



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS



**“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
QUE PARA OBTENER EL TITULO:
OCEANOLOGO
PRESENTA: ANGELICA SOLORIO SALAZAR

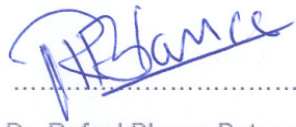
ENSENADA. B.C. DICIEMBRE DEL 2010

RESUMEN

La planta tratadora de aguas residuales el Crestón ubicada en la ciudad de Mazatlán, Sin, recibe las descargas urbanas de la ciudad y de la industria pesquera con altas cargas orgánicas en su mayoría solubles, descargando aproximadamente 1500l/s de aguas tratadas al océano a través del emisor submarino. La falta de tratamientos secundarios y terciarios para su remoción, así como los daños estructurales que presenta, requieren de estudios de hidrodinámica que ayuden a entender los procesos de dispersión y dilución de dichos contaminantes y sus posibles efectos en la bahía de Mazatlán, con el fin de determinar si la zona turística del puerto, esta siendo impactada por este tipo de contaminación. En este trabajo se describen los resultados de un estudio de hidrodinámica realizado en la región del emisor y la zona costera del estero de Urías, para el cual se colectaron perfiles de corrientes con perfilador acústico Doppler, perfiles de CTD, boyas de deriva, viento y variables biológicas mediante un sonda multiparamétrica. Se reportan los resultados de dos campañas de mediciones una realizada en septiembre del 2009 (lluvias) y para poder comparar, la segunda campaña realizada en junio 2010 en época de secas. La base de datos fue colectada bajo diferentes condiciones de marea y viento, para tener una mejor idea de la circulación especialmente en la zona del emisor. En la primera campaña de mediciones, el grupo de boyas el agua circula hacia punta Crestón, observando un movimiento giratorio alrededor del emisor generando una ruptura en el patrón de corrientes y la pluma de dispersión impacta directamente los islotes de las Dos Hermanas. En marea de reflujo las velocidades con el perfilador acústico Doppler en la zona del emisor hay un flujo superficial ($10-30 \text{ cm s}^{-1}$) en dirección SO pegada a la costa y NO entre la punta y la islas Dos Hermanas hacia el mar, los vientos predominantes son del NO y NNO y una disminución del pH frente de la planta El Crestón y otra ligera variación sobre el emisor submarino, otro cambio en la boca del Estero de Urías estos cambios no indican la presencia de agua acida de descarga, ya que los valores no indican anomalías de pH con relación al pH del agua de mar. La segunda campaña de mediciones, en marea de reflujo, el grupo de boyas siguió una trayectoria recta NE para luego doblar al SE y concluir frente a las instalaciones de Jumapan y las dos hermanas y la trayectoria en las boyas sobre el emisor indica la presencia de un giro que atrapa a la boya magenta la cual después de rato sale de la zona de influencia para dirigirse en dirección de las islas Dos Hermanas. Con el CTD no se muestra una clara evidencia de un sistema de dos capas, por lo que es posible el estudio de la hidrodinámica utilizando la velocidad verticalmente promediada. El viento provino del NO, su intensidad media fue de 3 ms^{-1} y las direcciones predominantes del viento son SSO y O. Los valores de pH oscilan entre los 7.30 y 7.60 habiendo decremento de pH ligeramente en frente de la planta El Crestón y sobre la zona de fuga en el emisor submarino y otro en una sección longitudinal del Estero de Urías.

En el emisor los patrones de circulación tanto de las boyas de deriva como el ADP indican un desplazamiento de las partículas en un corredor integrado por emisor- dos hermanas- zona costera hotelera-Jumapan y de regreso y no es un lugar adecuado para la descarga ya que la onda de marea mueve la masa de agua hacia el noroeste y luego hacia el suroeste más o menos en fase con el ciclo de marea, si podría estar impactando la zona hotelera cercana.

Tesis defendida por Angelica Solorio Salazar y aprobada por el siguiente comité:



.....
Dr. Rafael Blanco Betancourt

Director de tesis



.....
Dr. Adán Mejía Trejo

Sinodal



.....
Dr. Fernando Marvan Gargollo

Sinodal

Diciembre 2010

AGRADECIMIENTOS

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.

También a dos personas que me ayudaron a iniciar este sueño que son Jesús Manuel Beltrán y Valentín Lizárraga Solorio, a mi asesor de tesis el Dr. Rafael Blanco Betancourt y a mis asesores de tesis: Dr. Adán Mejía Trejo y al Dr. Fernando Marvan Gargollo y a todos los que me han ayudado en el transcurso de este sueño.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	i
AGRADECIMIENTOS	iii
TABLA DE CONTENIDO.....	ivv
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABLAS.....	viii
1. INTRODUCCION	1
1.1 Justificación del estudio	3
1.2 Objetivos	4
1.2.1 Objetivo General	4
1.2.2. Objetivos Particulares	4
1.3 Hipótesis	5
1.4 Antecedentes	5
2. METODOLOGÍA	7
2.1. Área de estudio	7
2.2 Métodos	11
2.2.1 Experimento de arrastre con ADP	11
2.2.2 Sonda multiparamétrica Hydrolab.....	15
2.2.3 Perfiles de CTD.....	16
2.2.4 Datos de viento	17
2.2.5 Flujos a través de la Boca del Estero de Urías.	18
2.2.6 Campo de Velocidad Superficial Lagrangeana.	18
2.2.7 Batimetría.....	20
3. RESULTADOS.....	22
3.1 Trayectorias de las boyas de deriva.....	22
3.2 Perfilador de corrientes (ADP).	34
3.3 Superficie de pH.....	40
3.4 Campaña de mediciones del (7 al 13) de Junio 2010.Transición entre la época de secas-lluvias.	43
3.4.1 Resultados de las trayectorias de las boyas liberadas durante la jornada del 10 al 12 de junio del 2010.	44
3.4.2 Superficie de potencial hidrogeno (pH).....	57
3.4.3 Perfiles de CTD.....	61
4. DISCUSIONES Y CONCLUSIONES.....	69
5. BIBLIOGRAFIA	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Zona de estudio, al norte el emisor, al sur la boca del Estero de Urías, las isobatas se presentan en metros.	10
Figura 2. Estructura que soporta el ADP	12
Figura 3. Boyas de Deriva de PVC con GPS integrado	19
Figura 4. Batimetría de la zona de estudio, los contornos se presentan en metros.	21
Figura 5. Condiciones de marea durante el periodo de muestreo de septiembre del 2009 y tiempos de medición	23
Figura 6. División de las regiones en la zona de estudio	26
Figura 7. Figura principal, trayectoria de boyas para experimento 1, septiembre del 2009	28
Figura 8. Trayectoria de boyas para experimentos 3 a 5 en septiembre del 2009.	29
Figura 9. Trayectoria de boyas para experimentos del 6 al 9 en septiembre del 2009.	30
Figura 10. Trayectoria de boyas del experimentos del 10 al 14 en septiembre del 2009.	31
Figura 11. Datos de dirección de viento para el mes de septiembre del 2009.	32
Figura 12. Cobertura espacio-temporal de la embarcación durante la campaña de septiembre del 2009.	33
Figura 13. Campo de velocidades verticalmente promediado para la campaña de septiembre 20, 2009.	35
Figura 14. Campo de velocidades verticalmente promediado para la campaña de septiembre 20, 2009.	36
Figura 15. Campo de velocidades verticalmente promediado para la campaña de septiembre 20, 2009.	37

Figura 16. Campo de velocidades verticalmente promediado para la campaña de septiembre 20, 2009, marea ascendente.	38
Figura 17. Campo de velocidades verticalmente promediado para la campaña de septiembre 20, 2009.	39
Figura 18. El potencia hidrogeno (pH) durante el recorrido de la zona sobre la zona de muestreo en septiembre 2009.	40
Figura 19. Superficie de temperatura, zona del emisor en grados centígrados.	41
Figura 20. Salinidad campaña septiembre del 2009 en (ppt).	42
Figura 21. Nivel del mar Mazatlán durante los días 8, 9, 10,11 y 12 de junio del 2010.	43
Figura 22. Trayectoria de boyas para el día 10 de junio del 2010, marea en descenso.	45
Figura 23. Trayectorias de boyas, día 10 de junio del 2010, hora 11:41-12:30.	46
Figura 24. Trayectoria de boyas día 10 de junio del 2010, de las 12:38-13:18.	48
Figura 25. Trayectorias día 12 de junio de 2010. 10:42-12:00.	49
Figura 26. Histograma y diagrama de rosas que muestra la magnitud y dirección del viento para el mes de junio del 2010.	50
Figura 27. Recorrido sobre la zona de estudio para la campaña del 8 de junio, 2010.	51
Figura 28. Capa verticalmente promediada de velocidades para la campaña de junio 8, 2010.	53
Figura 29. Capa verticalmente promediada de velocidades para la campaña de junio 10, 2010.	54
Figura 30. Capa superficial ADP para el corredor Jumapán, zona costera hotelera para la campaña de junio 12, 2010.	56
Figura 31. El pH presente en el recorrido de la zona de muestreo en junio 8, 2010.	57

Figura 32. Valores de pH observados durante el recorrido de la zona de muestreo, en junio 8, 2010.	58
Figura 33. Salinidad para la campaña de junio del 2010, en ppt.	59
Figura 34. Temperaturas en grados centígrados para junio del 2010.	60
Figura. 35. Perfiles de salinidad en (PSS) y temperatura ° C para la zona exterior del Estero de Urías, junio 11 del 2010.	62
Figura 36 a. Perfiles de CTD frente a la descarga terrestre frente a las instalaciones Jumapan.	63
Figura 36b. Perfiles de CTD frente a la descarga terrestre frente a las instalaciones Jumapan.	64
Figura 37. Grupo de perfiles sobre la mancha de agua del emisor.	65
Figura 38 a. Todos los perfiles de temperatura (°C) y densidad (kg m^{-3}) de la campaña de junio del 2010 en la zona de estudio.	66
Figura 38 b. Todos los perfiles de temperatura (°C) y salinidad (PSS) de la campaña de junio del 2010 en la zona de estudio.	67
Figura 39. Variación temporal de las velocidades en la boca del estero de Urías durante mayo- junio del 2010, las velocidades están en m/s.	68

LISTA DE TABLAS

Tabla I. Fechas en que se realizaron las mediciones y los equipos utilizados en cada una de las campañas. 15

Tabla II. Velocidad de desplazamiento de las boyas de deriva para septiembre del 2009. 25

En la Tabla III, se muestran las fechas de cada experimento realizados en la campaña, junto con su hora de inicio y la hora que se finalizó, la duración y en qué zona se realizó. 26

Tabla IV. Posición geográfica de las estaciones muestreadas con el CTD en la Bahía de Mazatlan para la jornada de septiembre del 2009. 34

Tabla V. Velocidad de desplazamiento de las boyas de deriva para la campaña de junio del 2010. 50

Tabla VI. Para la campañas de junio del 2010 se utilizó un CTD CAST AWAY YSI con las siguientes especificaciones. Tasa de Muestreo 5 Hz, usa baterías AA. 61

1. INTRODUCCION

Las playas constituyen áreas atractivas tanto para los turistas nacionales como para los extranjeros, al incrementar el turismo que las visita, crece la actividad comercial, aumenta la oferta de servicios, y como consecuencia se promueve el desarrollo de infraestructura. Estos factores contribuyen a mejorar la calidad de vida de la población local.

Para mantener la preferencia de los usuarios nacionales y extranjeros por los destinos turísticos de playa del país, se requiere de una evaluación exhaustiva de los posibles peligros que pudieran llegar a causar especialmente problemas a la salud humana, estos peligros han sido discutidos en los foros internacionales, como las reuniones organizadas por la organización mundial de la salud (WHO), los logros de estas reuniones han dado como resultado que se haya provisto a la población de lineamientos para el uso recreativo en ambientes acuáticos (WHO, 2003) en donde el principal objetivo es la protección de la salud humana y así en lugar de limitar el uso del agua, asegurar que sea utilizada de manera segura por la población.

El uso, explotación y aprovechamiento de las aguas nacionales está considerado en la Ley Federal del Mar, la Ley de Aguas Nacionales y la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua, entre otras.

Dado que las playas de Mazatlán forman parte del programa integral de playas limpias, se tiene implementando desde hace algún tiempo una red de monitoreo para la evaluación de *enterococos* y *coliformes* fecales en 15 estaciones de muestreo, distribuidas en una amplia región de la zona costera de la bahía y principalmente en la región aledaña al emisor submarino.

Dado que la actividad económica de Mazatlán principalmente está sustentada por el turismo, la pesca, el procesamiento de productos pesqueros y por la industria naval, el puerto tiene una población fija aproximada de 380,000 habitantes, esta cantidad fija se ve incrementada en un 20% de forma directa durante los periodos vacacionales (semana santa, carnaval, etc). Este número adicional de visitantes genera una sobre carga de aguas residuales de 200 l/s más que requieren al igual que las descargas promedio ser tratadas antes de verterse en el océano.

La planta tratadora de aguas residuales El Crestón dependiente de la junta Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Mazatlán, recibe las descargas urbanas y de la industria pesquera con altas cargas orgánicas en su mayoría solubles. Esta descarga es de aproximadamente 1500 l/s de aguas tratadas se vierte al océano a través de un emisor submarino situado a 800 metros de la costa a una profundidad aproximada de 20 metros. La presencia de sustancias potencialmente tóxicas en aguas residuales demandan la implementación de sistemas de tratamiento secundarios y terciarios para su remoción. La falta de

este tipo de sistemas de tratamiento en la planta del Crestón requiere de estudios que demuestren si la dispersión y dilución de dichos contaminantes en la bahía de Mazatlán, podría resultar nociva o no nociva para este cuerpo de agua.

1.1 Justificación del estudio

Como ya se mencionó en la sección anterior, existe una amplia red de monitoreo de variables bacteriológicas distribuidas en la zona de estudio. Los resultados generados en estos análisis necesitan complementarse con un estudio hidrográfico-hidrodinámico que incremente el acervo de conocimientos y que en conjunto nos capacite primero para entender la circulación marina y así en conjunto con los resultados bacteriológicos nos permita proponer una solución al problema de la contaminación que actualmente están generando las aguas residuales de la planta tratadora El Crestón, la cual como ya se ha mencionado descarga a la región oceánica importantes cantidades de agua medianamente tratadas. Es importante hacer notar que estos estudios deben de realizarse en diferentes épocas del año y bajo diferentes condiciones de forzamientos oceánicos como (flujo y reflujo de la marea, oleaje, época de secas, época de lluvias, periodos vacacionales, periodos normales), y junto con estos incluir el forzamiento atmosférico (vientos).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Estudiar las características de la circulación en la columna sobre el área de la descarga del difusor submarino de la planta El Crestón, y en la boca del Estero de Urías en la ciudad de Mazatlán, Sin, y sus efectos en la transporte de las descargas de aguas residuales del emisor y las descargas industriales en la boca del Estero de Urías.

1.2.2. Objetivos Particulares

Estudiar el comportamiento de las corrientes oceánicas costeras durante periodos de mareas vivas, mareas muertas, así como diferentes condiciones de viento y durante diferentes épocas del año.

Estudiar la influencia de la marea y del viento en la velocidad de la corriente y como consecuencia inferir los patrones de dispersión relativa de contaminantes en estas dos zonas, así como estudiar el comportamiento de la descarga ante diferentes condiciones de marea y viento.

1.3 Hipótesis

La dispersión al medio marino por el difusor de la planta El Crestón debe estar influenciada por los diferentes procesos naturales en el océano (marea, viento, oleaje). El primer paso para atacar el problema es estudiar la hidrodinámica del lugar.

1.4 Antecedentes

Diversos estudios se han realizado en la Bahía de Mazatlán, como ejemplo podemos citar el de la Secretaria de Marina en 1974, la cual efectuó un estudio geográfico del puerto de Mazatlán, donde se recopilaron datos generales sobre la geografía del puerto, así como el comportamiento ecológico de las aguas y especies. De acuerdo a sus resultados, se concluyó que la principal fuente de contaminación en la bahía de Mazatlán, provenía de las descargas de aguas negras y en menor proporción por las aguas de desecho de la industria de empaque de alimento.

Montaño-Ley (1985), realizó un estudio sobre la hidrodinámica de la bahía en donde se determinó que el transporte dominante es en dirección noroeste a lo largo de la costa.

En un estudio realizado durante 4 años por Mee *et al.* (1985), Enfocó a detectar zonas de surgencias en el periodo invierno-primavera mediante la interpretación de diferencias de temperaturas en superficie y a 10 m de profundidad en una estación ubicada a dos millas de Mazatlán, encontró que las mayores diferencias en temperatura corresponden a los años 1980-1984, excepto en 1983 cuando se presentaron signos de calentamiento del agua provocado por el fenómeno del Niño.

Cabrera-Dueñas (1988) aplicó un modelo bidimensional para calcular la circulación inducida por el viento, mediante el cual se describe una serie de giros ciclónicos y anticiclónicos en algunas zonas de la bahía, que se invierten, dependiendo de la dirección del viento.

Alonso-Rodríguez y Ochoa (2002), realizaron un estudio hidrográfico con el fin de identificar las condiciones que promueven la generación y desarrollo de eventos comúnmente nombrados marea roja en la Bahía de Mazatlán durante el periodo invierno-primavera del año 2000. Las condiciones hidrológicas de la Bahía de Mazatlán en este periodo fueron propicias al inicio, desarrollo y mantenimiento de las mareas rojas.

Con la finalidad de conocer algunas de las condiciones hidrológicas y ambientales durante la presencia de la marea roja en la Bahía de Mazatlán, Alonso-Rodríguez (2004), realizó un estudio donde las condiciones hidrológicas

durante el desarrollo de estas, las cuales estuvieron enmarcadas por condiciones de alta estratificación de la columna de agua. Los vientos dominantes fueron mayores a 7 nudos en su mayoría, provenientes del NO a principios de la temporada de estudio y del ONO y OSO al final, coincidiendo con la temperatura de mareas rojas.

2. METODOLOGÍA

2.1. Área de estudio

La región de estudio en particular la comprenden dos pequeñas regiones de la bahía de Mazatlán, al norte la primer región es una costa abierta frente a la zona turística de Mazatlán con irregularidades de dimensiones cercanas a 0.5 Km y profundidades menores a los 20 m. Al sur la zona costera de la desembocadura del Estero de Urías. Son motivo de estudio ya que por un lado en la región norte se encuentra el emisor submarino del cual el agua viene medianamente tratada y así es introducida al mar. La otra región al sur es la desembocadura del Estero de Urías, por el canal del estero algunos desechos de la industria pesquera son transportados hacia la zona costera en marea descendiente y luego depositados en esta, en marea ascendente al llenar el canal con agua de mar, existe la posibilidad de las corrientes transporten contaminantes provenientes de la zona del difusor.

En la región existen varios tipos de climas. En el centro, sur y este predomina el clima cálido subhúmedo con lluvias en verano; hacia el norte existen climas templados semicálidos y subhúmedos con lluvias en verano, y en el oeste el clima es semi-seco muy cálido con lluvias en verano.

La temperatura media anual es de 25° C, con una precipitación promedio anual de 740 milímetros. Los vientos dominantes vienen del noroeste con velocidad promedio de 5 m s⁻¹. Por su ubicación el municipio es susceptible de ser afectado por perturbaciones tropicales.

En la costa los vientos de invierno, predominan al oeste y noroeste y durante el verano principalmente los vientos del suroeste. La corriente litoral en invierno se dirige hacia el sur y en verano hacia el norte. Normalmente, la velocidad de la corriente litoral varía de 0.05 a 0.9 m s⁻¹, durante el año, incrementándose en la época de tormentas.

La bahía está influenciada por mareas de tipo mixta semidiurna. Estas se caracterizan por la extensión de dos pleamares y dos bajamares cada día y una mayor que la otra. Las mareas en este sistema tienen una amplitud media de hasta 1.14 m. Su oleaje en la zona es alto, fenómeno producido por el viento al actuar sobre la superficie del mar, es posible distinguir dos tipos de oleaje: local y distante.

El oleaje local se produce en la zona por vientos actuantes en el lugar y que presentan por estar dentro de la misma zona de generación, un aspecto irregular y caótico, sus características fundamentales son: el periodo y la amplitud. En cambio el oleaje distante, es aquel que se produce en una zona lejana y que su misma celeridad lo desplaza con una dirección determinada, en una forma regular, con periodos bien definidos de crestas y valles redondeados. Dentro del oleaje distante, se puede considerar el oleaje ciclónico, el que se produce por efecto del ciclón frente al sitio.

Frente a la planta de tratamiento El Crestón la batimetría alcanza profundidades de 14 m con una pendiente pronunciada (Figura 1). La bahía se encuentra influenciada por la Corriente de California y por la Corriente Nor ecuatorial del Pacífico, lo que origina que a lo largo del año se presenten amplias variaciones en las condiciones hidrológicas de la bahía.

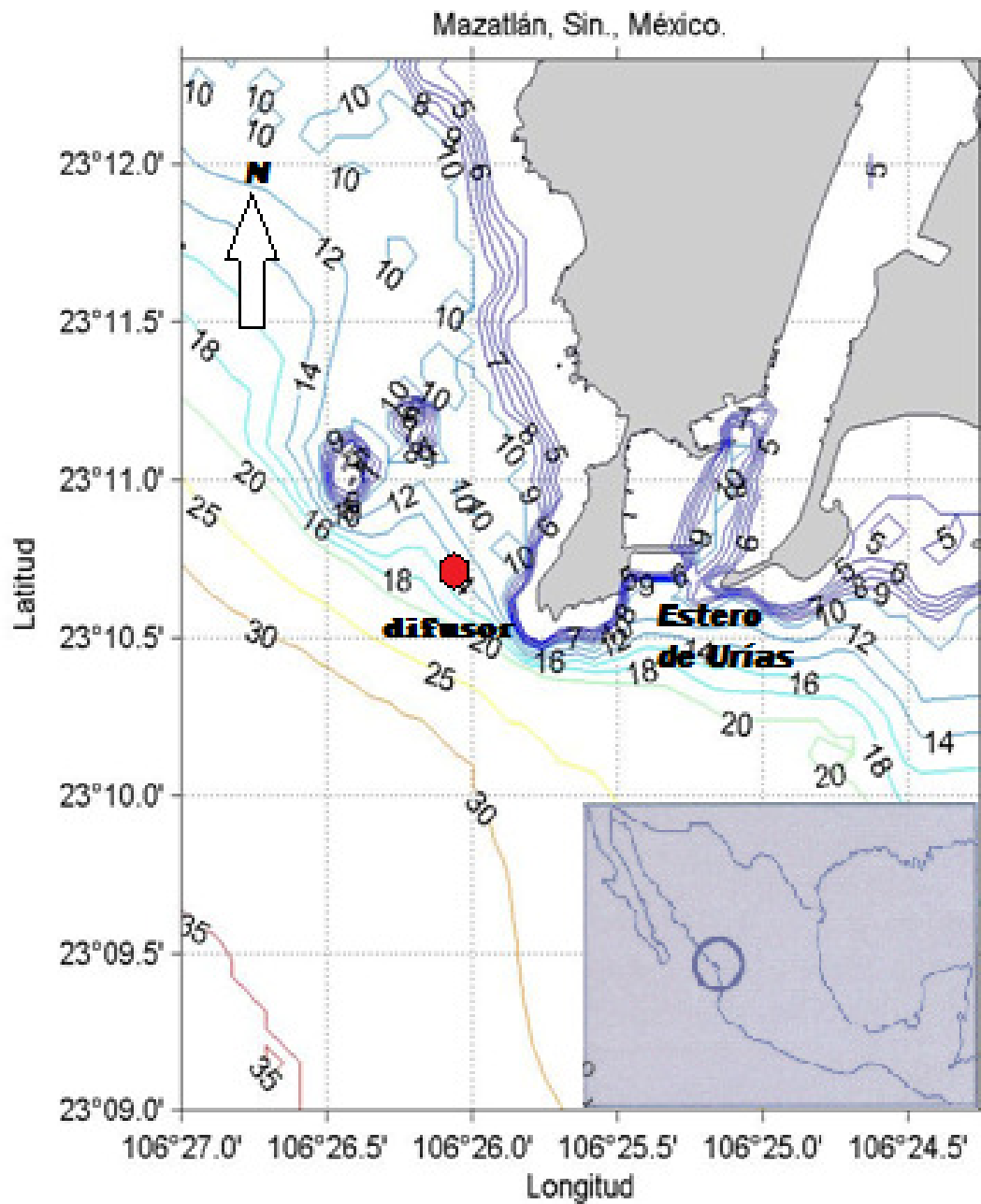


Figura 1. Zona de estudio, al norte el emisor, al sur la boca del Estero de Urías, las isobatas se presentan en metros.

2.2 Métodos

2.2.1 Experimento de arrastre con ADP

Los muestreos oceanográficos de las dos campañas usadas en este estudio, de las cuales la primera se realizó en septiembre del 2009 (época de lluvias) y la segunda en junio del 2010 (época de estiaje tardío) consistieron en el arrastre superficial de un perfilador acústico de corrientes Doppler (**ADP**) SONTEK de 1000 KHz el cual tiene una resolución para la velocidad de 0.1 cm s^{-1} , y un rango de velocidades que puede alcanzar los $\pm 10 \text{ m s}^{-1}$, la exactitud en velocidad es de $\pm 1\%$ o $\pm 5 \text{ cm s}^{-1}$ y permite programar hasta 100 celdas de velocidad en un solo experimento. Al (ADP) se incorporó la información de navegación mediante el acoplamiento de un GPS unido a este mediante un cable USB-puerto serial RS232, se colectaron datos de velocidad y posición de forma simultánea a lo largo de varios transectos de longitudes variables previamente determinadas y en la mayoría de las veces orientados paralelos o perpendiculares a la costa según los requerimientos del muestreo (**Figura. 2**). Los transectos fueron realizados con el fin de capturar información de velocidad en la columna de agua y posición geográfica a lo largo de estos.

El ADP se instala en una estructura de madera o metal no magnético que puede ser de (aluminio, acero inoxidable o madera) especialmente diseñada para tal fin, luego la estructura soporte del tipo que sea se monta en el franco bordo de babor o estribor de una embarcación cualquiera y mediante un sistema de

abrazaderas metálicas no magnéticas o mediante madera o cinta gris es sujeta esta (Figura 2).



Figura 2. Estructura de madera soporte del ADP.

Antes de poner en movimiento la embarcación, lo primero que debe hacerse es calibrar la brújula del ADP y el sensor de presión para asegurar calidad en la dirección, y estimar la profundidad a la que quedara sumergido el sensor, una vez realizada esta calibración se recomienda parar en un punto y hacer una colecta de datos estacionarios de mínimo 5 minutos, si es posible anclar la embarcación en el punto usando doble ancla, este procedimiento nos permite tener una idea aceptable de la magnitud del flujo presente y así intentar navegar siempre a velocidad menor o igual que la del flujo, al iniciar los transectos los 3

hazes sónicas del ADP penetran la columna de agua hasta llegar el fondo permitiendo perfilar corrientes a diferentes profundidades, de acuerdo a como el ADP fue programado con anterioridad. En este estudio el ADP muestreó perfiles cada segundo y luego promedió 30 de estos, estimando la velocidad promediada de 30 perfiles por cada capa, es importante mencionar que este aparato envía un doble haz sónico, con los rebotes a los blancos acústicos presentes en la columna de agua (***granos de arena, pteropodos y diatomeas***) estima la velocidad de dichas partículas bajo la premisa que estas viajan en promedio a la velocidad del agua, así se estimó la velocidad a diferentes capas del fluido (en esta caso se escogió un ancho de celda de 1 m) con el segundo haz que sale de la cabeza de sensores de frecuencia diferente que el primero detecta el fondo a diferentes tiempos de viaje de la embarcación, así este segundo haz estima la velocidad y dirección de la lancha solamente, esta velocidad tiene que ser removida de la estimada por los sensores usados para la detección de la velocidad de las partículas, al ser removida de la velocidad relativa, nos queda la velocidad total pero solo debido al movimiento del fluido. De forma simultánea se acopló un posicionador global de satélite (GPS) el cual mediante el software provisto por el fabricante del ADP permite integrar un archivo con velocidades y posición sincronizadas de tal forma que posteriormente mediante programación es posible determinar la variación espacio-temporal del campo de velocidades para cada superficie de velocidad.

Primero se procesaron los datos crudos del ADP generando un primer archivo de datos usando el programa Riversurveyor.exe, este programa genera un archivo de posiciones latitud, longitud en ASCII (unidades ingenieriles), luego se pasan los datos crudos de las componentes de velocidad u y v por el programa VIEWADP.EXE en este se depuran los datos aplicando como límite de la parte superior del archivo el dato del sensor de presión o en su defecto si es un experimento en arrastre el rastreador del fondo (BOTTOM TRACKING), esta corrección permite remover en pantalla el efecto de la velocidad y dirección del bote al flujo real, después se aplicó un segundo parámetro de calidad conocido como el umbral de velocidad que para este caso fue un factor de 5 decibeles, finalmente se aplicó a los datos un filtro tipo campana de Gauss de 3 pesos tanto en las filas horizontales como en las columnas verticales, una vez realizada esta depuración a los datos, estos fueron exportados al disco duro de una PC para su utilización en otro paquete de programática conocido como MATLAB. Las fechas así como los equipos empleados en cada una de las dos campañas de mediciones se presentan en la **(Tabla I)**.

Tabla I. Fechas en que se realizaron las mediciones y los equipos utilizados en cada una de las campañas.

EQUIPOS	20-24 DE SEPTIEMBRE 2009			7-13 DE JUNIO 2010
Perfilador acústico de corrientes Doppler (ADP)	X			X
CTD (perfilador vertical) modelo Seabird 19	X			
CTD modelo Cast Away Sontek.				X
Posicionador global de satélite (GPS)	X			X
Sonda multiparamétrica Modelo DS5X	X			X
Estación meteorológica.	X			X
4 boyas de deriva Lagrangena.	X			X
Lancha fibra de vidrio	X			X

2.2.2 Sonda multiparamétrica Hydrolab.

Junto al ADP se adhirió en la misma estructura una Sonda multiparamétrica Hydrolab DS5X, la cual registra y luego almacena la información cada 30 segundos, puede hacer mediciones simultaneas de hasta 15 parámetros de calidad de agua, tiene 7 entradas adicionales de sensores para aplicaciones específicas, motor con cepillo central, limpia todos los sensores antes de cada medición y previene la acumulación de biofilme, hace colecta de datos

superficiales o a profundidad de salinidad, temperatura, pH, fluorescencia y oxígeno disuelto.

2.2.3 Perfiles de CTD

Simultáneo al perfilado de las corrientes con el ADP, se hicieron perfiles de temperatura, conductividad, oxígeno disuelto y pH con un CTD modelo Seabird 19, las posición geográfica de las estaciones de CTD para cada campaña, las coordenadas de las estaciones por campaña se muestran en la (**Tabla IV**). Este CTD puede alcanzar profundidades de hasta 10, 000 m, se puede operar en 2 modos, en perfiles o fijo en el fondo en modo autónomo adherido a una estructura, necesita 9 pilas alcalinas de tamaño D, las cuales proporcionan hasta 40 horas de operación, posee una memoria RAM estática CMOS que permite 30 horas de grabación (por 1024 K estándar de memoria de bytes), un conector de cierre de 4 segundos por cable de una sola terminal auxiliar de entradas A/D, mientras que el muestreo en dos lecturas por segundo. El arreglo, diagnósticos, y descarga de datos se realizan sin necesidad de abrir la caja, con este se hacen mediciones de las características del agua, tales como salinidad, temperatura, pH, fluorescencia y oxígeno disuelto en la columna de agua.

Los datos obtenidos con el CTD son extraídos de la memoria interna del aparato y vía cable serial-USB cargados a la memoria de la PC, en la PC los datos crudos son procesados de manera rutinaria, luego son convertidos del lenguaje hexadecimal a decimal a través del programa SEATERM –DATCNV luego de

ser convertidos a decimal se eliminan de los archivos los datos del tiempo de estabilización de los sensores, periodo de tiempo que el CTD permanece en superficie aproximadamente 1 minuto. Dado que los sensores de este equipo en particular muestrean a diferentes intervalos de tiempo los datos de diferentes variables deben ser puestos en sincronía mediante el programa FILTER disponible en la paquetería de programación provista por el fabricante del equipo. Los perfiles de CTD para todas las campañas se presentan en el capítulo de resultados.

2.2.4 Datos de viento

Los datos de viento mostrados en cada campaña de mediciones fueron obtenidos de una estación meteorológica localizada en el Hotel El Cid coordenadas ($23^{\circ} 15' 19.42''$ N y $106^{\circ} 27' 3.30''$ W), de la ciudad de Mazatlán, la estación colecta datos de viento cada media hora, se cuenta con una base de datos anuales con los cuales se analizó el comportamiento de viento.

2.2.5 Flujos a través de la Boca del Estero de Urías.

Solo para la primera y cuarta jornadas de medición y para determinar la variación temporal de los flujos que entran y salen por la boca del estero de Urías, se desplegó a una profundidad de ± 12 m un segundo Perfilador Acústico de Corrientes marca AWAC, este fue programado para coleccionar datos de corrientes en capas de 1 m y promediando 120 s de datos de corrientes. Este aparato permaneció fondeado en ese lugar en las coordenadas (N 23.17824 W y 106.41910) donde permaneció hasta la conclusión del experimento de campo de junio del 2010. En este trabajo solo se presentan los resultados para las velocidades de la jornada de junio del 2010.

2.2.6 Campo de Velocidad Superficial Lagrangeana.

Para tener el perfil completo de velocidades en la vertical, fue necesario complementar los perfiles de velocidad obtenidos con el ADP, ya que al utilizar este equipo en modo arrastre dependiendo de la frecuencia de fabricación en este caso 1000 KHz no es posible medir la capa superficial ya que el equipo tiene una zona ciega de 0.7 m y tomando en cuenta que el sensor queda hundido aproximadamente 0.3 m por debajo de la superficie y aunado a esto el ADP mide la velocidad al centro de la capa predeterminada, la cual en este experimento fue predeterminada de 1.0 m, esta situación nos impide coleccionar datos de velocidad de la capa superficial. Esta capa superficial no medida con el ADP es después recuperada mediante cuatro boyas de deriva las cuales

fueron liberadas en la zona de estudio en fase con el experimento de arrastre del ADP. Estas boyas de deriva fueron hechas en forma de cruceta de 30 cm de alto por 65 cm de largo de tubo PVC y cuentan con una pequeña bandera fluorescente para mejor visibilidad, y mínimo arrastre por viento así como con un GPS individual que nos capacita para un seguimiento efectivo de su trayectoria durante los experimentos de campo y luego permite bajar de la memoria de un dispositivo de almacenamiento de memoria las rutas de cada boya individual. Para llevar a cabo los experimentos se pusieron las boyas en un punto inicial el cual fue registrado mediante un GPS. Posteriormente se registró la posición de las boyas periódicamente mientras eran transportadas por la corriente y así se obtuvo una trayectoria para cada boya de forma individual. Cada boya tenía un color específico para poder ser diferenciada al momento de ser posicionada vía satélite (Figura 3) finalmente y mediante el programa MAPSOURCE.EXE se procesó la información de las trayectorias de las boyas y esta se presentan en figuras más adelante para ser comparadas contra las velocidades del ADP.



Figura 3. Boyas de Deriva de PVC con GPS integrado.

2.2.7 Batimetría.

Para elaborar la batimetría (Figura 4) requerida en este trabajo se utilizaron los datos obtenidos del ADP, el ADP hace un barrido con los tres haces para la colecta de datos de profundidad, esta información es reportada en un archivo con extensión .dis la cual integra datos de tiempo, profundidad, temperatura, velocidad de la embarcación así como los datos de posición del GPS. Finalmente los datos de profundidad deben corregirse por el efecto de la marea antes de elaborar la carta batimétrica.

A los datos anteriores se les aumento los obtenidos de la digitalización del portulano 363_3 (secretaria de marina, 2003). Con ambas bases de datos se generó un archivo con posición y profundidad. Posteriormente se interpolaron los datos de profundidad sobre una malla cartesiana, con la que se que generó una distribución de profundidades (Figura 4).

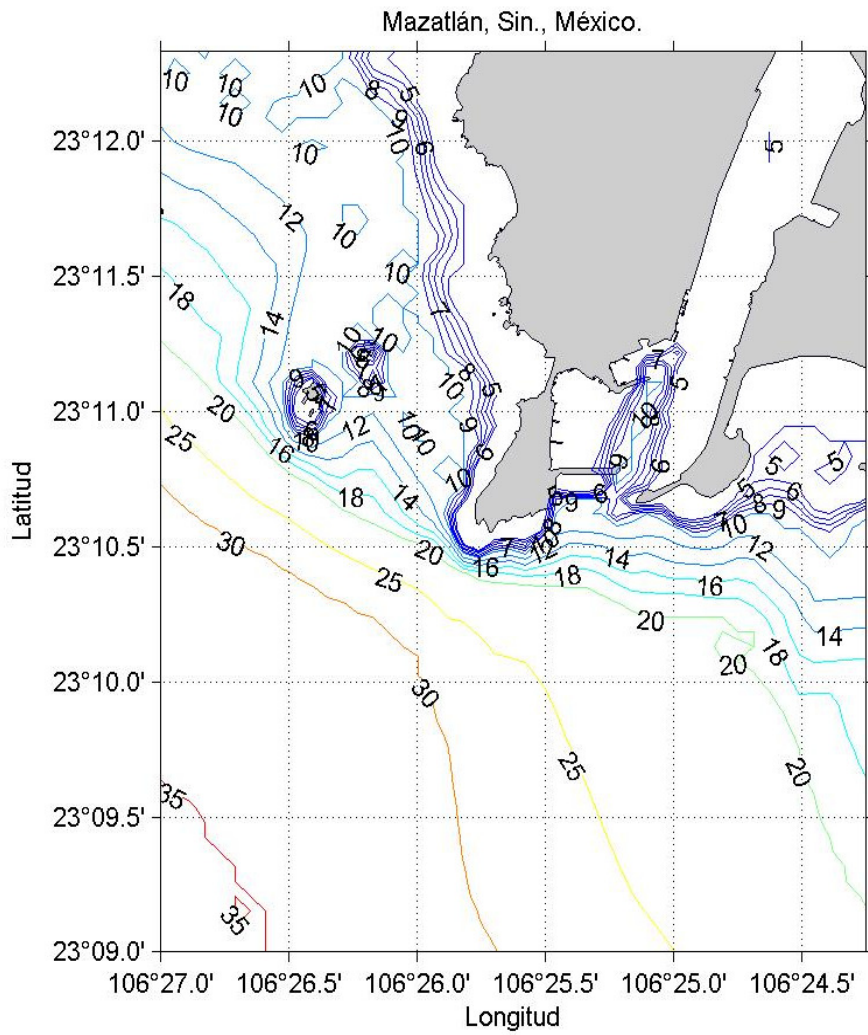


Figura 4. Batimetría de la zona de estudio, los contornos se presentan en metros

3. RESULTADOS

Una vez concluido los experimentos de campo, en este capítulo se muestran los resultados para cada instrumento en forma de figuras, en la tabla II se muestran las fechas en las que realizaron las campañas de medición, así como los equipos utilizados en estas.

Una vez procesados y depurados, los resultados se presentan en el siguiente orden para cada las dos campañas de mediciones.

Campaña de mediciones época de lluvias (20-24 de septiembre del 2009).

3.1 Trayectorias de las boyas de deriva

En la Figura 5, se observan las condiciones del estado de la marea prevalecientes al momento de los experimentos de la campaña de septiembre, claramente se observa en esta, que las boyas fueron liberadas en mareas de flujo y reflujo respectivamente, en un periodo de tiempo comprendido del 20 al 25 de septiembre.

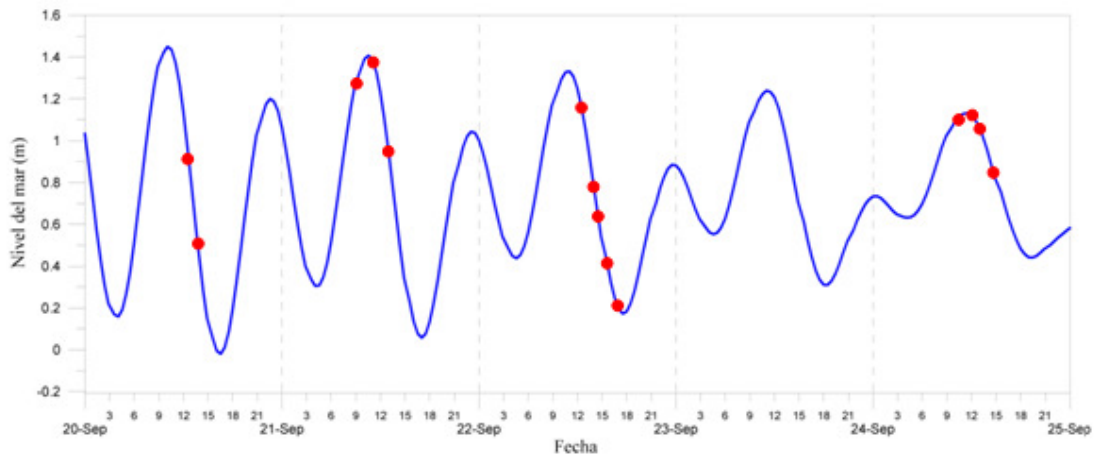


Figura 5. Condiciones de marea durante el periodo de muestreo de septiembre del 2009 y tiempos de medición.

Las observaciones de campo se realizaron en las zonas más impactadas tanto en la zona afectada por la descarga terrestre de la planta de tratamiento JUMAPAN que desemboca al mar, así como la descarga marina de la misma planta de tratamiento que descarga directamente a través emisor submarino, se incluye la zona del canal del estero de Urías.

Se hicieron mediciones de corrientes en la primera campaña por un periodo de 24 horas continuas con la intención de muestrear corrientes y variables químicas y biológicas bajo diferentes condiciones de marea y viento para identificar su variabilidad espacial y temporal así como la importancia de los mecanismos de forzamiento. *A priori* La forma de la línea de costa, la variabilidad del viento, el nivel del mar y la presencia de la boca del estero de Urías sugieren una

circulación de escala local forzada por la señal de marea principalmente en contribución con el viento, cuando este está en fase con la marea de reflujo.

Las fechas, duración de los experimentos y el recorrido se eligieron de tal forma que nos permitiría cubrir los objetivos antes mencionados, medir las características químicas y biológicas del agua, las corrientes y su comportamiento debido a la variabilidad diurna de los vientos y marea en general.

Para estudiar y complementar en entendimiento de las corrientes en toda la columna de agua y con el fin de recuperar la capa de la corriente superficial se hicieron experimentos de liberación de boyas de deriva, antes se muestra en la Figura 6 la división de gabinete hecha para seccionar la zona para su estudio. Las trayectorias seguidas al momento del experimento de campo para esta campaña se presentan en las Figuras 7, 8, 9, 10, y 11 respectivamente. El primer experimento de liberación de boyas fue el día 20 de septiembre del 2009, comenzó a las 11:57 y concluyó a las 13:26, las boyas liberadas fueron la azul, coco (magenta), naranja y roja estas muestran las trayectorias de cada boya, así como el patrón de dispersión de cada grupo de boyas. La Tabla III muestra las velocidades promedio de desplazamiento de cada boya así como el promedio del conjunto de boyas para cada experimento.

En la Tabla II, se muestran las velocidades individuales de cada una de las boyas en cada uno de los experimentos realizados, y la velocidad promedio con los diferentes colores de boya (azul, naranja, verde y rosa) en el mismo experimento.

Tabla II. Velocidad de desplazamiento de las boyas de deriva para la campaña de septiembre del 2009.

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

En la Tabla III, se muestran las fechas de cada experimento realizados en la campaña, junto con su hora de inicio y la hora que se finalizó, la duración y en qué zona se realizó.

Experimento	Fecha	Hora de inicio	Hora final	Duración (min)	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

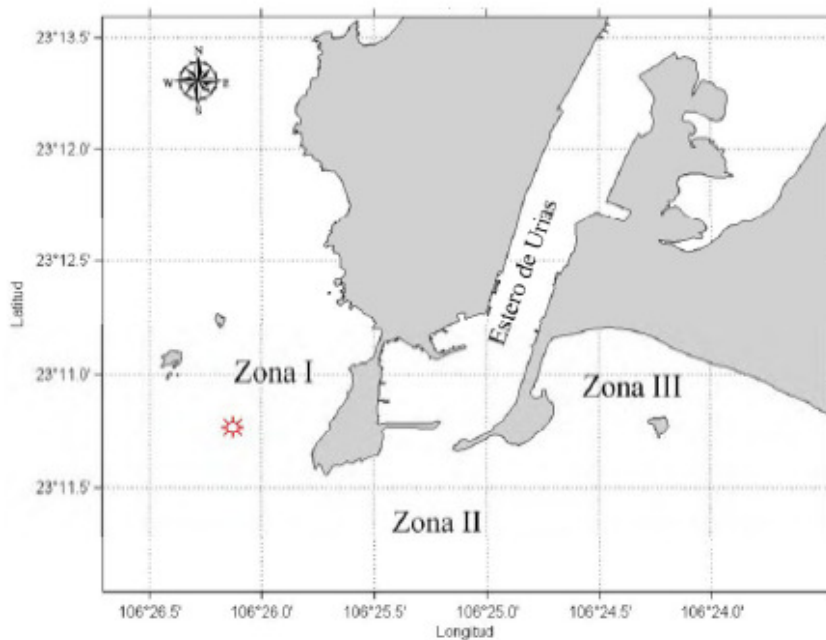


Figura 6. División de las regiones en la zona de estudio.

En la Figura 7 se muestra la liberación de las boyas para el experimento 1, es importante mencionar que este experimento de boyas comenzó justo antes del inicio de la marea descendiente, por lo que se puede observar un cambio en la dirección de la trayectoria de las boyas de 180° . La velocidad promedio para este experimento fue de 7 cm s^{-1} .

El experimento 2 se llevó a cabo durante el proceso de cambio de marea (la marea muerta), la velocidad promedio observada resultó de 0.15 m s^{-1} . En la misma figura se ve que la trayectoria resultante de la deriva de las boyas es hacia el sur-este.

Se observa en ambos experimentos que el agua circularía hacia punta Crestón. El viento viene del NO y su intensidad es de 3 m s^{-1} no parece influir significativamente a la circulación aunque la dirección de las boyas está en fase con este.

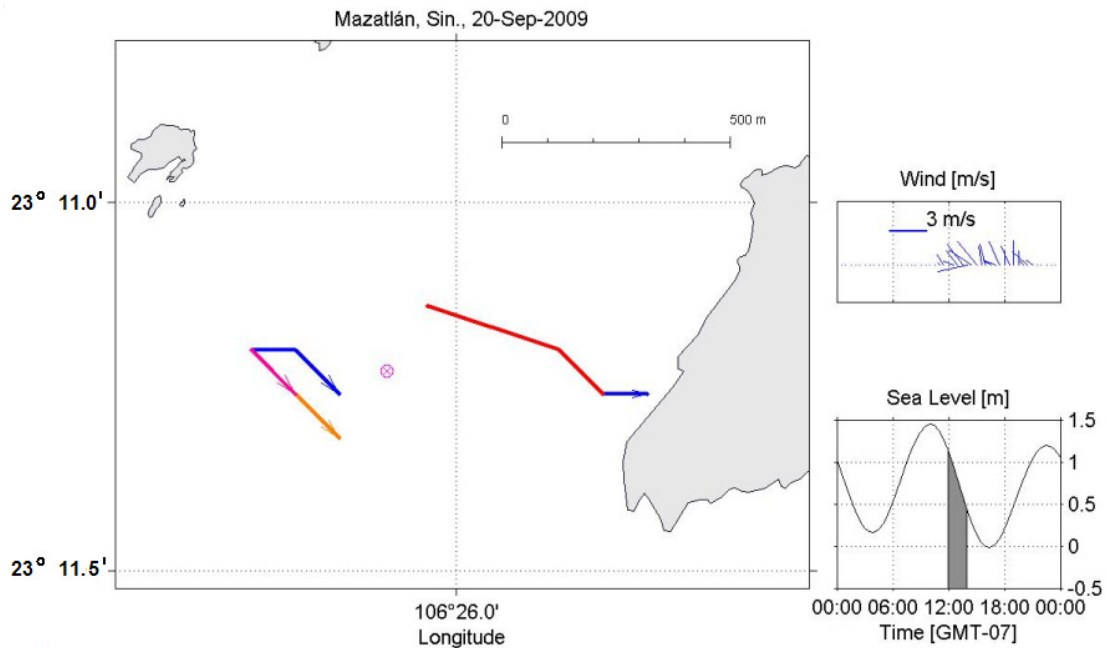


Figura 7. Figura principal, trayectoria de boyas para experimento 1, septiembre del 2009.

En la Figura 8, se muestran los experimentos de boyas 3 y 4, se realizaron en marea ascendente y su trayectoria es hacia el sur-este y nor-este respectivamente. Para el experimento 3 se observa una dispersión lateral de las boyas, mientras que para el experimento 4 se ve una dispersión un tanto turbulenta entre estas. Las velocidades para cada experimento fueron de 14.0 cm s^{-1} y 7.0 cm s^{-1} respectivamente.

Para el experimento 5 las boyas fueron liberadas justo en la convergencia de agua generada por el emisor, se observó un movimiento giratorio a su alrededor aun cuando las corrientes de marea se encontraban ya bien establecidas. Esto indicaría que el emisor está generando una ruptura en el patrón de corrientes del

ambiente la cual propicia turbulencia y a su vez una mayor mezcla entre las dos masas de agua.

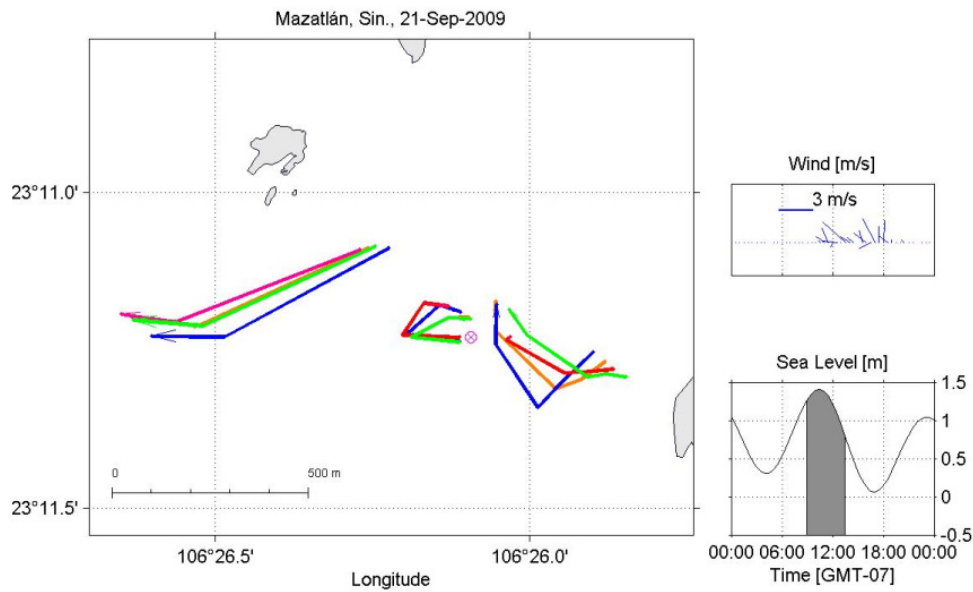


Figura 8. Trayectoria de boyas para experimentos 3 a 5 en septiembre del 2009.

En la Figura 9. Se muestran los experimentos de las boyas 5,6 y 7 en esta figura se ven las trayectorias de las boyas que fueron colocadas en la boca del Estero de Urías, está claro que sus trayectorias obedecen al forzamiento por marea, las boyas se dirigen hacia la zona oceánica en flujos intensos, mientras que a la izquierda de la boca del estero las boyas se dirigen claramente hacia el este, estas muestran una disminución notoria en su velocidad cuando comparada con el flujo principal observado en las trayectorias de la boca.

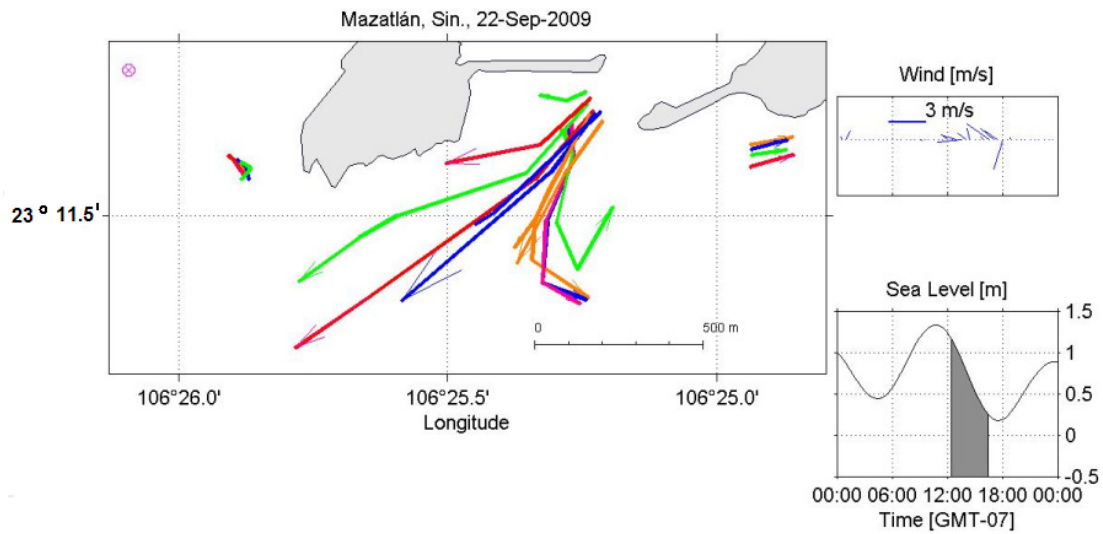


Figura 9. Trayectoria de boyas para experimentos 6 al 9 en septiembre del 2009.

En la Figura 10, se muestra el experimento 10 correspondiente a bajamar y se puede observar como las velocidades son muy pequeñas, en el orden de 4 cm s^{-1} y transitan en dirección sur-este.

Los experimentos 12 y 13 se realizaron en marea entrante con un rango de mareas de 0.06 m lo cual es menor que los días anteriores (1.4 m a 1.1 m). Para cada uno de los experimentos se observaron velocidades de 28.0 cm s^{-1} y 23.0 cm s^{-1} respectivamente. La trayectoria de ambos experimentos fue hacia el Nor-Este y se observó dispersión lateral entre las boyas, En la figura se puede observar como la pluma de dispersión del emisor impacta directamente los islotes de las Dos Hermanas.

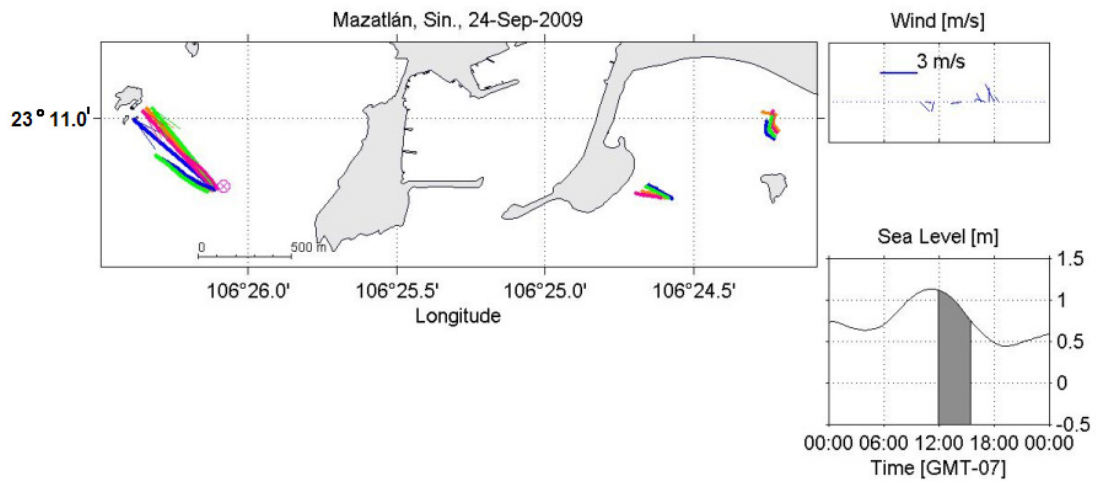


Figura 10. Trayectoria de boyas de los experimentos del 10 al 14 en septiembre del 2009.

A partir de la información obtenida de la estación meteorológica ubicada en las inmediaciones del Hotel el Cid, se estableció que los vientos observados durante los días de experimentos fueron predominantes del NO y NNO (Figura 11) mostrando una variación diurna que se intensifica a partir de las 9:00 h y desciende a partir de las 20:00 h.

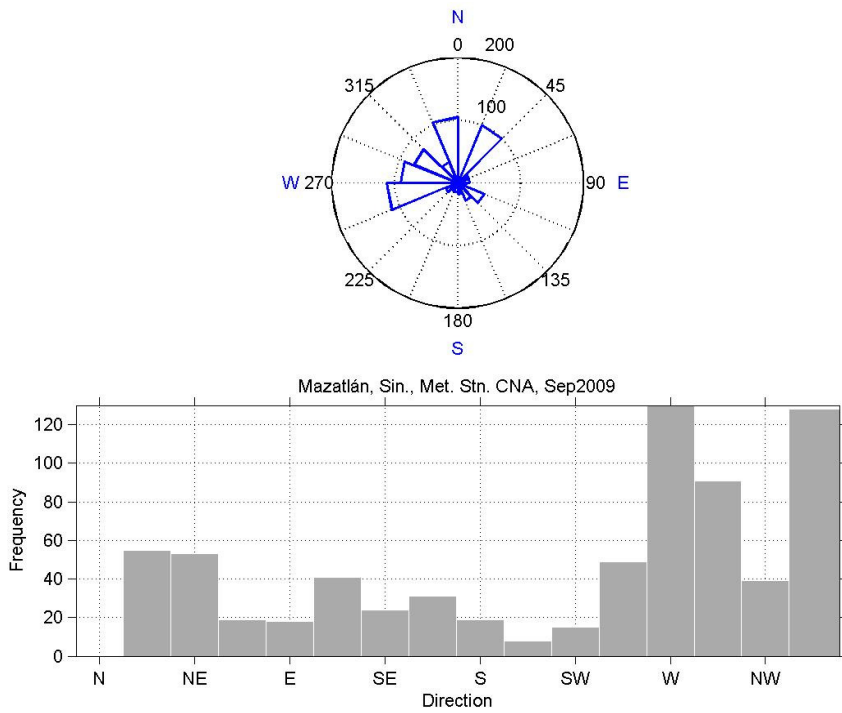


Figura 11. Datos de dirección de viento para el mes de septiembre del 2009.

En la figura 12 se muestra la cobertura espacial en los recorridos de sonda multipamétrica y ADP para la jornada de septiembre del 2009. Al momento del recorrido el estado de la marea fue de reflujo y con un viento moderado viniendo de la dirección ONO con una intensidad media de 3 m/s.

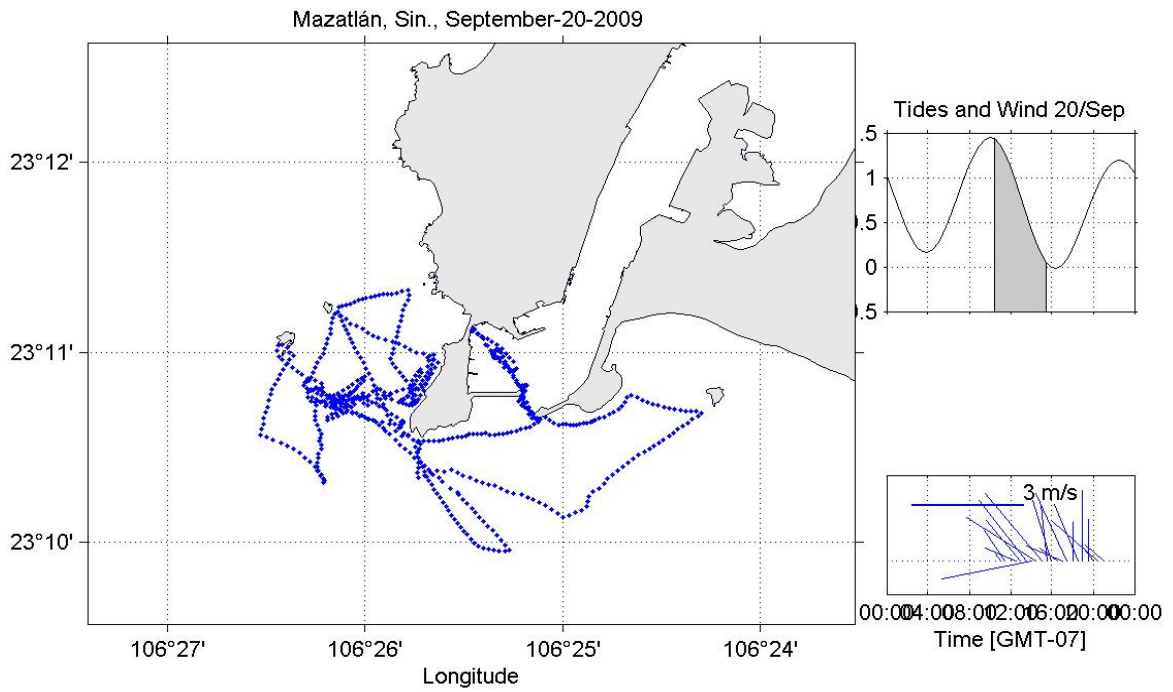


Figura 12. Cobertura espacio-temporal de la embarcación durante la campaña de septiembre del 2009.

3.2 Perfilador de corrientes (ADP).

Tabla IV. Posición geográfica de las estaciones muestreadas con el CTD en la Bahía de Mazatlan para la jornada de septiembre del 2009.

Estación	Posición geográfica	
	Latitud	Longitud
1	23° 18' 44.34"	106° 29' 07.56"
2	23° 18' 47.15"	106° 29' 21.34"
3	23° 17' 03.82"	106° 28' 38.77"
4	23° 16' 57.69"	106° 28' 51.07"
5	23° 15' 23.08"	106° 28' 02.95"
6	23° 15' 16.58"	106° 28' 15.24"
7	23° 15' 16.58"	106° 28' 15.24"
8	23° 14' 02.84"	106° 27' 12.03"
9	23° 13' 1.67"	106° 25' 34.04"
10	23° 12' 54.91"	106° 25' 46.20"
11	23° 11' 34.87"	106° 25' 57.01"
12	23° 10' 48.90"	106° 26' 38.00"
13	23° 11' 03.33"	106° 25' 50.98"
14	23° 10' 42.00"	106° 26' 12.00"
15	23° 10' 19.78"	106° 26' 18.47"
16	23° 10' 40.14"	106° 25' 12.36"
17	23° 10' 19.14"	106° 25' 41.71"
18	23° 10' 42.50"	106° 24' 32.44"
19	23° 10' 13.56"	106° 24' 42.91"
20	23° 09' 58.82"	106° 25' 18.49"

En la Figura 13, se puede observar la velocidad promediada verticalmente en la región de la boca del Estero. En la boca del estero se ve que los vectores se dirigen en todas direcciones debido a que en este momento la marea se encuentra en proceso de cambio, por otro lado los vectores de velocidad por afuera de la boca hacia el mar se dirigen en direcciones SO y NO, con marea

muerta y con viento proveniente del NO, el viento no parece influenciar este proceso.

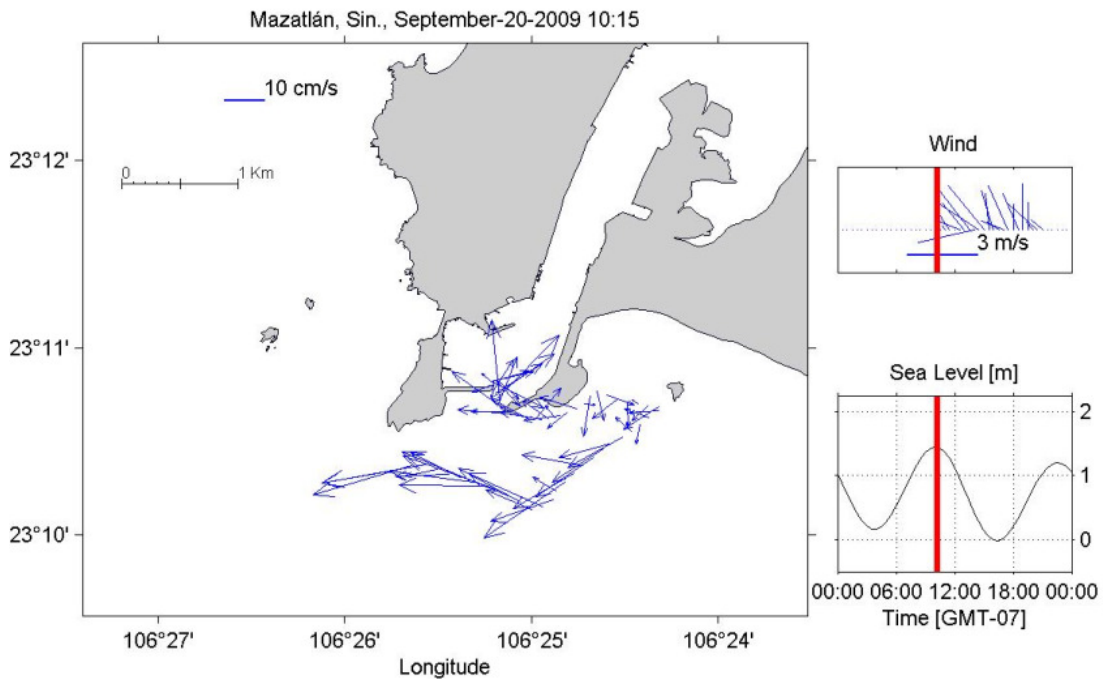


Figura 13. Campo de velocidades verticalmente promediado para la campaña de septiembre 20, 2009.

En esta Figura 14, se puede observar que los vectores de la velocidad promediada verticalmente se dirigen hacia NO en la región cercana a Punta Crestón, cuando el estado de la marea esta en marea muerta e iniciando en estado de reflujó y con viento del NO.

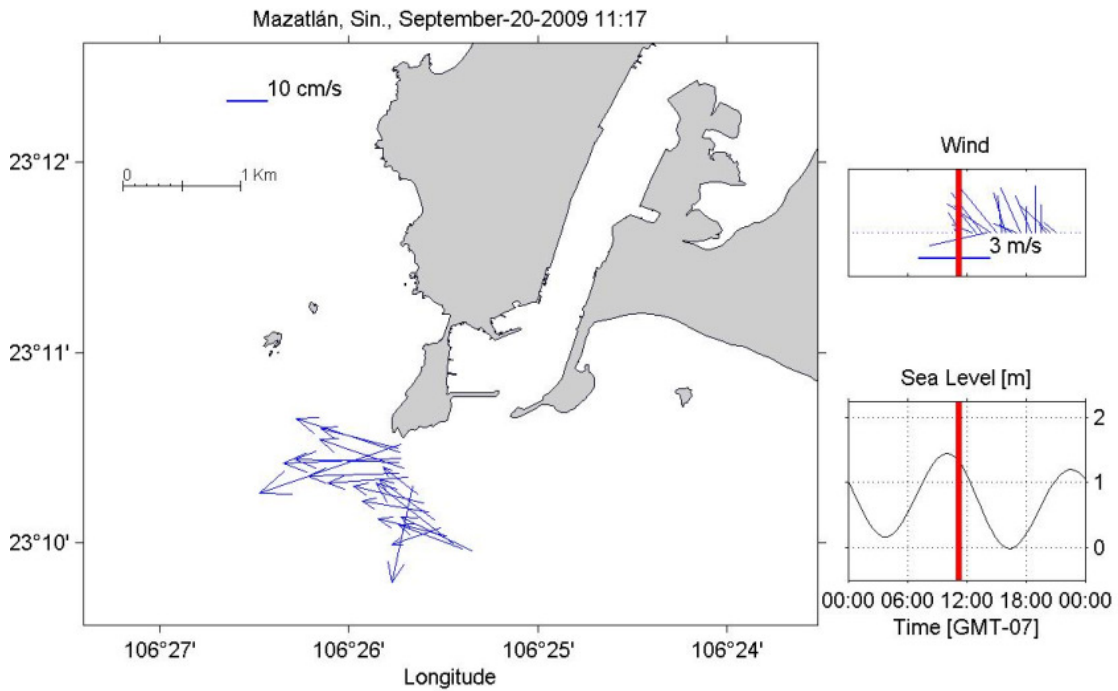


Figura 14. Campo de velocidades verticalmente promediado para la campaña de septiembre 20, 2009.

En la Figura 15 se puede observar la velocidad promediada verticalmente los vectores justamente sobre el emisor se dirigen NO y los vectores que están en la orilla de la costa se dirige hacia el sur, cuando la marea está en estado de reflujó y con viento del NO.

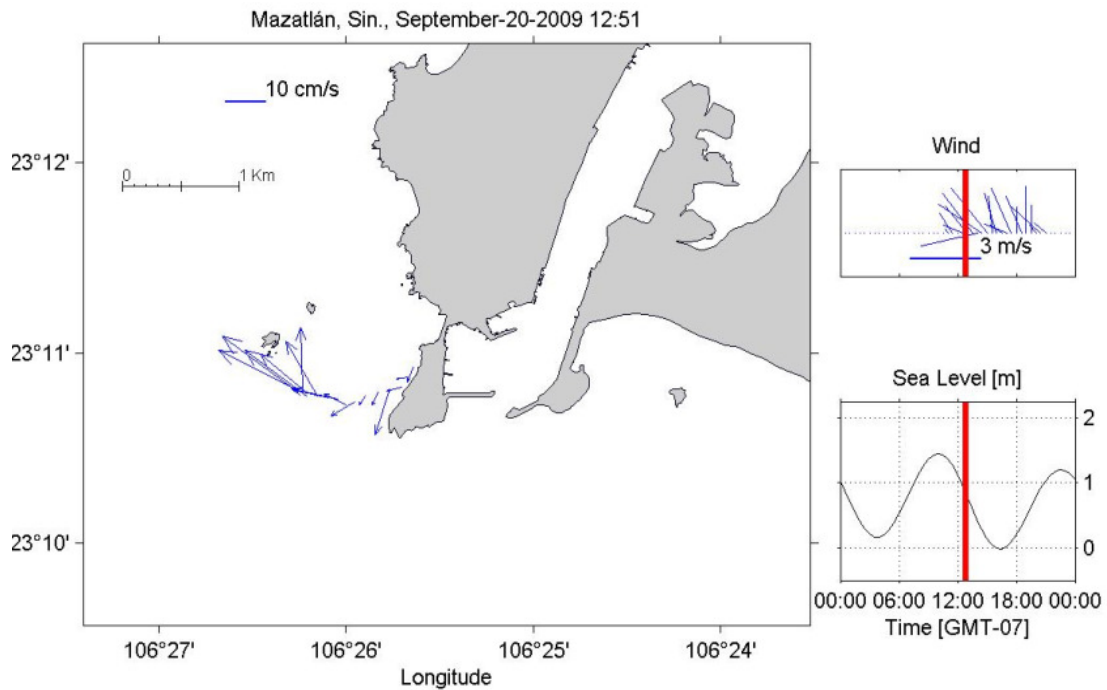


Figura 15. Campo de velocidades verticalmente promediado para la campaña de septiembre 20, 2009.

En la Figura 16, se puede observar la velocidad promediada verticalmente en la boca del estero, se ve que se dirige hacia el lado del emisor, las que se observan cercanas al emisor van en diferentes direcciones predominantemente hacia el SO y NO, cuando la marea está iniciando en marea muerta y con viento del NO.

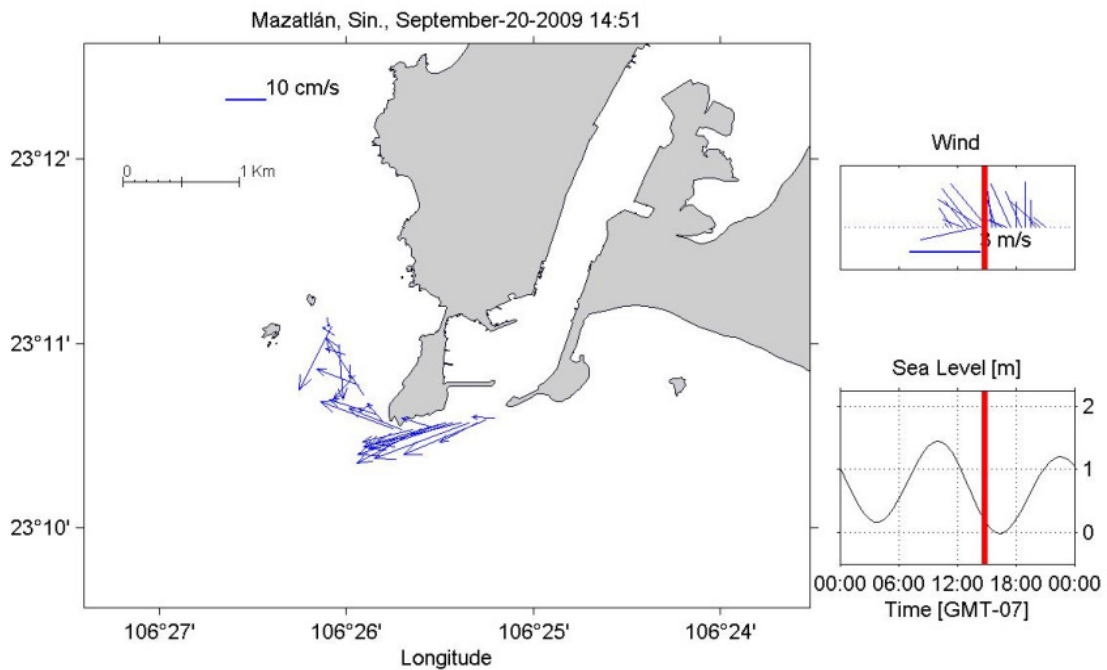


Figura 16. Campo de velocidades verticalmente promediado para la campaña de septiembre 20, 2009, marea ascendente.

En la Figura 17, se puede observar la velocidad promediada verticalmente en la boca del estero, se ve que esta se dirige hacia fuera, cuando la marea está iniciando en marea muerta y con viento del NO.

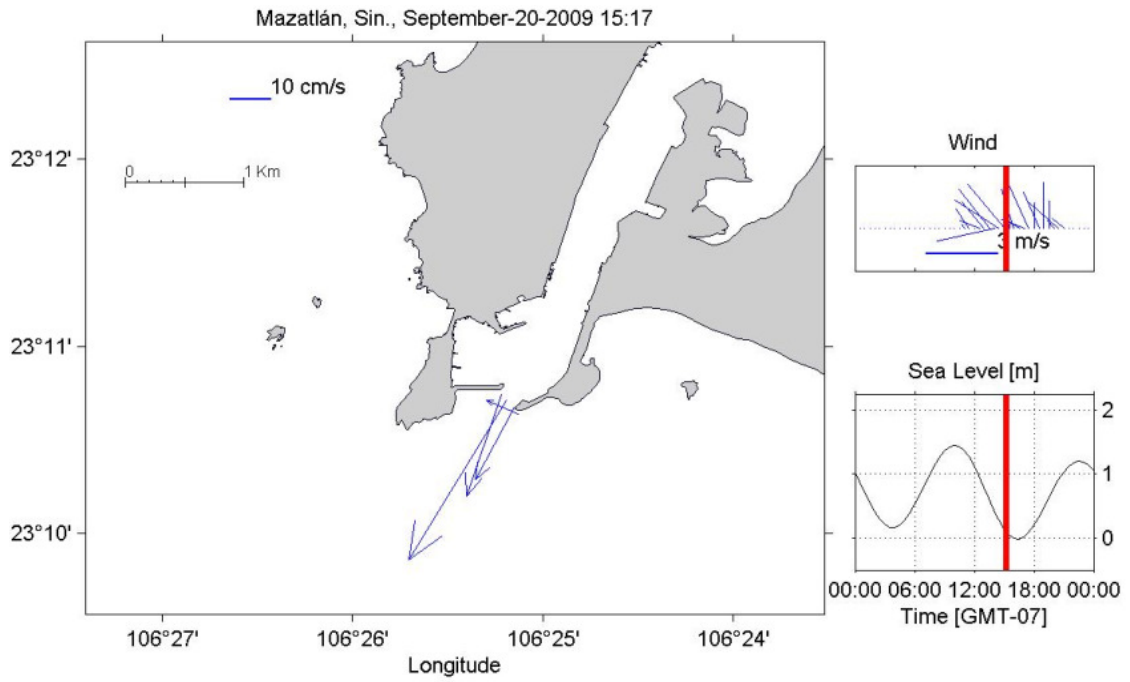


Figura 17. Campo de velocidades verticalmente promediado para la campaña de septiembre 20, 2009.

3.3 Superficie de pH

En la Figura 18, se muestran la variación espacial de la variable potencial hidrogeno (pH), durante el recorrido de la lancha en la cobertura superficial de la zona de estudio, la característica más importante en la figura es la observación de una disminución del pH notable frente de la planta El Crestón y otra ligera variación sobre el emisor submarino, otro cambio de coloración en la escala se observa en la boca del Estero de Urías.

Aunque notables estos cambios no indican la presencia de agua acida de descarga, ya que los valores de la escala de la figura no indican anomalías de pH de importancia sabiendo que el pH del agua de mar está entre 7.5 y 8.2.

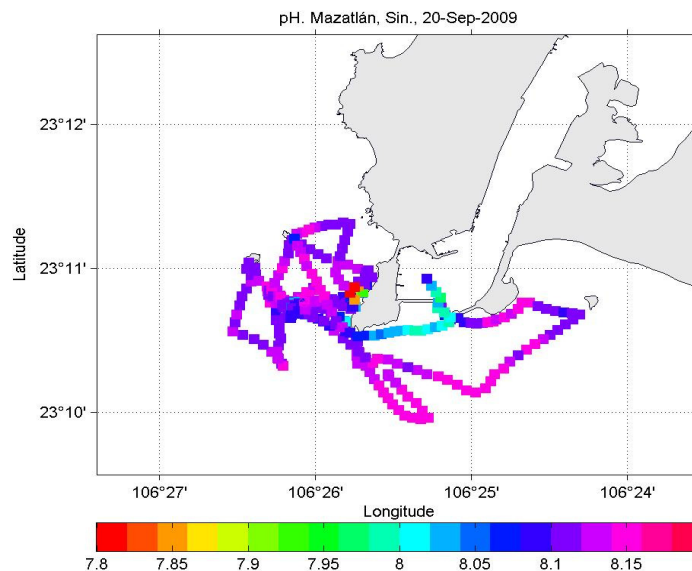


Figura 18. El potencia hidrogeno (pH) durante el recorrido de la zona sobre la zona de muestreo en septiembre 2009.

En la Figura 19 se presenta la superficie de temperatura en grados centígrados sobre la zona afectada por las descargas del emisor submarino. Se muestra la posición del emisor y sobre este se ve una ligera variación de la temperatura que podría ser evidencia de la presencia de agua dulce de la descarga ligeramente más fría, el resto de la superficie analizada tiene una temperatura cercana a los 32 °C.

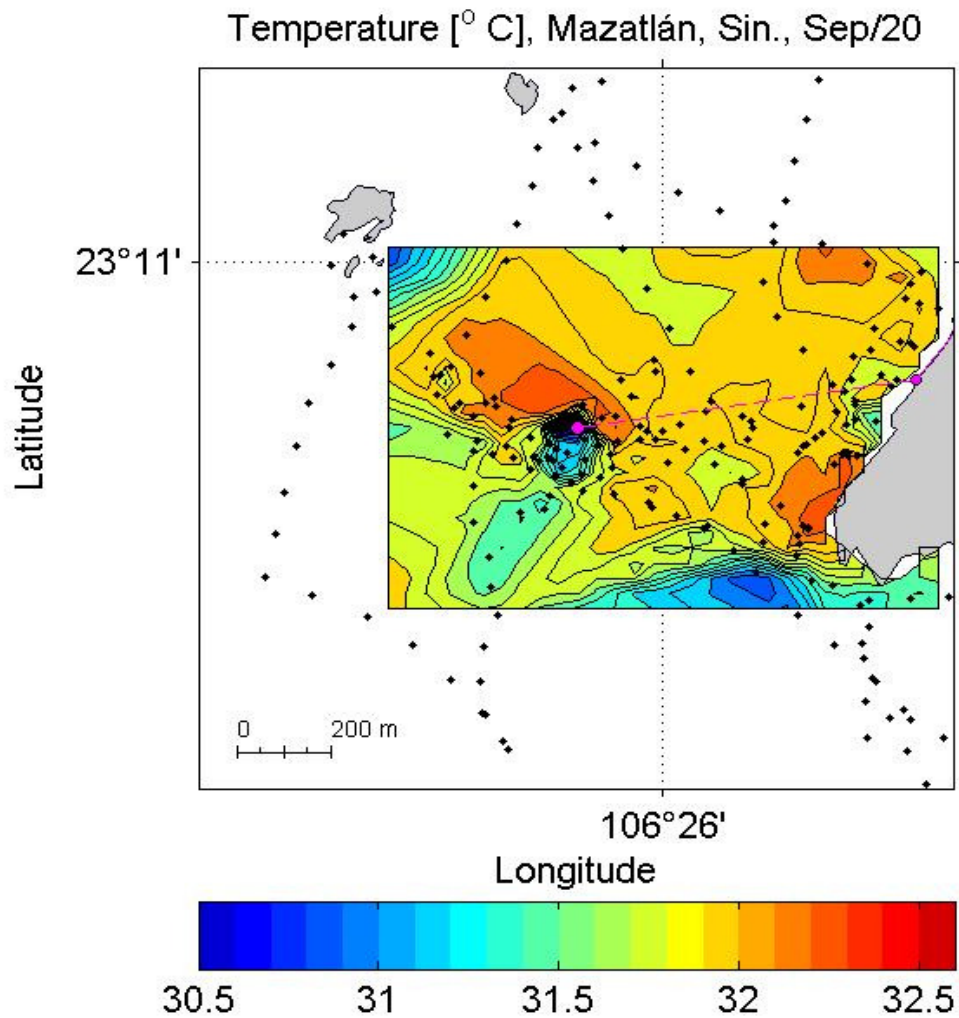


Figura 19. Superficie de temperatura, zona del emisor en grados centígrados.

En Figura 20 se presenta la superficie de salinidad en unidades (ppt), en esta se observa una leve disminución de la salinidad tanto sobre la descarga del emisor como en la zona cercana a la descarga terrestre de la planta El Crestón.

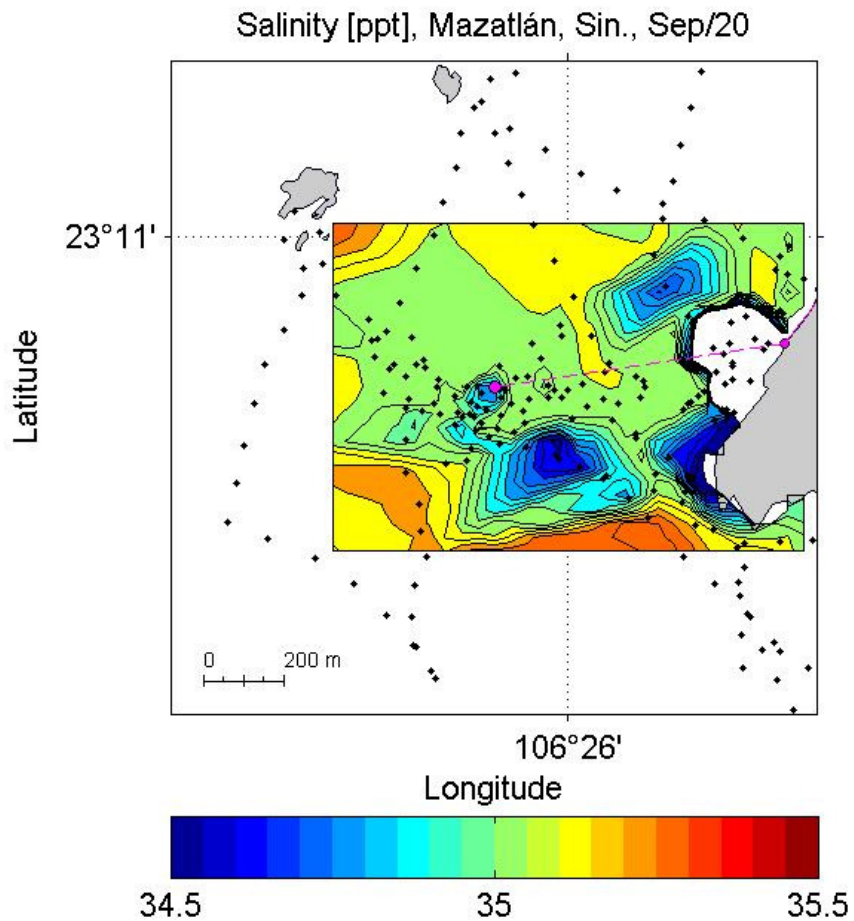


Figura 20. Salinidad campaña septiembre del 2009 en (ppt).

3.4 Campaña de mediciones del (7 al 13) de Junio 2010. Transición entre la época de secas-lluvias.

Con el fin de determinar el tipo de agua, el efecto del viento y corrientes tanto en la zona exterior del estero de Urías como en y sobre la zona del afluente del emisor submarino, entre estaciones, se llevó a cabo esta campaña de mediciones en época de secas, el procedimiento de colecta y análisis de datos es similar al aplicado en la campaña de septiembre. De forma similar se presentan las variables en estudio en el mismo orden comenzando la descripción de los datos colectados con las boyas de deriva superficial.

Lo primero que se presenta en la Figura 21, es el estado del nivel del mar durante el experimento de campo (8 al 12 de junio del 2010).

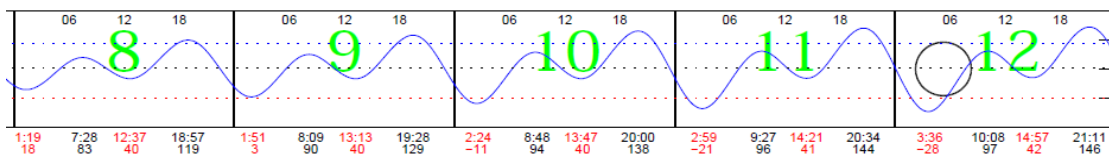


Figura 21. Nivel del mar Mazatlán durante los días 8, 9, 10,11 y 12 de junio del 2010.

3.4.1 Resultados de las trayectorias de las boyas liberadas durante la jornada del 10 al 12 de junio del 2010.

En esta sección, se muestran los resultados de las trayectorias de boyas de deriva Lagrangeana liberadas durante la campaña del día 10 y 12 de junio del 2010, hora de inicio del primer experimento 10:30-11.41 se liberaron las boyas de diferentes colores en un estado de la marea de reflujo. En la figura 22, se muestran las trayectorias de las boyas momentos después de ser liberadas en un punto muy cercano a las islas dos Hermanas, se describe características de su comportamiento en grupo y en algunos casos su comportamiento individual, la trayectoria más interesante observada durante este experimento en el caso del comportamiento individual fue la de la boya amarilla, su trayectoria es mucho más extensa que la de sus compañeras de grupo, describiendo una ruta parecida al grupo al principio pero luego regresando entre el grupo en dirección opuesta, para luego encaminarse más o menos hacia Jumapan. De ahí regreso hacia las islas para cerrar su ruta similar al resto del grupo.

El grupo siguió una trayectoria recta hacia el NE para luego doblar hacia SE y concluir su ruta más o menos a la mitad de distancia frente a las instalaciones de Jumapan y las dos hermanas. El viento reinante al momento del experimento provino del NO aproximadamente su intensidad media resultó alrededor de los 3 ms^{-1} , la velocidad media de estas durante este experimento fue 20 cm/s.

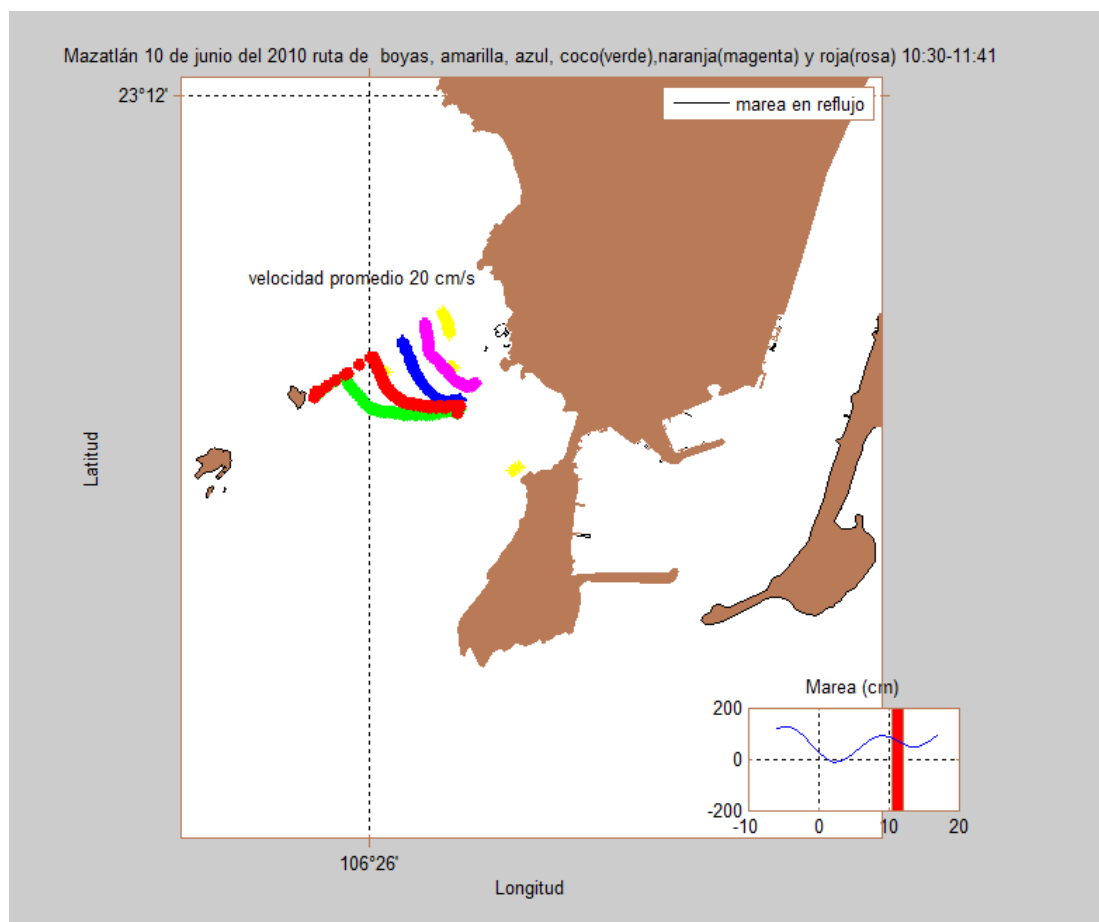


Figura 22. Trayectoria de boyas para el día 10 de junio del 2010, marea en descenso.

En la Figura 23 se presenta el segundo experimento de liberación de boyas, el cual inicio a las 11:41:12 en nuevo experimento se liberaron 4 boyas. Estas fueron liberadas en una amplia área que abarcó de nuevo la región de las dos hermanas, aunque más hacia la costa cuando comparada con el experimento anterior, en forma grupal recorren una trayectoria muy similar solo desfasadas entre en distancia constante su tendencia es a ir hacia la zona de los hoteles de olas altas.

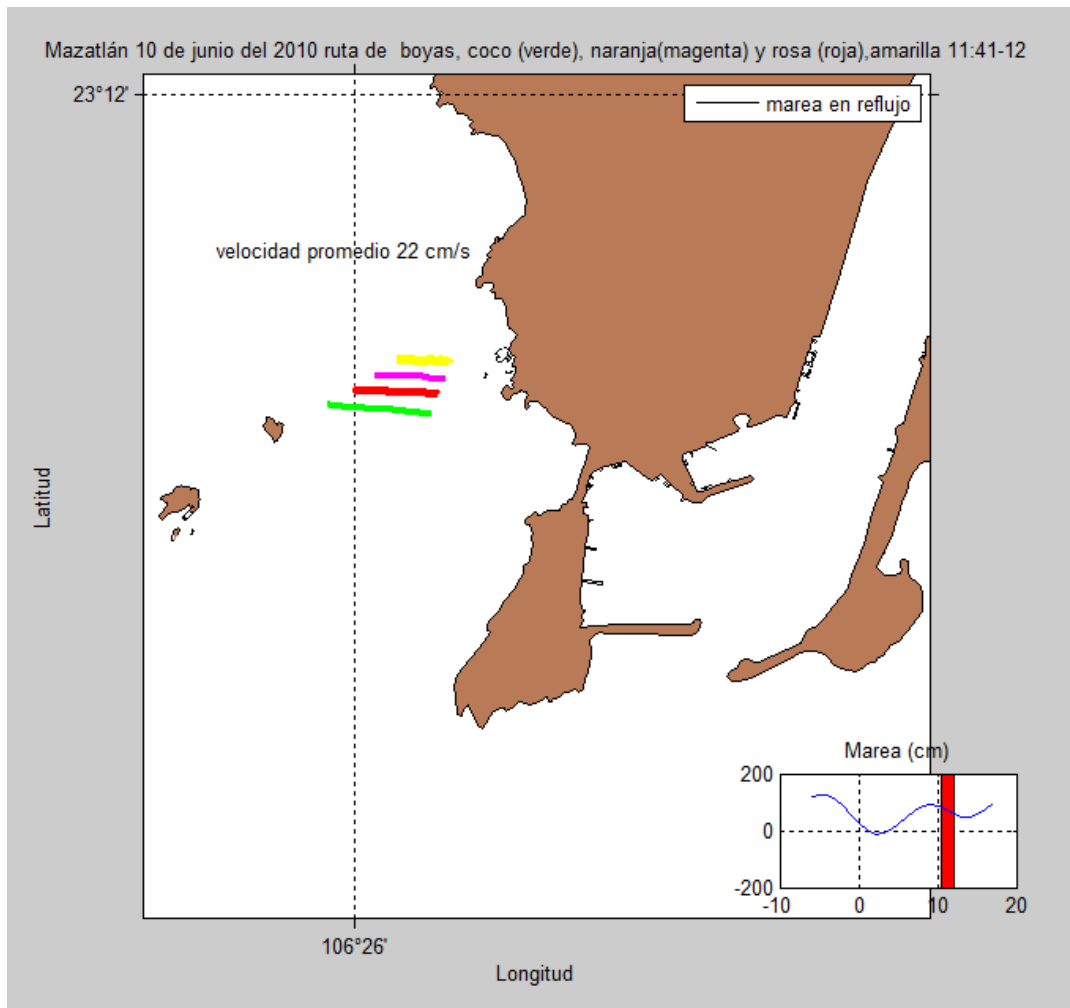


Figura 23. Trayectorias de boyas, día 10 de junio del 2010, hora 11:41-12:30.

En la Figura 24 se presentan los resultados del tercer experimento de boyas, el estado de la marea es el último segmento del reflujo y parte de la marea muerta o cambio de marea.

Se liberaron las boyas azul, amarilla, roja, negra y morada en la región cercana a la fuga del emisor, algunas de las boyas, como la roja, amarilla y azul se fueron en dirección de Punta Crestón, mientras que las boyas negra y morada

circularon lentamente sobre el afluente y luego se fueron en dirección casi norte franco en dirección a las islas, parecería ser que el afluente genera una especie de giro de microescala en el cual dependiendo el lugar donde se depositen de forma individual las boyas serán llevadas por las corrientes en una u otra dirección, esta ruta o trayectoria concuerda con la trayectoria mostrada en el experimento realizado durante lluvias (Figura 7) y en reflujos de marea. Parece ser que dependiendo de la posición de despliegue inicial de las boyas estas serán advectadas hacia tierra o circularan hacia la zona de las islas, esta situación podría tener que ver con efecto del viento el cual puede ser obstruido por la presencia de las islas o dejar sentir su efecto después de la zona del borbollón y llevarlas hacia la costa.

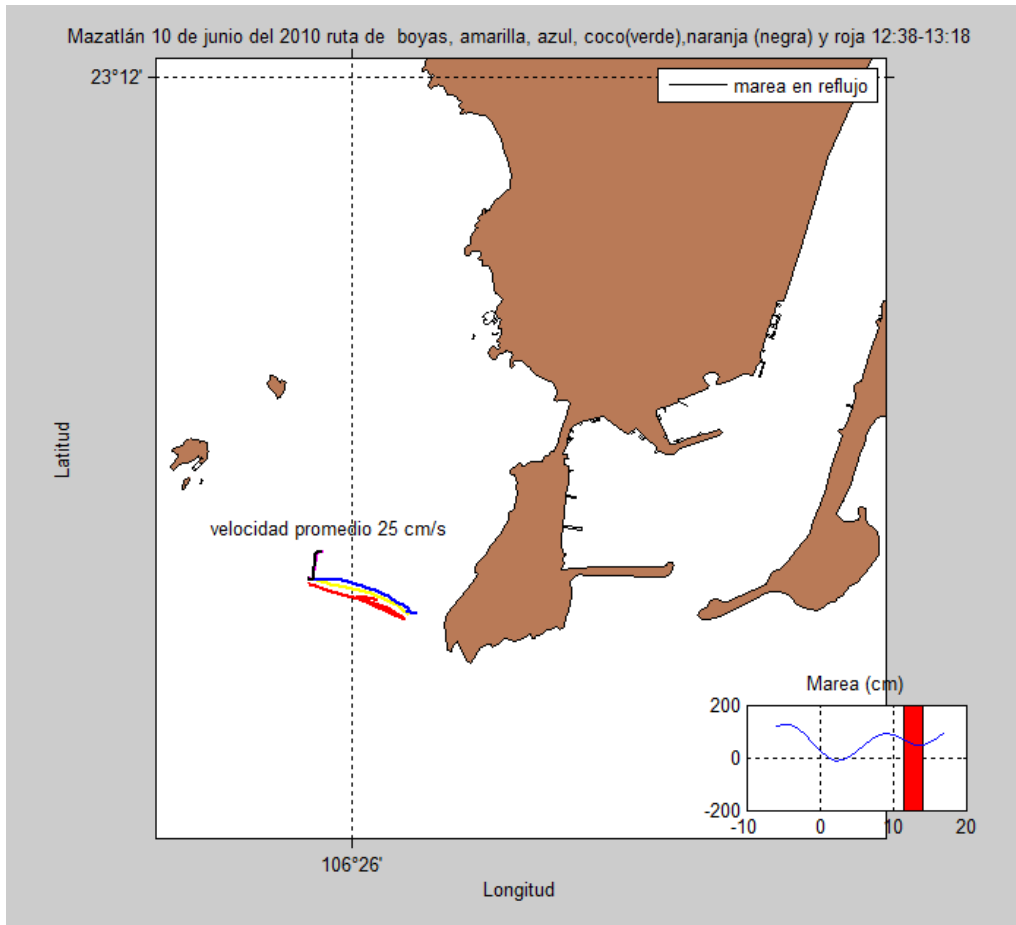


Figura 24. Trayectoria de boyas día 10 de junio del 2010, de las 12:38-13:18.

En la Figura 25 se muestra la trayectoria de las boyas liberadas el día 12 de junio del 2010 en un periodo comprendido entre las 10:42 y las 12:00, en este experimento se soltaron las boyas roja, azul, amarilla y verde en marea de reflujo. En este caso se colocaron más cercanas a las islas y en consecuencia recorren una mayor distancia que el día anterior, se dirigen de nuevo en marea de reflujo hacia la zona hotelera a una velocidad promedio de 20 cm/s, lo

diferencia más notable es que se inclinan hacia la zona turística zona Dorada un poco más que el día anterior.

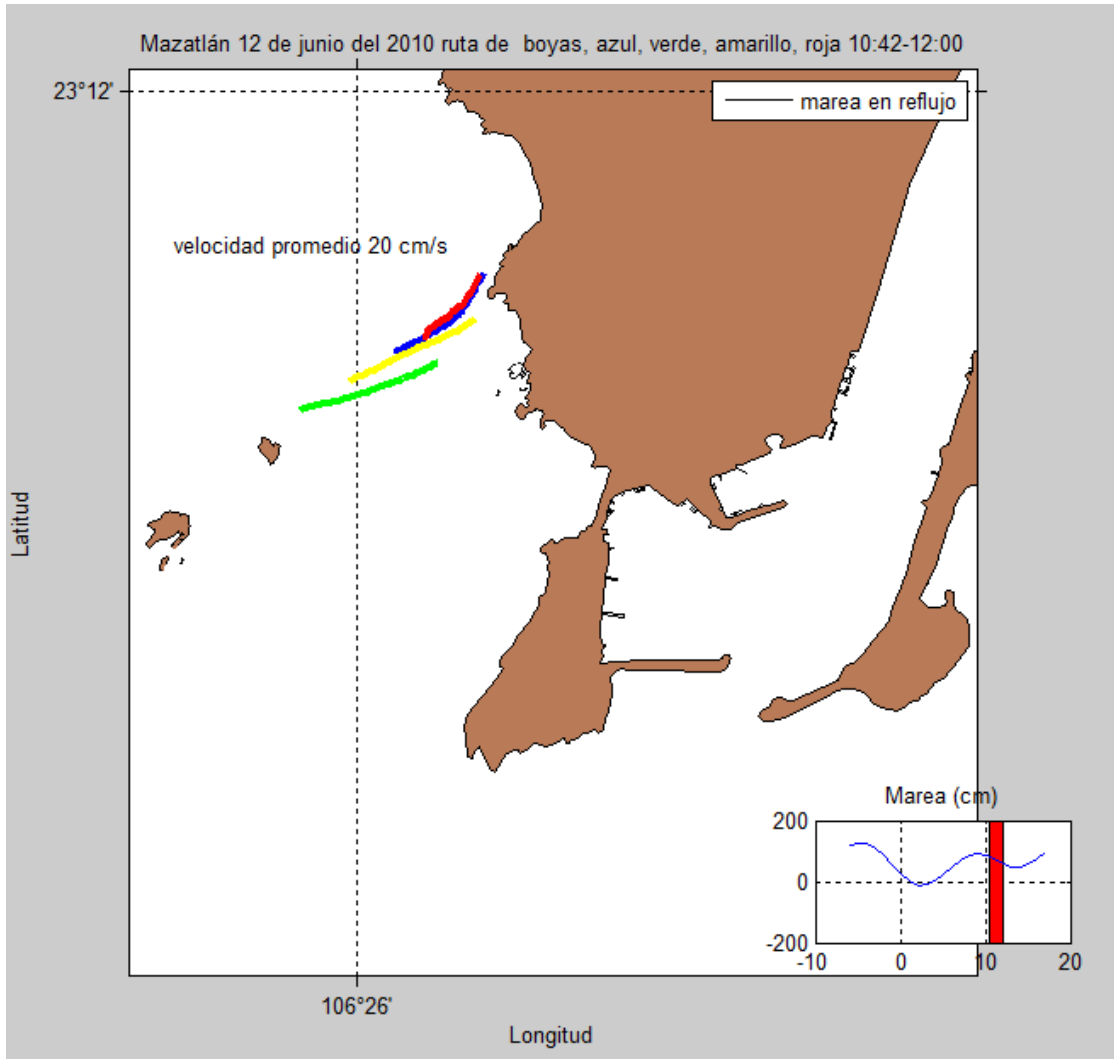


Figura 25. Trayectorias día 12 de junio de 2010. 10:42-12:00

Tabla V. Velocidad de desplazamiento de las boyas de deriva para la campaña de junio del 2010.

	Velocidad Promedio m/s				
Experimento	Amarilla	Azul	Negra	roja	Magenta
1	.20	.22	.23	.19	.25
2	.26	.20	.24	.20	.26
3	.20	.23	.23	.21	.19
4		.23	.20	.23	.22

Los datos de viento del mes de junio del 2010 se muestran en la (Figura 26), en esta figura se observan dos direcciones importantes: la primera es SSO y la segunda O casi franco.

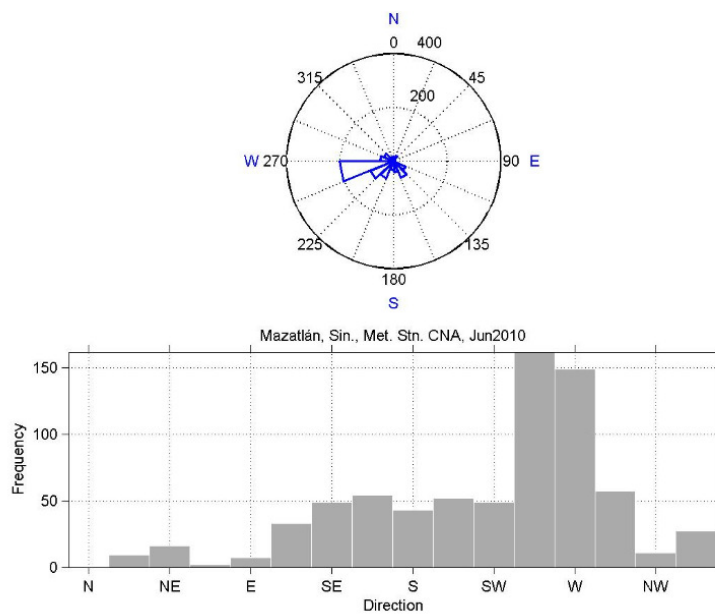


Figura 26. Histograma y diagrama de rosas que muestra la magnitud y dirección del viento para el mes de junio del 2010.

En la figura 27 se muestran las rutas o recorridos que se hicieron durante el trabajo de campo desarrollado durante la campaña de junio del 2010, se abarcó una importante área de la costa de Mazatlán que incluye la zona interna del estero de Urías, la zona costera de la boca del estero, así como una amplia zona aledaña a la descarga del emisor submarino, como se muestra en la figura.

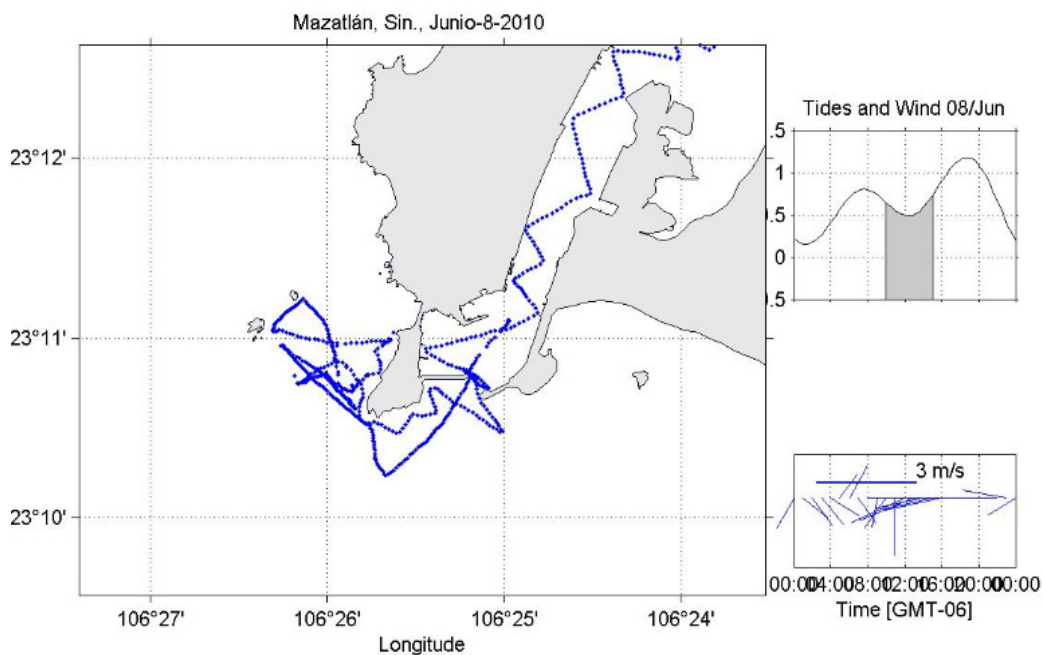


Figura 27. Recorrido sobre la zona de estudio para la campaña del 8 de junio, 2010

En la Figura 28, se muestra la capa promediada verticalmente en la columna de agua obtenida con el ADP en modo de arrastre, durante todo el recorrido de la campaña. En la figura se describe la variación espacio temporal del campo de velocidades para un segmento del periodo de flujo el cual aparece en color rojo y un segmento del tiempo de mediciones en estado de reflujos color negro.

Durante la marea de flujo, los vectores de velocidad indican que la masa de agua penetra por ambos lados de la boca del estero de Urías, hacia la región interior cuerpo, se ve que los vectores disminuyen gradualmente en amplitud como respuesta a la fricción que experimenta la columna de agua al penetrar un canal somero. El campo de velocidad para la marea de reflujó hacia fuera de la zona del emisor cercano a las dos hermanas muestra una clara tendencia en la dirección hacia la zona media de Punta Crestón, y hacia Jumapan, los vectores sobre la zona de fuga del emisor muestran dos direcciones principales, hacia Punta Crestón del lado izquierdo y hacia el mar del lado derecho continuando este patrón a lo largo de Punta Crestón. Finalmente los pocos vectores captados en el interior del cuerpo y hacia la boca muestran una clara tendencia a fluir hacia afuera del estero. Este comportamiento podría por un lado llevar agua contaminada hacia la zona de Crestón pero luego el flujo de salida del estuario contribuir a llevarlo hacia mar adentro.

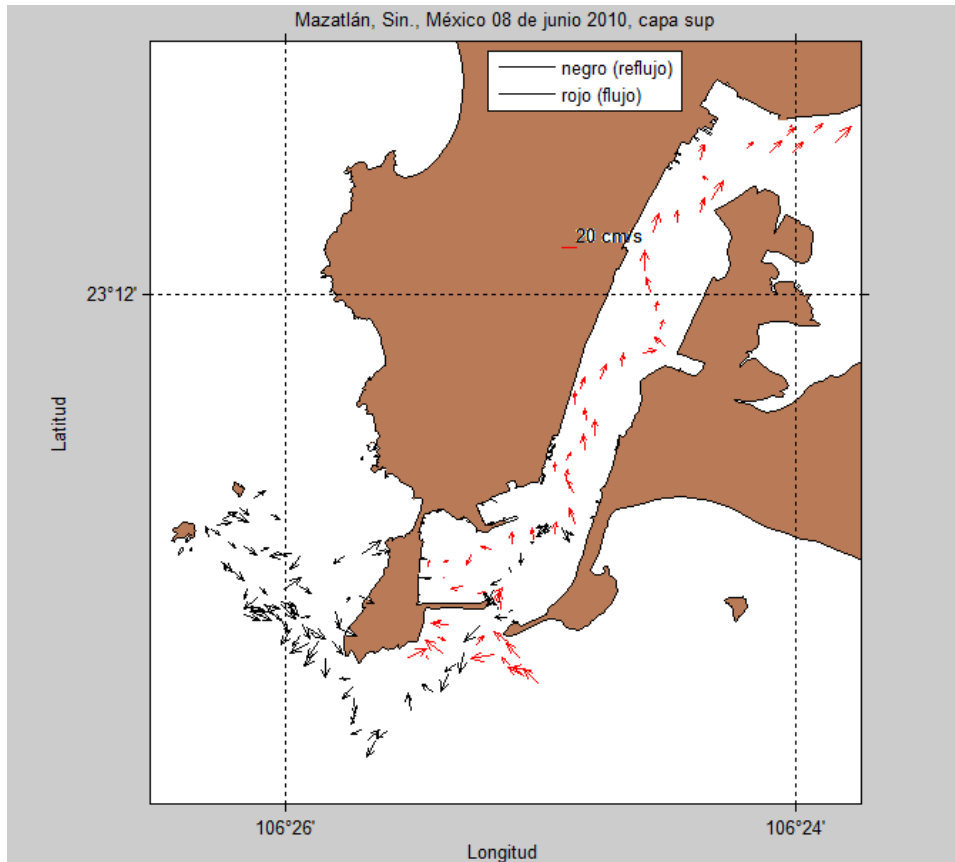


Figura 28. Capa verticalmente promediada de velocidades para la campaña de junio 8, 2010.

En la Figura 29, se observa el campo de velocidades sub superficiales verticalmente promediado durante el recorrido de la campaña (día 8 de junio del 2010), se describen los patrones de corrientes observados en tres zonas, la zona baja norte, la alta norte hacia el mar y exterior del estero de Urías.

En la primera zona, se observa un patrón de circulación con notable tendencia a fluir tanto hacia las islas dos hermanas como hacia la costa, este patrón de circulación es muy semejante al observado por la boyas una de la cuales

regresan hacia el grupo y luego recorre una distancia importante de nuevo hacia la costa, en este sector se observan los patrones de circulación más complejos. Sobre todo en el triangulo islas-zona hotelera olas altas-Jumapan. Tal como se observó en los patrones de circulación en marea de reflujo la circulación en la zona del emisor es hacia Punta Crestón. La circulación alrededor de Crestón por la parte interna del estero es hacia Crestón también.

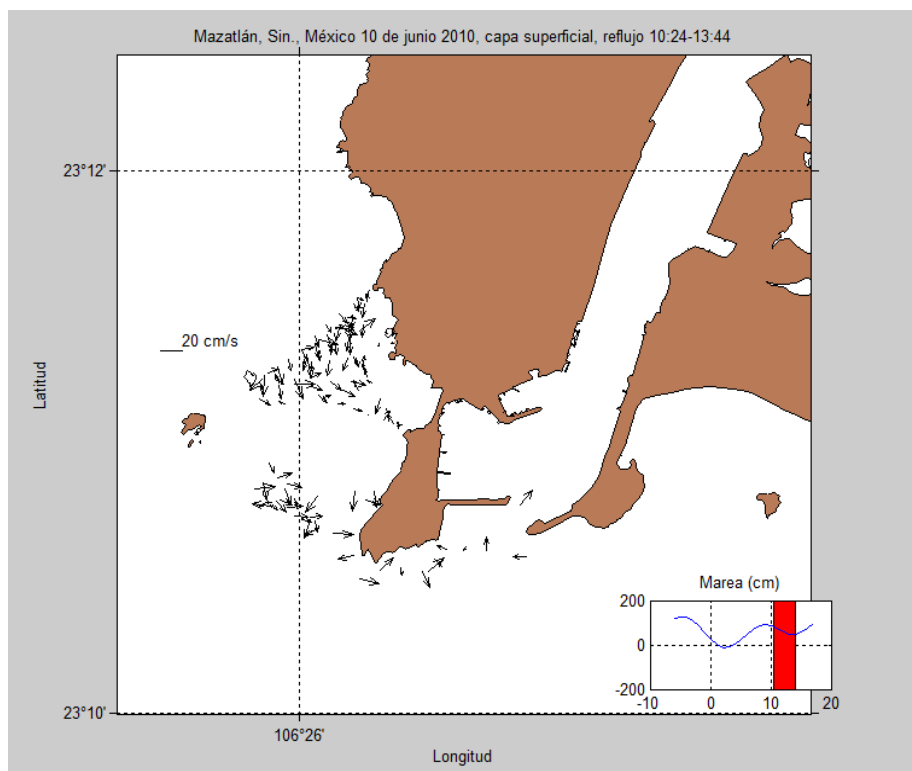


Figura 29. Capa verticalmente promediada de velocidades para la campaña de junio 10, 2010.

En la figura 30, se muestra el patrón de corrientes verticalmente promediado para las zonas norte en el corredor Islas-zona costera hotelera-Jumapan y la segunda zona es la zona costera exterior al Estero de Urías, se incluyó esta

zona con el fin de documentar si esta importante área turística conocida como la Isla pudiera estar siendo impactada por los flujos que salen por la boca del estero especialmente durante marea de reflujo. En marea de reflujo para se ve que repiten los patrones de corrientes observadas el día 10 de junio, se observa un flujo pegado a la costa entre Jumapan y olas altas, otro grupo de vectores van en dirección entre la costa hacia las islas y finalmente otro grupo de vectores van en dirección hacia las islas y Jumapan. Es probable que este patrón de corrientes observado pudiera llevar especialmente agua contaminada hacia la zona costera hotelera, como lo demuestra la bacteriología ya que los resultados indican hasta 800 **enterocos y coliformes** en los análisis realizados en la zona de olas altas. Con respecto a lo observado en la región externo este del estero aunque se observa que en marea de reflujo el agua circula en esa dirección y luego por detrás de la Isla se introduce en la zona costera playera del lugar, la coloración del agua y los resultados de la bacteriología no muestran evidencias de contaminación por arriba de los niveles permitidos por los organismos encargados de sancionar la calidad de la playas.

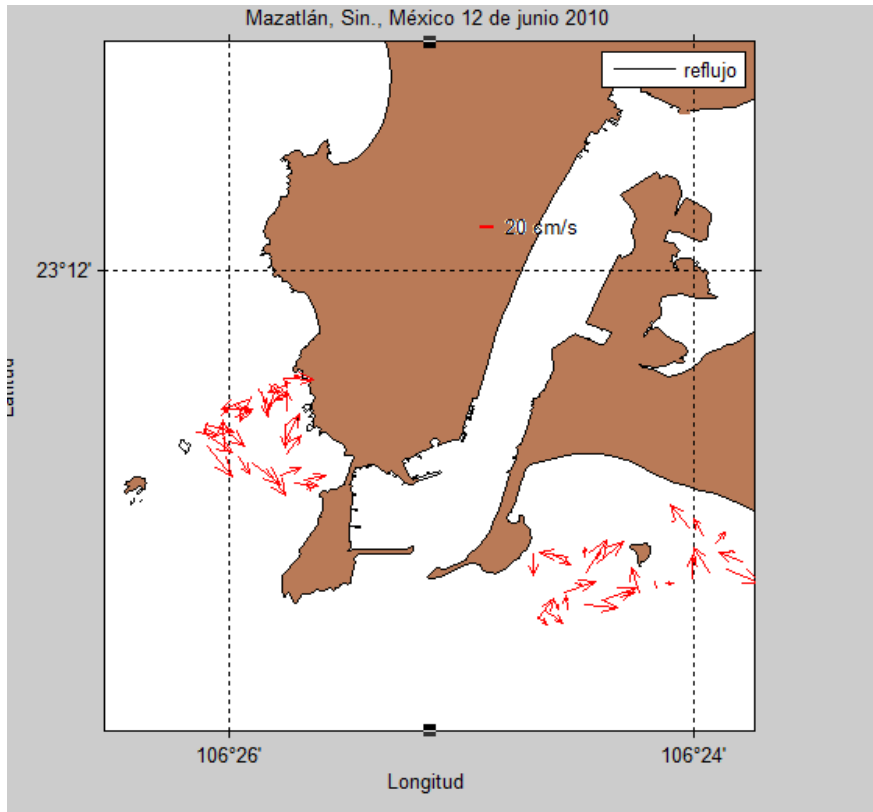


Figura 30. Capa superficial ADP para el corredor Jumapán, zona costera hotelera para la campaña de junio 12, 2010.

3.4.2 Superficie de potencial hidrogeno (pH).

En la Figura 31, se muestra la variación espacial superficial de los recorridos donde se colecto valores de pH, para la jornada de junio del 2010. Se muestran los valores de pH. En general la escala de valores de pH en la figura oscila entre los 7.30 y 7.60 habiendo un decremento de pH ligeramente notable en frente de la planta El Crestón y también sobre la zona de fuga el emisor submarino, otro leve decremento se observa en una amplia sección longitudinal del Estero de Urías. En esta campaña a diferencia de la de septiembre los

valores de pH disminuyeron. Pero siguen dentro de los valores esperados para agua de mar.

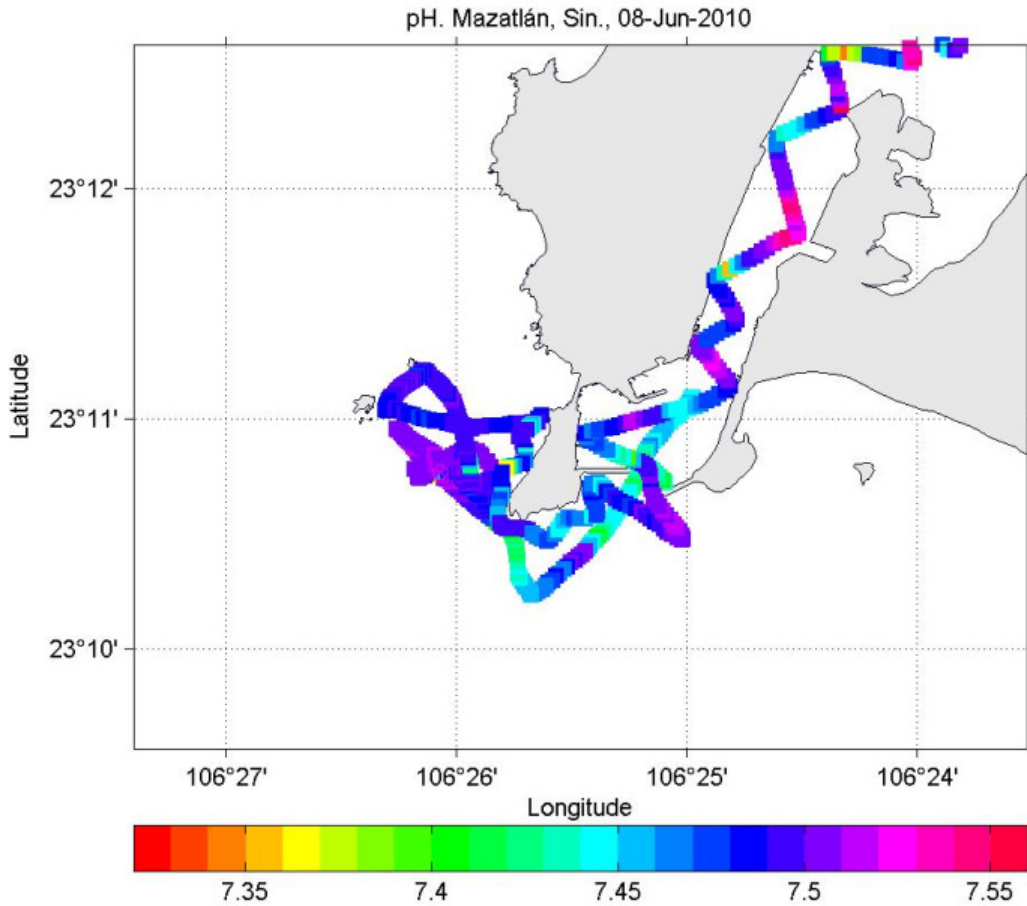


Figura 31. El pH presente en el recorrido de la zona de muestreo en junio 8, 2010.

En la Figura 32 se muestra un recuadro ampliado del pH presente en la zona del emisor, se observan valores levemente bajos sobre la zona de descarga de Jumapan así como sobre las fuga del emisor estos leves cambios en el pH podrían ser evidencia de la introducción al medio marino de agua proveniente de

la descarga, aun así estos valores de pH están dentro del intervalo normal de pH de agua de mar.

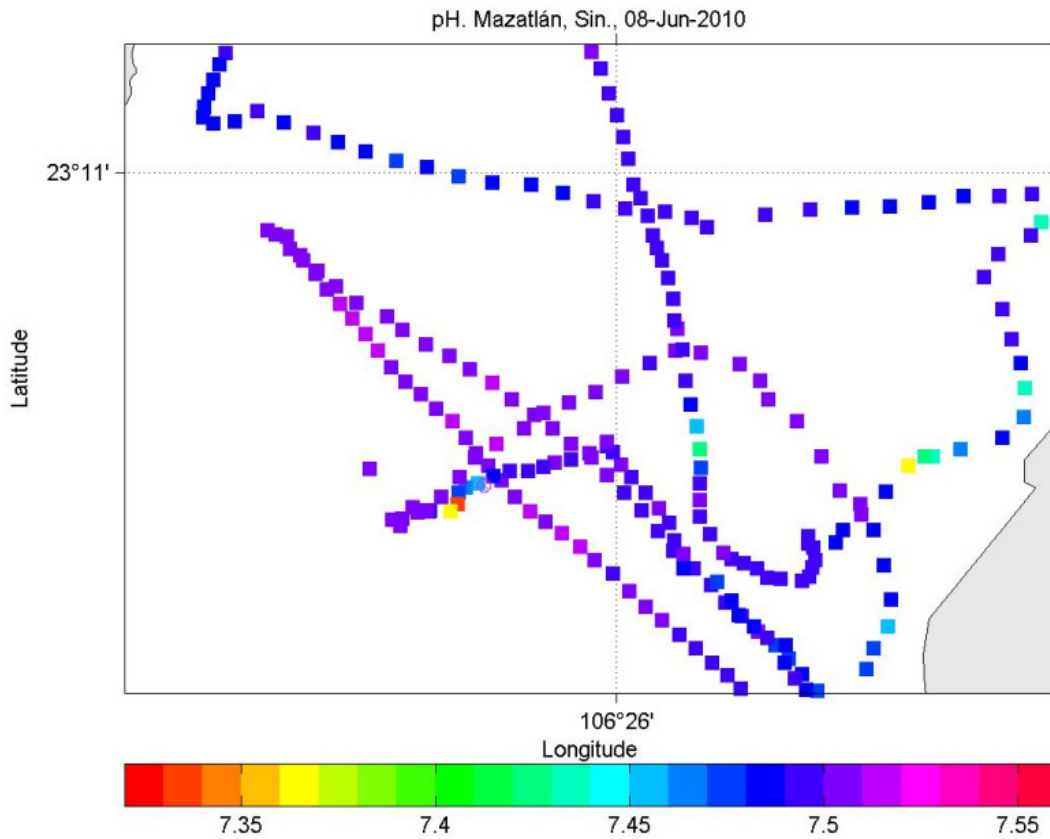


Figura 32. Valores de pH observados durante el recorrido de la zona de muestreo, en junio 8, 2010.

En la figura 33 se muestra la superficie de salinidad tomada el 8 de junio del 2010, los valores de Salinidad están en unidades (ppt), el rango de valores observados oscila entre los 34 y 37 ppt. A diferencia de la campana de septiembre del 2009 en esta superficie se observan valores más altos de salinidad probablemente asociados a que están en apogeo la época de secas.

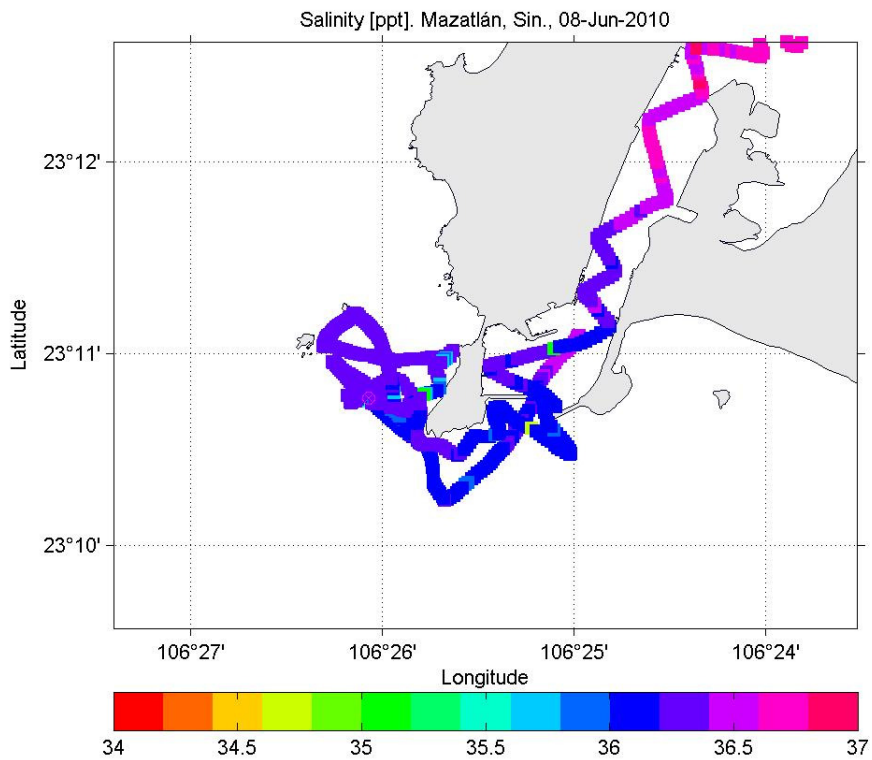


Figura 33. Salinidad para la campaña de junio del 2010, en ppt.

En la figura 34 se presenta la superficie de temperatura en grados centígrados para la campaña de junio del 2010. Se ve claramente la presencia de agua más caliente sobre la zona del emisor que sobre la zona del estero de Urías, esta superficie es muy diferente a la mostrada para septiembre del 2009 en donde se ven valores máximos de 30 a 32 en contraste con los observados aquí los cuales son más bajos a pesar de estar en época de secas.

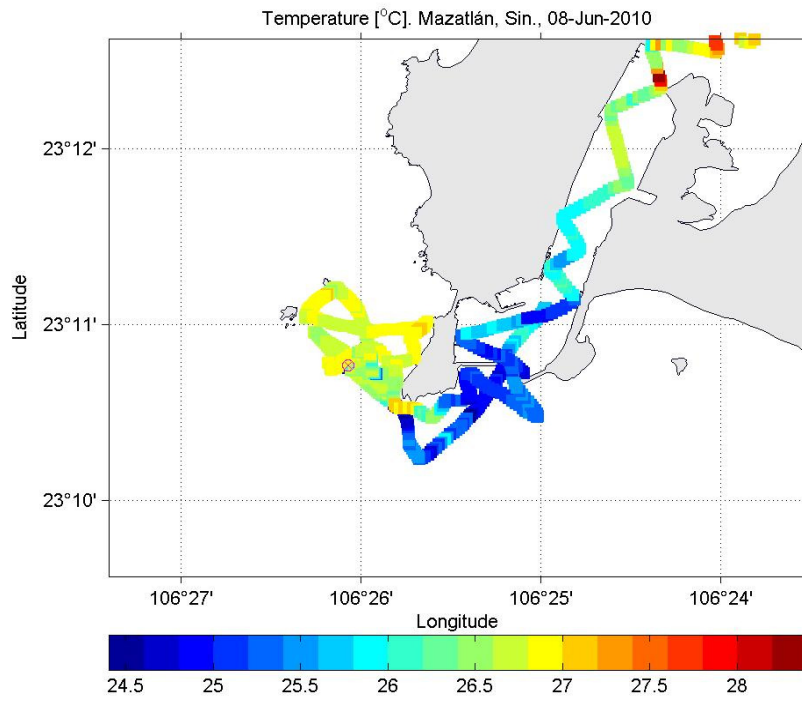


Figura 34. Temperaturas en grados centígrados para junio del 2010.

3.4.3 Perfiles de CTD.

En este capítulo del trabajo, se muestran los perfiles obtenidos con el CTD, Cast Away los resultados se presentan por zona comenzando por los colectados en la zona exterior del Estero de Urías.

Tabla VI. Para la campaña de junio del 2010 se utilizó un CTD CAST AWAY YSI con las siguientes especificaciones. Tasa de Muestreo 5 Hz, usa baterías AA.

	Rango	Precisión	Resolución
Conductividad	0-100,000	0-25±5	1 uS/cm
Temperatura	-5 a 45 °C	0.05	0.01
Presión	0 a 100	0.25% de FS	0.01dBar
Salinidad	0 a 50	0.1	0.01 ppt
Velocidad del sonido	1400	0.15	0.01 m/s
GPS		10 m	

En la Figura 35, muestra 8 perfiles de salinidad en unidades PSS y temperatura en grados centígrados °C, estado de la marea reflujo, aunque se observan en perfiles de salinidad muy variables los cambios entre perfiles oscilan alrededor de los valores 34.9-35.0-35.2 PSS se trata de la misma masa de agua saliendo del estero de Urías, los valores de temperatura observados fueron de entre (24-26) °C la diferencia observada en la temperatura entre la superficie y el fondo es de un 1 grado centígrado en 10 m de profundidad, es muy probable se trate de la misma masa de agua.

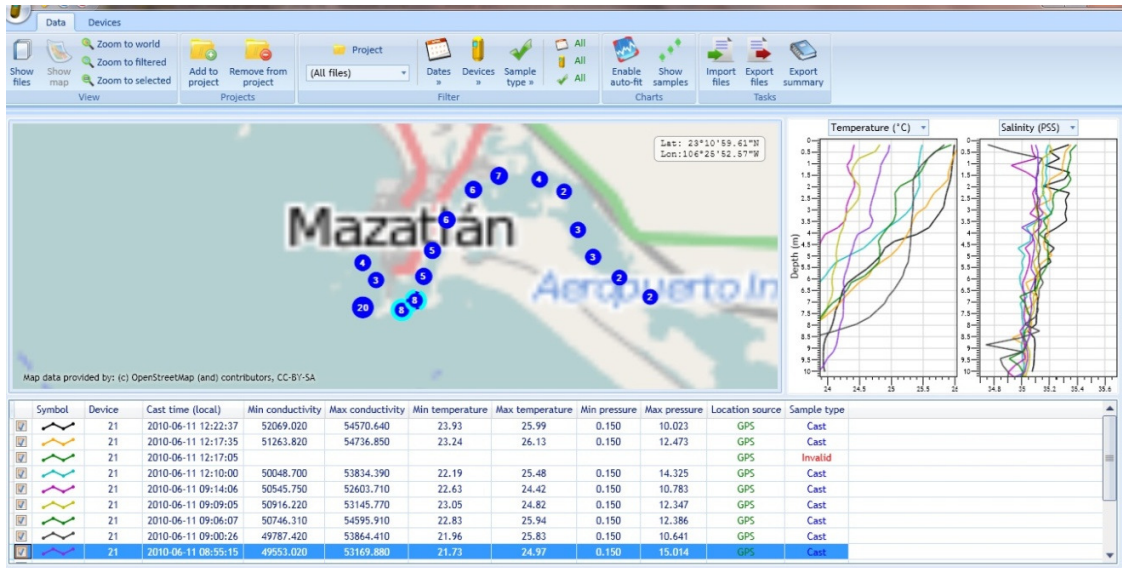


Figura. 35. Perfiles de salinidad en (PSS) y temperatura °C para la zona exterior del Estero de Urías, junio 11 del 2010.

En la figura 36 a y 36 b se muestran los perfiles para la zona justo frente a la descarga terrestre cercana a las instalaciones de Jumapan, en estos perfiles se observa un rango de temperaturas de 22 a 27 grados centígrados en 14 m de profundidad, el rango de salinidad oscila entre 34.8 hasta 35.4 PSS la temperatura muestra cambios típicos de una zona de mezcla de dos aguas, la salinidad en cambio no muestra de forma evidente la mezcla de las mismas, excepto en la zona del perfil donde el gradiente de temperatura es más notorio entre los (4 y 7 m de profundidad) esto posiblemente debido a que la descarga se encuentra en una zona donde incide un fuerte oleaje que reompe justo sobre la descarga terrestre el cual junto con las corrientes es un mecanismo eficiente de mezcla, en cuanto penetra al medio marino en agua dulce es diluida literalmente por el agua de mar.

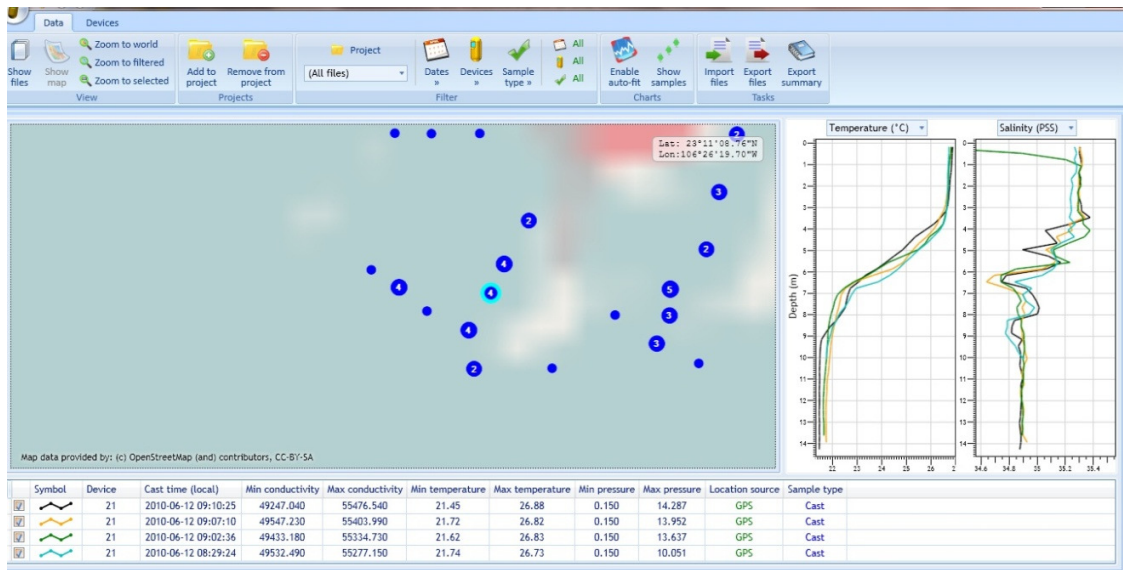


Figura 36 a. Perfiles de CTD frente a la descarga terrestre frente a las instalaciones Jumapan

En la Figura 36 b. Se muestran 4 perfiles de CTD de un grupo de los ocho más próximos tomados frente a la descarga terrestre de Jumapan, hacia el NE en estos se ve una estructura en temperatura muy similar a los cuatro anteriores aquí descritos, la salinidad presenta un intervalo de variación similar a la figura anterior, en ambas se ve entre los metros 3 a 10 una estructura de salinidad muy variable que posiblemente sería indicativa de la mezcla de agua dulce y salada que se da en el lugar. La única señal que se observa de la mezcla de las aguas es en la temperatura.

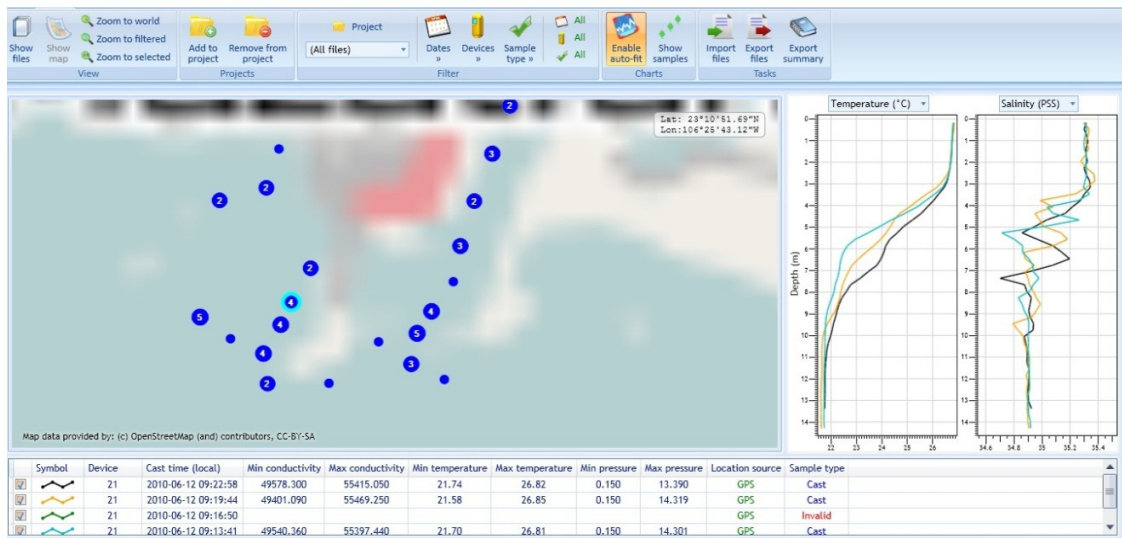


Figura 36 b. Perfiles de CTD frente a la descarga terrestre frente a las instalaciones Jumapan.

En la Figura 37 se muestran y describen los perfiles tomados sobre la mancha de agua superficial del emisor, en este grupo se ve claramente que uno de ellos presenta una profundidad menor y aparece de color azul en la figura, además a diferencia de los otros tres muestra características diferentes al resto del grupo, es muy probable que este lance corto sea la evidencia más clara de la presencia de agua de la fuga del emisor a pesar de haber sido muy somero, a diferencia de sus homólogos en el grupo de cuatro este tiene temperatura menor de 24 grados mientras que el resto tiene temperaturas de 26 grados, su salinidad muestra cambios notables también con respecto al grupo (34.2-34.6 PSS), los tres restantes claramente indican que fueron tomados aunque cercana a la zona de fuga del emisor en una columna de agua bien mezclada de superficie a fondo. La Densidad indica incluso que este que muestra características diferentes posee la misma densidad.

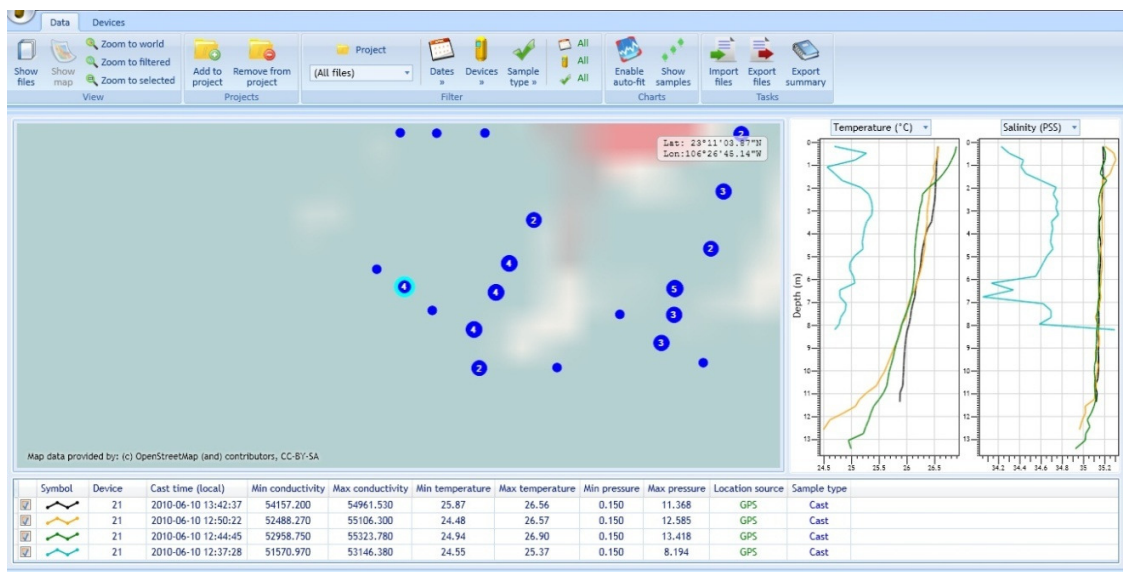


Figura 37. Grupo de perfiles sobre la mancha de agua del emisor.

En la Figura 38 a, se muestra el grupo de perfiles de CTD colectados en la campaña, los cambios observados en esta figura obedecen básicamente a que fueron colectados en diferentes puntos del área de estudio, es obvio que las mezclas de cada lugar modifican su estructura.

En la grafica 38 a se muestra la temperatura en grados centígrados y la densidad en un rango 1023 a 1025 kg m⁻³. En la figura se observan valores de temperatura variables oscilando en un rango de 22 a 30 °C explicado por los diferentes lugares en donde se tomaron los perfiles, agua caliente y salada en el interior del cuerpo del estero, agua más fría y ligeramente menos densa en la zona oceánica.

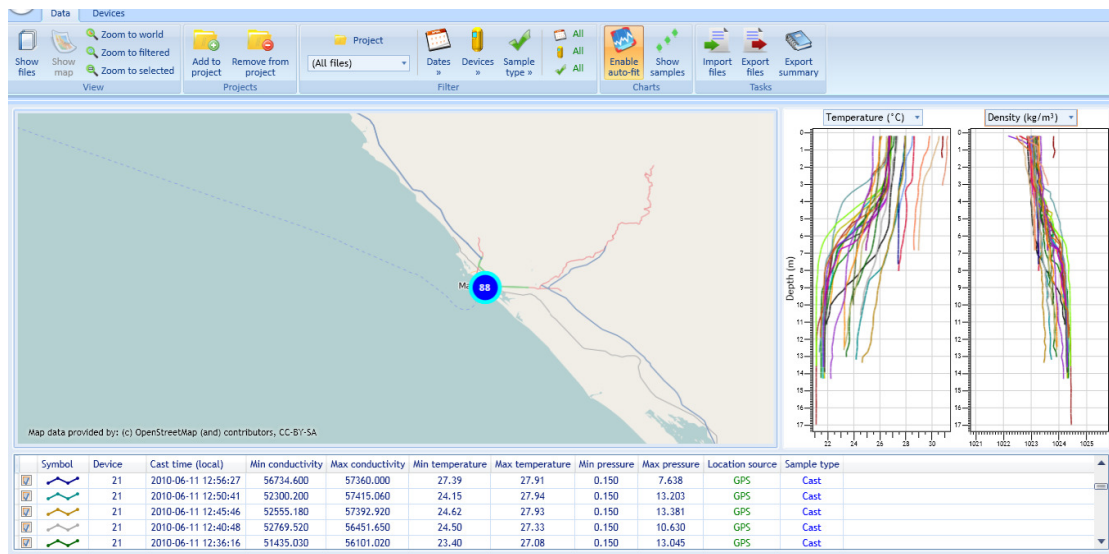


Figura 38 a. Todos los perfiles de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y densidad (kg m^{-3}) de la campaña de junio del 2010 en la zona de estudio.

En la Figura 38 b se muestran los perfiles de CTD de temperatura y salinidad en PSS, solo se discute la grafica de salinidad, dado que se describió la temperatura en la grafica anterior, dadas las características del CTD utilizado, en los perfiles se observa una variabilidad de la salinidad de 34.6 a 38.8 (PSS) sin duda explicada por la posición de las estaciones de muestreo, no se observa evidencia contundente de un sistema de dos capas ni siquiera en los perfiles tomados en la boca del estero, ya que en general es la misma agua que entra que la que sale, el agua de mar penetra en flujo se calienta en el interior se hace mas salina y sale en refluo al recorrer la distancia de la cabeza a la boca se mezcla de nuevo con el agua salada de mar y adquiere rápidamente las características de esta, como lo demuestran los perfiles tomados en la boca del estero.

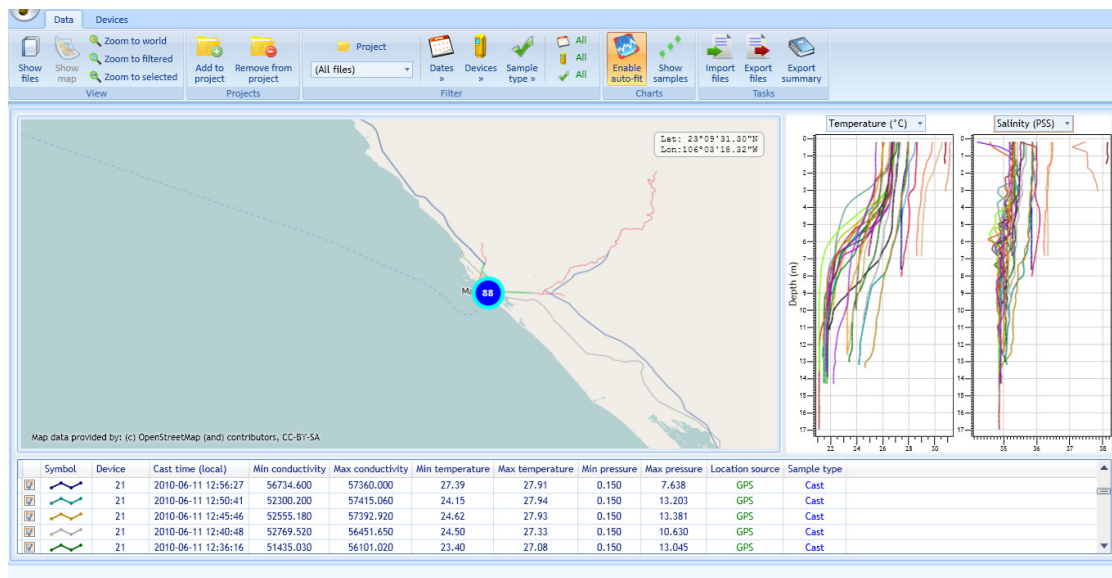


Figura 38 b. Todos los perfiles de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y salinidad (PSS) de la campaña de junio del 2010 en la zona de estudio.

En la figura 39 se muestra la variación temporal de las velocidades del obtenidas con el perfilador acústico modelo Awac que fue instalado en un punto fijo en la boca de estero de Urías, coordenadas (N 23.17824 W y 106.41910). El objetivo de desplegar este segundo perfilador en modo estacionario tuvo como objetivo reforzar la descripción de la circulación observada tanto de las boyas como del ADP usado en modo de arrastre. En la figura se presentan los datos del mes de mayo y junio del 2010. En esta se observan claramente los flujos de entrada y salida durante periodos de marea de flujo y reflujos respectivamente la máxima velocidad observada fue 0.70 cm s^{-1} como se indica en la figura, se nota que los flujos de salida del estero son más intensos que los flujos de entrada. Pero es importante recordar que este perfilador quedó ubicado a la derecha de la boca del estero mirando la boca del mar hacia la costa, es muy probable que

dada la anchura de la boca los datos del ADP reflejen en buena medida la circulación que se da en toda la sección transversal de este ya que solo tiene 225 m de anchura.

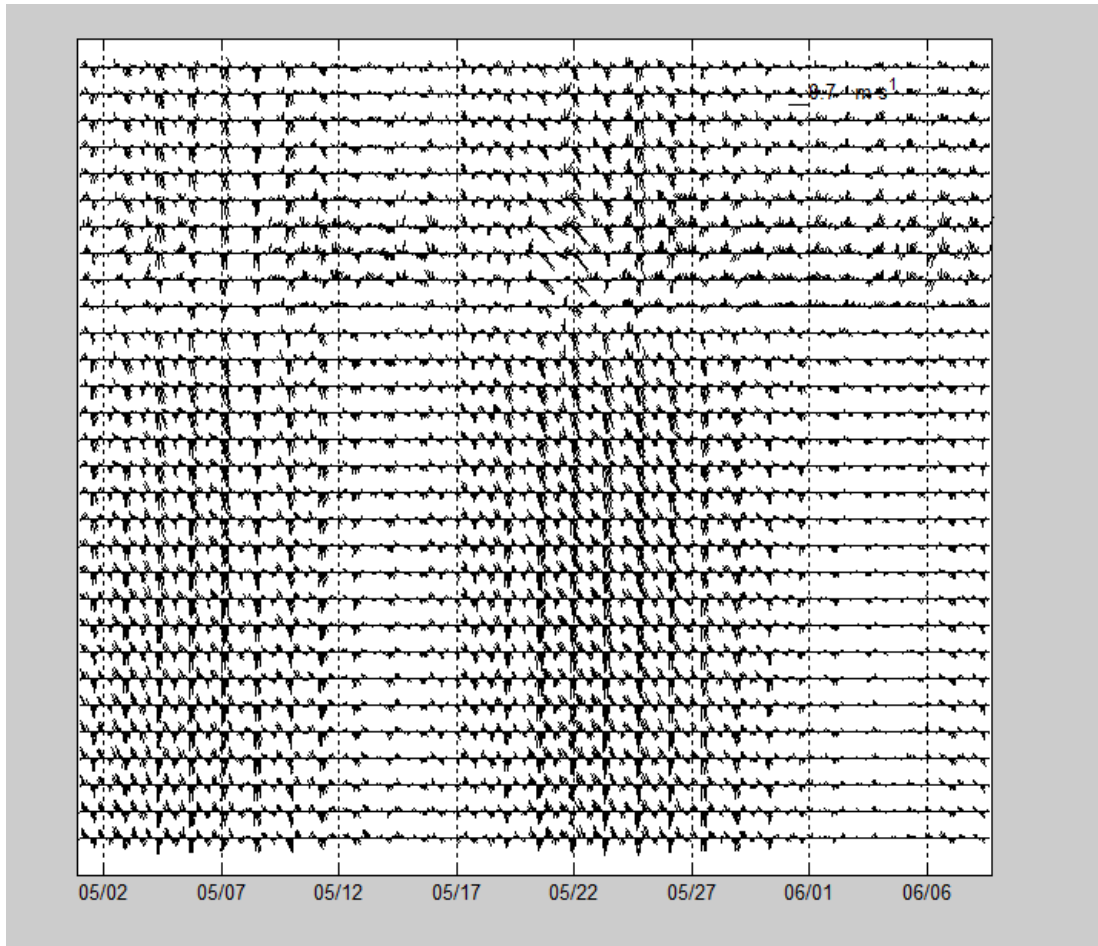


Figura 39. Variación temporal de las velocidades en la boca del estero de Urías durante mayo- junio del 2010, las velocidades están en m/s.

4. DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

La región de estudio presenta características de circulación complejas, aunque en los datos analizados si se observa la presencia de ciertos patrones de circulación que permanecen a escala diaria-estacional, al ser comparados entre estaciones si se ven algunas diferencias. Por ejemplo, se ve que la circulación de la zona de estudio esta modulada a escala diaria por la marea más que el viento, como lo muestran las excursiones de las boyas de deriva, y los flujos observados por el perfilador fijo. Luego corroboradas por las corrientes del perfilador acústico a diferentes profundidades en modo de arrastre. En la zona del emisor, los patrones de circulación observados tanto en la boyas de deriva como el ADP indicarían un desplazamiento de las partículas en un corredor emisor- dos hermanas-zona costera hotelera-Jumapan y regreso. El transporte y dilución se daría en este circuito a favor de dilución del contaminante aunado a este proceso estarían los procesos naturales encargados de eliminar del medio a coliformes y enterococos por medio de la exposición a la radiación solar y al pH.

Las temperaturas superficiales resultaron mayores durante las lluvias que durante el estiaje, contrario a lo esperado.

Los patrones de corrientes son más barotropicos en el canal de Urías debido a la rectificación de marea al paso de un canal estrecho y somero, en la zona costera las corrientes son en algunos casos ligeramente más baroclinicas que barotropicas.

Se colectaron perfiles de CTD en ambas campañas, aunque los de la primer campañas no son mostrados en este trabajo ya que el CTD utilizado no funcionó adecuadamente por esa razón se omite su presentación y discusión, aunque el resto de los sensores si mostro buenos datos, como el de pH y oxigeno. En este trabajo solo se analiza y discute los datos de la campaña de junio del 2010. En este segundo experimento se abarcó una amplia región que incluyó tanto la cabeza del estero como la zona costera exterior de este, Punta Crestón y principalmente la zona de convergencia de agua del emisor en mar abierto. Los perfiles no muestran una clara evidencia de un sistema de dos capas, por lo que es posible el estudio de la hidrodinámica utilizando la velocidad verticalmente promediada.

Este resultado es malo para el problema de la fuga de agua del emisor ya que facilita que esta aboye a la superficie, situación completamente contraria al diseño de un emisor, el cual se construye con el objetivo de que un sistema de (n) capas en una columna estable de agua, impida que el agua contaminada vaya a la superficie.

Una conclusión importante de este trabajo es que debe repararse y prolongarse la construcción del emisor hasta la profundidad donde fue proyectado originalmente, ya que la baja profundidad en la zona de fuga, no permite la formación de un sistema de más de una capa, esta situación propicia una mezcla de las dos aguas rápida y el afloramiento casi inmediato del agua contaminada a la superficie, por lo que la contaminación rápidamente se traslada a la superficie formando una mancha pestilente que es vista por cientos de turistas que recorren la zona todos los días repercutiendo e impactando de forma negativa el ramo turístico que es una de las actividades del puerto más importantes.

Parece ser que el sistema tiene la capacidad de manejar la contaminación introducida al medio por el hombre ya que son varios años los que se ha estado vertiendo el agua al medio marino y a excepción de la zona muy cercana al emisor los microorganismos se encuentran en los análisis por arriba de la norma > de 800, algunos valores por arriba que aparecen en las tablas pudieran ser producto del drenaje después de las lluvias cuando la precipitación rebasa la capacidad del drenaje local.

No es un lugar adecuado para la descarga del emisor ya que la onda de marea mueve la masa de agua hacia el noroeste y luego hacia el suroeste más o menos en fase con el ciclo de marea, este comportamiento si podría estar impactando de forma importante la zona hotelera cercana.

El forzamiento por viento parece ayudar a mover la mancha superficial cuando está en fase con la onda de marea, en general su intensidad no parece contribuir de manera significativa al transporte y dilución

Los cambios observados en el campo de masa no indican la presencia de un sistema de circulación de dos capas, excepto en la zona de descarga directa del emisor en donde los cambios de temperatura entre la capa superficial y el fondo son notorios, este rasgo corroborado con perfiles de CTD del lugar.

La fuga del emisor parece ascender y mezclarse rápidamente en la columna de agua ya que los perfiles de salinidad y temperatura no indican una baja notable de salinidad sobre la zona de fuga del emisor, a pesar de haber sido tomados por lo menos 4 de ellos sobre la mancha superficial de agua contaminada.

Nuestros resultados de corrientes en arrastre con ADP concuerdan con los de Montaña-Ley (1985), este indica una dirección predominante del sistema de corrientes hacia el noroeste, en el refluo se observó la misma tendencia en este trabajo.

El análisis en marea de refluo del ADP indica que la circulación por la zona del emisor-dos hermanas es hacia la costa, por afuera de Punta Crestón hacia el mar en fase con la circulación que se observa saliendo de la boca del estero de

Urías, estos patrones de circulación contribuirían a mover o a diluir el contaminante en estas direcciones.

Con respecto al pH los valores obtenidos en los 4 meses previos del estudio reportaron valores entre 7.7 y 7.8 en la literatura se reporta un valor de pH entre 7.5- 8.4 para el medio marino, en la zona de estudio se encuentran valores de 7.3 y 8.4 valores con tendencia a la alcalinidad, más que a la acidez y con características con una fuerte tendencia hacia los valores encontrados en el mar.

Es relativa la caracterización o seguimiento de partículas utilizando como trazador el pH ya que lo que se observa en este experimento es una dilución del agua dulce en el medio marino muy eficiente a pesar de observar en las graficas del pH valores ligeramente por debajo de las típicas del mar en los puntos de vertimiento no son lo suficientemente grandes como para utilizar el pH de manera concluyente como trazador, sabiendo que lo que sube o baja el pH es la fotosíntesis, entonces sería más adecuado utilizar alcalinidad o CO^2 .

La comparación de la circulación en los segmentos estudiados entre campañas muestra un buen acuerdo, cuando se compara la circulación entre campañas, en la literatura se indica que la dirección predominante en las corrientes en la bahía es del noroeste hacia el sureste, esta tendencia es un poco más evidente en la campaña de junio del 2010.

Los valores más altos de salinidad y temperatura fueron encontrados en los perfiles de CTD colectados en la cabeza del estero cercanos a la planta de la CFE, las salinidades en estos fueron mayores a 38 PPS y temperaturas mayores a 30 °C , este resultado era esperable ya que siendo un lugar somero es más proclive al calentamiento y evaporación lo cual contribuye a formar agua caliente y salada.

Las rutas de las boyas de septiembre y las de junio muestran un buen acuerdo sobre todo en la zona sobre la fuga del emisor. Este resultado es razonable ya que aunque se ha descrito la presencia de diferentes masas de agua dependiendo de la época del año, la batimetría dado lo somero de la zona jugaría un papel importante sin importar la estación y la fuga de agua ha permanecido durante años.

No existe evidencia bacteriológica de niveles de contaminación por arriba de la norma mexicana en la zona costera exterior al este de la boca del estero de Urías (Isla Cardones).

En flujo de marea máximo las trayectorias de las boyas claramente indican un flujo hacia la zona de Jumapan, esta situación podría estar contribuyendo a recircular las partículas hacia esa zona.

Se sugiere la conveniencia de hacer un análisis de funciones empíricas ortogonales a las series de viento y de nivel del mar con la finalidad de estimar el grado de importancia de un forzamiento sobre el otro.

5. BIBLIOGRAFIA

Alonso-Rodríguez, R. 1998. Ocurrencia de mareas rojas y calidad del agua en la zona sur de la bahía de Mazatlán, Sinaloa, México. Tesis de Maestría en Ciencias. UNAM, UACPyP. 165 pp.

Alonso-Rodríguez., R. y J. L. Ochoa. 2002. Condiciones hidrográficas y meteorológicas que promueven los eventos de "marea roja" en la bahía de Mazatlán. Res. XII Reunión Nacional de la Sociedad Mexicana de Planctología. 6-9 de Mayo. Xalapa, Veracruz.

Alonso-Rodríguez, R. 2004. Hidrológica y condiciones ambientales que determinan la proliferación de dinoflagelados causantes de marea roja en la bahía de Mazatlán, Sinaloa, México. Tesis de Doctorado en Ciencias. UNAM, UACP y P-CCH. 117 pp.

Bruland, W.K., Knauer, G.A. y J. H. Martín. 1978. Cadmium in the northeast Pacific waters. *Limnology and Oceanography* 23(4): 618-125.

Cabrera-Dueñas, H. 1988. Modelación hidrodinámica numérica del puerto de Mazatlán y sus proximidades. Tesis Profesional. Universidad de Colima Escuela Superior de Ciencias Marinas, Manzanillo, Colima. 26 pp.

Cortes-Altamirano, R. y S.P. Rojas-Trejo, 1981. Variación estacional de las comunidades fitoplanctónicas de la bahía de Mazatlán, Sin. México .VII Simposio Latinoamericano sobre Oceanografía biológica, 15-19 de noviembre de 1981, Acapulco, Guerrero, México, 219-239.

Cruz, M. A., 1995. Productividad primaria acuática en la bahía de Mazatlán. Tesis Profesional, Facultad de ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 81 pp.

García-de-la-Parra, L. M., 1992. Estimación de tasas de fijación de nitrógeno atmosférico en la bahía de Mazatlán, Sinaloa, México. Tesis profesional CCHUACPYP Instituto de ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, 89 pp.

González-Farias, F. 1986. Variación estacional de detritus en diversos ecosistemas del Golfo de California. Memorias de Intercambio Académico sobre Investigaciones en el Mar de Cortez. Abril 1986. Hermosillo sonora. 133-148.

Méndez, U. N. y M. J. Green-Ruiz, 1998. Superficial sediments and their relation to polychaete families in a subtropical embayment, Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 46(2) 237-248

Montaño-Ley, Y. 1985. Estudio del transporte litoral de arenas en la isla de la Piedra, Mazatlán, Sinaloa usando trazadores fluorescentes. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*. Universidad Nacional Autónoma de México, 12(1):15-32.

Muñoz-Barbosa, A., Gutiérrez-Galindo, E. A. y G. Flores Muñoz. 1999. *Mytilus californianus* as an indicator of heavy metals in the northwest coast of Baja California, Mexico. *Marine Environmental Research*, 49: 123-144.

Orozco-Romo, M. L., 1980. Estudio del macrobentos de la Bahía de Mazatlán, Sinaloa (con relación especial a peces, equinodermos, crustáceos y moluscos. En relación con temperatura, salinidad, profundidad y tipo de sustrato. Tesis Profesional. Universidad Autónoma de Guadalajara.

Páez-Osuna, F., Montaño-Ley, Y. y Bojórquez-Leyva, H. 1990. Intercambio de agua, fósforo y material suspendido entre el sistema lagunar del Puerto de Mazatlán y las aguas costeras adyacentes. *Rev. Int. Contam. Amb.* 6: 19-32.

Pérez-Bernal, L. H. 1999. Concentración, distribución y fraccionamiento geoquímica del fósforo en los sedimentos de dos lagunas costeras del noroeste de México. Tesis de Maestría, UNAM, México. 145 pp.

Saavedra-Rojas, C. N., 1995. Evaluación de la productividad primaria bajo un gradiente artificial de luz, durante un ciclo anual, en la zona adyacente a Mazatlán, Sinaloa, México. Tesis Profesional. Fac. Ciencias. UNAM., 68 pp.

Soto, J. M. F., 1998. Distribución de la concentración de metales pesados en los sedimentos del puerto de Mazatlán y áreas adyacentes: su normalización y fraccionamiento geoquímico CCH UACPyP UNAM. Tesis de Maestría en Ciencias del Mar. 245 pp.