



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA



FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

LICENCIATURA EN OCEANOLOGÍA

**“Modelación de la dispersión de contaminantes en la boca del Estero de Urías,
Mazatlán, Sinaloa.”**

TESIS

**Que para obtener el título de
Oceanólogo**

Presenta:

Omar Guillermo Montes González

Ensenada, Baja California, México. Mayo de 2011

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

“Modelación de la dispersión de contaminantes en la boca del Estero de Urías, Mazatlán,
Sinaloa.”

TESIS

Que para obtener el título de Oceanólogo

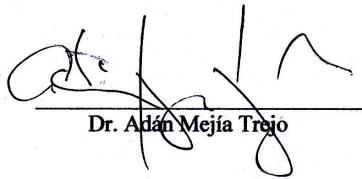
PRESENTA

Omar Guillermo Montes González

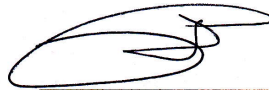
Aprobado por:



Dr. Fernando Marván Gargollo



Dr. Adán Mejía Trejo



Dr. Rafael Hernández Walls

Dedicatoria

Este trabajo lo dedico a toda mi familia por estar conmigo apoyándome en todo momento en especial a mi madre, mi padre y mi hermano.

Agradecimientos

A la Universidad Autónoma de Baja California, por el apoyo otorgado, en especial a la Facultad de Ciencias Marinas y a elementos tan valiosos como el Dr. Juan Guillermo Vaca Rodríguez, la Dra. Beatriz Martín Atienza y la Psic. Carmen Gpe. Meza Martínez por su apoyo constante durante mi formación profesional.

Se agradece al Fondo Sectorial CONAGUA-CONACyT a través del proyecto no. 085208 “Dispersión de contaminantes por corrientes costeras y difusión en playas de la bahía de Mazatlán” cuyo responsable es el Dr. Omar Calvario Martínez, la beca otorgada para el desarrollo de esta tesis.

A mi director de Tesis Dr. Fernando Marván Gargollo por su paciencia, consejos y enseñanzas durante la realización de la tesis.

A mi comité de tesis Dr. Adán Mejía Trejo y Dr. Rafael Hernández Walls por la revisión, por los apoyos y por compartir sus conocimientos.

A todos mis amigos y compañeros por sus consejos tan valiosos.

A mi novia por el apoyo incondicional en toda circunstancia.

Resumen:

La playa constituye uno de los activos más importantes de los recursos costeros. Son sistemas naturales frágiles. El puerto de Mazatlán, el cual se ubica en el Estero de Urías, se caracteriza por recibir una gran variedad de descargas. Es necesario implementar métodos de evaluación que permitan conocer el estado de las playas, para evitar su degradación y mantener eficientes los servicios. El objetivo del presente trabajo es determinar mediante la aplicación de un modelo numérico si las descargas del emisor submarino y del Estero de Urías tienen un efecto negativo en las playas recreativas de Mazatlán, Sinaloa. Resulta necesario ajustar y validar un modelo hidrodinámico y de transporte, razón por la cual se llevan acabo mediciones de oleaje, viento, corrientes y boyas de deriva, para observar el transporte de contaminantes. El modelo se calibró hidrodinámicamente, utilizando datos en la boca del Estero de Urías provenientes del ADP y las boyas de deriva. Teniendo el campo de corrientes definido entonces se procedio a implementar la dispersion de particulas. Se aplicaron escenarios de simulación con diferentes condiciones de marea, viento, descarga así como diferentes cargas de contaminantes y de esta manera evaluar las condiciones actuales del sistema bajo diferentes escenarios. El comportamiento de las corrientes aunado a la ubicación del emisor submarino muestra una eminente dirección de las partículas provenientes del emisor hacia la zona de la Bahía de Mazatlán, lo cual potencialmente puede generar problemas de contaminación.

Palabras Clave: Mazatlán, Modelación, Contaminantes.

Índice

1. Introducción	1
1.1 Hipótesis	2
1.2 Objetivo	2
1.3 Descripción del área de estudio	3
2. Metodología	4
2.1 Trabajo de campo.....	5
2.2 Modelación Numérica.....	8
3. Resultados	11
3.1 Datos	11
3.1.1 Viento.....	11
3.1.2 Mareas.....	12
3.1.3 Boyas.....	13
3.1.4 ADP	28
3.2 Modelo.....	32
3.2.1 Implementación y Calibración.....	32
3.2.2 Validación de Corrientes	33
3.2.3 Validación de Partículas	38
4. Discusión	46
5. Conclusiones.....	47
6. Referencias Bibliográficas.....	48

1. Introducción

La playa constituye uno de los activos más importantes de los recursos costeros. Son sistemas naturales frágiles y dinámicos porque en su estructura, función y procesos intervienen un gran número de factores de diferente escala y magnitud. Reconocer a la playa como un ecosistema, permite identificarla como proveedora de bienes y servicios ambientales que satisfacen determinadas necesidades humanas de forma directa e indirecta. (James, 2000)

Entre otros rasgos las playas ofrecen diferentes servicios a la población y al medio ambiente entre los que destacan los de recreación, protección contra eventos de tormenta, extracción de minerales, así como sitios para la protección, anidación, alimentación y reproducción de distintas especies (Enríquez, 2004). El valor más representativo de estas áreas es el de recreativo debido a que tienen una gran afluencia de visitas locales y extranjeras. (Farrell, 1986)

La mayoría de los problemas asociados al desarrollo turístico caen dentro de las categorías, biofísicas y socioeconómicas. Las características biofísicas consisten en lo relacionado con el medio ambiente, mientras las socioeconómicas con la población y sus necesidades. Los problemas ambientales incluyen impactos en el medio abiótico y biótico a causa de la creación de infraestructura turística como hoteles, parques, campos de golf, marinas y estructuras sobre la costa, las cuales alteran el paisaje natural y causan cambios estructurales o contaminación, sobre pesca y generación de basura (Kay y Alder en Enríquez, 2003).

El puerto de Mazatlán, el cual se ubica en el Estero de Urías (Fig. 1.1), se caracteriza por recibir una gran variedad de descargas, las cuales son muy variables en naturaleza; los desechos municipales e industriales y las aguas de enfriamiento de la termoeléctrica son los principales aportes inducidos. Adicionalmente la presencia de embarcaciones pequeñas y de gran calado, como la flota camaronera, petrolera, mercante y turística, constituyen otra posible fuente de desechos (Osuna, I., 1986).

La planta tratadora de aguas negras, conocida como Planta "El Crestón" inició su construcción en 1983, siendo inaugurada en agosto de 1984, pero no fue sino hasta 1995 cuando se concluyó el emisor submarino (Fig. 1.1) para el desalojo de las aguas residuales, es decir, esta Planta es el cuerpo receptor de todas las aguas negras que se generan en la ciudad de Mazatlán. (JUMAPAM, 2010) El emisor submarino esta ubicado aproximadamente a 20 metros de profundidad.

Es necesario implementar métodos de evaluación que permitan conocer el estado de las playas, para evitar su degradación y mantener eficientes los servicios que se derivan de este ambiente, ya que para algunas regiones turísticas son el centro de la actividad económica. (Romeo, P., 2009)

Resulta necesario ajustar y validar un modelo hidrodinámico y de transporte, razón por la cual se llevan acabo mediciones de oleaje, viento, corrientes, trazadores y de ser necesario de calidad del agua, para observar el transporte de contaminantes. Con tales mediciones se ajustan ciertos parámetros del modelo a fin de que éste refleje en mayor proporción el comportamiento real de las corrientes y de transporte. Una vez que los resultados del modelo son satisfactorios. (JUMAPAM, 2001)

JANAPAM (2001), realizó una modelación numérica de la zona en donde utilizó un programa denominado "mike 21", estableció que a partir de algunas pruebas la marea no era significativa en el patrón de corrientes, por lo que solamente se incluyo al viento y al oleaje.

1.1 Hipótesis

Las descarga del emisor submarino alrededor del estero de Urías contamina considerablemente las playas recreativas en Mazatlán, Sinaloa.

1.2 Objetivo

Determinar mediante la aplicación de un modelo numérico si las descargas del emisor submarino y del Estero de Urías tienen un efecto negativo en las playas recreativas de Mazatlán, Sinaloa.

1.3 Descripción del área de estudio

El Estero de Urías está situado entre los paralelos $23^{\circ}10'30''$ y $23^{\circ}12'54''$ de latitud Norte y los meridianos $106^{\circ}27'18''$ y $106^{\circ}21'54''$ de longitud Oeste (Fig. 1.1). Se ubica dentro del municipio de Mazatlán, en la porción Suroccidental del estado de Sinaloa, el cual forma parte de la llanura costera Noroeste, comprendida entre el litoral del Océano Pacífico y la Sierra Madre Occidental. Mazatlán se encuentra ampliamente comunicado por vía terrestre, marina y aérea. (PEMEX, 1992) Lankford (1977) clasifica a este sistema como del tipo IIIB (IIIA), es decir laguna costera con barrera de plataforma interna, aunque de acuerdo a Pritchard (1967) puede considerarse como un antiestero.

El puerto de Mazatlán tiene una larga tradición marítima. Se aprovecha el Estero de Urías, con la construcción del antepuerto mediante la unión de las Islas La Piedra y Los Chivos y posteriormente la unión de las Islas De Soto y De Belvedere con la Isla La Piedra, quedando su configuración actual con la construcción de los rompeolas de Chivos y del Crestón, del faro de señalamiento y de las diferentes señales luminosas y luces de enfilación, complementadas con boyas que delimitan el canal de acceso y la dársena portuaria (PEMEX, 1992). El cuerpo de agua presenta una morfología típicamente lagunar con los ejes de orientación paralelos a la línea de costa.

El canal de Navegación en el Estero de Urías tiene un volumen aproximado de $9,200,000 \text{ m}^3$, su anchura mínima es de 90 m, la máxima de 345 m; su longitud es de 6 Km. y tiene un canal de acceso de 1.5 km. La profundidad en la boca es de 14.5 m y un ancho de plantilla de 130 m, con una profundidad promedio en el canal de navegación de 10.5 m y algunas zonas del estero tienen solamente un metro (PEMEX, 1992). El área total del estero es estimada en 15 km^2 y su volumen mínimo calculado es de $82,500,000 \text{ m}^3$ (Osuna, I., 1986).

El puerto de Mazatlán actualmente recibe aportes de las descargas industriales, municipales ($800 \text{ m}^3/\text{hr}$) y de la planta termoeléctrica $28,000 \text{ m}^3/\text{hr}$, (Álvarez-León, 1980). Temporalmente y sobre todo en época de lluvias, el cuerpo lagunar recibe aguas de escurrimiento mediante un complejo sistema de esteros. (Osuna, I., 1986) Los

principales recursos hidrológicos superficiales del municipio los constituyen los ríos Presidio y Quelite y los arroyos del Zapote, La Noria y los Cocos.

El Estero de Urías contiene especies naturales, industrias, granjas de acuacultura y una termoeléctrica. El entendimiento del régimen hidrodinámico del Estero de Urías es esencial para un desarrollo futuro así como el mantenimiento de la calidad del agua y la preservación de los recursos pesqueros (Montaño-Ley, 2008).

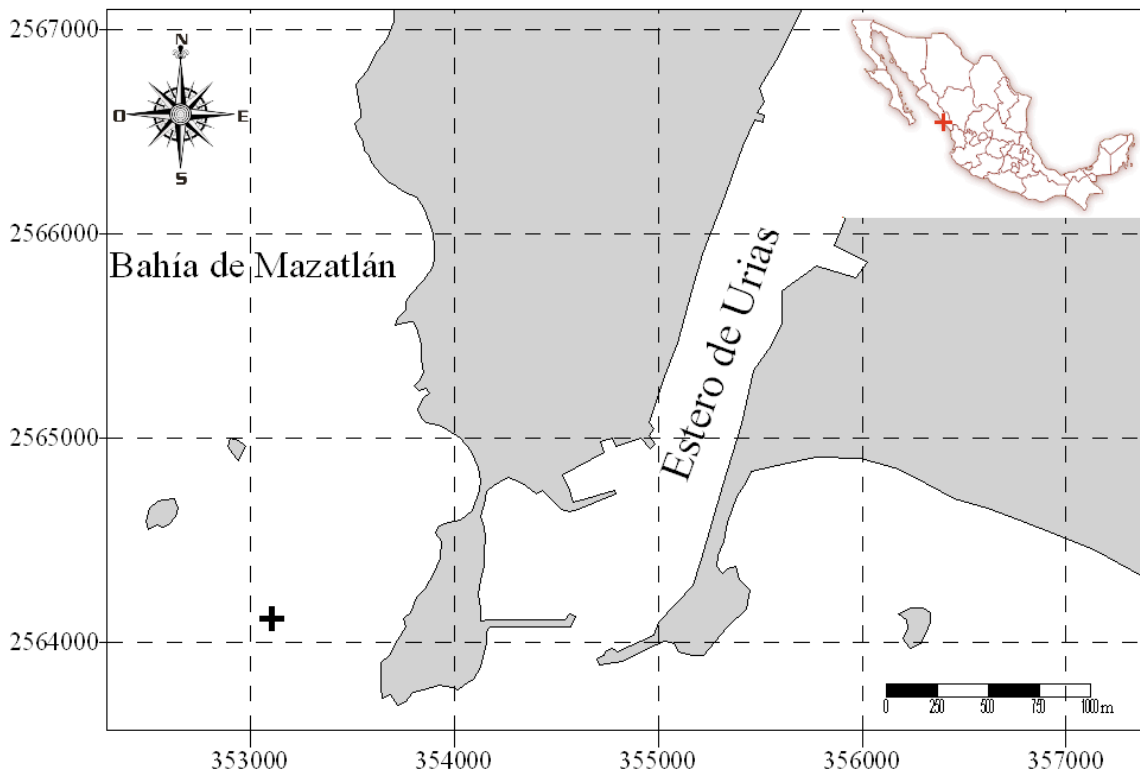


Figura 1-1 Zona de estudio con la ubicación del emisor submarino. (+ ubicación del emisor)

2. Metodología

Se diseñó un plan de monitoreo en la zona costera, cerca de la salida del emisor submarino y la boca del Estero de Urías para medición de variables oceanográficas. El calendario de trabajo de campo incluyó llevar a cabo 4 salidas, la primera en septiembre del 2009, la segunda en febrero del 2010, la tercera en Marzo-Abril del 2010 y la cuarta en Junio del 2010 (Tabla I). Posteriormente se procedió a procesar las variables

oceanográficas, tomadas en estas salidas para ser utilizadas en la calibración del modelo numérico.

Tabla I Calendario de mediciones realizadas durante el trabajo de campo de las 4 campañas. (- No hay medición, • si hay medición)

Mes	Septiembre 2009																														
Variables/Dia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Mareas	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
Viento	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
Boyas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Transectos(ADP)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Fijo(AWAC)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Mes	Febrero 2010																														
Variables/Dia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28			
Mareas	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•			
Viento	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•			
Boyas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Transectos(ADP)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Fijo(AWAC)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Mes	Marzo 2010																														
Variables/Dia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Mareas	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
Viento	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
Boyas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	•	•	
Transectos(ADP)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	•	•	
Fijo(AWAC)	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
Mes	Abril 2010																														
Variables/Dia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Mareas	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
Viento	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
Boyas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Transectos(ADP)	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Fijo(AWAC)	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
Mes	Junio 2010																														
Variables/Dia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Mareas	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
Viento	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
Boyas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Transectos(ADP)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Fijo(AWAC)	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	

2.1 Trabajo de campo

El equipo para las mediciones de corrientes incluyó un perfilador acústico de corrientes Doppler (ADP) SONTEK de 1000 Khz. (Figura 2-1) el cual fue utilizado en modo de arrastre, perfilando corrientes a diferentes profundidades sobre la columna de agua. Este aparato esta equipado con un detector de fondo de tal forma que resta la velocidad de la embarcación al flujo medido, el equipo se programa para promediar velocidades en un periodo de 30 s, de forma simultanea colecta datos de un posicionador

global de satélite (GPS marca Garmin modelo GPSMAP 76 que incluye el sistema WAAS de correlación de posicionamiento) unido a este mediante un cable USB-puerto serial RS232. Integra en un solo archivo velocidades y posición de tal forma que es posible determinar la variación espacio-temporal del campo de velocidades, su rango de velocidades varía de ± 10 m/s resolución de 0.1cm/s y una precisión de $\pm 1\%$ de la velocidad medida.

El ADP (Figura 2-1) se instaló en una estructura no magnética, y se monto en el bordo de la embarcación mediante abrazaderas, antes de mover la embarcación se calibró la brújula del ADP y el sensor de presión, asimismo se estimó la profundidad a la que queda sumergido el sensor. Se colectaron datos estacionarios durante 5 minutos para obtener una magnitud del flujo en el lugar y navegar a una velocidad menor o igual que la del flujo. Mediante los haces sonicos del ADP se pudieron perfilar corrientes a diferentes profundidades. Se muestreo perfiles cada segundo y posteriormente se promedio 30 de estos, estimando la velocidad promediada de 30 perfiles por cada capa. La velocidad se estimo mediante un doble haz, que diferencia a los blancos acústicos presentes en la columna de agua del movimiento de la embarcación. Posteriormente se integró las velocidades y la posición del GPS con el programa provisto por el fabricante del ADP. El procesamiento de estos datos posterior al uso del programa del fabricante se llevo mediante el programa MATLAB.

Se utilizó una estación meteorológica localizada en el Hotel El Cid (23 15' 19.42" N , 106 27' 3.30" W), de la ciudad de Mazatlán. La estación colectó datos de viento cada media hora, se cuenta con una base de datos anuales con los cuales se analizó el comportamiento de viento y la corriente entre otros.

Para determinar la variación temporal de la velocidad del flujo que entra y sale por la boca del estero de Urías, se desplegó a una profundidad de ± 12 m un segundo Perfilador Acústico de Corrientes modelo AWAC (Figura 2-2) que fue programado para colectar datos de corrientes en capas de 1m y promediando 120s de datos de corrientes. Este aparato permaneció en el fondo con las coordenadas N 23.17824, 106.41910W hasta concluir el experimento de campo.

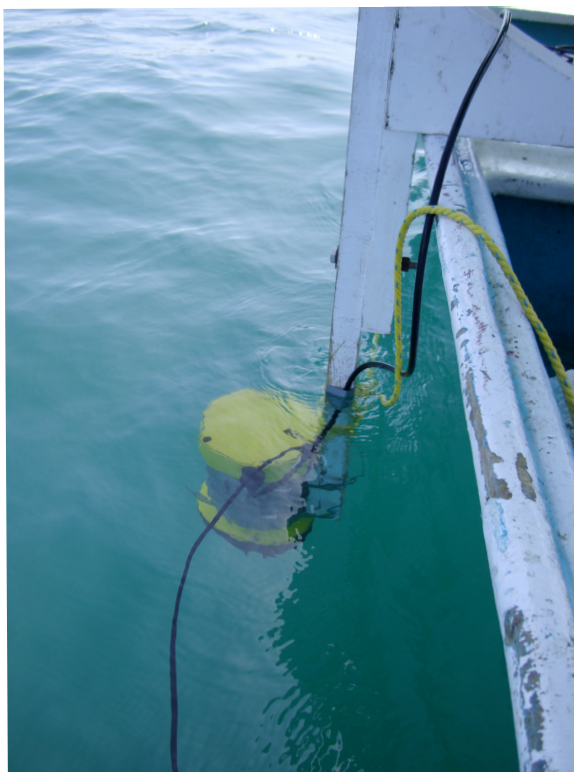


Figura 2-1 ADP instalado sobre la embarcación, realizando las mediciones.



Figura 2-2 Estructura y equipo en el cual esta montado el perfilador acústico de corrientes AWAC.

Se obtuvieron corrientes a partir de la medición de trayectorias de boyas de deriva colocadas alrededor del área de estudio. Las boyas fueron identificadas con diversos colores y se soltaron a la deriva. Estas cuentan con un sistema integrado de GPS (Figura 2-3) el cual permitió seguir la trayectoria de la boya con coordenadas precisas.

2.2 Modelación Numérica

La modelación, se llevó acabo mediante el programa SMS, por sus siglas en ingles *Surface-water Modeling Solution*(Solución de Modelaje de la superficie del agua), de la compañía Aquaveo. El programa SMS es una solución para manejar eficientemente el modelaje de los procesos de la superficie del agua, desde importar datos topográficos y hidráulicos hasta visualizar y analizar las soluciones. Dentro del programa se incluye análisis de flujo en ríos, transporte de contaminantes, transporte de sedimentos, seguimiento de partículas, inundaciones rurales y urbanas, circulaciones costeras y propagación de oleaje.



Figura 2-3 Boyas de deriva con GPS integrado.

El programa SMS basa sus resultados en distintos modelos matemáticos comerciales y gubernamentales, entre los que figuran el ADCIRC aplicado extensamente circulación costera e inundaciones costeras, desarrollado comercialmente. El CMS-Flow, que consta de un conjunto de modelos que simula una amplia variedad de procesos

costeros. El HYDRO AS-2D, desarrollado comercialmente en Alemania que accede a través de la interfaz de modelo genérico. El TABS que consta en un conjunto de modelos para la solución de la hidrodinámica y los problemas de transporte, gestionada por el Cuerpo de Ingenieros. El TUFLOW, modelo de diferencias finitas combinado con los modelos 1D/2D, gestión de simulación avanzada para la costa. El PTM, modelo de seguimiento de partículas Lagrangianas basado en la hidrodinámica de entrada y los efectos de las olas.

La modelación incluyó de primera instancia la implementación de una malla. Cada celda de la malla cuenta con información batimétrica y de coeficiente de fricción. La interfase SMS utiliza la poligonal de la línea de costa e islas para generar celdas inactivas (tierra firme). En este estudio se implementaron varias mallas y finalmente se obtuvo buena resolución con una malla de 50 m lo cual da un dominio de 80 x 102 celdas (Figura 2-3).

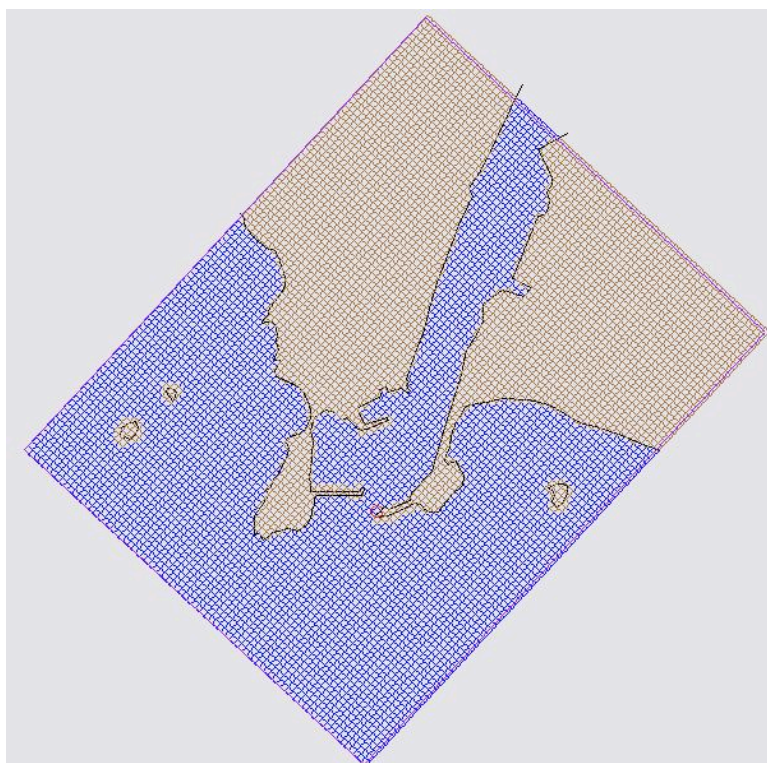


Figura 2-4 Malla determinada para la utilización del programa SMS.

Los datos batimétricos fueron adquiridos mediante interpolación de la carta de navegación de la SEMAR. (Figura 2-5).

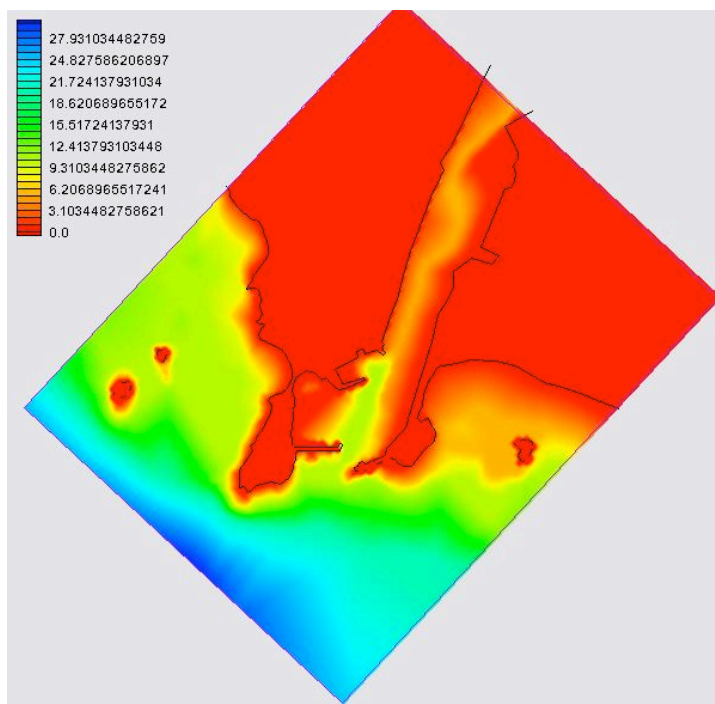


Figura 2-5 Batimetría de la zona de estudio en metros.

Posteriormente se especificaron las condiciones de frontera (la descarga en el Estero de Urías, las mareas en fronteras abiertas es decir con el cambio en el nivel del mar, y la descarga del emisor). Se calibró hidrodinámicamente, utilizando datos en la boca del Estero de Urías provenientes del ADP y las boyas de deriva. Teniendo el campo de corrientes definido entonces se procede a implementar el PTM. La calibración de advección y difusión se llevó acabo mediante los datos de deriva de las boyas. Finalmente se aplicaron escenarios de simulación con diferentes condiciones de marea, viento, descarga así como diferentes cargas de contaminantes y de esta manera evaluar las condiciones actuales del sistema bajo diferentes escenarios.

3. Resultados

3.1 Datos

3.1.1 Viento

Los datos anuales de la estación meteorología en Mazatlán, muestran distintas magnitudes de viento, así como de distintas direcciones predominantes del periodo de enero del 2009 a mayo del 2010. En la Figura 3-1 se observan las distintas magnitudes del viento que se encuentran desde 0 m/s hasta 8 m/s. En la Figura 3-2 se observan los resultados del viento el promedio de la magnitud es de (2.71 ± 1.1) m/s y de la dirección de $(233.4 \pm 94.96)^\circ$ así mismo se muestra mas claramente el comportamiento en la localidad, en lo que respecta a dirección y magnitud. Con una predominancia de mas del 10% se observan dos direcciones principales durante el año, una a los 290° y otra a los 260° ambas con magnitudes de hasta 6 m/s. Durante gran parte del año, a excepción de eventos extemporáneos las direcciones de mayor incidencia se ubican entre los 250° y 350° .

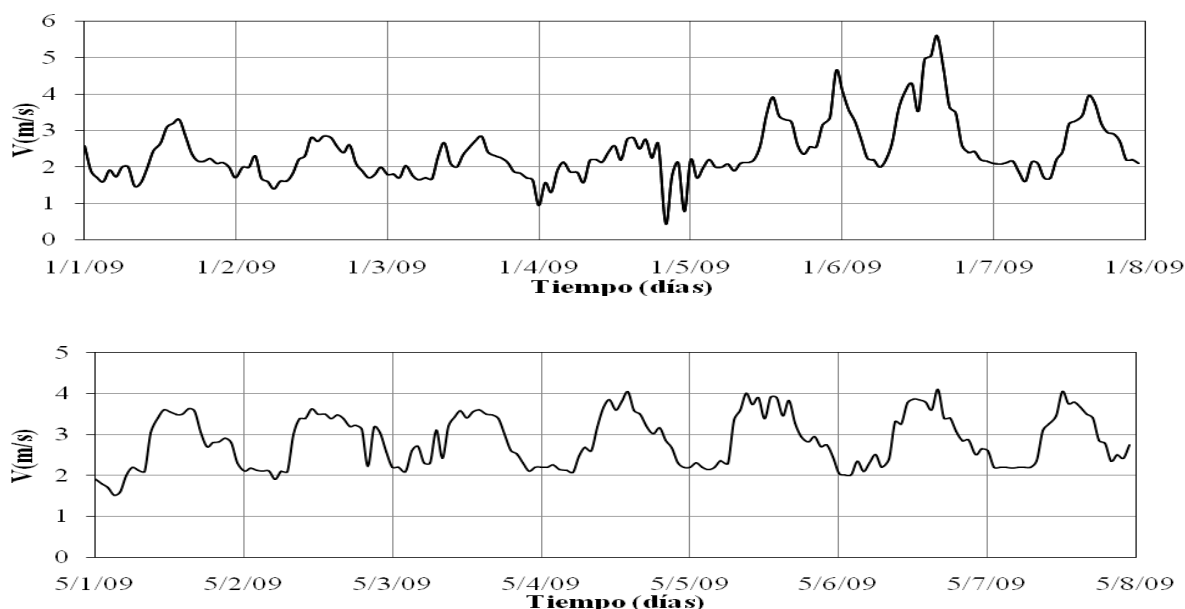


Figura 3-1 Magnitud de la velocidad del viento típico para Mazatlán, Sin., para Enero (a) y Mayo (b).

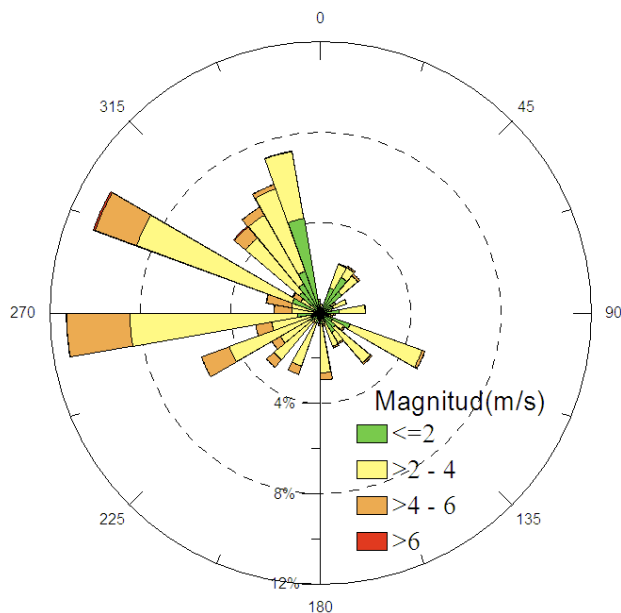


Figura 3-2 Magnitud y dirección del viento para Mazatlán, Sin., periodo de enero del 2009 a mayo del 2010.

3.1.2 Mareas

En la Figura 3-3 se presentan los datos anuales de la marea en Mazatlán los cuales muestran una variación periódica en la altura con un mínimo en -0.6 m y un máximo en los 1.7 m. En los meses de la estación de verano se ve un aumento significativo de altura con respecto al resto de los meses, lo cual indica una variación estacional en el ciclo de mareas.

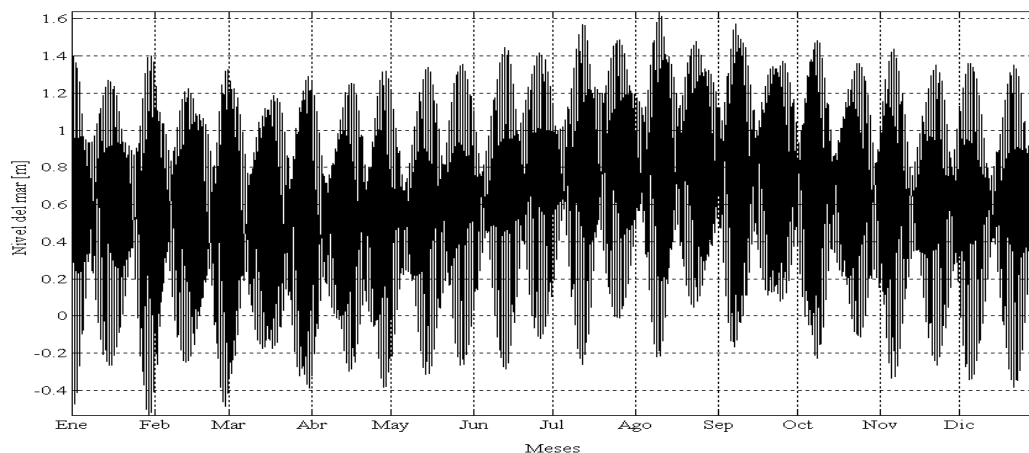


Figura 3-3 Nivel medio del mar para Mazatlán, Sin., periodo de enero del 2010 a Diciembre del 2010.

3.1.3 Boyas

Se hicieron experimentos de liberación de boyas cada una con diferentes color, cuyos tiempos y condiciones de marea de la primera salida de campo que se realizó del 20 al 25 de septiembre y se muestran en la Figura 3-4 . La Tabla II muestra la hora exacta, la fecha y la duración del experimento durante la primera salida de campo.

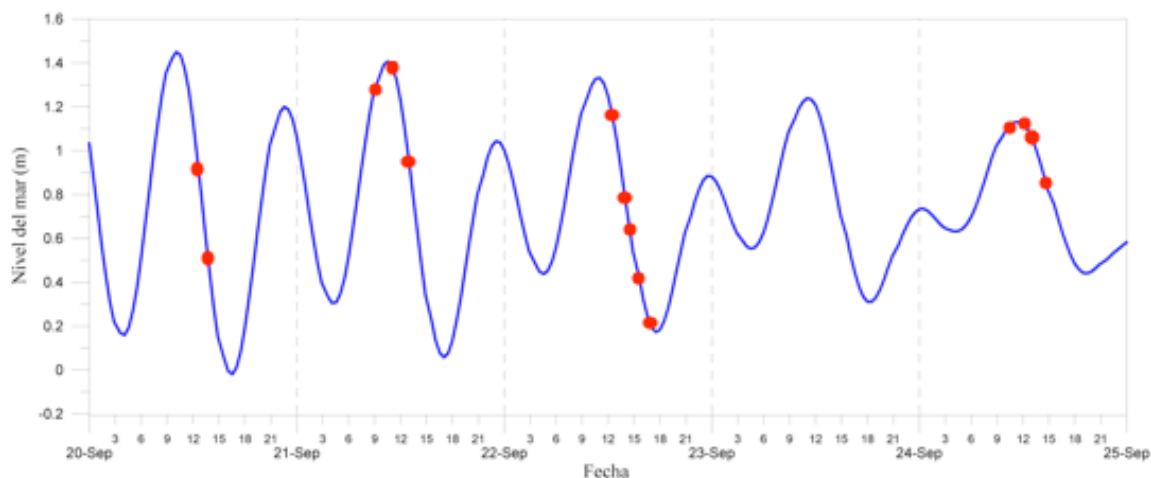


Figura 3-4 Condiciones de marea durante el periodo de muestreo de la salida 1 y tiempos de medición (puntos).

La figura 3-5 muestra el experimento 1 y 2 con boyas el 20 de septiembre del 2009 el cual se realizó durante la marea de reflujo, ambos experimentos reflejan una trayectoria de las boyas que se dirigen al sureste, el experimento 1 muestra un giro y una dispersión entre las boyas mientras que el experimento 2 de igual forma pero en un grado de separación menor, el promedio de velocidades en estos experimentos es de 0.1 m/s.

Los experimentos 3, 4 y 5 (Figura 3-6) se realizaron el día 21 de septiembre del 2009, los experimentos 3 y 4 durante la marea ascendente y el experimento 5 durante la marea descendente. En términos generales se puede decir que la distancia entre las boyas se conserva, para el experimento 5 se detecta un giro a favor de las manecillas del reloj por encima del difusor submarino.

Tabla II Características de los experimentos de boyas de deriva que comprende la salida 1.

Experimento	Fecha	Hora de inicio	Hora final	duración	Zona
1	9/20/09	11:57	13:26	79	I
2	9/20/09	13:35	14:30	55	I
3	9/21/09	8:45	10:00	75	I
4	9/21/09	10:30	12:20	110	I
5	9/21/09	12:23	13:52	89	I
6	9/22/09	12:05	13:30	85	II
7	9/22/09	13:40	14:00	20	II
8	9/22/09	14:38	14:55	17	II
9	9/22/09	15:15	15:28	13	II
10	9/22/09	16:20	16:55	35	I
11	9/24/09	10:32	11:04	32	III
12	9/24/09	11:50	12:29	39	I
13	9/24/09	12:38	13:06	28	I
14	9/24/09	14:54	15:34	40	III

Tabla III Velocidad de desplazamiento de las boyas de deriva

Experimento	Velocidad promedio m/s				
	Azul	Naranja	Verde	Rosa	Promedio
1	0.08	0.08		0.06	0.07
2	0.14	0.15		0.15	0.15
3	0.15	0.12	0.16	0.14	0.14
4	0.09	0.07	0.06	0.05	0.07
5	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
6	0.17	0.17	0.15	0.17	0.17
7	0.57	0.52	0.42	0.54	0.51
8	0.58	0.48	0.12	0.43	0.40
9	0.15	0.17	0.15	0.17	0.16
10	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
11	0.07	0.08	0.08	0.07	0.08
12	0.28	0.28	0.27	0.27	0.28
13	0.23	0.25	0.26	0.18	0.23
14	0.05	0.08	0.06	0.06	0.06

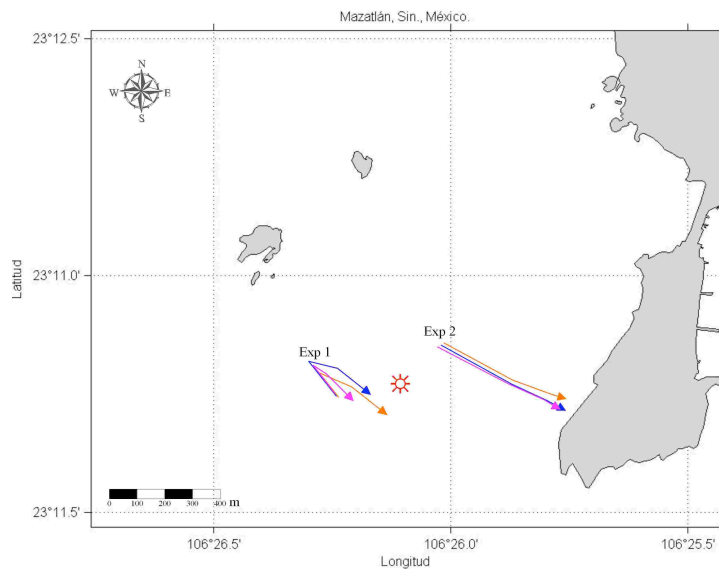


Figura 3-5 Trayectoria de Boyas en Mazatlán, Sin., el 20 de septiembre del 2009.

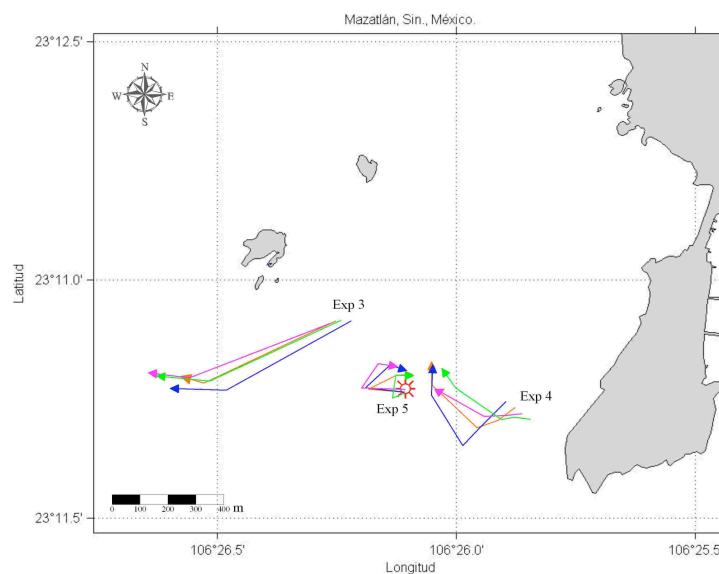


Figura 3-6 Trayectoria de Boyas en Mazatlán, Sin., el 21 de septiembre del 2009.

Los experimentos en la Figura 3-7 se realizaron durante el refluo de marea, las boyas de los experimentos del 6 al 8 muestran una dispersión significativa, las boyas se dirigen hacia el suroeste, en cuanto al experimento 9 tienen una dirección hacia el este y se conserva la separación entre las boyas, lo cual indica poca dispersión.

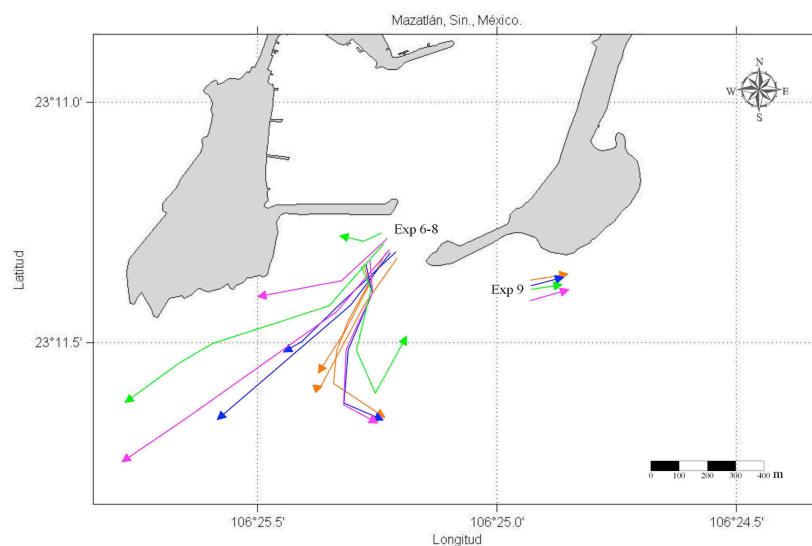


Figura 3-7 Trayectoria de Boyas en Mazatlán, Sin., el 22 de septiembre del 2009.

Las boyas en la Figura 3-8 experimento 12 y 13, presentan una trayectoria hacia el noroeste. Durante la marea de reflujo, se observa la dispersión entre las boyas, respecto al experimento 10 las boyas permanecen cerca del lugar que se depositaron, lo cual indica que hay una diferencia significativa en las velocidades.

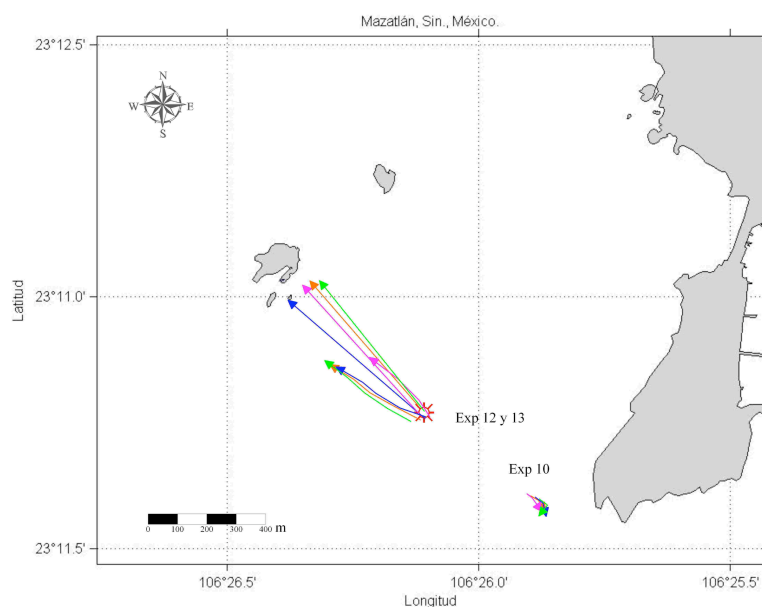


Figura 3-8 Trayectoria de Boyas en Mazatlán, Sin., el 22 y 24 de septiembre del 2009.

Evaluando la parte exterior oeste del Estero de Urías en los experimentos 11 y 14 ambos en marea de reflujo, el experimento 11 describe una trayectoria al oeste y se observa dispersión entre las boyas, por otro lado en el experimento 14 las boyas se dirigen hacia el norte.

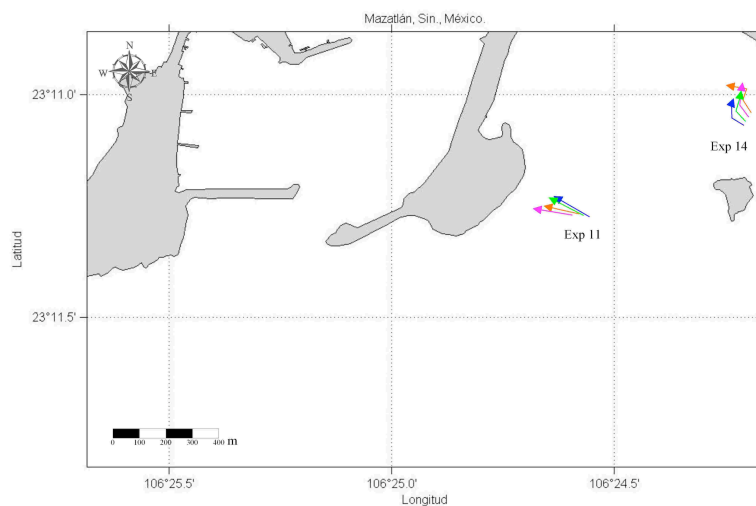


Figura 3-9 Trayectoria de Boyas en Mazatlán, Sin., el 24 de septiembre del 2009.

La segunda salida de campo se realizó en Febrero del 2010 se liberaron de la misma manera boyas de diferente color, las condiciones de marea durante los experimentos de boyas se muestra en la Figura 3-10 , la Tabla III muestra la hora y la duración de los experimentos.

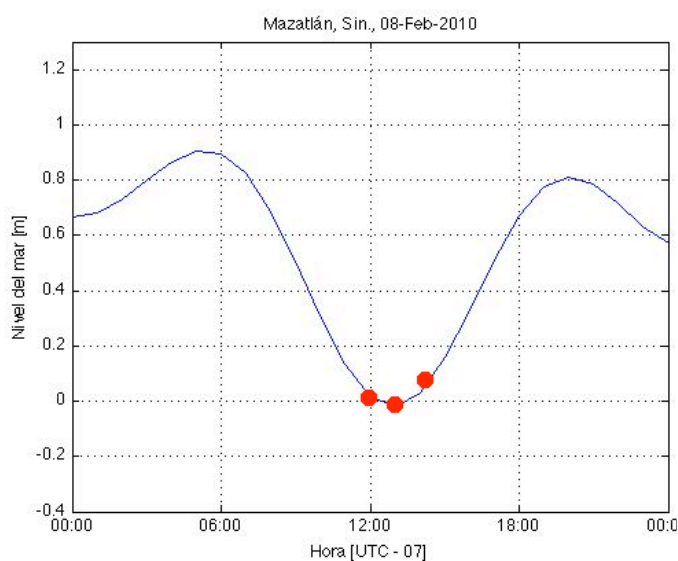


Figura 3-10 Condiciones de marea durante el periodo de muestreo de la salida 2 y tiempos de medición (puntos).

Tabla IV Características de los experimentos de boyas de deriva que comprende la salida 2.

Experimento	Fecha	Hora Inicio	Hora final	Duración
1	2/8/10	11:32	12:42	1:10
2	2/8/10	13:15	14:27	1:12
3	2/8/10	2:56	3:13	0:17

Tabla V Velocidad de desplazamiento de las boyas de deriva

Experimento	Velocidad promedio m/s					
	Amarillo	Azul	Coco	Naranja	Rosa	Promedio
1	0.16	0.16	0.16	0.21	0.16	0.17
2	0.14	0.14	0.13	0.36	0.15	0.18
3	0.31	0.33	0.28	0.34		0.32

En la Figura 3-11 se observa la trayectoria de las boyas colocadas sobre el emisor submarino, estas tienen una dirección hacia el sur en la transición a marea baja, la boya naranja toma una trayectoria perpendicular al resto.

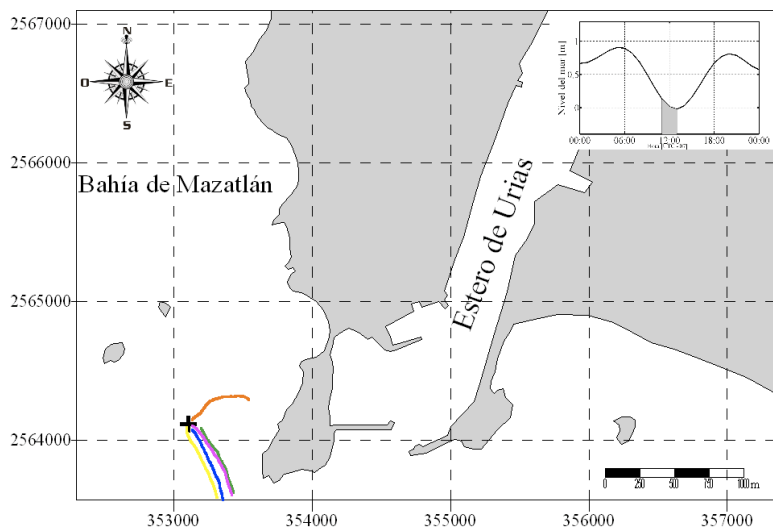


Figura 3-11 Trayectoria de Boyas en Mazatlán, Sin., el 8 de febrero del 2010.

En la Figura 3-12 se observa que la trayectoria de las boyas en la transición a marea alta van ingresando con una dirección hacia el noreste es decir hacia el interior del estero de Uriás.

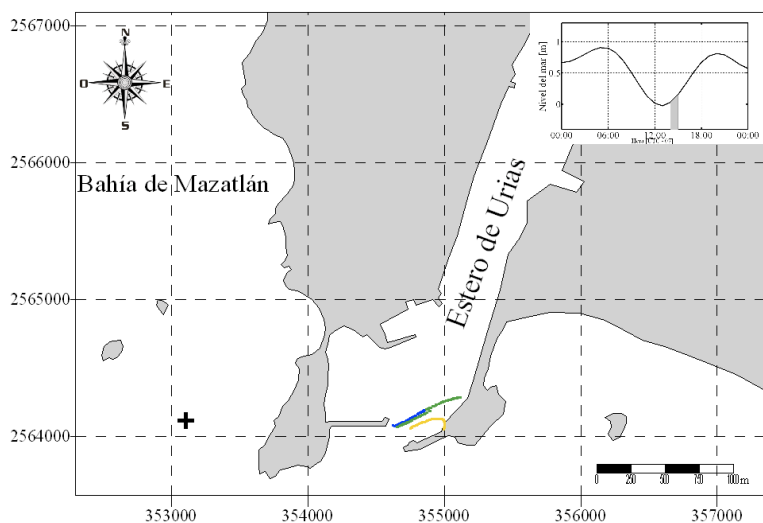


Figura 3-12 Trayectoria de Boyas en Mazatlán, Sin., el 8 de febrero del 2010.

La tercera salida de campo se realizó en Marzo-abril del 2010, las condiciones de marea durante los experimentos de boyas se muestra en la Figura 3-13 , la Tabla IV muestra la hora y la duración de los experimentos.

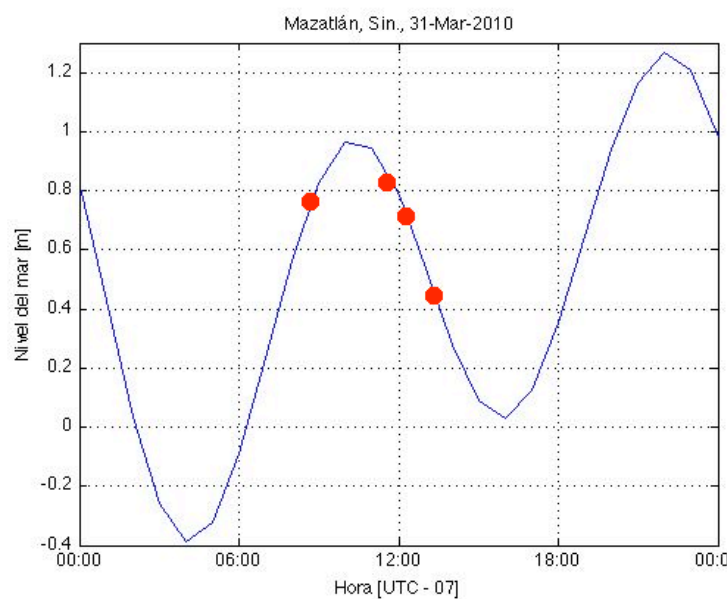


Figura 3-13 Condiciones de marea durante el periodo de muestreo de la salida 3 (experimentos 2-5) y tiempos de medición (puntos).

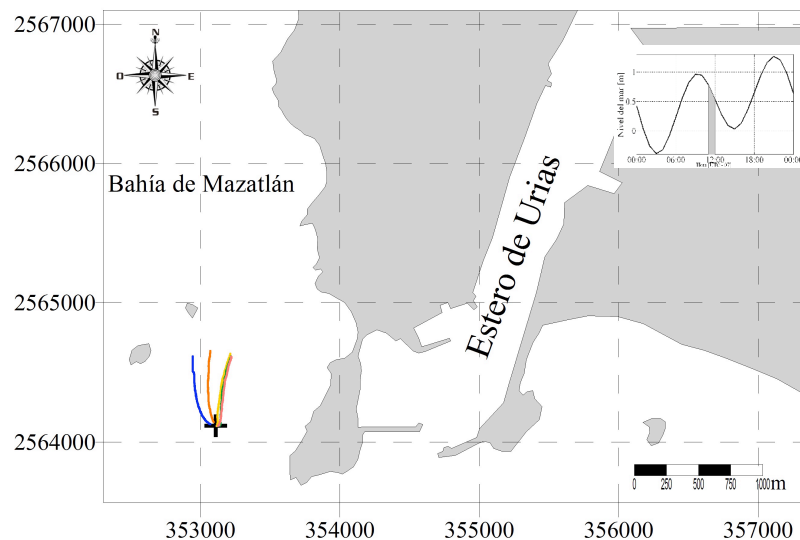
Tabla VI Características de los experimentos de boyas de deriva que comprende la salida 3.

Experimento	Fecha	Hora Inicio	Hora final	Duración
1	3/31/10	9:46	10:28	0:42
2	3/31/10	10:54	12:01	1:07
3	3/31/10	12:39	13:08	0:29
4	3/31/10	13:23	13:48	0:25
5	4/1/10	9:28	9:43	0:15
6	4/1/10	10:22	10:39	0:17
7	4/1/10	10:50	11:02	0:12
8	4/1/10	11:26	12:20	0:54
9	4/1/10	14:03	14:20	0:17
10	4/1/10	14:29	15:13	0:44
11	4/1/10	15:22	15:56	0:34

Tabla VII Velocidad de desplazamiento de las boyas de deriva

Experimento	Velocidad Promedio m/s					
	Amarillo	Azul	coco	Naranja	Rosa	Promedio
1	0.59		0.62	0.60		0.60
2	0.25	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
3	0.22	0.22	0.23	0.22	0.24	0.23
4	0.26	0.25	0.19	0.18	0.25	0.23
5	0.15	0.17	0.17	0.16	0.16	0.16
6	0.07	0.11	0.18	0.13	0.11	0.12
7	0.25	0.25	0.25	0.27	0.25	0.26
8	0.12	0.16	0.16	0.15	0.11	0.14
9	0.35	0.36	0.34	0.36	0.42	0.37
10	0.18	0.16	0.16	0.17	0.17	0.17
11	0.17	0.19	0.15	0.18	0.19	0.17
12	0.31	0.31	0.38	0.36	0.26	0.32

La figura 3-14 refleja una trayectoria de las boyas hacia el norte y se aprecia una dispersión considerable, comienzan con una dirección hacia el noroeste pero terminan dirigiéndose al noreste.

**Figura 3-14 Trayectoria de Boyas en Mazatlán, Sin., el 31 de marzo del 2010.**

En la Figura 3-15 se observa que la trayectoria de las boyas sobre el emisor submarino durante la transición a marea baja tienden a ir hacia la línea de costa, en dirección norte, con una dispersión uniforme entre las boyas.

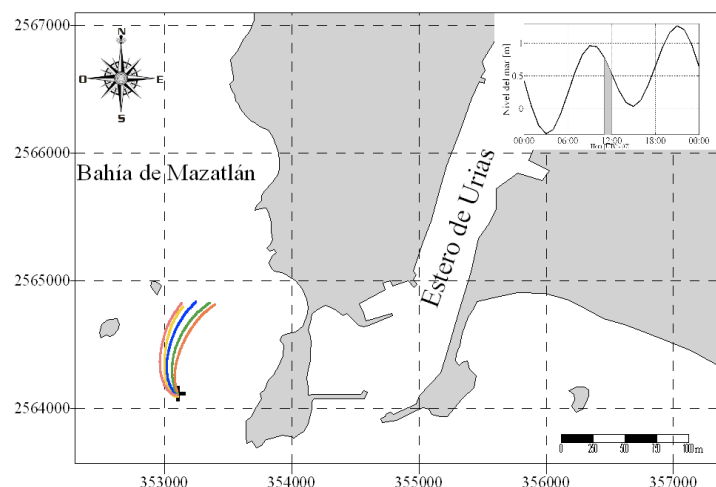


Figura 3-15 Trayectoria de Boyas en Mazatlán, Sin., el 31 de marzo del 2010.

En la Figura 3-16 durante el cambio a bajamar las boyas salen del canal del Estero de Urias y únicamente 2 rodean el espigón de la boca.

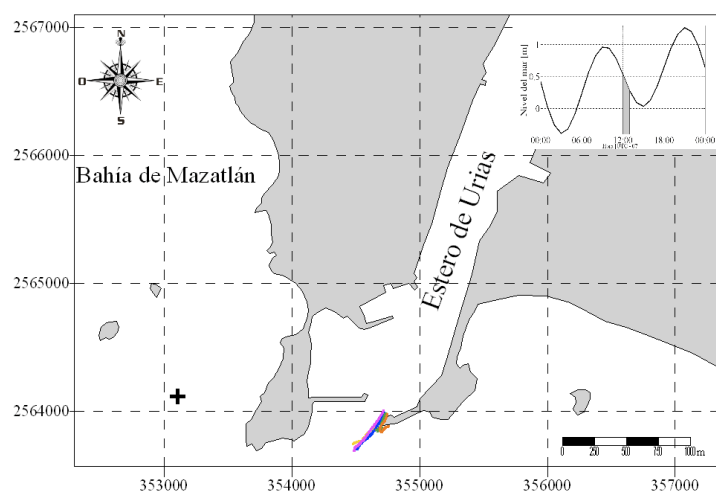


Figura 3-16 Trayectoria de Boyas en Mazatlán, Sin., el 31 de marzo del 2010.

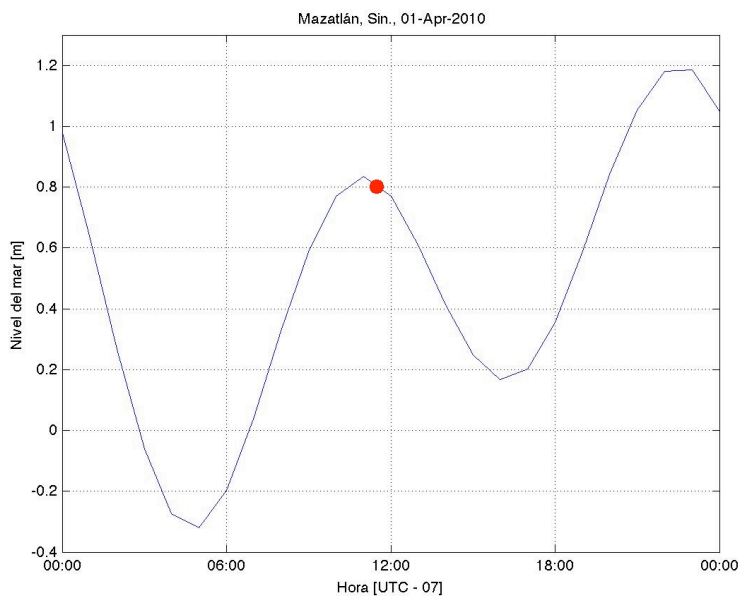


Figura 3-17 Condiciones de marea durante el periodo de muestreo de la salida 3 (experimento 8) y tiempos de medición (puntos).

En la Figura 3-18 las boyas se dirigen hacia fuera del Estero de Urías pero con una tendencia hacia la orilla del canal, esto durante la transición a bajamar.

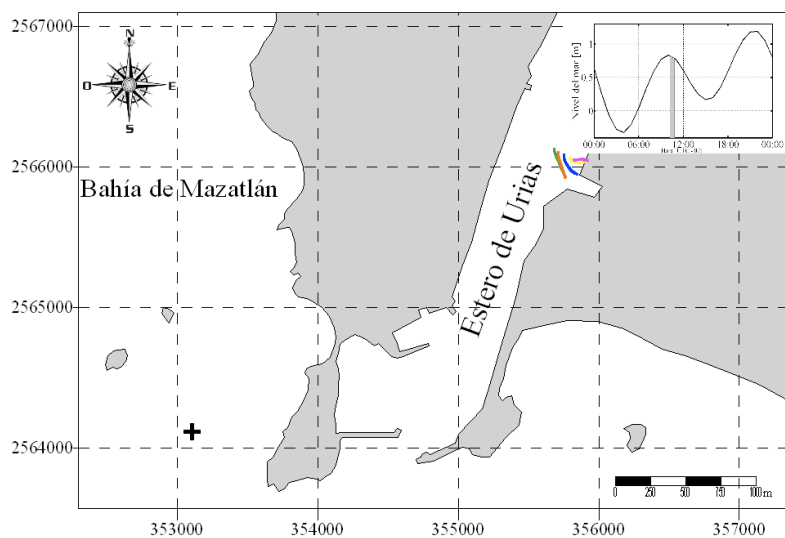


Figura 3-18 Trayectoria de Boyas en Mazatlán, Sin., el 1ro de abril del 2010.

La cuarta salida de campo se realizó en Junio del 2010, las condiciones de marea durante los experimentos de boyas se muestra en la Figura 3-19 , la Tabla V muestra la hora y la duración de los experimentos.

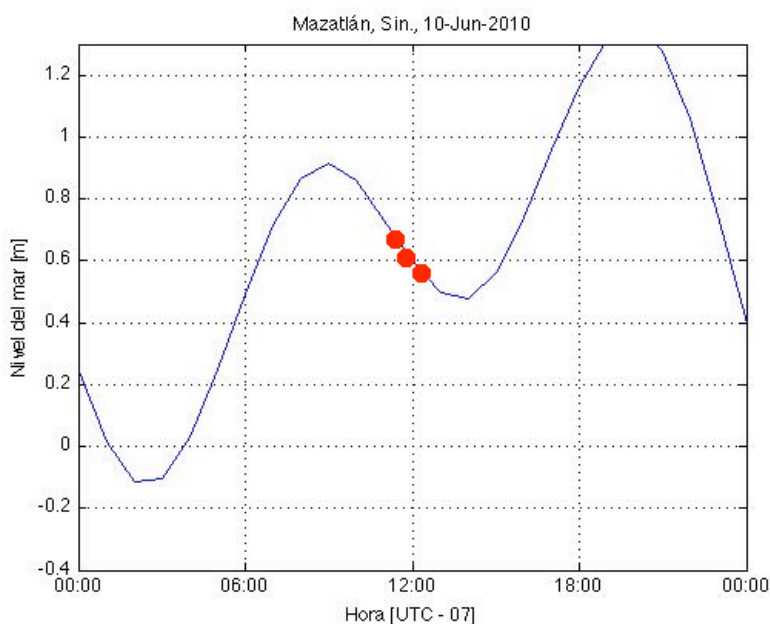


Figura 3-19 Condiciones de marea durante el periodo de muestreo de la salida 4 y tiempos de medición (puntos).

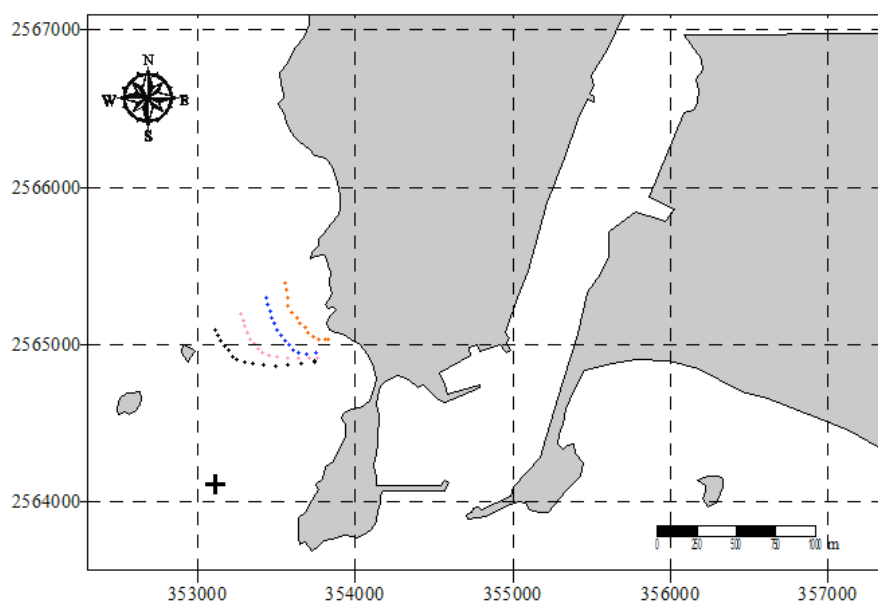
Tabla VIII Características de los experimentos de boyas de deriva que comprende la salida 4.

Experimento	Fecha	Hora Inicio	Hora final	Duración
1	6/10/10	10:37	11:38	1:01
2	6/10/10	11:56	12:16	0:20
3	6/10/10	12:40	13:14	0:34
4	6/12/10	10:49	11:51	1:02

Tabla IX Velocidad de desplazamiento de las boyas de deriva

Experimento	Velocidad promedio m/s					
	Amarillo	Azul	Coco	Naranja	Rosa	Promedio
1		0.12				0.12
2	0.18	0.15	0.26	0.22	0.24	0.21
3	0.20	0.20			0.21	0.20
4		0.14	0.14	0.14	0.11	0.13

En la Figura 3-20 las boyas se dirigen hacia la Bahía de Mazatlán durante el cambio de marea a bajamar, no se observa en lo absoluto dispersión entre las boyas.

**Figura 3-20 Trayectoria de Boyas en Mazatlán, Sin., el 10 de Junio del 2010.**

En la Figura 3-21 las boyas describen una trayectoria en la cual se acercan a la línea de costa, durante el periodo donde la marea se encuentra en descenso, no se observa dispersión entre las boyas.

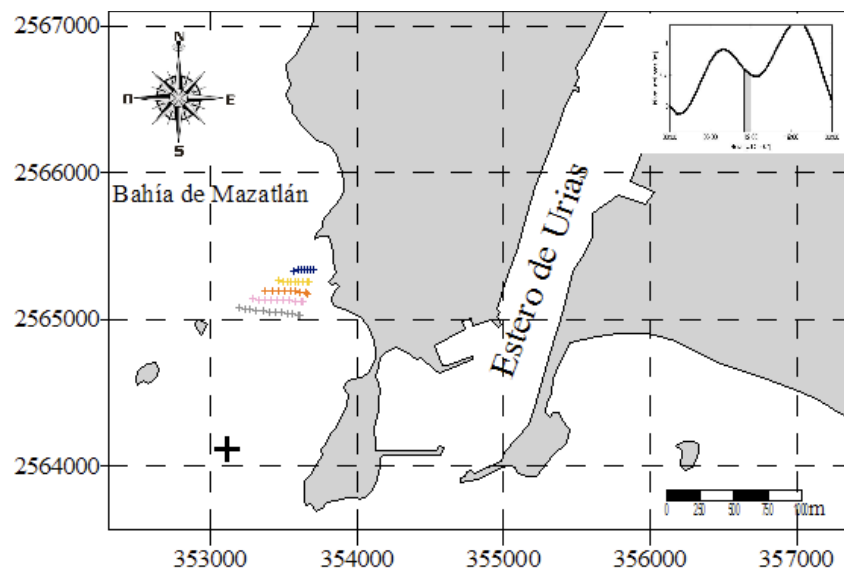


Figura 3-21 Trayectoria de Boyas en Mazatlán, Sin., el 10 de Junio del 2010.

En la Figura 3-22 las boyas comienzan sobre el difusor, y se dirigen hacia el Estero de Uriás, esto en marea baja, sin dispersión entre las boyas.

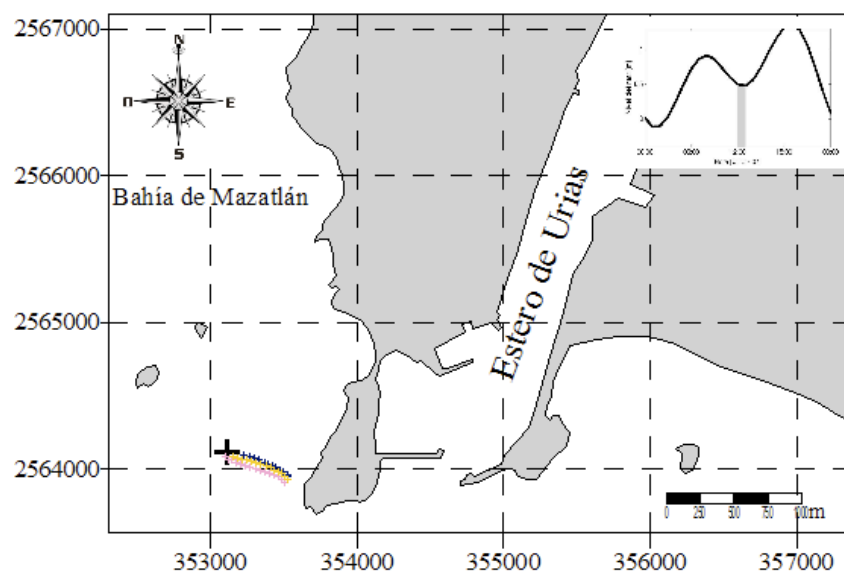


Figura 3-22 Trayectoria de Boyas en Mazatlán, Sin., el 10 de Junio del 2010.

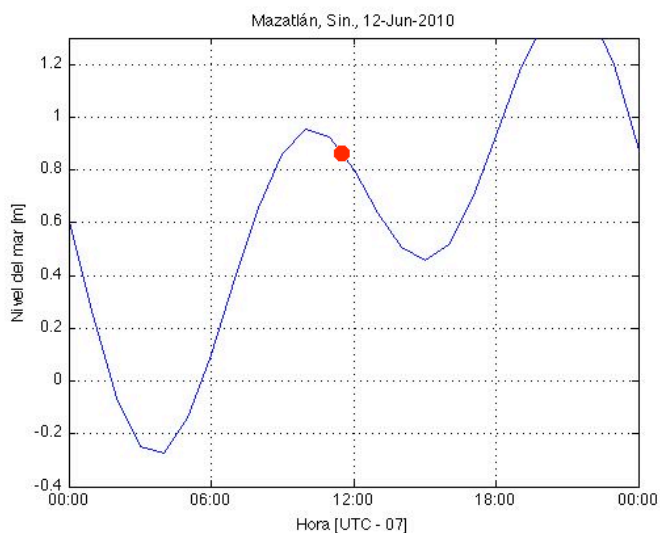


Figura 3-23 Condiciones de marea durante el periodo de muestreo de la salida 4 y tiempos de medición (puntos).

Durante el descenso de la marea las boyas en la Figura 3-24 describen una trayectoria que se dirigen al norte, es decir hacia la costa en la Bahía de Mazatlán.

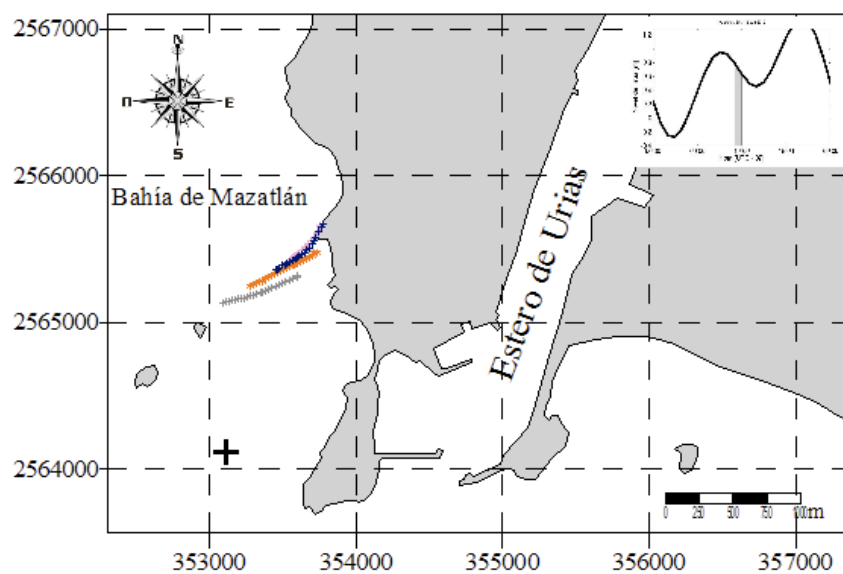


Figura 3-24 Trayectoria de Boyas en Mazatlán, Sin., el 12 de Junio del 2010.

3.1.4 ADP

A partir de los datos obtenidos del perfilador acústico, se puede observar el comportamiento de las corrientes. La dirección y magnitud de las corrientes en la zona son influenciadas principalmente por los cambios de mareas sobre el canal principal del Estero de Urías.

La gran mayoría de los transectos comparten la cualidad de que las direcciones de los vectores con respecto a la profundidad se mantienen homogéneos en cuanto a dirección, lo único que cambia ligeramente son las magnitudes. La excepción únicamente ocurre para los transectos mostrados en la Figura 3-25, en el cual existe el cambio de mareas. Los vectores tienen un comportamiento muy aleatorio debido a que las magnitudes de las velocidades son muy pequeñas es decir no hay un patrón bien marcado. A diferencia de las corrientes en circunstancias de cambio pronunciado de mareas, las corrientes en las circunstancias de picos de marea (pleamar y bajamar) pueden ser fácilmente alteradas con otro forzamiento como el viento.

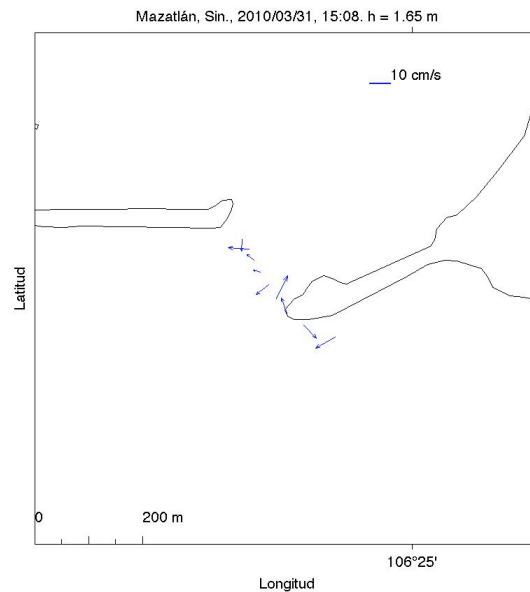


Figura 3-25 Vectores de velocidad a la profundidad de 1.65 metros, durante el cambio entre mareas.

En la figura 3-26 se muestra un grafico ilustrativo del resto de los datos, como son considerablemente homogéneos los vectores de velocidad, esto durante el proceso de refluo de marea es decir, al estar disminuyendo la altura del nivel de mar, este comportamiento permanece en la mayoría de las mediciones.

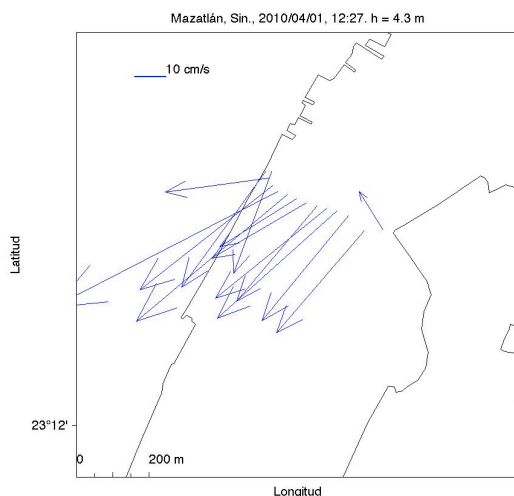


Figura 3-26 Vectores de velocidad de la corriente a una profundidad de 4.3 metros, durante la corriente de refluo en el proceso de paso a marea baja.

Los vectores en la Figura 3-27 muestran la influencia de la boca del Estero de Urías, así como el efecto que tiene el Crestón en el patrón de corrientes. Se observa como al llegar al Crestón, realiza un giro al noroeste para continuar la corriente cercana a la costa. Esto puede indicar que el agua proveniente de Urías (la cual es de mala calidad) se introduce a la Bahía donde se encuentra la descarga de JUNAPAM.

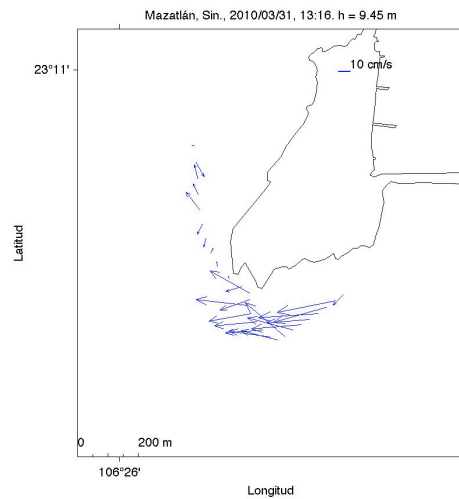


Figura 3-27 Vectores de velocidad de la corriente a una profundidad de 9.45 metros, durante la corriente de reflujo en el proceso de paso a marea baja.

En la Figura 3-28 podemos visualizar que la dirección de los vectores se mantiene constante, con respecto a la magnitud de los vectores si hay cambios pero no significativos. Los vectores que están en los extremos del transecto de la boca es decir que colindan con las estructuras de protección costera, son los vectores en los cuales se observan una disminución de la magnitud.

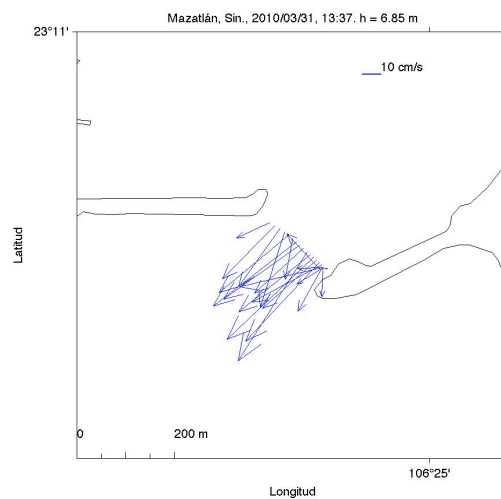


Figura 3-28 Vectores de velocidad de la corriente a una profundidad de 6.65 metros, durante la corriente de reflujo en el proceso de paso a marea baja.

En la figura 3-29 se puede observar el comportamiento de las corrientes a distintas profundidades, podemos observar un comportamiento de las corrientes en la vertical muy homogéneo es decir barotrópico, esta es la razón por la cual se determinó como buena opción utilizar un modelo 2D, el único punto donde se encontró un comportamiento baroclínico fue en la boca del estero.

En la Figura 3-30 se puede observar que durante algunos periodos de las mediciones del AWAC se presentan flujos baroclínicos en la boca del Estero de Urías.

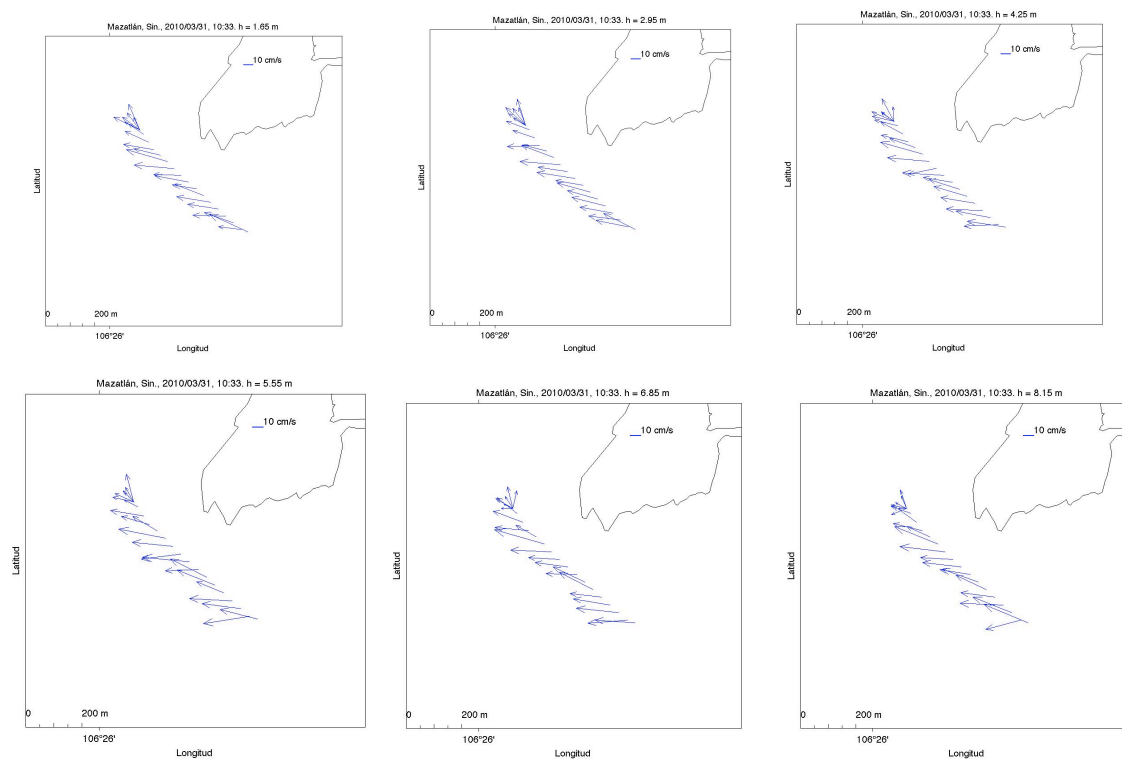


Figura 3-29 Vectores de velocidad de la corriente a distintas profundidades, durante la corriente de reflujo en el proceso de paso a marea baja.

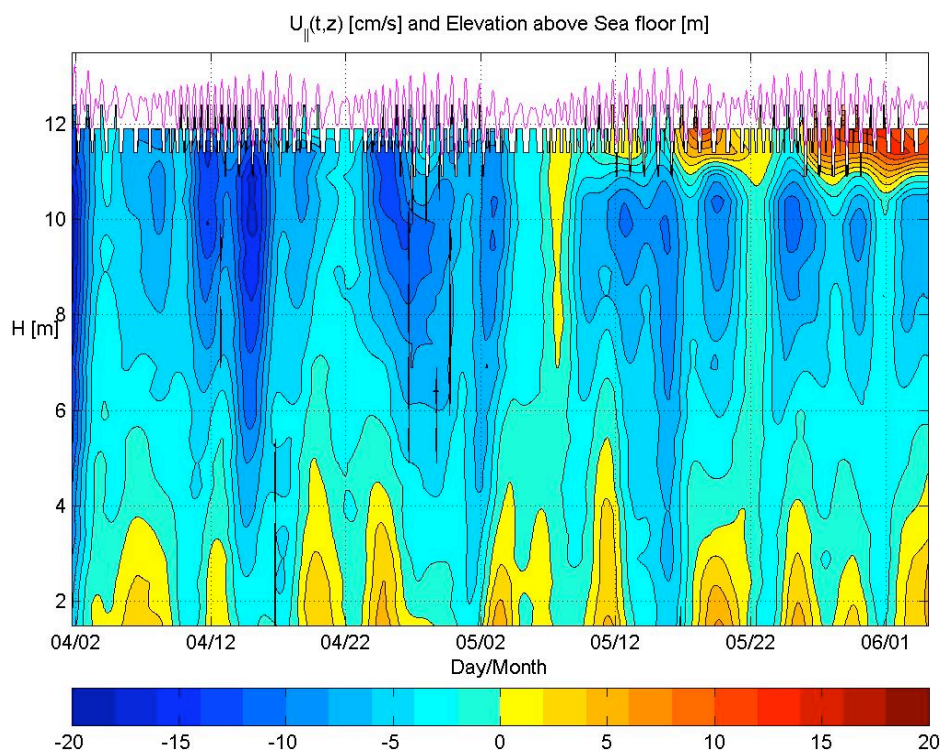


Figura 3-30 Perfil de velocidades contra el tiempo obtenido del AWAC en la boca del Estero de Urías.

3.2 Modelo

Se utilizó datos en la boca del Estero de Urías provenientes del ADP (corrientes) y las boyas de deriva para la calibración del modelo. La calibración de advección y difusión se llevó a cabo mediante los datos de las boyas de deriva. Se aplicaron escenarios de simulación con diferentes condiciones de marea, viento, descarga así como diferentes cargas de contaminantes.

3.2.1 Implementación y Calibración

En algunas fechas carecíamos de datos de gasto de la condición de Frontera al interior del Estero de Urías por lo que fue necesario obtener un factor para relacionar las mediciones del AWAC (colocado en la boca) en los tiempos donde teníamos paralelamente datos del interior del Estero de Urías y posteriormente con ayuda de este factor completar ampliamente una serie de tiempo. Este factor como parte de la

calibración del modelo, con la finalidad de obtener el factor de relación existente entre los datos de gasto obtenidos en la boca mediante el AWAC contra los datos obtenidos del ADCP al interior del Estero de Urías, se realizó el graficado de los respectivos gastos (Figura 3-30).

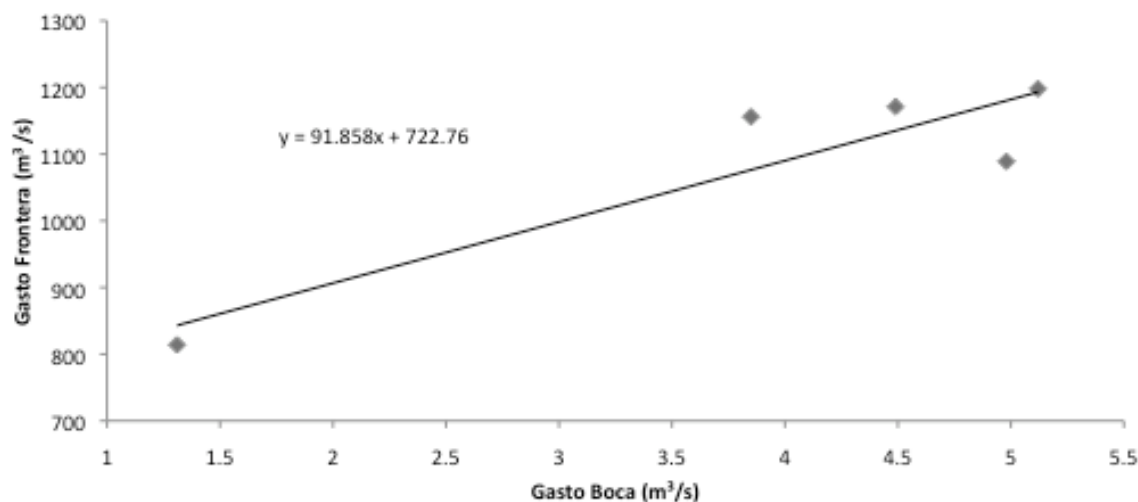


Figura 3-31 Relación de gastos de la Boca del Estero de Urías contra el gasto en la Frontera del Estero de Urías.

3.2.2 Validación de Corrientes

A continuación se comparan algunos de los resultados de velocidad de las corrientes obtenidos mediante el modelo calibrado, contra las mediciones de velocidad obtenidas en el campo. En la Figura 3-32 el 31 de Marzo alrededor de las 10 hrs. se observa que hay refluo del Estero de Urías, que coinciden con los vectores ADP, en la parte de la boca de la misma manera que en la punta el Crestón, ambos tienen magnitudes de velocidad de alrededor de 0.4 m/s. La Figura 3-7 que representa la trayectoria de las boyas tienen un comportamiento igual a el representado por el modelo, en la salida del estero hacia la parte sureste existe un giro detectado por las boyas que el modelo lo representa de la misma manera, el resto de las boyas siguen una trayectoria recta al suroeste, en cuanto a magnitudes de velocidad igualmente coinciden un promedio de velocidad de 0.35 m/s.

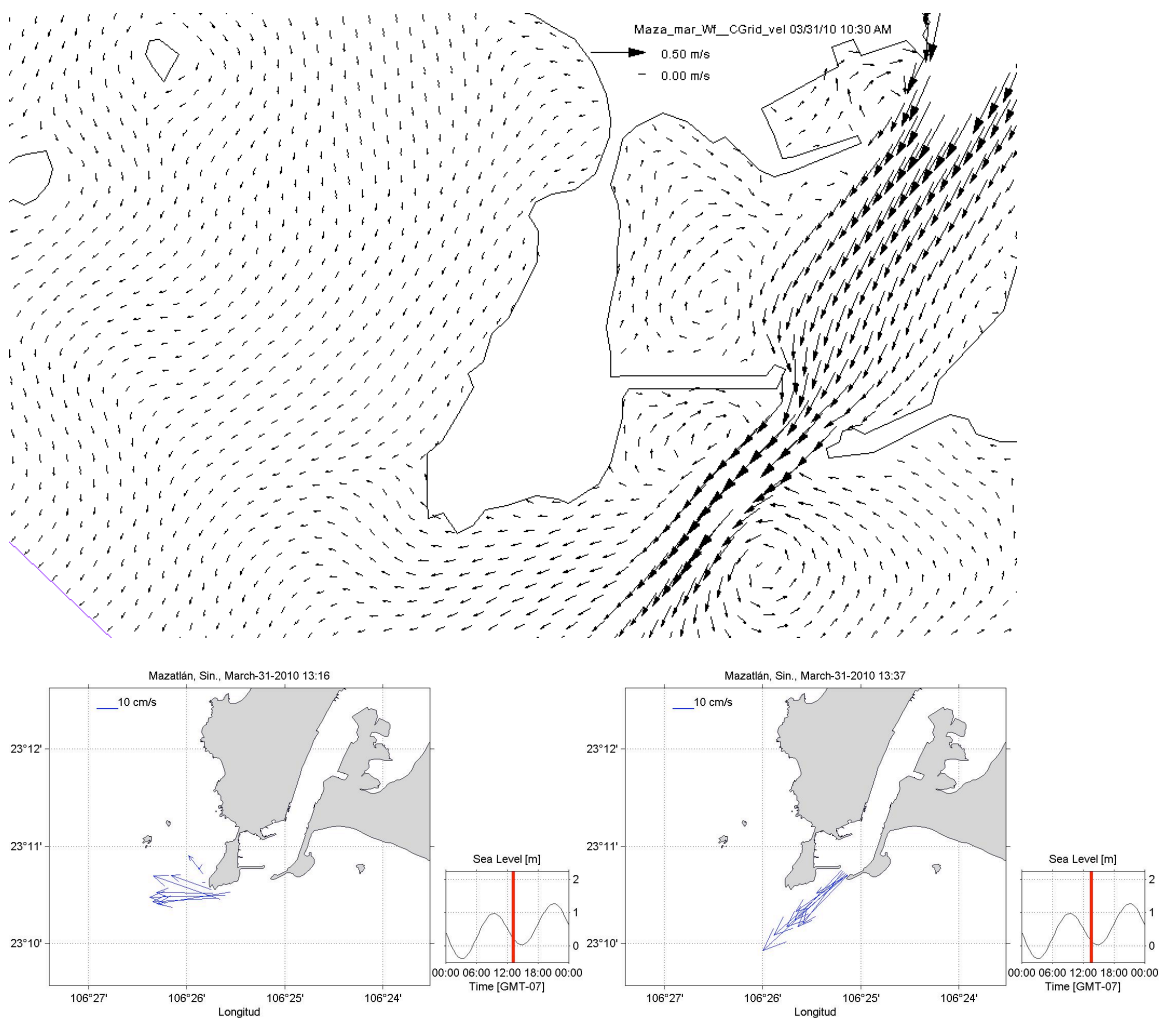


Figura 3-32 Comparación de vectores de velocidad obtenidos mediante el modelo contra los obtenidos en campo, el 31 de marzo del 2010.

Las corrientes medidas en la parte sureste del exterior del Estero de Urías coinciden con el campo de vectores del modelo (Figura 3-33), la mitad de estos vectores dirigiéndose hacia el oeste para el ingreso al Estero, esto el 31 de Marzo del 2010 a las 2:45 p.m.

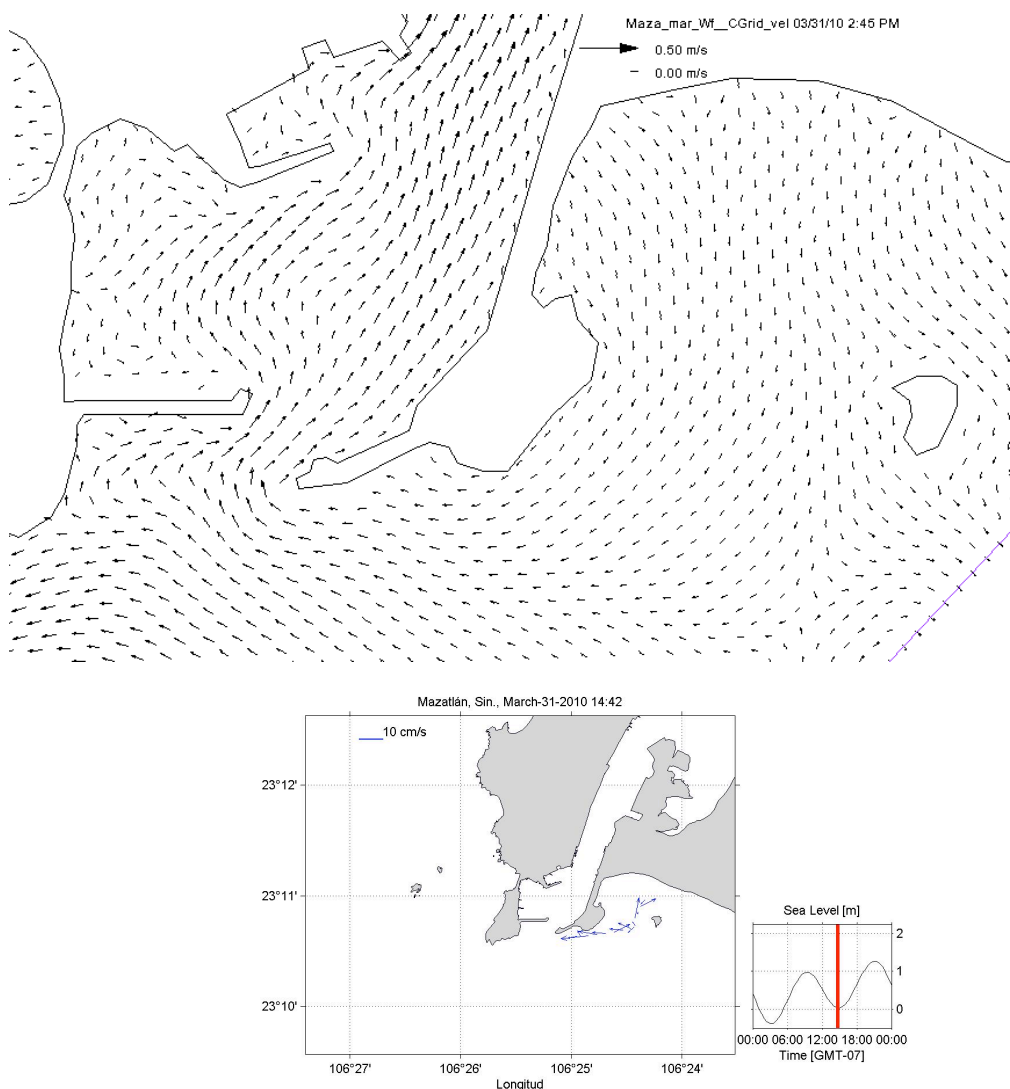


Figura 3-33 Comparación de vectores de velocidad obtenidos mediante el modelo contra los obtenidos en campo, el 31 de marzo del 2010.

Al descender la marea el 1 de abril del 2010 a las 12:45 p.m. se visualiza bien marcado el refluo en el modelo(Figura 3-34), comparándolos con los vectores de velocidad medidos en campo tienen una similitud muy estrecha en cuanto a magnitud y dirección.

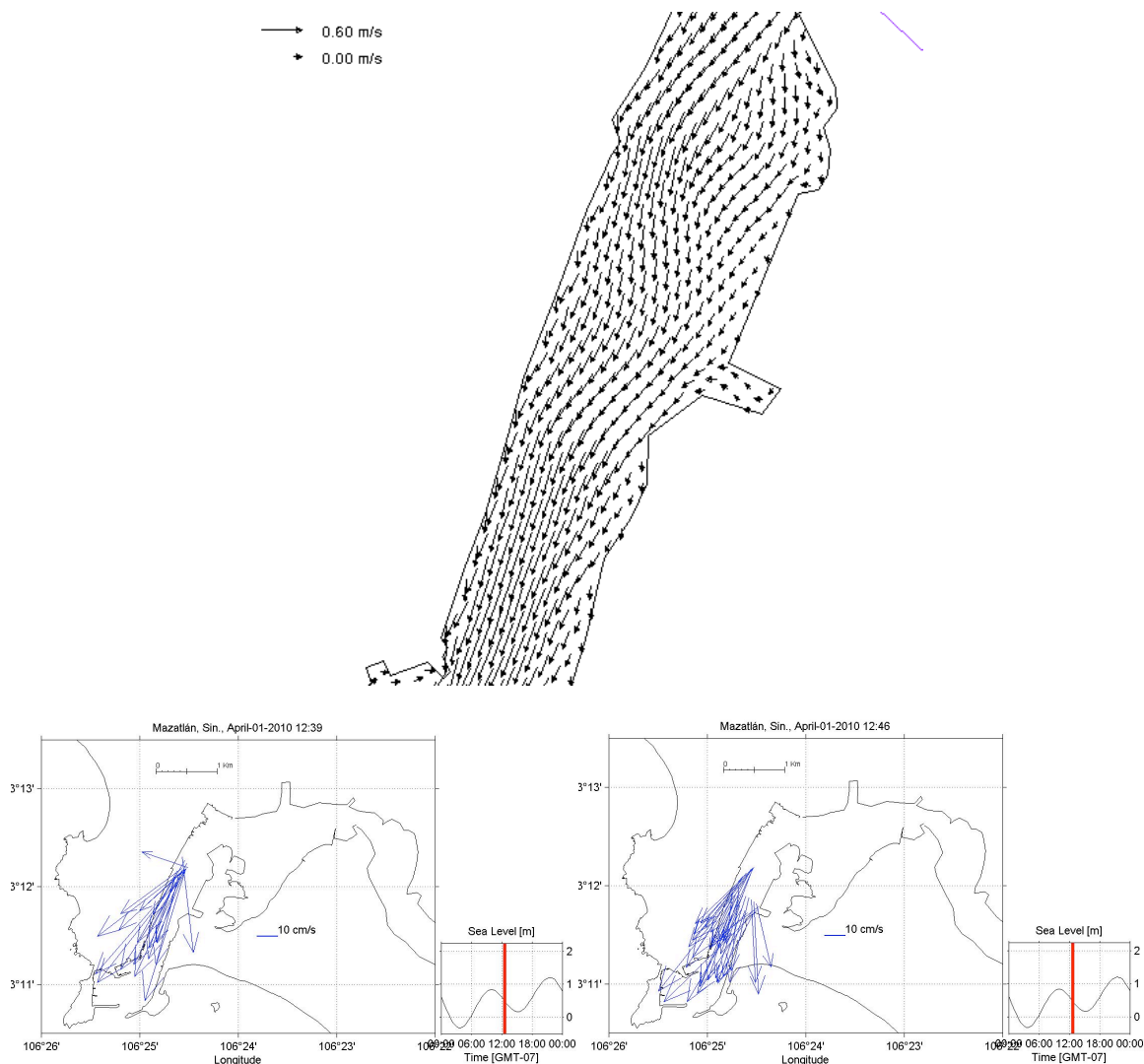


Figura 3-34 Comparación de vectores de velocidad obtenidos mediante el modelo contra los obtenidos en campo, el 1 de abril del 2010.

En la Figura 3-35, el 8 de Junio del 2010 a la 1 p.m. podemos observar el flujo que existe entre las islas al Norte del Estero de Urías durante el ascenso de la marea, que describen una dirección hacia el sur, coinciden los datos medidos del campo con el modelo.

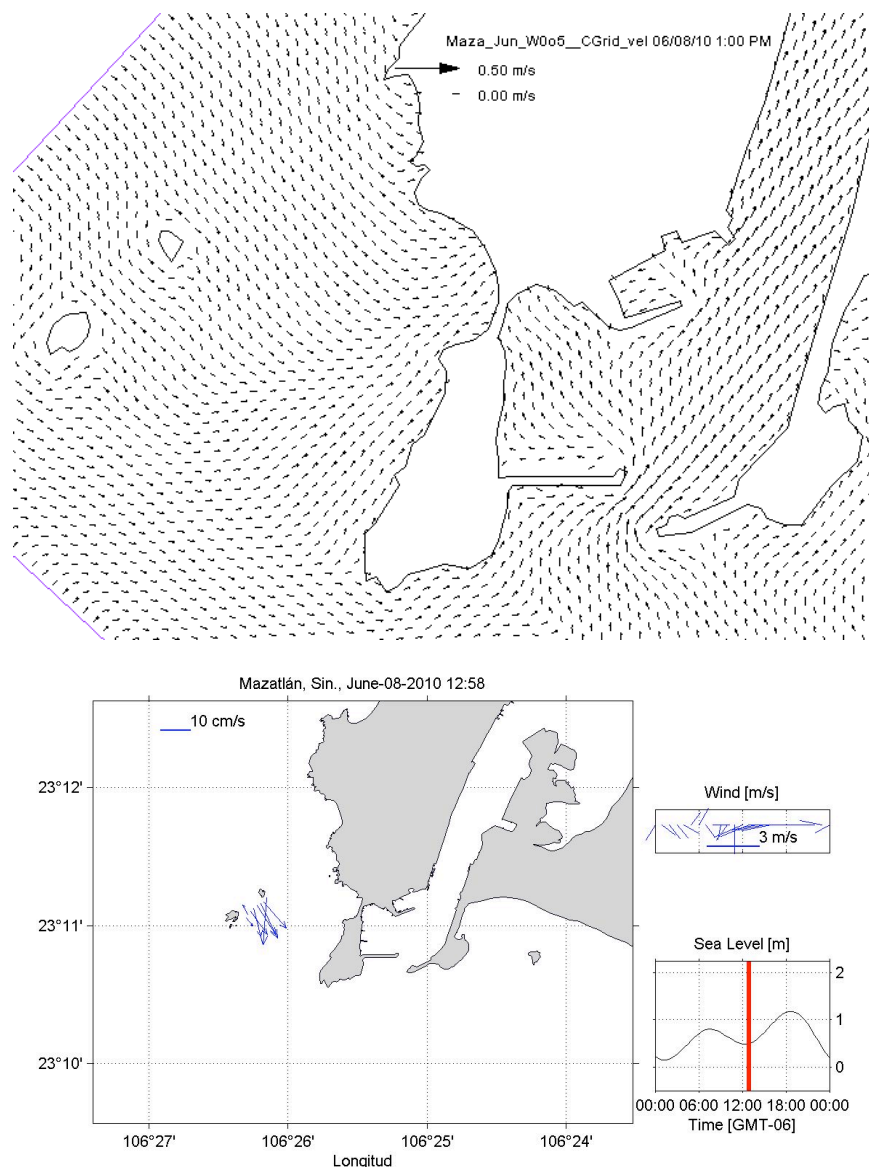


Figura 3-35 Comparación de vectores de velocidad obtenidos mediante el modelo contra los obtenidos en campo, el 8 de junio del 2010.

El 10 de Junio a las 2:00 p.m. (Figura 3-36) , coinciden los resultados del transecto del ADP contra los del modelo, se encuentran en marea muerta, al ingresar al Estero de Urías no hay un flujo homogéneo comparado con otros momentos, se observa un giro justo después de la boca. El flujo de corriente proveniente de la Bahía de Mazatlán se dirige hacia el sur, el flujo del estero se dirige hacia el oeste y ambos flujos se encuentran en la punta el Crestón.

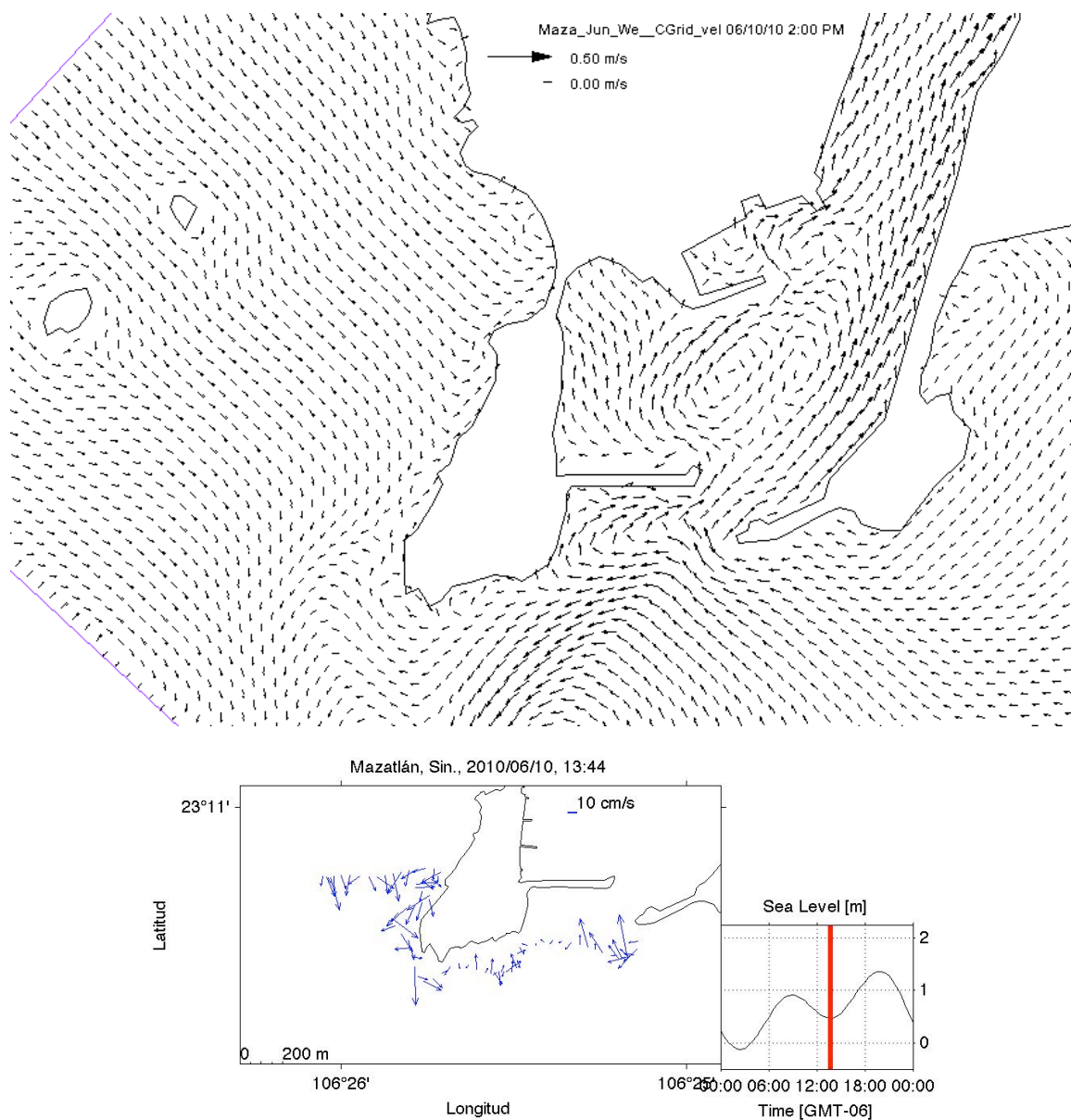


Figura 3-36 Comparación de vectores de velocidad obtenidos mediante el modelo contra los obtenidos en campo, el 10 de junio del 2010.

3.2.3 Validación de Partículas

En la Figura 3-37 podemos observar 2 comportamientos de partículas distintos dependiendo de su coeficiente de dispersión, un coeficiente de dispersión de $0.0 \text{ m}^2/\text{s}$ nos muestra una trayectoria sobre la misma línea recta de todas las partículas, mientras que un coeficiente de $10 \text{ m}^2/\text{s}$ las partículas se dispersan en trayectorias heterogéneas.

La difusión de las partículas obtenidas a través del modelo, se comparo con la trayectoria de las boyas medidas en campo. En la Figura 3-38 se muestra un traslape entre los datos medidos y los resultados del modelo, en dicho traslape se observa que la trayectoria de las partículas, el resultado de la modelación se ajusta a la dispersión de las boyas observadas en la Figura 3-15. Las partículas alejándose del difusor siguen una trayectoria al noreste, en el transcurso de la trayectoria se van dispersando, se dirigen en dirección a la línea de costa, hacia la Bahía de Mazatlán y terminan con una máxima dispersión de 270 metros entre partículas.

El mejor ajuste de dispersión se obtuvo con un coeficiente de dispersión de $1\text{m}^2/\text{s}$. La Figura 3-37 muestra dos diferentes ajustes de dispersión, los cuales no coinciden con las boyas.

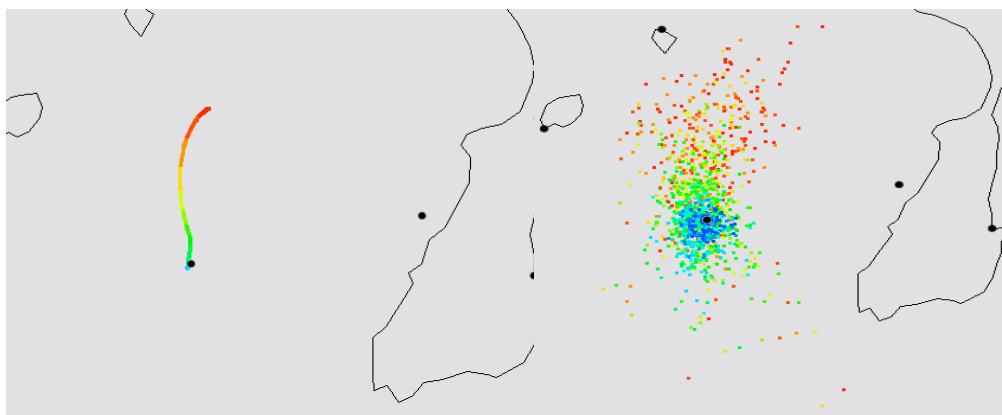


Figura 3-37 Trayectoria de partículas con diferentes coeficientes de dispersión, $0\text{m}^2/\text{s}$ (izquierda) y $10\text{m}^2/\text{s}$ (derecha).

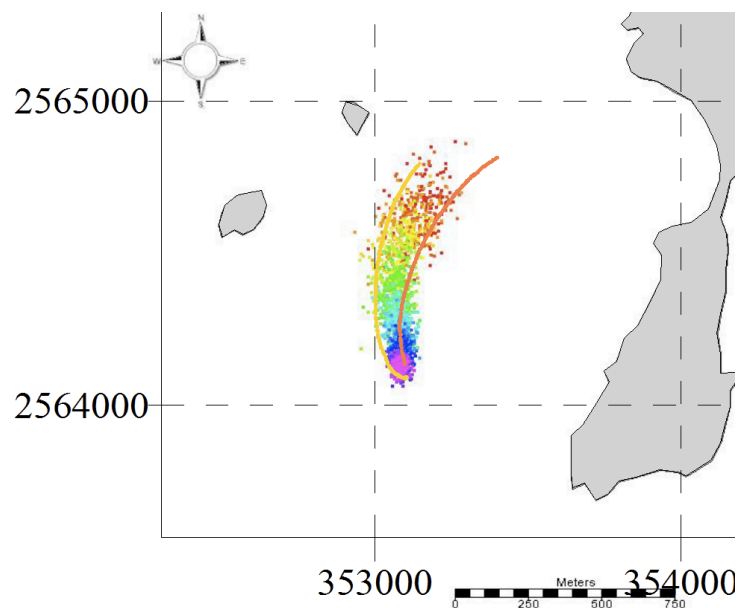


Figura 3-38 Trayectoria de Boyas y partículas en Mazatlán, Sin., el 31 de marzo del 2010.

La Figura 3-39 muestra el comportamiento de las partículas obtenidas del modelo en la Boca del Estero de Urías, si se traslapan como en la figura las boyas de la Figura 3-16 se observa el mismo patrón, tanto las boyas como las partículas describen una trayectoria hacia el suroeste, es decir salen del Estero de Urías las partículas que están al extremo son las únicas que muestran dispersión de 100 metros, el resto al igual que las boyas se entrecruzan durante su trayectoria.

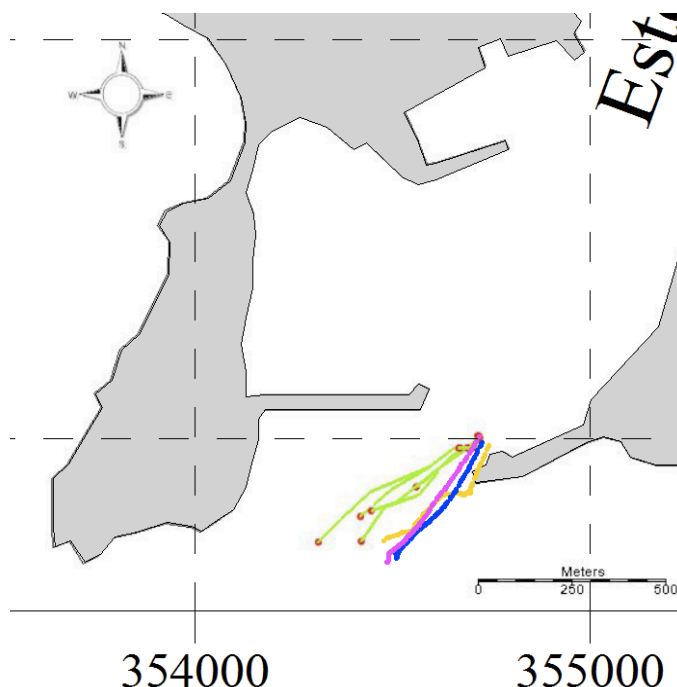


Figura 3-39 Trayectoria de Boyas y partículas en Mazatlán, Sin., el 31 de marzo del 2010.

La Figura 3-40 muestra la trayectoria de las partículas en diferentes tiempos durante una semana, en las Figuras podemos observar como progresan las partículas de modo que la mayoría de ellas en la boca del Estero de Urías se dirigen hacia el noreste es decir hacia el interior. Respecto a las partículas provenientes del emisor submarino evolucionan de tal forma que al inicio se dirigen hacia el norte con dirección a la Bahía de Mazatlán y posteriormente realizan giros y se comienzan a acumular en los alrededores del emisor submarino.

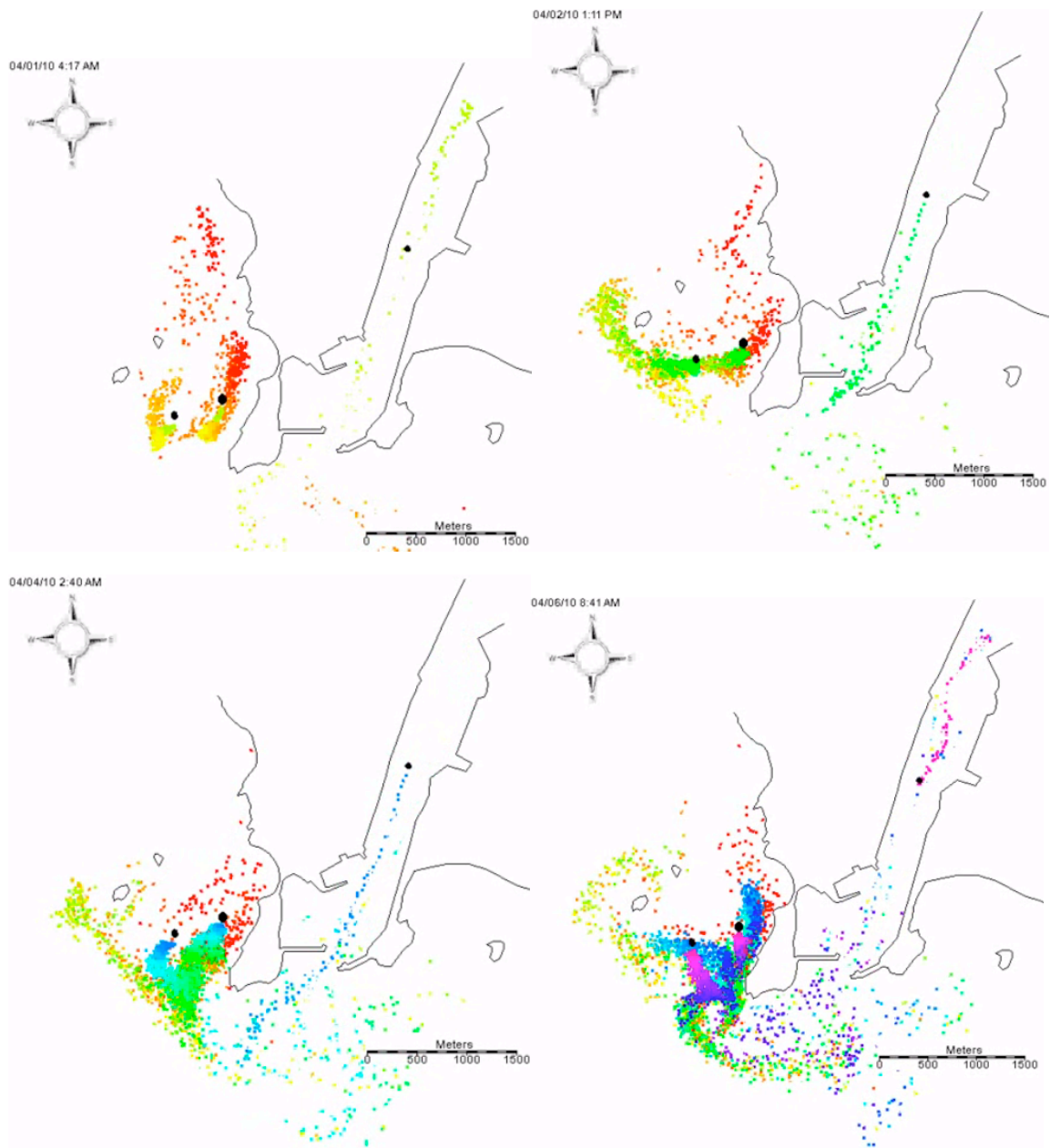


Figura 3-40 Trayectoria de partículas en orden de fechas consecutivas durante una corrida del modelo.

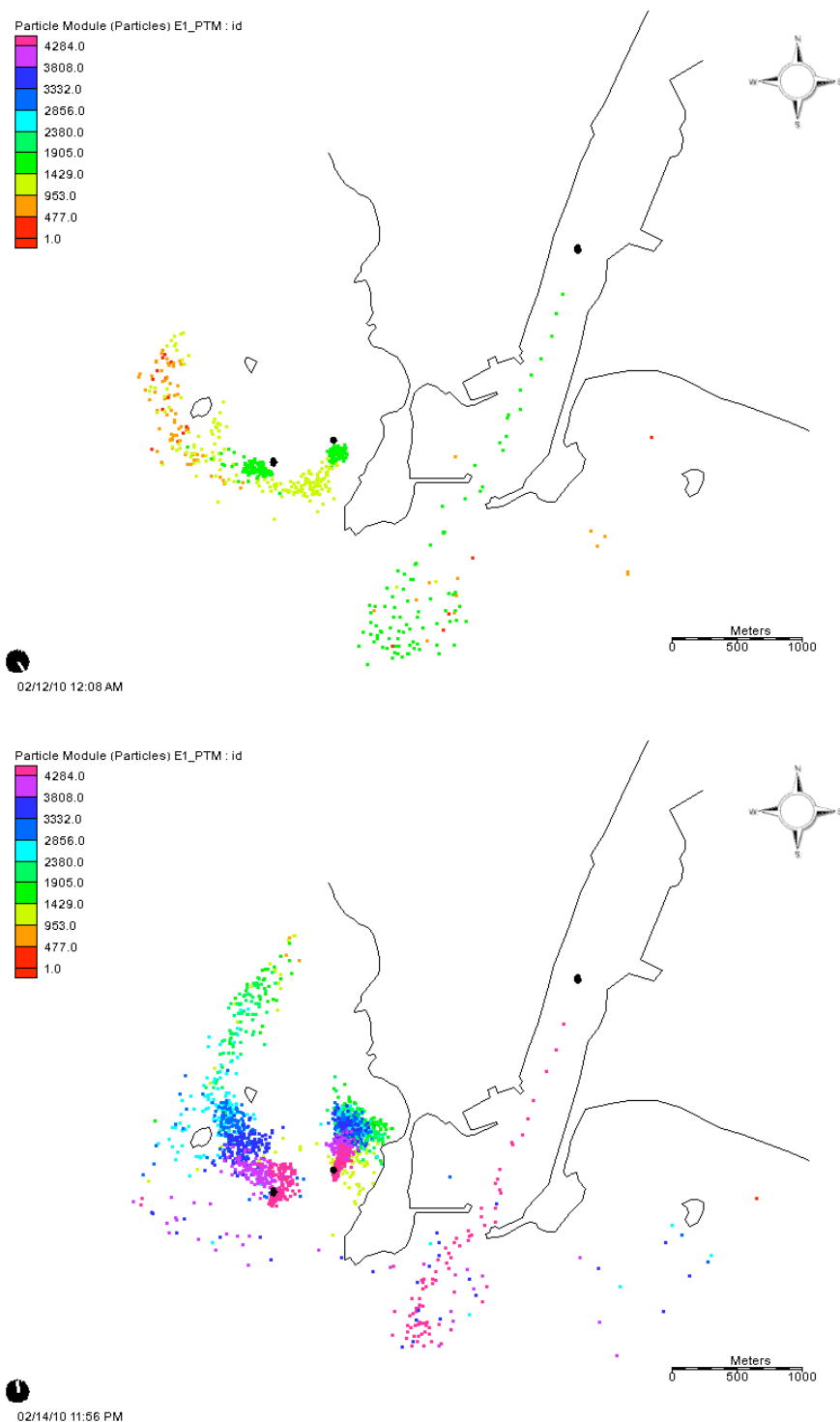


Figura 3-41 Escenario 1 de dispersión de partículas 48 hrs (arriba) y 120 hrs (abajo)

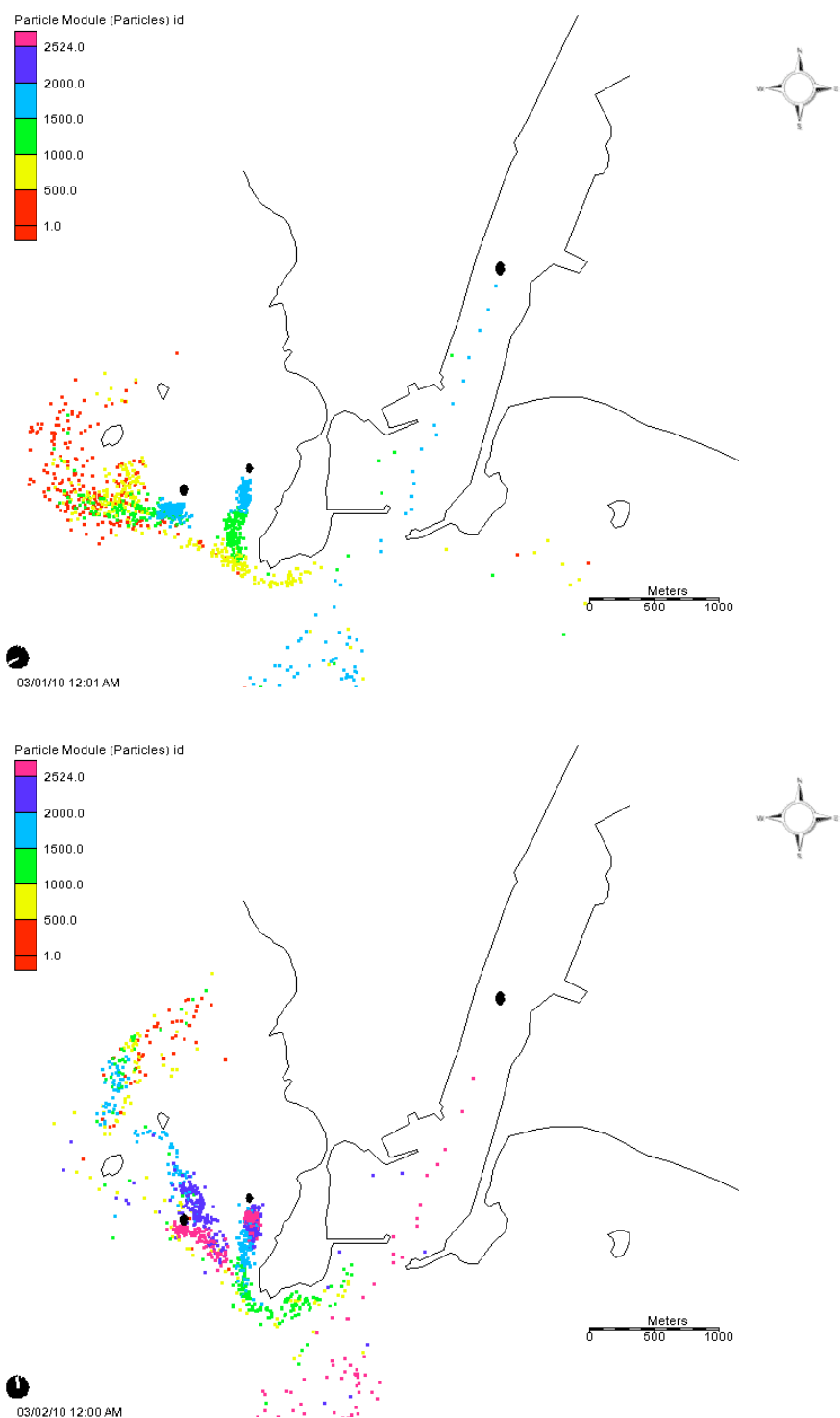


Figura 3-42 Escenario 2 de dispersión de partículas 48 hrs (arriba) y 72 hrs (abajo)

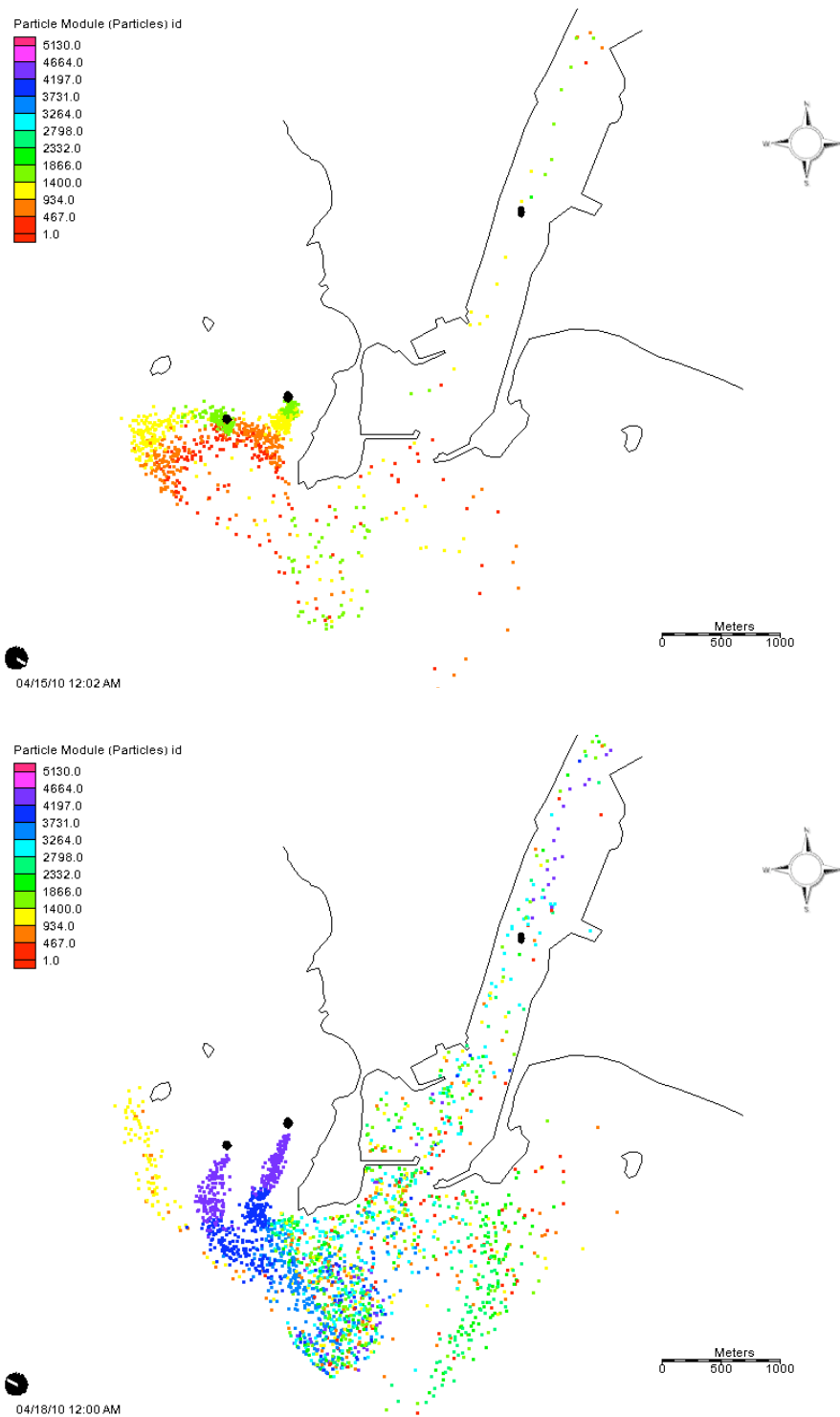


Figura 3-43 Escenario 3 de dispersión de partículas 48 hrs (arriba) y 120 hrs (abajo)

4. Discusión

El programa que se utilizó para la modelación, es un modelo en 2 dimensiones, se utilizó este modelo, debido a que en todas las mediciones con ADP, a excepción de una y la medición del AWAC en la Boca del Estero de Urías, los vectores de velocidad presentan una homogeneidad en toda la columna de agua. De esta manera con el modelo podemos hacer una buena aproximación a la dinámica de la zona, y prueba de esto se presenta en la validación del modelo, mediante las mediciones en campo del ADP y la dispersión de las partículas mediante las boyas colocadas en el lugar.

Si sabemos que el agua proveniente del emisor submarino tiene una menor salinidad que la del medio, podemos justificar el uso de un modelo 2D, el agua proveniente del emisor es menos densa por lo que el agua proveniente del emisor se mueve hacia la superficie del océano, teniendo en cuenta que se utilizaron boyas de deriva, la trayectoria de estas boyas sería la trayectoria real de las partículas provenientes del emisor submarino.

Uno de los factores mas importantes, si no es que el mas importante dentro del modelaje numérico son las condiciones de frontera, el resultado del modelo esta en función de las condiciones de frontera que nosotros le brindemos al modelo, por eso es que el presentar atención especial en calibrar al modelo es de suma importancia. Dependiendo de la calidad de los datos de campo va a ser la calidad que se pueda obtener del modelo. En nuestros resultados y basándonos en la calibración mediante los métodos ya mencionados, podemos decir que el modelaje realizado para este trabajo presenta un alto grado de similitud con el comportamiento real del sistema.

Las mareas son el forzamiento principal que influye sobre la dinámica de la zona de estudio. Se puede observar en los tiempos donde el cambio en la marea es mas abrupta, los flujos en el Estero de Urías se incrementan notablemente. En el caso donde hay mareas muertas, es donde las corrientes se ven influenciadas por forzamientos que tienen una menor importancia en esta zona como el viento. La JUMAPAM en su estudio

reporta el efecto en las corrientes únicamente por viento y oleaje, por otra parte tampoco toma en cuenta los efectos del flujo del Estero de Urías por lo cual sus resultados podrían estar considerablemente alterados con respecto a la realidad.

En base a los resultados que se obtuvieron del modelo, se puede visualizar que el emisor tiene una ubicación errónea, la ubicación actual no permite que las aguas se dispersen, las corrientes en la zona muestran un vaivén de partículas dependiente de las condiciones de marea, lo cual las aguas en el lugar parecen tener un tiempo de residencia considerable, con una tendencia a dirigirse hacia el noreste es decir con dirección a la Bahía de Mazatlán.

Una sugerencia para la posible ubicación del emisor submarino seria en el eje principal del Estero de Urías pero a una distancia considerable de la boca, ya que si analizamos, las otras dos opciones, una al norte de la boca del Estero de Urías y la otra al sur, ambas opciones acumulan considerablemente las partículas cercanas a la línea de costa, por lo que la opción ya mencionada seria una alternativa que posiblemente alejaría a las partículas de la zona, pero se sugiere un estudio futuro que abarque una mayor zona y de esta manera conocer ampliamente la dinámica en zonas mas lejanas al presente estudio.

5. Conclusiones

Las corrientes del área de estudio presentan en la mayoría de los casos flujos barotropicos.

Los resultados que presenta el modelo tanto en términos generales como particulares representan e imitan el comportamiento de las mediciones de campo.

En gran parte de los escenarios de mareas las corrientes en la zona se dirigen hacia la línea de costa.

Las corrientes en el Estero de Urías son dominadas principalmente por los efectos de mareas y en segundo grado el viento.

En marea de flujo y reflujo en el canal principal de Estero de Urías las corrientes son bien marcadas y con magnitudes significativamente mayores a comparación con otros puntos del área de estudio.

Existe una dispersión de contaminantes considerable provenientes del emisor submarino, pero transcurridas unas horas, se observa que las partículas que se dispersan se comienzan a acumular en la zona, por lo que las partículas no salen de sistema.

Las corrientes del Estero de Urías en condiciones de mareas de reflujo, salen y toman una dirección hacia el noroeste uniéndose con las aguas provenientes del emisor submarino.

El comportamiento de las corrientes aunado a la ubicación del emisor submarino muestra una eminente dirección de las partículas provenientes del emisor hacia la zona de la Bahía de Mazatlán, lo cual potencialmente puede generar problemas de contaminación.

6. Referencias Bibliográficas

Álvarez-León. R. 1980. Hidrología Y zooplancton de tres esteros adyacentes a Mazatlán, Sinaloa, México. An. Centro Ciencias del Mar y Limnol., Univ. Nal. Autón. México, 7: 177-194.

Solorio Salazar A. Hidrodinámica de la zona costera del Estero de Urías y sobre la zona de descarga del emisor submarino de la ciudad de Mazatlán, durante el 2009 y 2010. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California. Facultad de Ciencias Marinas. Ensenada B. C., México. 76 pp.

Enríquez Andrade R. 2004. Apuntes de Economía Ambiental. Universidad Autónoma de Baja California. Facultad de Ciencias Marinas. Ensenada B. C., México. 102 pp.

Enríquez H. G. 2003. Criterios para evaluar la aptitud recreativa de las playas en México: una propuesta metodológica. Gaceta Ecológica, julio-septiembre. Núm. 068. Instituto Nacional de Ecología. Distrito Federal, México. pp 55-68

Farrell, B.H. 1986. Cooperative Tourism and the Coastal Zone. *Coastal Zone Management Journal*, 14 (1/2): 113-129. Crane, Russak and Company, Inc., E.U.A.

James J. R. 2000. From beaches to beach environments: linking the ecology, human-use and management of beaches in Australia. *Ocean & Coastal Management*. Vol. 43:495-514.

JUMAPAMP(2010) *Planta tratadora de aguas negras*. www.jumapam.gob.mx.

JUMAPAMP(2001) *Estudios y proyectos de un nuevo emisor submarino en la planta el Crestón, Mazatlán, Sin.* México, D.F.

Lankford, R.R., 1977. Coastal lagoons of Mexico, their origin and classification. In: M. Wiley (ed.). *Estuarine Processes*. Academic Press. N.Y., Vd. 11, 183-215.

Lopez I. et al. 1986. Cd,Co,Cr,Cu,Fe, Ni, Pb y Zn en los sedimentos del puerto y el antepuerto de Mazatlán. *Ciencias Marinas* 12 (2): 35-45 (II)

Montaño-Ley Y. et. Al. 2008. Tidal Hydrodynamics and their Implications for the Dispersion of Effluents in Mazatlán Harbor: An Urbanized Shallow Coastal Lagoon. *Water Air Soil Pollut* (2008) 194:343–357

Pritchard, D.W., 1967. What is an estuary: physical viewpoint. *Estuaries, Am. Ass. Adv. Sei., Pub. No. 83*, Washington, D.C. 3-5.

Petróleos Mexicanos 1992. Marco de Referencia ambiental del Estero de Urías en Mazatlán, Sinaloa, con Influencia de las instalaciones petroleras. 72pp.

Romeo P. 2009. *Evaluación de la Sustentabilidad a través de un Índice Integrado en los aspectos Ecológicos, Sociales y Económicos de la Playa Zona Dorada y Municipal de Mazatlán, Sinaloa, México*. Tesis. Maestro en Ciencias. Universidad Autónoma de Baja California. 65 p.