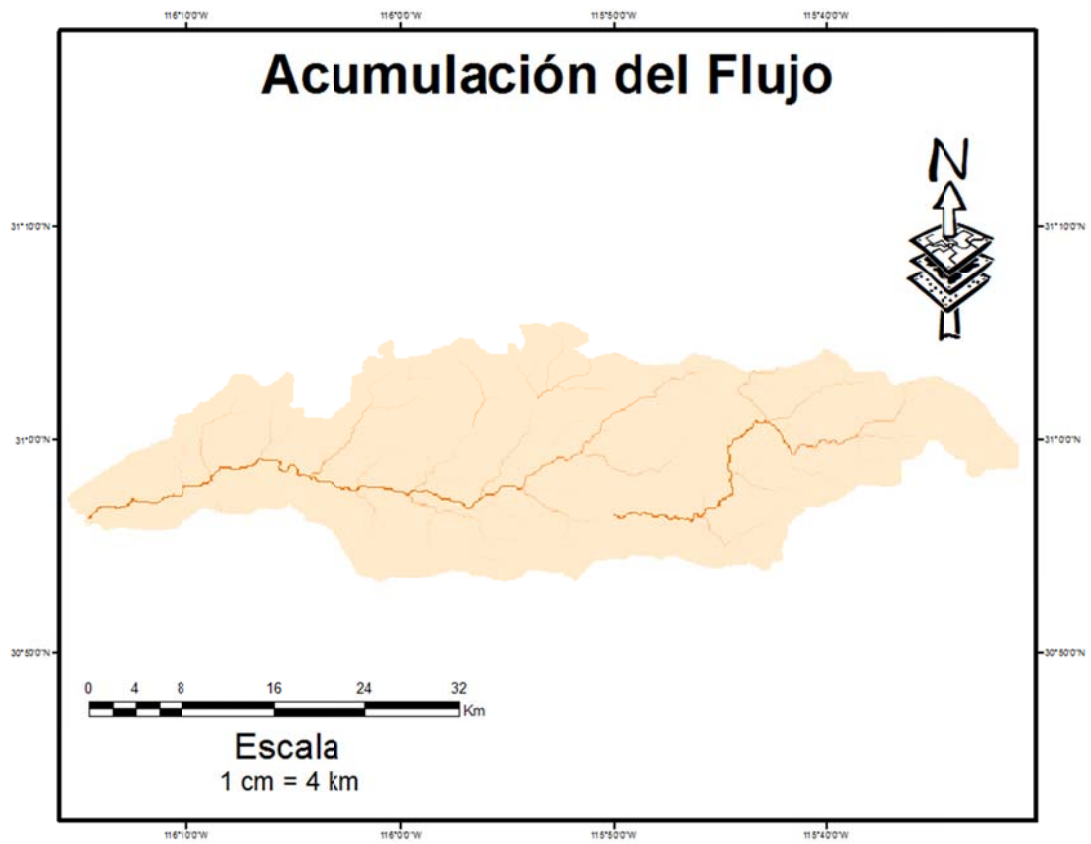


Figura 6c. Representación de las zonas de mayor acumulación de flujo dentro de los canales de la Cuenca San Telmo del Modelo de Elevación Digital de la Nasa con una resolución espacial de 15 m.

