

# Universidad Autónoma de Baja California

## Facultad de Ciencias Marinas



“POSIBLES CAMBIOS EN LA MORFOLOGÍA DE LA PLAYA MUNICIPAL DE ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO, DEBIDO A LA PROBABLE PROLONGACIÓN DEL ROMPEOLAS DEL PUERTO DE ENSENADA.”



ENSENADA, B.C.,

### TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

### OCEANÓLOGO

PRESENTA:

**MAYRA DOLORES MARTÍNEZ  
MARTÍNEZ.**

ENERO DEL 2015.

## RESUMEN

Al realizar trabajos de ingeniería costera se pueden modificar los patrones de corrientes y transporte sedimentario. El objetivo de este trabajo es identificar probables modificaciones en dichos patrones en la zona de la playa municipal de Ensenada, como resultado de una posible prolongación del rompeolas del puerto. Con este fin, se construyó un modelo reducido de fondo fijo.

Las corridas muestran que la prolongación propuesta desvía en dirección a aguas profundas una corriente litoral que fluye en dirección Norte a Sur a lo largo del rompeolas y que aparentemente aporta sedimento a la playa municipal. Por lo que la prolongación propuesta del rompeolas del puerto de Ensenada producirá cambios en los patrones de corrientes y transporte litoral que podrían resultar en un proceso erosivo en la zona de la playa municipal de Ensenada.

Palabras clave: Puertos, rompeolas, corriente litoral y transporte litoral.

“POSIBLES CAMBIOS EN LA MORFOLOGÍA DE LA PLAYA MUNICIPAL DE  
ENSENADA, B.C., DEBIDO A LA PROBABLE PROLONGACIÓN DEL  
ROMPEOLAS DEL PUERTO DE ENSENADA.”

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
**OCEANÓLOGO.**

QUE PRESENTA:

**MAYRA DOLORES MARTÍNEZ MARTÍNEZ.**

APROBADA POR:



**Presidente del Jurado**

M.C. Rigoberto Guardado France.



**Sinodal Propietario**

Dr. Jorge Ledesma Vázquez.



**Sinodal Propietario**

Dr. Rafael Hernández Walls

## DEDICATORIA

A mis padres, por haberme brindado los dos regalos más importantes para mí; el primero darme la vida y el segundo, haberme brindado el apoyo, la confianza y la libertad para emprender esta aventura en el conocimiento de las ciencias marinas. A mi madre **Guillermina Martínez** gracias por enseñarme que cada sacrificio que se hace en la vida tiene frutos, porque aun en la distancia siempre estuviste al tanto de cada uno de mis pasos para levantarme cada vez que tropezaba y a mi padre **Sebastián Martínez**, porque todo esto sin su apoyo no sería posible, porque aunque quisiste muchas veces no estuviste con nosotros físicamente por estar ‘partiéndote el lomo’ como dices por brindarnos lo que necesitábamos. Gracias padres, porque sin ustedes esto no hubiera sido posible, los amo con todo mi corazón.

A mi hermana **Saira Martínez** por ser un ejemplo a seguir en cada uno de mis pasos, porque aunque no siempre te gusto, desde pequeña te veía y siempre dije que quería ser como tú, por estar siempre a mi lado y porque a pesar de que hay veces que no nos soportamos, no puedo concebir mi vida sin ti. Gracias por ser una persona maravillosa, talentosa y a pesar de todo lo que hemos pasado ¡aquí estamos hermanita!

A **Gerardo** por tu amor y comprensión a lo largo de este camino, por todo este tiempo juntos y estar allí en la buenas y en las malas, siempre apoyándome en cada decisión que tomaba. Tal vez las cosas no sean igual que al principio pero siempre has sido uno de mis pilares más fuertes.

## AGRADECIMIENTOS

Primero que nada quiero agradecer a **mis padres**, porque aunque ya les dedique este trabajo no puedo dejarles de agradecer, ya que sin ustedes nada de esto hubiera sido posible.

Gracias a mi director de tesis el **M.C. Rigoberto Guardado France** ya que sin su apoyo y siempre atinados consejos la realización de este trabajo no hubiera sido posible. Además de que con su paciencia y amistad hizo muy ameno el trabajo, y nunca me puso una mala cara al irlo a buscar a su cubículo (y vaya que lo iba a buscar).

Gracias a mis sinodales por haber aceptado guiarme en la realización de este trabajo; el **Dr. Jorge Ledesma Vázquez** gracias por acudir con sus consejos siempre que fue necesario y al **Dr. Rafael Hernández Walls** por su infinita paciencia.

Al **Oc. Gabriel Rendón Márquez** por abrirme las puertas de su cubículo y brindarme su amistad, por apoyarme con la realización de este trabajo sin tener ninguna obligación de hacerlo, por sus consejos no solo profesionales si no también personales y por escucharme en momentos que nadie más lo hizo. En usted encontré no solo un excelente profesor, sino también un muy preciado amigo ¡Lo hice profe!

A la **Facultad de Ciencias Marinas** por abrirme las puertas del conocimiento y abrigarme como mi segundo hogar, por brindarme a tantos buenos maestros y toda una familia de amigos. Así como al apoyo recibido en el proyecto de investigación: “Posibles Cambios en la Morfología de la Playa Municipal de Ensenada, B.C., debido a la Prolongación del Rompeolas del Puerto de Ensenada” (No de registro 401/467)

Al **Oc. Eduardo Gil Silva** por abrirme las puertas de su cubículo cada que tenía alguna duda (y sin duda eran muchas) y enseñarme en tan poco tiempo a utilizar programas que nunca había visto. El aprendizaje que me brindo no es útil solo para esta tesis

A todo el departamento de **geología marina** de la UABC, por recibirme en cada uno de sus proyectos y siempre tener un buenos días al entrar al pasillo. Gracias al **Dr. Yajimovich** por su ¡Mayra, Mayra, Mayra... hola!, al **Dr. Téllez** por siempre prestarme las llaves de los laboratorios aunque me decía que ya descansará, al **Dr. Memo** por las bromas tan serias que me hacía, al **Dr. Cupul** por brindarme la beca que mucho me ayudo y en general a todos por el aprendizaje que cada uno de ellos me brindo y por no enfadarse a lo largo de estos dos años ya que decían que hasta el sonido de mis pies al caminar ya conocían jeje.

Al **Dr. Zavala**, gracias por brindarme su amistad, cariño y sus consejos en todos estos años de carrera. Por abrirme las puertas de su oficina cada vez que tenía alguna duda (ya fuese profesional o personal) y recordarme en cada momento las fechas que no se me debía de pasar jeje.

Al **Dr. Santamaria**, gracias por brindarme siempre sus consejos y mostrarme la realidad de las cosas, por darme mi primera oportunidad en la investigación y por apoyarme con las dos becas que me ayudaron en los momentos difíciles.

Al **Dr. Torres Molle**, gracias por prestarme un lugar tranquilo en donde trabajar y ofrecerme un ‘buenos días’ cada vez que me veía.

A **todos mis maestros** ya que cada uno de usted apporto algo a mi formación profesional y muchos de usted a la personal. Todos y cada uno de los aprendizajes que me brindaron se quedan muy grabados.

A **Gerardo**, porque a siempre estuviste a mi lado, porque había veces que ni yo misma me aguantaba y tú siempre estuviste allí para apoyarme y aunque hubo momentos que descargue mi estrés en ti, nunca me dejaste.

A **Nadia, Joce, Eli (y claro al primer sobrino), Ceci, Karen y Héctor** porque cada uno de ustedes me enseñó algo valioso en mi estancia aquí, por brindarme su amistad incondicional y por ser como mi familia adoptiva en Ensenada.

A **Caro, Fani, Deise, Eli, Parra y Gabriel** porque a pesar de la distancia siempre estuvimos en contacto y aunque no siempre era posible vernos, los momentos que pasábamos juntos no los cambiaba por nada.

A mis compañeros de generación, a los que se acoplaron a la generación y a todos aquellos con los que compartí momentos inmemorables en la escuela; **Uriel, Paola, Panchito, Carsolio**. Gracias por soportarme en cada una de las clases, se que fueron cuatro años difíciles jeje.

A quienes me apoyaron en el tratamiento de los datos, la realización de este y otros proyectos (créanme me quitaban un gran peso de encima) **Gerardo, Edgar, Oswaldo, Juan Carlos, Magui, Laura, Roxana**.

Gracias todos aquellos que fueron parte de esta aventura llamada ¡Ciencias Marinas! Que no son menos importantes si no que por mi falta de memoria no aparecen aquí, les agradezco por brindarme su apoyo a lo largo de mi carrera. ¡Muchas gracias a todos!

## CONTENIDO

	<b>Página</b>
<b>1.- INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1.- Antecedentes.....	5
1.1.1.- Corrientes y transporte litoral. ....	6
1.1.1.- Modelos.....	7
<b>2.- HIPÓTESIS.....</b>	<b>9</b>
<b>3.- OBJETIVOS.....</b>	<b>9</b>
3.1.- Objetivos Generales.....	9
3.2.- Objetivos Particulares. ....	9
<b>4.- ÁREA DE ESTUDIO.....</b>	<b>10</b>
<b>5.- METODOLOGÍA.....</b>	<b>13</b>
5.1.- Obtención y generación de información.....	13
5.1.1.- Información preexistente.....	14
5.1.2.- Información generada.....	15
5.2.- Diseño del modelo.....	17
5.3.- Pruebas del modelo.....	19

<b>6.- RESULTADOS.....</b>	<b>20</b>
6.1.- Información recabada.....	20
6.2.- Información generada.....	22
6.2.1.- Análisis granulométrico.....	22
6.2.2.1.1.- Distribución espacial del sedimento.....	24
6.2.2.- Inferencias de la corriente litoral.....	27
6.2.3.- Modelo reducido cualitativo de fondo fijo.....	29
6.2.3.1 Oleaje de invierno con condiciones actuales.	29
6.2.3.2 Oleaje de invierno con modificación.....	30
6.2.3.3Oleaje de invierno con condiciones actuales.	31
<b>7.- DISCUSIÓN.....</b>	<b>32</b>
Estudio granulométrico.....	32
Modelo reducido de fondo fijo.....	35
<b>8.- CONCLUSIONES.....</b>	<b>39</b>
<b>6.- LITERATURA CITADA.....</b>	<b>40</b>

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Página</b>
<b>Figura 1.</b> Mapa de localización del área de estudio.....	10
<b>Figura 2.</b> Cronología del puerto de Ensenada.....	11
<b>Figura 3.</b> Localización de los perfiles muestreados.....	16
<b>Figura 4.</b> Construcción del modelo a escala.....	18
<b>Figura 5.</b> Cuadrícula del modelo a escala.....	18
<b>Figura 6.</b> Antecedentes de corrientes y transporte litoral.....	21
<b>Figura 7.</b> Distribución espacial del sedimento.....	25
<b>Figura 8.</b> Comportamiento de la distribución del tamaño de grano.....	26
<b>Figura 9.</b> Dirección de la corriente litoral.....	27
<b>Figura 10.</b> Representación en el plano de la corriente litoral.....	28
<b>Figura 11.</b> Patrón de corrientes y transporte litoral con ..... condiciones actuales y oleaje de invierno.	29
<b>Figura 12.</b> Patrón de corrientes y transporte litoral con ..... Modificación del rompeolas y oleaje de invierno.	30
<b>Figura 13.</b> Patrón de corrientes y transporte litoral con ..... modificación del rompeolas y oleaje de verano.	31
<b>Figura 14.</b> Representación de la corriente litoral inferida por rompiente..	33
<b>Figura 14.</b> Localización de las divergencias en las corrientes.....	33

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Página</b>
<b>Tabla I.</b> Ensayos realizados en el modelo físico.....	19
<b>Tabla II.</b> Parámetros texturales de Playa Hermosa.....	23
<b>Tabla III.</b> Media de cada una de las muestras.....	24

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente la zona costera ha sido objeto de un creciente desarrollo debido a su atractivo turístico y a una serie de actividades que en ella se realizan, como actividades portuarias, pesqueras, de desarrollo urbano y turístico.

A nivel mundial se ha incrementado el uso de las zonas costeras, ya que aproximadamente el 60% de la población vive dentro de una franja costera de 60 km., encontrándose así, dos terceras partes de las ciudades más pobladas del mundo en esta zona (León-Diez, 2008). México no es la excepción, ya que de sus 31 estados 17 son costeros. Uno de estos Estados es el de Baja California, el cual colinda tanto con el Océano Pacífico como con el Mar de Cortez, con cuatro municipios costeros: Mexicali, Tijuana, Rosarito y Ensenada.

En la ciudad de Ensenada la población se encuentra concentrada en la zona costera y gran parte de su economía depende del desarrollo portuario y turístico. Es por esto que a lo largo del tiempo la Bahía de Todos Santos ha sufrido grandes modificaciones en su morfología y a consecuencia de esto, una degradación de sus playas (Rosas-Gómez, 2008). Sin embargo, debido a que hasta hace poco tiempo, la población de esta ciudad vivía de 'espaldas al mar', esta situación no había sido de gran interés, de tal forma que la playa municipal de Ensenada no se consideraba como parte de la oferta turística-económica de la ciudad (Cervantes, 2008).

En la actualidad y debido a que la playa es el principal atractivo costero para la población (Avila-Serrano, 1983), en Ensenada ha venido en aumento la construcción de complejos turísticos (Castillon-Alvarez, 1988). Estas construcciones han ocasionado procesos de erosión o depositación de material sedimentario (Arellano-Zepeda, 1985).

El desarrollo costero más importante en Ensenada fue la construcción del su puerto, el cual es considerado el puerto de altura más importante de la región pacífico, debido a su cercanía con la frontera de Estados Unidos. A pesar de ser uno de los puertos de altura más modernos y mejor equipados en la República mexicana (González-Villagran, 1992), el oleaje en su interior ha hecho que los navegantes lo caractericen como "un puerto muy agitado" (comunicación personal, Director de Astilleros, 2008). Este efecto no deseado del oleaje, de acuerdo a Ortiz-Figueroa (2005), es el resultado de la construcción de nuevas escolleras que han provocado una reflexión del oleaje al interior de la rada. Por lo cual el mismo autor propone como solución al problema de agitación en la rada portuaria, la prolongación del rompeolas, de tal forma que este abrigue a la escollera que de acuerdo al autor, genera una reflexión del oleaje.

Al realizar trabajos de ingeniería costera que puedan modificar los patrones de corrientes litorales o transporte sedimentario, es importante evaluar la posibilidad de que estas modificaciones generen problemas de erosión en las zonas aledañas, ya que varios autores coinciden en afirmar que

al realizar modificaciones en las obras exteriores de un puerto, por lo general se presentan cambios en la morfología costera de la zona litoral cercana al lugar donde se realiza la obra. Lo anterior puede resultar en la alteración del medio, que por su naturaleza, tienen un equilibrio dinámico que fácilmente puede ser modificado (Gómez-Morín y Lizárraga-Arciniega, 1982).

Es por lo anterior y debido a que el puerto de Ensenada se encuentra al norte de la playa municipal, que cualquier modificación que se haga en él tendrá alguna repercusión en la playa (Rubio-Orozco, 1987). Por lo que es importante realizar un análisis de los posibles impactos que la propuesta de prolongación de rompeolas del puerto de Ensenada (Ortiz-Figueroa, 2005), pudiese tener en la morfología de la playa municipal de Ensenada, B.C.

Para evaluar no solo el funcionamiento del proyecto de modificación del puerto, sino también el impacto que pudiese tener en la dinámica y la morfología de las zonas aledañas, es posible la utilización de modelos, ya sea físicos o numéricos (Gutiérrez-Serret *et al*, 2003).

Los modelos numéricos son instrumentos flexibles y de bajo costo, los cuales facilitan el análisis de diversas alternativas, debido a que una vez que se establecen y configuran las condiciones iniciales, este puede ser utilizado para diversos casos, únicamente con modificar estas condiciones, lo que facilita el trabajo del analizador. Es por esto que son los modelos más utilizados (Losada

y Philip, 2000, Gutiérrez-Serret *et al*, 2003). No obstante, debido a que existen muchos fenómenos en la naturaleza que, por su complejidad, resultan muy difíciles de reproducir mediante una adecuada modelización matemática, y debido a que los modelos numéricos también presentan limitaciones (derivadas de las ecuaciones, las condiciones de contorno, el esquema numérico utilizado, entre otras) se requiere de la construcción de un modelo físico (García-Palacios, 2013, Losada y Philip, 2000).

Pese a que la utilización de modelos físicos es de gran utilidad, al momento de realizarlos se pueden tener diversas incertidumbres, y de ser necesario hacer alguna modificación, esto puede ocasionar ‘parches’ en el modelo, lo cual eleva el costo del prototipo. Es por esto que se puede optar primeramente por realización de un **modelo reducido**, este es la reproducción a escala del modelo físico, pues las modificaciones realizadas a este tienen un costo mucho menor, lo que nos permite la evaluación de diferentes alternativas y así optimizar la relación costo-funcionamiento del modelo físico. Sin embargo el uso de este tipo de modelos requiere un profundo conocimiento del problema a estudiar, para que los resultados sean válidos (García-Palacios, 2013).

Al trabajar con un modelo reducido cualitativo no se tiene control de las escalas del modelo, tales como velocidad, tiempo y masa, sin embargo puede ser una herramienta muy eficiente durante la interpretación de resultados experimentales. Debido a que el modelo debe ser capaz de reproducir adecuadamente los fenómenos que se quieren modelar y las variables que se

incluyen. Lo que permite realizar una mejor interpretación de los resultados obtenidos con los métodos cuantitativos (Lázaro *et al.* 2006).

En este trabajo se implementará un modelo reducido de fondo fijo para observar la dinámica litoral en la zona del Puerto de Ensenada y Playa Municipal, previa a una posible ampliación del rompeolas del Puerto de Ensenada B.C. y con esto identificar los posibles impactos que se podrían presentar en la Playa Municipal.

### **1.1 ANTECEDENTES.**

Los modelos para observar el comportamiento de la dinámica litoral han sido utilizados numerosas veces y en diversos sitios. Sin embargo aunque existen diversos estudios sobre la dinámica litoral en la zona de estudio, los modelos más utilizados han sido los matemáticos, que se basan en el comportamiento de las corrientes para estimar los patrones de transporte litoral.

Estos estudios son de gran ayuda al momento de realizar un modelo reducido cualitativo, ya que nos proporcionan la información necesaria para su elaboración. Algunos de los estudios más representativos se describen a continuación:

### **1.1.1 Corrientes y transporte litoral.**

Shepard (1950), realiza perfiles de playa, en donde encuentra eventos de erosión-depositación en playas no sujetas a efectos de estructuras, mientras que en playas aledañas a estructuras ingenieriles encuentra una pérdida de material durante fenómenos de tormenta, el cual no es remplazado en condiciones normales, lo que causa una erosión y por ende una modificación en la posición de la línea de costa.

Argote-Espinoza *et al.* (1975), determinan que existen dos patrones de circulación superficial para la Bahía de Todos Santos, que dependen de la dirección del viento; al presentar un componente hacia el norte, el viento genera una corriente que sigue el contorno de la línea de costa desde San Miguel hasta Punta Banda, las cuales convergen en la región central del litoral costero y toman dirección hacia las islas. Mientras que si se presentan vientos del oeste, la corriente sigue un patrón inverso al anterior.

Lizárraga-Arciniega (1976), demostró que existe una corriente a lo largo de la playa de Ensenada B.C., entre los espigones de protección, que al fluir de sur a norte transporta sedimento al interior del puerto.

Gómez-Morín y Lizárraga (1982), señalan que el Arroyo Ensenada tienen una gran importancia de aporte terrígeno, y mediante un análisis hipsométrico llegan a la conclusión de que existe un azolvamiento progresivo desde 1967 a 1981.

Rubio (1987), realiza perfiles de playa entre el arroyo el Gallo y el Estero de Punta Banda, donde presenta eventos de erosión-depositación en las estaciones verano-otoño y primavera-verano, lo cual atribuye al ciclo anual de la playa y a los efectos producidos por la construcción de estructuras costeras.

Ulloa-Torres (1989), realiza un estudio de refracción del oleaje en la Bahía de Todos Santos, enfocado al puerto de Ensenada, en donde presenta una zona de refracción intensa en regiones someras.

Cruz-Colín y Cupul-Magaña (1997), determinaron que los cantiles de Bahía de Todos Santos son una fuente importante en el aporte de sedimentos, cuyo balance puede ser afectado por una mala planificación del desarrollo costero.

### **1.1.2 Modelos.**

Los antecedentes a nivel mundial sobre modelaje de aspectos oceanográficos son muy extensos, estos se han utilizado para estudios de transporte litoral, difracción y refracción del oleaje, erosión y depositación, corrientes, análisis de estabilidad de estructuras y problemas de navegación, entre otros (Medina-Enríquez, 1993).

En México algunas de las instituciones que trabajan con este tipo de modelos son la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, la

Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México y el Instituto Politécnico Nacional (Medina-Enríquez, 1993).

Algunos ejemplos en los cuales son utilizados estos modelos, son los siguientes:

Medina-Enríquez (1993), realizó un modelo hidráulico de fondo fijo del Puerto de El Sauzal de Rodríguez, Ensenada, B.C.; con la finalidad de que este estudio sea utilizado para prevenir los efectos del rompeolas en las zonas costeras aledañas.

Carrillo-Berumen (1998), analizó la dinámica sedimentaria en las inmediaciones de las obras costeras en Rosarito, B.C., a través de un modelo hidráulico de fondo fijo.

Losada y Liu (2000), realizan una revisión sobre los modelos matemáticos y numéricos empleados para el estudio de la agitación portuaria, con la finalidad de presentar un nuevo modelo el cual pretende cubrir con las deficiencias de los modelos ya existentes.

Gutiérrez-Serret *et al.* (2003), utilizan modelos físicos a escala reducida y de la simulación de maniobra de buques para el diseño de obras portuarias.

## **2 HIPÓTESIS**

La prolongación del rompeolas del Puerto de Ensenada modificará el patrón de corrientes y transporte litoral en la playa municipal de Ensenada B.C., lo que resultará en un proceso erosivo a la misma.

## **3 OBJETIVO.**

### **3.1 General.**

- Identificar las posibles modificaciones en el patrón de corrientes y transporte litoral en la playa municipal de Ensenada B.C., como resultado de la probable prolongación del rompeolas del puerto.

### **3.2 Particular.**

- Elaborar un modelo cualitativo de fondo fijo del puerto de Ensenada B.C. y la playa municipal de Ensenada.
- Determinar las características texturales del sedimento para la Playa Municipal.

#### 4 ÁREA DE ESTUDIO.

El área de estudio se localiza en la zona costera central de la bahía de Todos Santos, B.C., entre los 31°51' y 31°49' latitud norte y 116°38' y 116°36' longitud oeste. Incluye tanto al puerto como a la playa municipal de Ensenada, (Fig. 1). Se encuentra delimitada al Norte por el cerro El Vigía, al este con la ciudad de Ensenada, al oeste con la Bahía de Todos Santos y al Sur con la boca del estero de Punta Banda, encontrándose divididos la playa municipal del Puerto de Ensenada por la desembocadura del arroyo El Gallo.

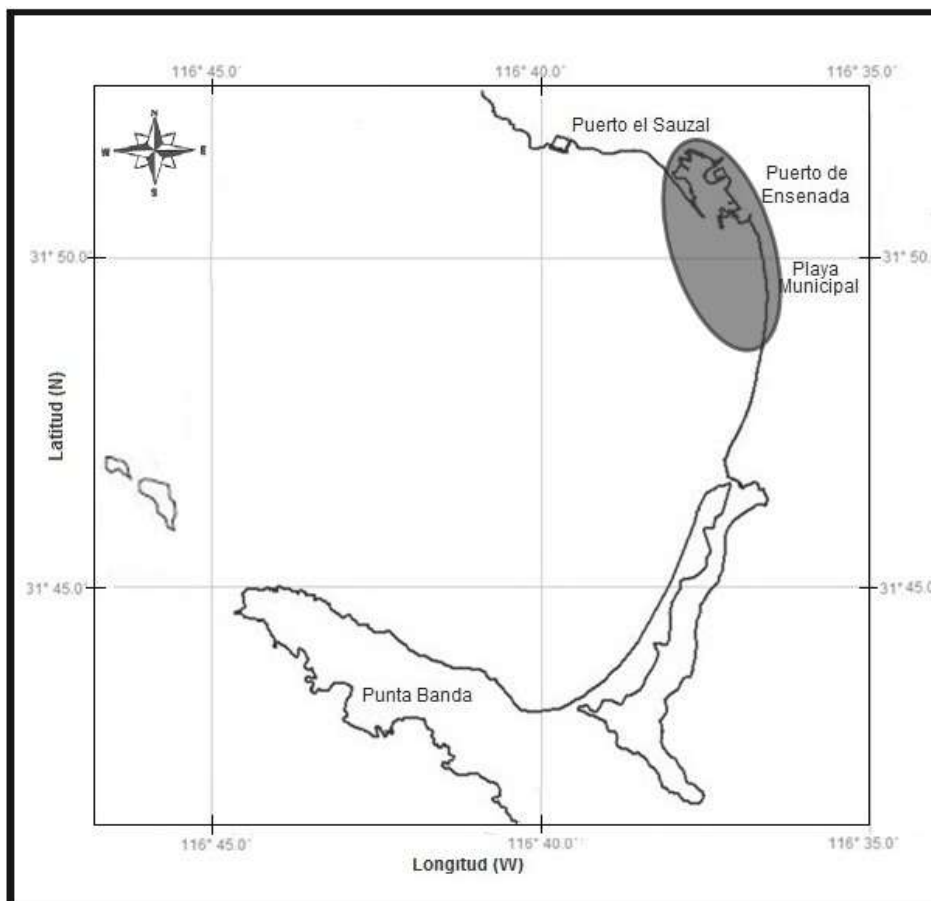


FIGURA 1. Localización del área de estudio, en el área sombreada se señala el puerto de Ensenada y la Playa Municipal

El puerto de Ensenada inicio su construcción a partir de 1951 (Secretaría de Marina, 1974) con el rompeolas, el cual tiene una longitud de 1,650 m. con rocas extraídas del cerro "El Vigía". En el año de 1955 fue construida la segunda escollera, la cual inició con un espigón de 150 metros de longitud como apoyo a la empresa cementera. Este espigón sufrió dos modificaciones; la primera en 1978 al realizarse una prolongación hasta llegar a su longitud actual y la segunda a finales del 2006 en donde se construyó una tercera escollera de 320 m., la cual se encuentra orientada hacia el exterior del puerto, paralela al canal de navegación. Esta se cree es la causante de la actual agitación dentro del puerto (Ortiz-Figueroa, 2005) y dio por terminada la construcción del espigón 'El Gallo' (Fig. 2).

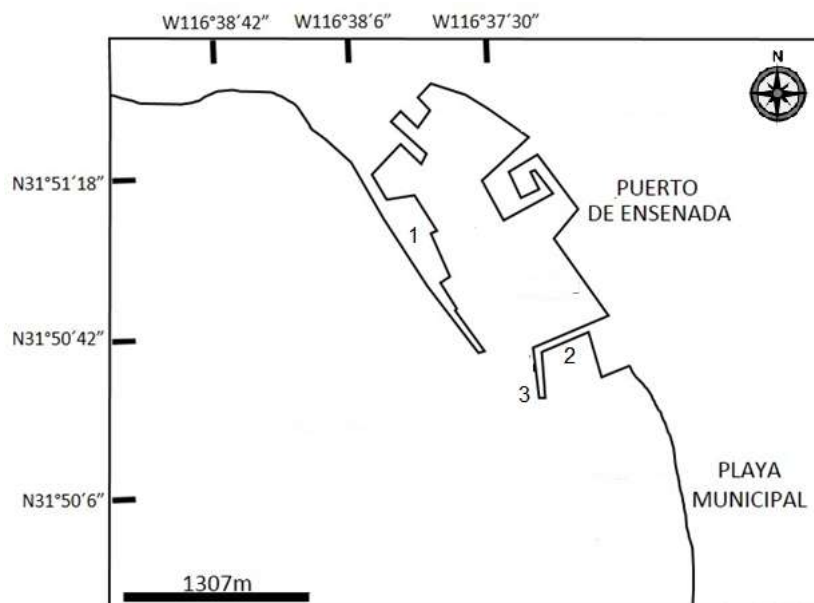


FIGURA 2. Área del puerto de Ensenada, B.C. donde se muestra la cronología de la construcción de sus escolleras: El rompeolas indicado con el número 1; la primer sección del espigón El Gallo se indica con el número 2, y una tercera en el extremo sur del puerto, indicada con el número 3. (DIGITAL GLOBE, junio 2014)

Al sur del espigón El Gallo encontramos una playa arenosa, con una longitud aproximada de 5.5 km., formada por arenas medias, bien clasificadas (Martínez-Rocha, 1991). Según la descripción de Cruz-Colín (1994) la zona de estudio se encuentra dentro de la 'Celda Litoral III' la cual limita al norte en una distancia de 600m al sureste del arroyo el Gallo y al sur con la boca del Estero de Punta Banda. Esta celda litoral tiene como principal aporte de sedimento el aporte del arroyo El Gallo y la boca del Estero de Punta Banda, sin embargo, debido a que este aporte cada vez es menor se ha observado un retroceso de la línea de costa (Rosas-Gómez, 2008).

## **5 METODOLOGÍA.**

No se encontró una metodología específica para la elaboración de modelos a escala reducida, sin embargo, investigadores como Losada y Philip (2000), Gutiérrez-Serret *et al* (2003), García-Palacios (2013) y Lázaro *et al.* (2006) describen etapas en común al desarrollar este tipo de estudios:

5.1 Obtención y generación de información

5.2 Diseño del modelo

5.3 Pruebas en el modelo.

5.4 Análisis de la información

### **5.1 Obtención y generación de información.**

La información necesaria para desarrollar el presente estudio cubre los siguientes parámetros:

- Batimetría.
- Estudio de refracción
- Corriente litoral.
- Transporte litoral
- Granulometría.

Se realizó una búsqueda bibliográfica con el fin de encontrar información de estudios previos en la zona. Como resultado, se encontró información acerca del oleaje, corrientes y transporte litoral, así como refracción. En el caso de la batimetría y el análisis granulométrico fue necesario llevarlos a cabo.

### 5.1.1 Información preexistente.

#### *Batimetría.*

La batimetría de la Bahía de Todos Santos se obtuvo mediante la digitalización de cartas náuticas de la Secretaría de Marina, las cuales fueron interpoladas para así obtener una mejor resolución de la zona y con esto generar una malla computacional.

#### *Transporte litoral.*

La dirección de transporte litoral fue obtenida a partir del estudio realizado por Aranda-Manteca (1983) y Ahumada-Sempoal (1993) quienes proponen patrones de transporte litoral mediante el uso de los sedimentos como trazadores y refracción del oleaje, respectivamente.

#### *Patrones de refracción y Corrientes litorales.*

Los patrones de refracción para las principales direcciones de arribo a la Bahía de Todos Santos fueron obtenidos del estudio realizado por Ahumada-Sempoal (1993) que a su vez interpreta las probables direcciones de la corriente litoral basándose en el comportamiento de las ortogonales.

### 5.1.2 Información generada.

#### *Análisis granulométrico.*

Para inferir el comportamiento de la corriente litoral a partir del sedimento, se realizó una colecta sistemática de sedimento en la zona de estudio, durante los meses de diciembre y enero (2003-2004 respectivamente). Con la ayuda de un nucleador de mano se tomaron tres muestras (correspondientes a la berma (M1), la cara de la playa (M2) y la zona de rompiente (M3) a lo largo de 19 transectos (P), colectándose un total de 57 muestras. Con una separación de 100 m entre transectos y 10 m entre muestras (Figura. 3)

Las muestras fueron tratadas de acuerdo al método de tamices (Royse, 1970), en el cual se utilizan 10 tamices con luz de malla de 0 a <math>4\phi</math>, en un intervalo de 0.5 unidades  $\phi$ . Posteriormente se obtuvieron los parámetros texturales del sedimento (media, asimetría y kurtosis) por medio del programa GRADISTAT (Blott, 2000), en donde se eligió el método de Folk y Ward. La información fue procesada y representada en tablas y planos para los cuales se utilizaron los programas SURFER y AutoCAD.

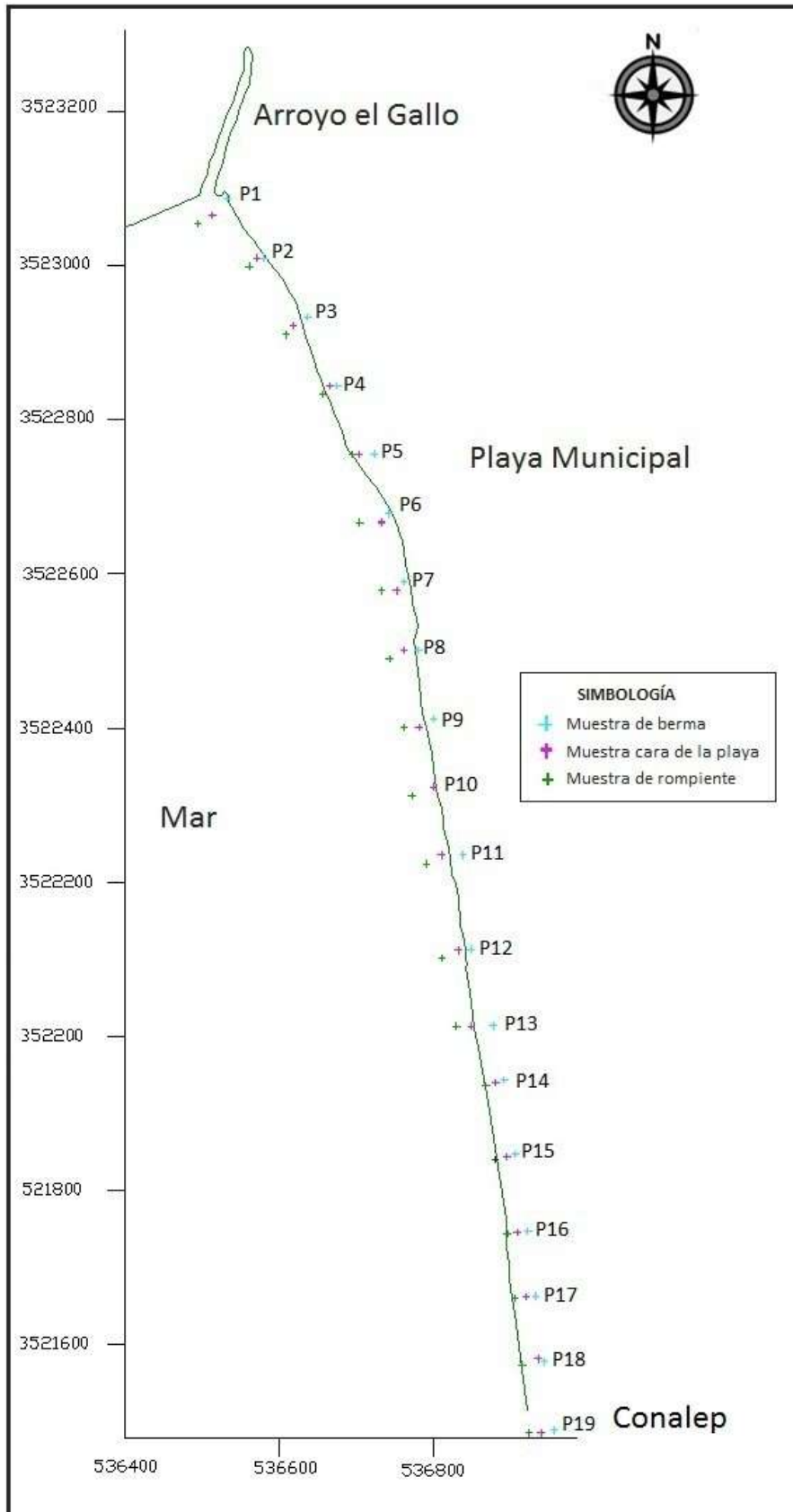


FIGURA 3. Localización de los 19 perfiles muestreados en la playa las cruces representan la zona de muestreo (azul= berma, roza=cara de la playa y verde= zona de rompiente)

## 5.2 Diseño del modelo

El modelo físico se construyó en una cuba de 2.5 m de largo, 1.5 m de ancho y 30 cm de alto. En donde se tomaron en cuenta las características morfológicas del área para la generación de un plano (escala 1:2,864) de las zonas portuaria y franjas costeras adyacentes (650 m al norte y 2,000 m al sur) a partir de una imagen satelital obtenida en el portal GOOGLE earth (2/13/2013). Esto incluyó la batimetría del frente marino hasta la isobata de 15 m.

El plano fue colocado en el fondo de la cuba. Con base a la escala vertical (1:300), se colocaron sobre los contornos palillos de madera cuya longitud reflejaba la altura del rompeolas, instalaciones portuarias y la profundidad con base en la batimetría, en donde se definió como altura cero el nivel medio del mar. Posteriormente, se vació arena de duna en la cuba hasta que se cubriera los palillos de madera y quedará visible solo la punta de estos. Una vez hecho esto, se cubrió la superficie con tela de fibra de vidrio y resina (Fig. 4). Al secar la resina, se pintó el modelo de color blanco, para dibujar sobre él una cuadrícula, la cual fue numerada (Fig. 5).



FIGURA 4. Construcción del modelo a escala de la zona portuaria y la playa municipal de Ensenada

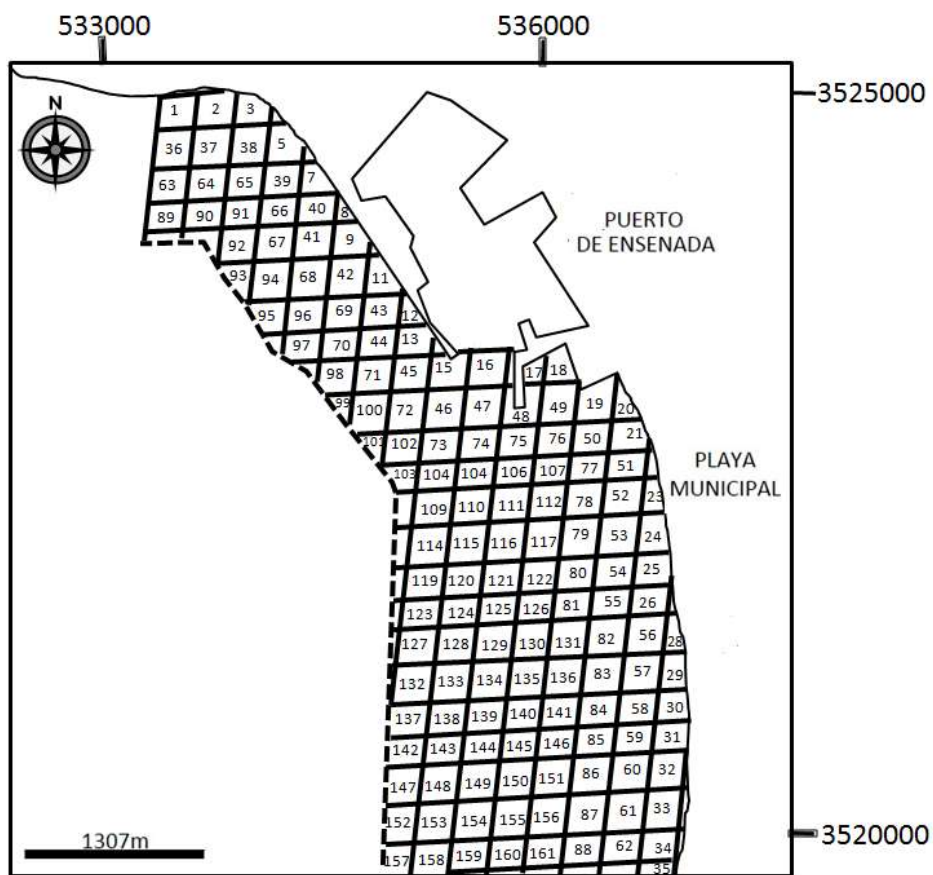


FIGURA 5. Cuadrícula numerada que se utilizó en el modelo a escala para la interpretación de los datos.

### 5.3 Pruebas en el modelo.

Se realizaron cuatro ensayos en el modelo, en donde se consideró la configuración actual del rompeolas y la modificación propuesta, así como la dirección del oleaje. Esta descripción se muestra en la tabla 1.

Tabla I. Ensayos realizados en el modelo físico para determinar el patrón de corrientes y transporte.

No. DE ENSAYO	PATRÓN DE CORRIENTES Y TRANSPORTE LITORAL ASOCIADAS A OLEAJE DEL NW		PATRÓN DE CORRIENTES Y TRANSPORTE LITORAL ASOCIADAS A OLEAJE DEL SW	
	CONDICIONES ACTUALES	CON MODIFICACIÓN PROPUESTA	CONDICIONES ACTUALES	CON MODIFICACIÓN PROPUESTA
1	X			
2		X		
3			X	
4				X

La corriente litoral se generó mediante bombas de agua sumergibles y se siguieron por medio del colorante rodamina. Mientras que la dirección de transporte litoral fue identificado por medio de café en grano.

Con el fin de modelar la modificación propuesta al rompeolas, se elaboró una estructura de yeso de la prolongación, la cual se colocó después de realizar corridas con los patrones de circulación y transporte sin su presencia.

## 6 RESULTADOS

Para un mejor manejo de la información los resultados fueron divididos en dos partes:

**6.1. Información recabada:** información de corrientes y refracción, recopilada bibliográficamente.

**6.2. Información generada:** resultados obtenidos a partir de los modelos; físico y matemático. Así como a partir del análisis de las muestras tomadas.

### **6.1 Información recabada.**

En la búsqueda de información sobre corrientes y transporte litoral, se encontraron a diversos autores que se han encargado de inferir los patrones para la zona de estudio.

En la figura 5 se muestran los patrones propuestos por Aranda-Manteca (1983) y Pérez y Chee (1984). Se puede observar la presencia de una corriente con dirección predominante al norte en la playa municipal. A diferencia de los anteriores autores, Lizárraga-Arcienega (1973) y Ahumada-Sempoal (1993) mencionan que existe una bifurcación en esta corriente de tal forma que a partir de un punto cercano a la zona del ciprés, se presentan dos corrientes, una que fluye hacia el norte y una en dirección sur. Por su parte Méndez-Arriaga (1982)

reporta una corriente en dirección sur, la cual va desde el espigón el Gallo hasta la boca del estero de Punta Banda (Fig. 6)

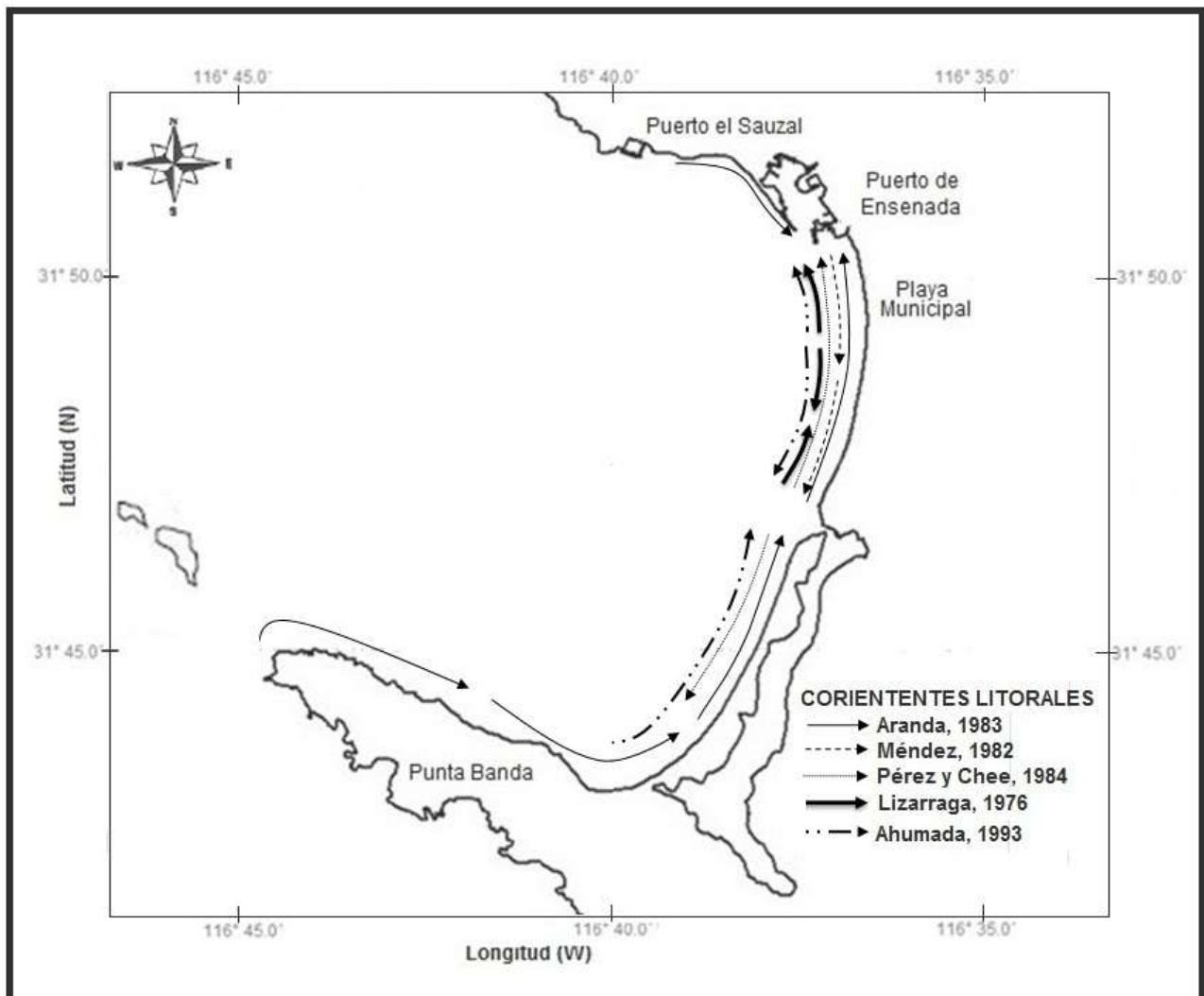


FIGURA 6. Corrientes reportadas para la Bahía de Todos Santos, donde las flechas representan el sentido de la dirección de la corriente litoral (modificada de Ahumada-Sempoal, 1993).

## **6.2 Información generada.**

La información que se obtuvo a partir de este trabajo se dividió en los siguientes apartados:

- 6.2.1. Análisis granulométrico.
- 6.2.2. Inferencia de la corriente litoral.
- 6.2.3. Modelo reducido cualitativo de fondo fijo

### **6.2.1 Análisis granulométrico.**

Playa Hermosa presenta un tamaño de grano entre 2 y 3 phi, intervalo que se encuentra clasificado como **arenas finas**. La clasificación del sedimento representado por la desviación estándar ( $\sigma$ ) nos da un valor promedio de 0.43 phi, el cual nos indica una playa **bien clasificada**. En cuanto a la asimetría (**sk**) presenta un valor de -0.62 lo que nos indica una tendencia **simétrica** según la escala de Folk (1966). Mientras que el valor de kurtosis (**k**) con un valor de 1.02 phi nos muestra una distribución **mesocúrtica**, Folk (1966). Estos resultados se observan en la Tabla II.

TABLA II. Parámetros texturales de muestras tomadas en la playa municipal de Ensenada

Muestra	Media	Desviación	Asimetría	Kurtosis	Muestra	Media	Desviación	Asimetría	Kurtosis
P1M1	2.498	0.371	-0.015	0.845	P10M3	2.618	0.497	-0.170	1.178
P1M2	2.472	0.373	-0.069	0.871	P11M1	2.338	0.382	0.066	1.059
P1M3	2.538	0.379	-0.104	0.903	P11M2	2.555	0.610	-0.370	1.697
P2M1	2.182	0.459	0.049	0.895	P11M3	2.557	0.567	-0.260	1.161
P2M2	2.835	0.514	-0.466	0.571	P12M1	2.350	0.376	0.080	1.056
P2M3	2.025	0.998	-0.478	1.203	P12M2	2.758	0.371	0.006	1.252
P3M1	2.460	0.597	0.314	0.742	P12M3	2.522	0.416	-0.055	0.982
P3M2	2.970	0.462	-0.593	1.816	P13M1	2.422	0.388	-0.020	0.908
P3M3	2.713	0.459	-0.128	1.410	P13M2	2.374	0.480	-0.145	0.899
P4M1	2.488	0.419	0.104	0.961	P13M3	2.428	0.513	-0.157	0.943
P4M2	2.831	0.343	0.098	1.257	P14M1	3.231	0.155	0.000	0.738
P4M3	2.811	0.406	0.057	1.186	P14M2	2.854	0.279	0.242	1.049
P5M1	2.543	0.393	-0.170	0.968	P14M3	2.491	0.368	-0.087	0.838
P5M2	2.651	0.428	0.023	0.925	P15M1	2.457	0.393	-0.029	0.889
P5M3	2.741	0.376	-0.013	1.350	P15M2	2.546	0.363	-0.034	0.862
P6M1	2.486	0.551	0.370	0.859	T15M3	2.561	0.320	-0.135	0.773
P6M2	2.668	0.348	-0.085	1.258	P16M1	2.567	0.384	-0.071	0.950
P6M3	2.562	0.467	-0.175	1.150	P16M2	2.533	0.384	0.000	0.896
P7M1	2.388	0.394	0.043	0.951	P16M3	2.606	0.363	-0.110	1.048
P7M2	2.512	0.359	-0.065	0.817	P17M1	2.377	0.444	0.239	1.280
P7M3	2.601	0.388	-0.013	0.971	P17M2	2.606	0.553	0.344	0.637
P8M1	2.361	0.360	0.095	1.103	P17M3	2.511	0.402	-0.203	0.919
P8M2	2.605	0.397	-0.127	1.130	P18M1	2.417	0.409	0.015	0.918
P8M3	2.582	0.467	-0.217	1.236	P18M2	2.595	0.538	0.379	0.638
P9M1	2.461	0.377	-0.030	0.869	P18M3	2.602	0.357	-0.111	1.022
P9M2	2.589	0.371	-0.064	0.970	P19M1	2.468	0.424	-0.025	0.960
P9M3	2.411	0.619	-0.296	0.980	P19M2	2.448	0.407	-0.034	0.907
P10M1	3.218	0.267	-0.305	1.891	P19M3	2.797	0.578	-0.495	0.662
P10M2	2.576	0.386	-0.130	1.018	<b>Promedio</b>	<b>2.568</b>	<b>0.429</b>	<b>-0.062</b>	<b>1.022</b>

### Distribución espacial del sedimento

En la tabla III se encuentra la media del tamaño de grano para la zona de muestreo, en donde podemos observar valores que van del 2.025 al 2.854 phi, los cuales nos indican la presencia de arenas finas.

TABLA III. Media de las muestras, representada en phi ( $\Phi$ )

Muestra	Berma M1	Cara de la playa M2	Rompiente M3	Clasificación Wentworth
P1	2.498	2.472	2.538	Arenas finas
P2	2.182	2.835	2.025	Arenas finas
P3	2.460	2.970	2.713	Arenas finas
P4	2.488	2.831	2.811	Arenas finas
P5	2.543	2.651	2.741	Arenas finas
P6	2.486	2.668	2.562	Arenas finas
P7	2.388	2.512	2.601	Arenas finas
P8	2.361	2.605	2.582	Arenas finas
P9	2.461	2.589	2.411	Arenas finas
P10	-----	2.576	2.618	Arenas finas
P11	2.338	2.555	2.557	Arenas finas
P12	2.350	-----	2.522	Arenas finas
P13	-----	-----	2.428	Arenas finas
P14	3.231	2.854	2.491	Arenas finas
P15	2.457	2.546	2.561	Arenas finas
P16	2.567	2.533	2.606	Arenas finas
P17	2.377	2.606	2.511	Arenas finas
P18	2.417	2.595	2.602	Arenas finas
P19	2.468	2.448	2.797	Arenas finas

La figura 7 nos muestra la distribución espacial del tamaño de sedimento en la playa municipal de Ensenada, donde se puede observar como tamaños más finos de sedimento son encontrados en la zona de rompiente en la estación P4M3 con un tamaño de grano de 2.8 phi, mientras que los tamaños más gruesos (2.4 phi) se localizan en las estaciones P12M1, P14M1, P17M1 Y P18M1 correspondientes a la zona de berma.

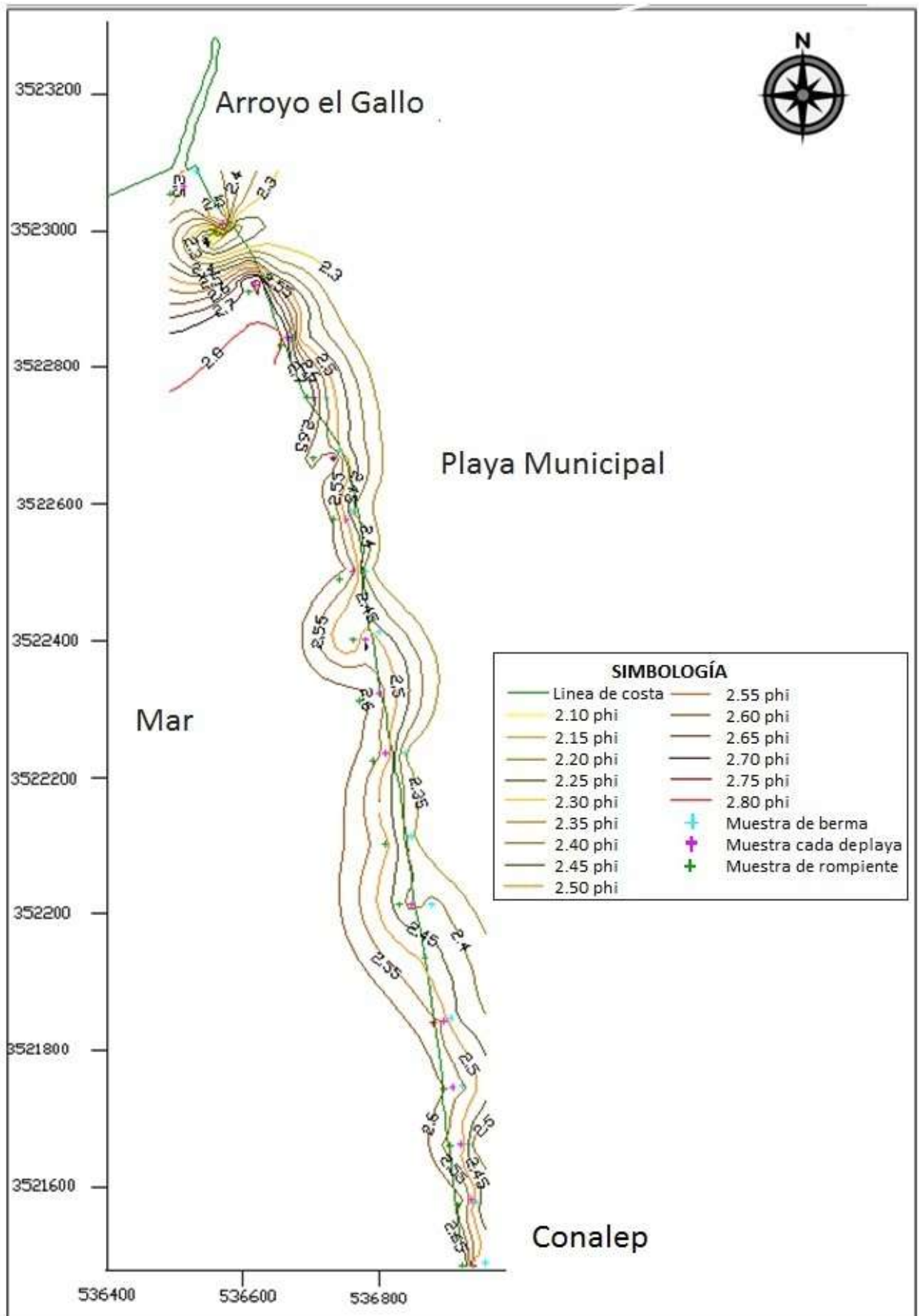


FIGURA 7. Distribución espacial de la media del sedimento (en phi) para una zona de la Playa Municipal de Ensenada.

Es importante observar la variación del tamaño de sedimento de una zona a otra, por lo que en la figura 8 se representa cada una de estas zonas a lo largo de los 19 transectos. Aquí podemos observar que tanto la berma, como la zona de rompiente comienzan con un tamaño de grano mayor (de 2.2 a 2 phi), este tamaño muestra una serie de variación conforme avanzamos hacia el sur del puerto, sin embargo se observa una clara tendencia a la disminución en el tamaño de grano. Mientras que las muestras tomadas en la cara de la playa nos indican un tamaño de grano menor (~3 phi) cercano al arroyo el Gallo, este tamaño aumenta conforme nos dirigimos al sur del arroyo.

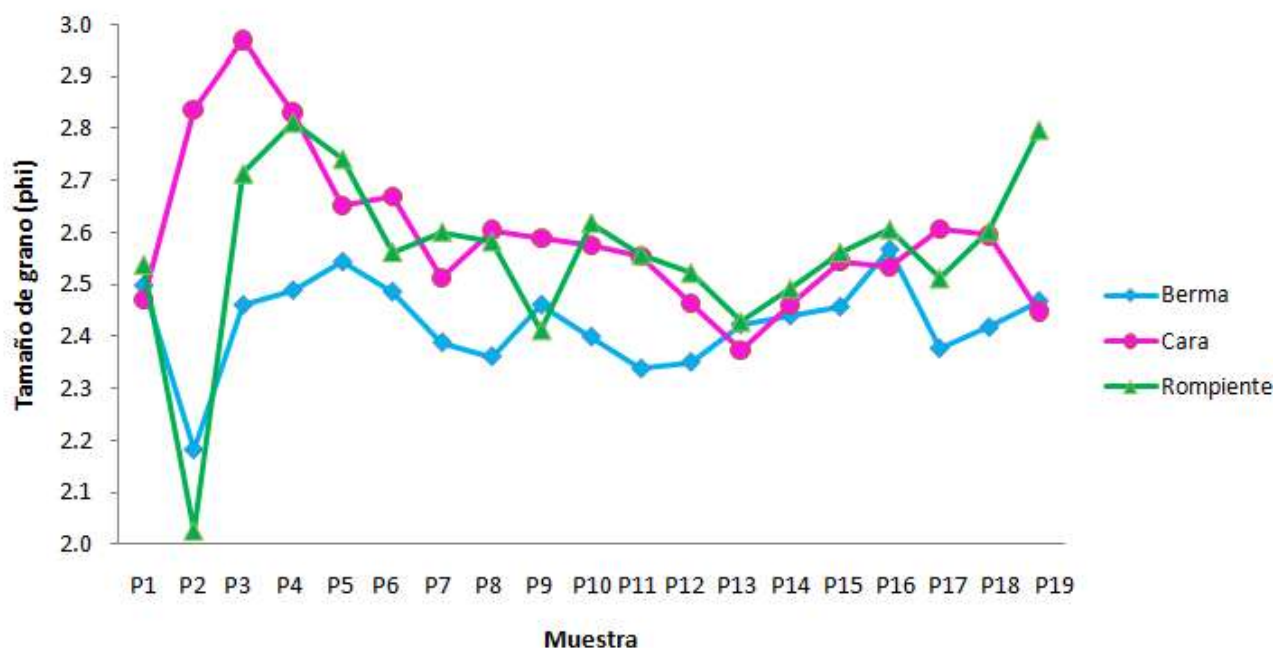


FIGURA 8. Comportamiento de la distribución de la media del tamaño de grano para los tres puntos muestreados en la playa Municipal de Ensenada; Berma (color azul), cara de la playa (color rosa) y zona de rompiente (color verde). En donde la muestra P1 se encuentra más al norte, localizada al sur del Arroyo el Gallo y la muestra P19 es al sur, frente a CONALEP.

## 6.2.2 Inferencia de la corriente litoral

La figura 9 nos muestra las corrientes inferidas a partir de la distribución del tamaño de grano, en donde podemos observar una corriente que viaja de norte a sur, hasta llegar al perfil P4 donde se topa con una corriente en dirección norte la cual se encuentra en movimiento desde el perfil P13. A partir de este perfil y hasta donde se tomaron muestras (transecto P19, ubicado frente a CONALEP) la corriente presenta una dirección sur.

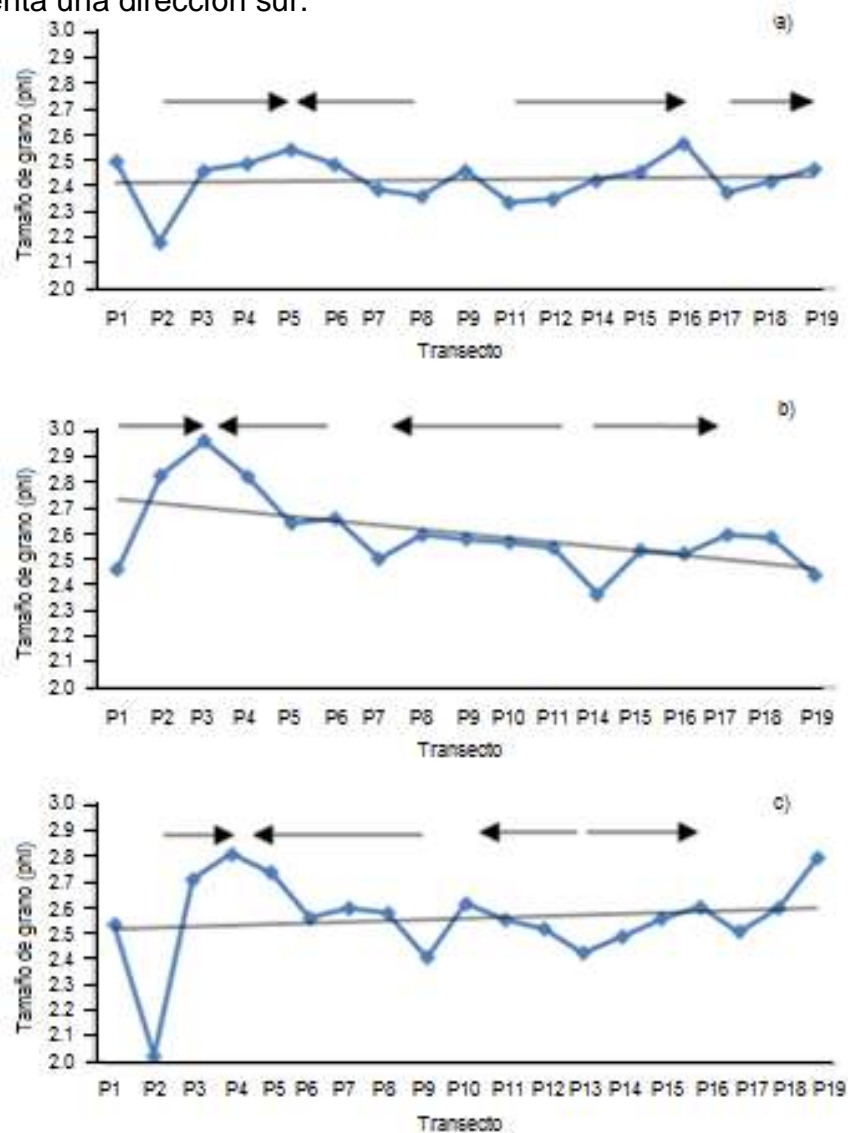


FIGURA 9. Dirección de la corriente litoral (representado por las flechas) inferida a partir del tamaño de grano, en las tres distintas zonas de estudio: zona de berma a), cara de la playa b) y zona de rompiente c).

Lo mismo se puede observar en la figura 10, donde estas corrientes son representadas en el plano. Gracias a esto podemos distinguir como la dirección de la corriente litoral en general lleva un patrón norte-sur, con la excepción de la zona correspondiente de los perfiles P5 al P13, en donde se observa que la corriente viaja de sur a norte.

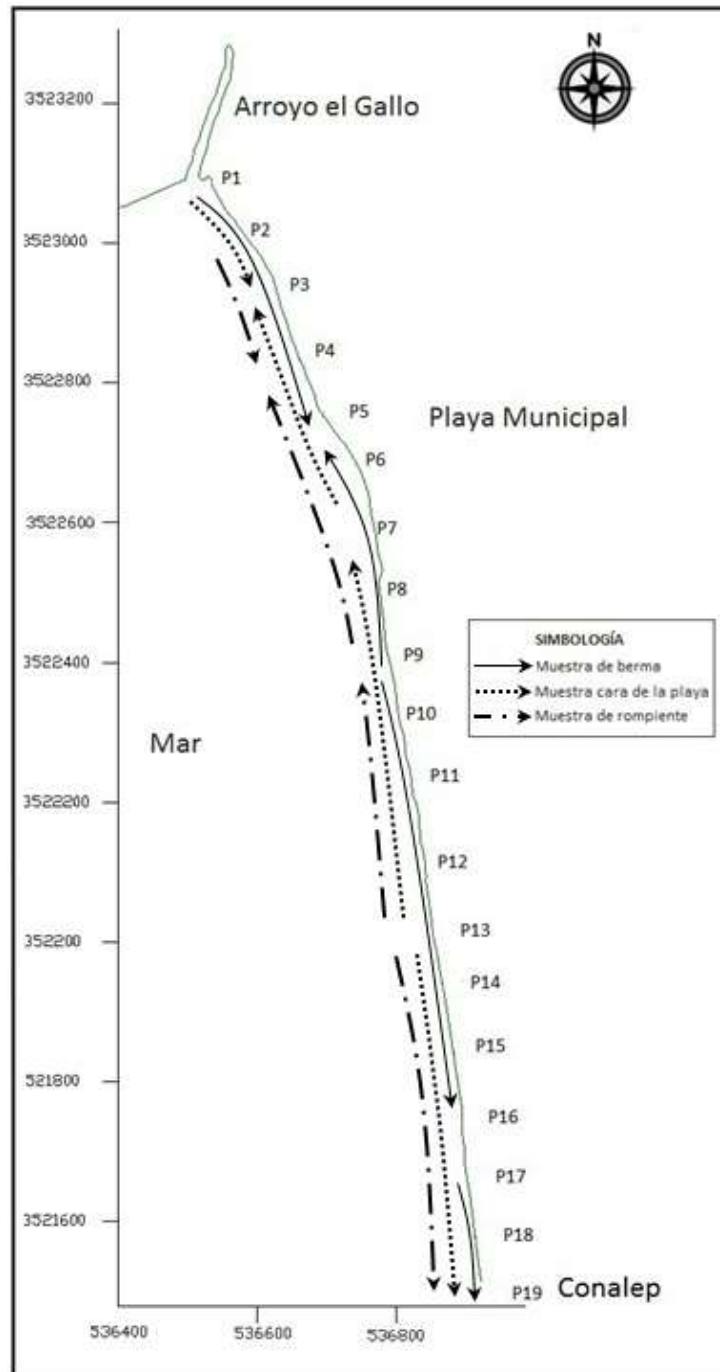


FIGURA 10. Representación en el plano de la dirección de la corriente litoral (representado por las flechas) inferida a partir del tamaño de grano, en las tres distintas zonas de estudio: zona de berma (flecha continua), cara de la playa (flecha punteada) y zona de rompiente (flecha semi-continua).

### 6.2.3 Modelo reducido cualitativo de fondo fijo.

#### 6.2.3.1 Oleaje de invierno con condiciones actuales.

La primer corrida en el modelo, nos muestra como tanto la corriente como el transporte litoral son en dirección SE. Al pasar esta corriente el morro del rompeolas, parte de ella se introduce a la rada portuaria lo que produce una depositación de sedimento en la entrada del puerto. La corriente que no se introdujo en la rada, sigue su curso hacia la playa municipal en donde se bifurca y producen una contracorriente que viaja hacia el norte hasta llegar al espigón El Gallo, lo que produce una depositación de sedimento en esta zona, mientras que la corriente original continúa su trayectoria débilmente hacia el sur. El transporte litoral muestra el mismo comportamiento en la trayectoria de la corriente (Fig. 11).

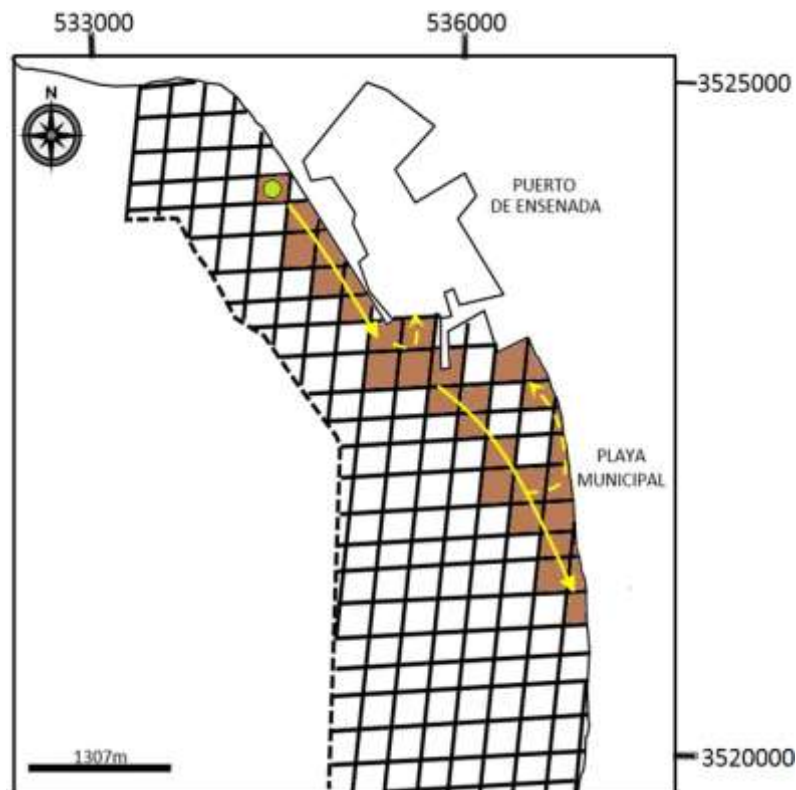


FIGURA 11. Patrón de corrientes (flechas amarilla) y transporte litoral (recuadros café) con las condiciones actuales de la zona y oleaje de invierno. El punto verde representa la zona donde se colocó el sedimento.

### 6.2.3.2 Oleaje de invierno con modificación al rompeolas.

La corriente y el transporte litoral fluyen en dirección SE al igual que en el modelo anterior, sin embargo al llegar al morro del rompeolas la prolongación modifica este patrón, lo que ocasiona que la corriente litoral se desvíe hacia el oeste hasta alcanzar la frontera de la cuba de modelación, mientras que el transporte litoral es detenido, esto ocasiona que el sedimento se deposite en la cavidad entre en rompeolas y la prolongación, mientras que otra parte sigue su curso hacia aguas profundas (Fig. 12)

Al correr este modelo no se observa la presencia de la corriente ni el transporte litoral, en la entrada del puerto como en la playa municipal, lo que ocasiona una zona de calma en estas áreas.

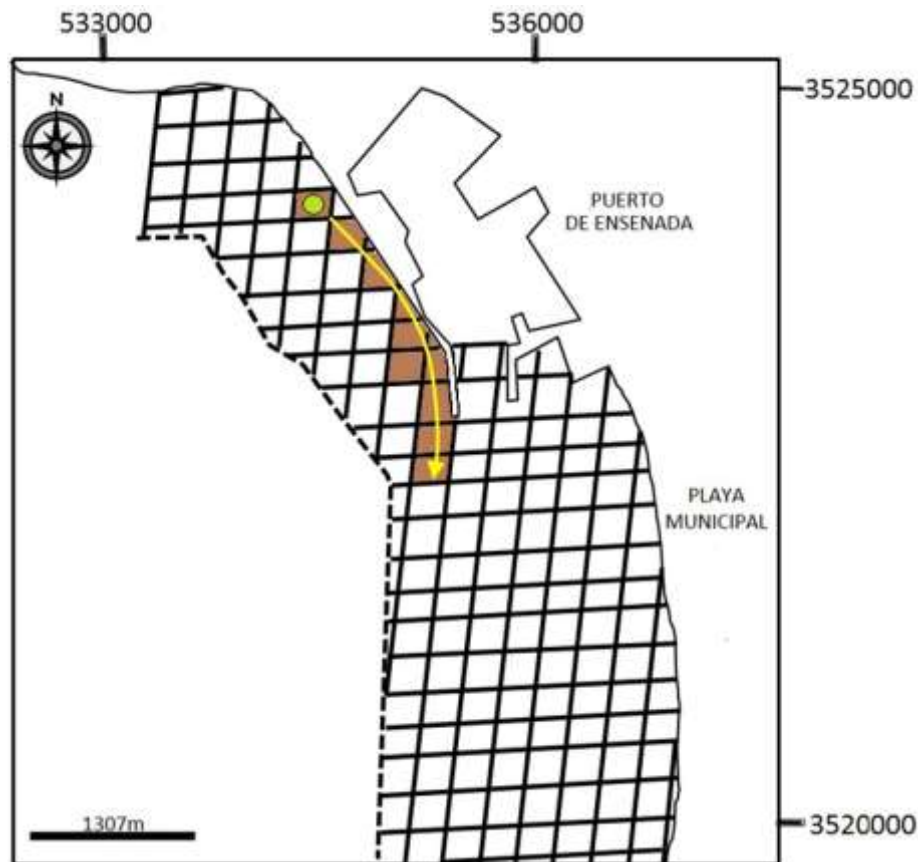


FIGURA 12. Patrón de corrientes (flechas amarilla) y transporte litoral (recuadros café) con la propuesta de modificación del rompeolas del puerto con oleaje de invierno. El punto verde representa la zona donde se colocó el sedimento.

### 6.2.3.3 Oleaje de verano con condiciones actuales.

La corriente y el transporte litoral viajan hacia el NW a lo largo de la Playa Municipal, al aproximarse al espigón El Gallo, la corriente es modificada, lo que ocasiona que esta gire y produzca una contracorriente en dirección SE. En esta celda de circulación que se forma, el transporte litoral se comporta de la misma manera que la corriente, sin embargo al llegar al espigón, el sedimento se deposita al sur de este (Fig. 13).

Este mismo comportamiento se tiene para la modelación del oleaje de verano con modificación al rompeolas.

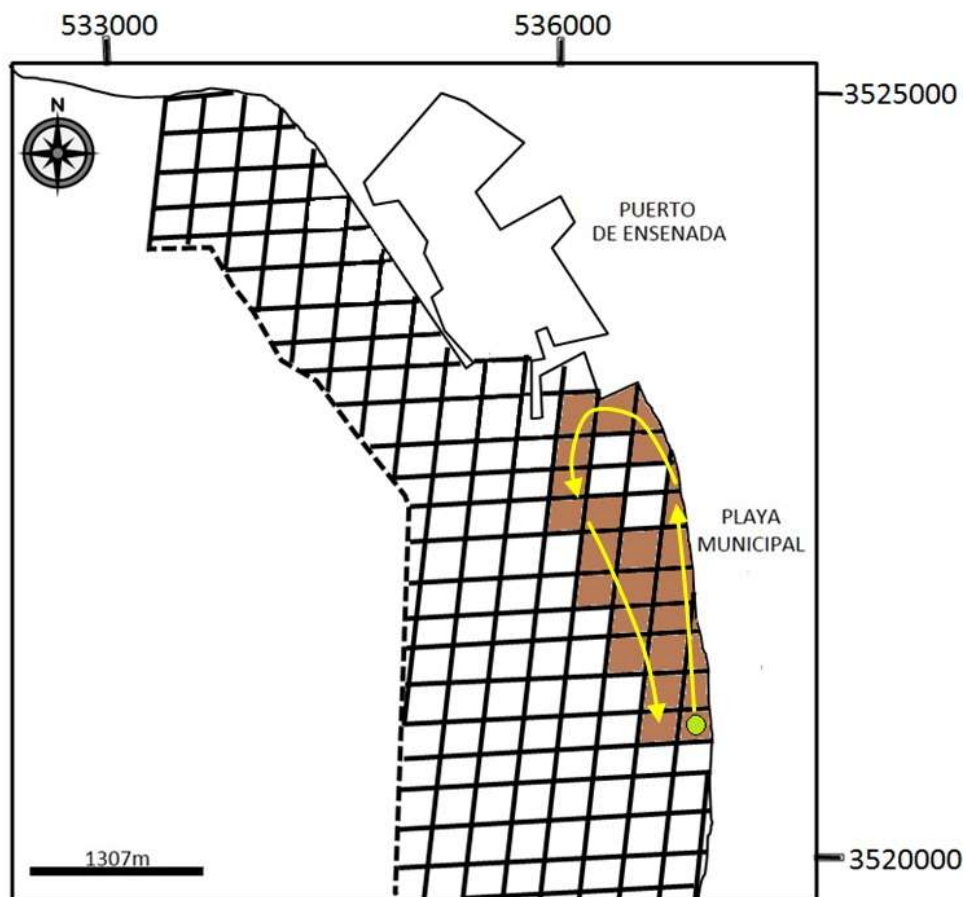


FIGURA 13. Patrón de corrientes (flecha amarilla) y transporte litoral (recuadros cafés) con la propuesta de modificación del rompeolas del puerto y oleaje de verano. El punto verde representa la zona donde se colocó el sedimento.

## **7 DISCUSIÓN.**

Para fines prácticos esta sección se dividió de la misma forma que los resultados, primero se analizaran los resultados del estudio granulométrico y después los del modelo físico cualitativo.

### **Estudio granulométrico.**

En el presente estudio las muestras P10M1, P13M1, P12M2 y P13M2 fueron descartadas debido a que los resultados del análisis granulométrico mostraban valores muy diferentes al resto, lo cual hizo suponer que eran poco confiables. Es posible que esto se deba a un error en el procesamiento de las muestras. A pesar de esto, esta situación no afectó la interpretación de los resultados, debido a que solo se consideraron las muestras de sedimento obtenidas en la zona de rompiente, ya que de acuerdo a diversos autores como Méndez-Arriaga y Aranda-Manteca, esta zona es las más representativas cuando se trata de estimar patrones de corrientes litorales.

El patrón de corrientes inferidas en este trabajo a partir del valor de media del sedimento (Fig.14) muestra discrepancia con las corrientes reportadas por Méndez-Arriaga (1982), Aranda-Manteca (1983), Pérez-Higuera y Chee-Barragán (1984) y Castellón-Álvarez (1988) (Fig. 6). Ya que estos autores reportan una corriente litoral predominante en dirección sur-norte mientras que en el presente estudio se detectaron tres corrientes litorales; dos de ellas con dirección norte a sur (P1-P5 y P13-P19) y una corriente sur a norte (P13-P5) (Fig.14). La zona de convergencia que se encuentra en el transecto

P5 y la zona de divergencia que se encuentra en el transecto P13, son evidenciadas por la presencia de corrientes de retorno (Fig. 15). Es importante mencionar que en estas dos zonas construyeron enrocamientos (Fig. 15), los cuales probablemente son la causa de los cambios en los patrones de corrientes en la zona, debido a que provocan una reflexión del oleaje que produce un cambio en su dirección y por ende la formación de corrientes de retorno.

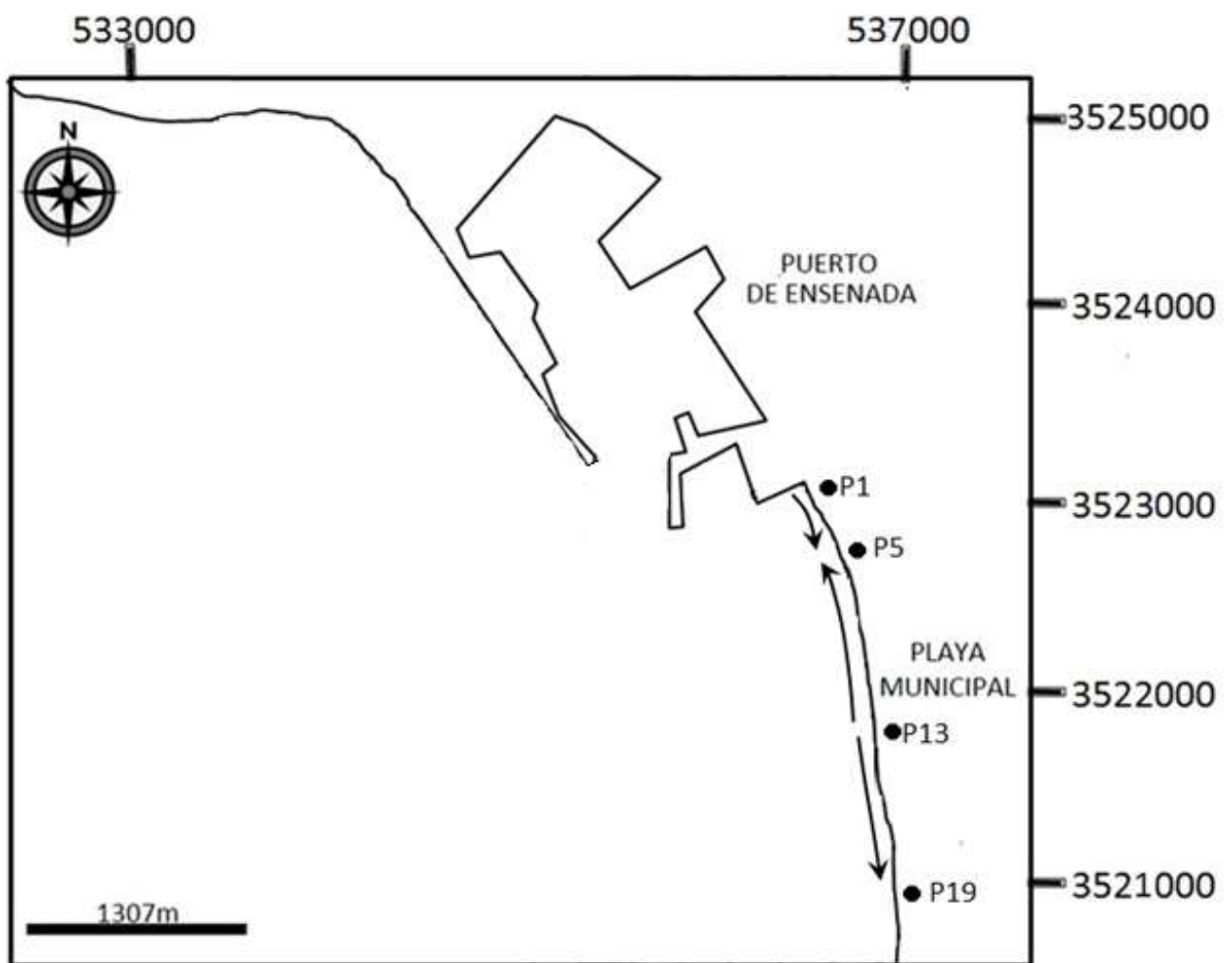


FIGURA 14. Representación de la dirección de la corriente litoral (representado por las flechas) inferida a partir del tamaño de grano, de las muestras tomadas en la zona de rompiente.



FIGURA 15. Localización de los transectos donde se ubican los cambios en las corrientes de la playa municipal de Ensenada, B.C. Así como las corrientes de retorno, ubicadas frente a ellas (círculos naranjas). DigitalGlobe 24/enero/2014.

Las corrientes reportadas anteriormente fueron inferidas a partir del muestreo realizado en los meses de diciembre-enero los cuales pertenecen a épocas invernales, por lo que si se llegará a analizar la misma área en otra época del año, se podrían encontrar resultados diferentes.

Por lo que se puede decir que el patrón actual de corrientes y transporte litoral, en conjunto con la interacción con las obras construidas en la zona, permiten la distribución del sedimento a lo largo de la playa, lo que mantiene las condiciones morfológicas actuales que se encuentra la playa municipal de Ensenada.

## **Modelo físico cualitativo de fondo fijo**

Una vez identificados los patrones de corrientes y transporte litoral inferidos por los resultados granulométricos para la zona de estudio, se recurrió al uso de un modelo físico de fondo fijo con el fin de percibir los posibles impactos de la prolongación del rompeolas del Puerto de Ensenada en la dinámica litoral de la playa municipal. Esto debido a que un modelo físico es una herramienta capaz de reproducir adecuadamente los fenómenos que ocurren en la zona costera a un bajo costo.

Por lo general cuando se trabaja con modelos a escala el oleaje se genera a partir de paletas, sin embargo por limitaciones de espacio (dimensiones), no fue posible utilizar este método ya que de haberlo hecho, el oleaje se reflejaría en las paredes generando un problema de resonancia. Es por esto que se optó por generar las corrientes por medio de bombas sumergibles y mangueras con lo cual se minimizó el problema de reflexión y fue posible reproducir el patrón de corrientes obtenido por Ahumada-Sempoal (1993) el cual coincide con los patrones encontrados en este estudio.

Otra complicación que se tuvo fue que al iniciar las pruebas en el modelo vio la necesidad de encontrar una forma para seguir las corrientes, para lo cual se utilizaron pequeños flotadores de hule espuma, pero después de varias corridas estos resultaron inadecuados por las mismas irregularidades del modelo. Debido a esto se optó por la utilización del colorante rodamina, sin

embargo este al teñir el agua de un color amarillo, después de varias corridas se tenía que vaciar y llenar nuevamente la cuba de modelación. Mientras que para identificar los patrones de transporte litoral se utilizó café de grano, utilizado por su baja densidad.

Una vez resueltos estos inconvenientes y comprobar que al correr el modelo se reprodujeran las corrientes reportadas, se pudo dar como calibrado el modelo, lo que nos indica que al reproducir las condiciones de verano y al colocar la estructura de la modificación del puerto, el patrón de corrientes y transporte litoral que nos muestren representará lo que sucederá en la zona de estudio. Sin embargo al no haber realizado muestreos para la zona del puerto fue necesario utilizar las corrientes reportadas por Aranda-Manteca (1983), para esta zona.

En la primera corrida (Fig. 11) se observa como la corriente y el transporte litoral fluyen en dirección norte-sur, sufriendo una bifurcación en la entrada a la rada portuaria, lo que ocasiona que una porción entre a la rada mientras que otra fluya en dirección a la playa municipal. Esto nos indica que parte del sedimento aportado a la Playa Municipal proviene de esta corriente. Este mismo comportamiento es reportado por Aranda-Manteca (1983), lo que refuerza la hipótesis de un aporte sedimentario a la Playa Municipal asociado a esta corriente. Sin embargo esto se contrapone a lo reportado por Cruz-Colín (1994) quien menciona que la corriente y el sedimento que fluye a lo largo del rompeolas ingresan en su totalidad a la rada portuaria, por lo que este no llega a la playa municipal.

En la segunda corrida (Fig.12) se observa como la corriente modifica su curso hacia aguas profundas, debido a la modificación del rompeolas, esto repercute en el transporte litoral lo que ocasiona que una parte de este se deposite fuera de la estructura y otra parte sea arrastrado hacia aguas profundas. Esto resultaría en un proceso erosivo para la playa municipal al perder el aporte que se tenía de esta corriente.

Si bien en la primer corrida se encontró que la corriente si tiene un aporte sedimentario a la Playa Municipal (Fig.11). Cruz-Colín (1994) reporta que la celda no. II (correspondiente a la zona que va de Punta Morro al espigón el Gallo), no tiene un aporte sedimentario a la celda no. III (correspondiente a zona que va del espigón El Gallo a la boca del Estero de Punta Banda). Por lo que, si tomamos en cuenta que el mismo autor menciona el aporte de sedimento de la celda II es dado por los arroyos Ensenada ( $33,569.87 \text{ m}^3/\text{año}$ ) y El Gallo ( $17,464.70 \text{ m}^3/\text{año}$ ), la boca del Estero de Punta Banda ( $63,618.00 \text{ m}^3/\text{año}$ ) y el transporte eólico ( $72.08 \text{ m}^3/\text{año}$ ), equivalen a un aporte de aproximadamente  $114,724.65 \text{ m}^3/\text{año}$ . Así como que el volumen de sedimento que sale de la misma celda es de  $63,557.31 \text{ m}^3/\text{año}$ , el balance de la celda es de  $51,167.34 \text{ m}^3/\text{año}$ . Sin embargo, las estadísticas de los últimos 5 años indican una ausencia de precipitación importante (Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático), por lo que los aportes de los arroyos han sido prácticamente nulos, esto se traduce en un balance sedimentario cercano a los  $7 \text{ m}^3/\text{año}$ .

No obstante con el párrafo anterior, de acuerdo a lo observado en la primera corrida del modelo (Fig.11), parte del sedimento de la Celda II si ingresa a la rada portuaria, mientras que otra parte alimenta la playa municipal, lo que se traduce en una ganancia al aporte sedimentario de esta celda. Sin embargo, al realizar la modificación propuesta al rompeolas (Fig.12), este no permitiría el aporte sedimentario a la zona de la playa municipal, lo que ocasionaría un balance negativo, que se podría traducir en su erosión de la zona. Esto comprometería las tres funciones básicas de la playa municipal: 1) Defensa de costa, 2) Hábitat para la flora y fauna silvestre y 3) Zona de esparcimiento y uso público.

Al analizar las corrientes para condiciones de verano (con una dirección sur-norte), la corrida número tres (Fig. 13) nos muestra la formación de un remolino que se genera debido a que el espigón El Gallo funciona como una barrera para la corriente, esto ocasiona una depositación de sedimento y por lo tanto una acreción de la playa en esta zona. Este comportamiento se observa tanto en condiciones normales como con la prolongación del rompeolas. Debido a que la corriente se modifica antes de llegar a la zona del rompeolas, por lo que este no tiene ningún efecto en el oleaje de verano.

En base a lo reportado en este trabajo, se puede decir que el estudio para la propuesta de modificación del rompeolas del puerto de Ensenada, se basó en un modelo matemático el cual realiza un análisis del comportamiento del oleaje y la simulación de su propagación al interior de la rada portuaria, para reducir la agitación del agua dentro de ella. Sin embargo, este estudio no

consideró el posible impacto en los patrones de corrientes y transporte litoral. Por lo que la modelación física, proporciona una alternativa económica para prever las posibles consecuencias de modificar una obra de protección costera.

## **8 CONCLUSIONES**

La construcción de la prolongación del rompeolas del puerto de Ensenada modificará el patrón de corrientes y por ende los patrones de transporte litoral en la zona, lo que repercutirá en un proceso erosivo de la playa municipal de Ensenada.

Para oleaje de verano se genera frente a la playa municipal de Ensenada un remolino, el cual permite una acreción de la playa al sur del espigón El Gallo.

Para oleaje de invierno, se encuentran una convergencia aproximadamente a 1km. del espigón El Gallo y una divergencia a 6 km. al norte de la boca de Estero de Punta Banda.

El uso de modelos físico es una gran herramienta para conocer la dinámica costera y prever posibles consecuencias al modificar una obra de protección costera.

## 9 LITERATURA CITADA.

Ahumada-Sempoal, M.A., (1993). Corrientes litorales inducidas por oleaje en la Bahía de Todos Santos, B.C. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B.C., México. 38 pp.

Aranda-Manteca, F., (1983). Estudio de los minerales pesados como trazadores de las corrientes litorales en la Bahía de Todos Santos, B.C., Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B.C., México. 180 pp.

Arellano-Zepeda, S.A., (1985). Origen y asociación mineralógica de los sedimentos que constituyen la playa entre el arroyo El Gallo y playa Corona, Ensenada, B.C. Tesis de licenciatura. Escuela Superior de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B.C., México. 88 pp.

Argote-Espinoza, M.L., Amador-Buenrostro, A., y Morales-Zúñiga, C., (1975), Distribución de los Parámetros de Salinidad y Temperatura y Tendencias de la Circulación en la Bahía de Todos Santos, B. C.: Tesis de licenciatura. Escuela Superior de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California.

Ávila-Serrano, G.E., (1983). Volumen de sedimento aportado anualmente a la Bahía de Todos Santos, Baja California, por los arroyos: El Carmen, Ensenada, El Gallo, San Carlos y Las Animas, 1972-1983. Tesis de licenciatura. Escuela Superior de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B.C., México. 36 pp.

- Carrillo-Berumen, R.M., (1998). Dinámica sedimentaria en las inmediaciones de la obra de toma de la central termoeléctrica presidente Juárez en Rosarito, B.C., México. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B.C., México. 134 pp.
- Castillón-Álvarez, R.C., (1988). Transporte de sedimento y su efecto sobre el perfil de playa en Bahía Todos Santos B.C., México. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B.C., México. 57 pp.
- Cervantes-Rosas, O.D., (2008). Diseño de un índice integral (Vip) para evaluar playas recreativas. Tesis de doctorado. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B.C., México. 144 pp.
- Cruz-Colín, M.E., (1994). Balance sedimentario de la Bahía de Todos Santos, B.C., México. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B.C., México. 77 pp.
- Cruz-Colín, M.E. y Cupúl-Magaña, L.E., (1997). Erosión y aporte sedimentario de los cantiles marinos de la Bahía de Todos Santos Baja California, en el periodo de 1970-1991. *Ciencias Marinas* 23(3): 303-315.
- Folk, R. L., (1966). A review of grain size parameters. *Sedimentology.*, 6: 73 – 93.

- García-Palacios, J., (2013). Master Music. Manual para E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid. 29 pp.
- González-Villagrán, A., (1992). Reevaluación de los estudios utilizados para el diseño del puerto de Ensenada, B.C. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California, 126 pp.
- Gómez-Morín, L. y Lizárraga, J.R., (1982). Análisis hipsométrico del puerto de Ensenada, B.C. Ciencias Marinas, 8(2): 7-24.
- Gutiérrez-Serret, R.M., Lozano-Pedroche, J. y Atienza, R., (2003). Los modelos físicos a escala reducida y la simulación de maniobras de buques. Herramientas para el diseño portuario. Organización de los Estados Americanos. Comisión Interamericana de Puertos. 30 pp.
- Lázaro, M., Esperanza M. y Vegas S., (2006). Experiencias en integración de métodos cualitativos y cuantitativos. Barcelona. XV Jornadas de Ingeniería del Software y Bases de Datos. 10 pp.
- León-Diez, R.C., (2008). Evaluación multidisciplinaria de la zona costera de México y propuestas para su manejo sustentable. Tesis de doctorado. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, B.C. México. 207 pp.
- Lizárraga-Arciniega J.R., (1976). Variaciones estacionales de la playa en la Bahía de Todos Santos, Baja California. Ciencias Marinas, 3 (1): 30-50.
- Losada, I.J. y Liu, P.L., (2000). Modelos matemáticos y numéricos para el estudio de la agitación portuaria. Estudio e investigaciones marinas. 1(1): 47-67

- Martínez-Rocha, I.A., (1991). Estudio de vocación de uso de suelo de una región de la Bahía de Todos Santos, municipio de Ensenada, B.C. Tesina de especialidad en Administración de recursos marinos. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, B.C. México. 46 pp.
- Medina-Enríquez, P., (1993). Anteproyecto de un modelo hidráulico del Puerto del Sauzal. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B.C., México. 83 pp.
- Méndez-Arriaga, M., (1982). Determinación del transporte litoral predominante en la Bahía de Todos Santos, B.C. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B.C., México. 30 pp.
- Ortiz-Figueroa. M., (2009). Agitación por oleaje en el puerto de Ensenada, Baja California, México. Medidas de atenuación. Revista GEOS, 29(2): 240-249.
- Pérez-Higuera, R. y Chee-Barragán, A. (1984). Transporte de sedimento en la Bahía de Todos Santos. B.C., Ciencias Marinas. 10(3):31-52
- Rosas-Gómez, R., (2008). Propuesta de plan de manejo para la playa municipal de Ensenada, Baja California, México. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. 110 pp.

Royse, Ch. 1970. An introduction to sediment analysis. Arizona State University. 130 pp.

Rubio-Orozco, V.M., (1987). Determinación de las zonas de mayor erosión y depositación en una playa de la Bahía de Todos Santos, Baja California. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B.C., México. 38 pp.

Silva-Iñiguez, L., (2002). Evaluación de la basura marina en la playa municipal de Ensenada B.C., México. Tesis de doctorado. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B.C., México. 180 pp.

Shepard, F.P., (1950). Beach cicles in Southern California U.S. beach erosion board, Tech. Memo. No. 20.

Ulloa-Torres, M.J., (1989). Refracción lineal del oleaje en el puerto de Ensenada, B.C., Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B.C., México. 48 pp.