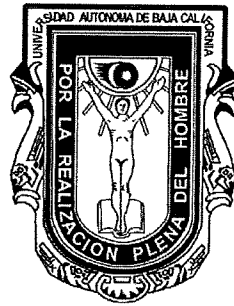


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**

**FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS**



**“DINÁMICA DE NUBES DE ESPORAS DE *Ulva lactuca* (L.)  
EN BAHÍA ALCATRAZ, B.C., MÉXICO”**

**TESIS**

**QUE PARA CUBRIR PARCIALMENTE LOS REQUISITOS  
NECESARIOS PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN OCEANOGRAFÍA COSTERA**

**Presenta:**

**EDER ESTRADA MARTÍNEZ**

**Ensenada B. C., México.**

**Enero de 2008**

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

**“DINÁMICA DE NUBES DE ESPORAS DE *Ulva lactuca* (L.) EN  
BAHÍA ALCATRAZ, B.C., MÉXICO”**

**T E S I S**

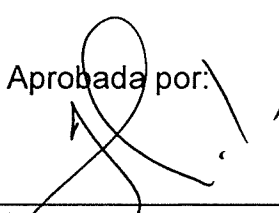
**QUE PARA CUBRIR PARCIALMENTE LOS REQUISITOS  
NECESARIOS PARA OBTENER EL GRADO DE:**

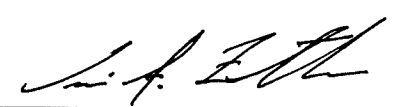
**MAESTRO EN CIENCIAS EN OCEANOGRAFÍA COSTERA**


**PRESENTA:**


**EDER ESTRADA MARTINEZ**

Aprobada por:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Isaí Pacheco Ruíz  
Presidente del jurado

  
\_\_\_\_\_  
Dr. José Antonio Zertuche González  
Sinodal

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Carlos R. Torres Navarrete  
Sinodal

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Adán Mejía Trejo  
Sinodal

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Dr. Isaí Pacheco Ruíz por haber aceptado ser mi director de tesis y tutor académico, por dirigir esta investigación, por su apoyo y disponibilidad, por sus comentarios y sugerencias académicas y por su confianza.

A mis sinodales: Dr. José Antonio Zertuche González, Dr. Carlos R. Torres Navarrete y Dr. Adán Mejía Trejo, por la revisión de esta tesis, sugerencias y comentarios.

Al M.C. Rafael Blanco Betancourt (White) por su valiosa participación durante la colecta de datos en campo y por sus siempre útiles sugerencias y comentarios para la elaboración de esta tesis.

Al M.C. Juan Manuel López Vivas por su apoyo y tiempo dedicado en los experimentos durante mi estancia en el laboratorio.

Al Dr. Julio Espinosa Avalos por su colaboración durante la colecta de datos en campo y por sus comentarios.

Al Oc. Edgar Arroyo Ortega por sus palabras de apoyo y sugerencias.

A la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), por ser orgullosamente cimarrón.

Al Instituto de Investigaciones Oceanológicas (IIO)

A la Facultad de Ciencias Marinas (FCM)

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada para la realización de esta tesis (CONACYT).

A la Sociedad Ficológica de México y la Universidad de Guadalajara (UDG) por permitirme presentar los avances de mi tesis durante el V Congreso Mexicano de Ficolología realizado en Guadalajara, Jalisco del 3 al 8 de Abril del 2006.

DEDICATORIA:

A mí dios

A tí Eder que decidíste seguir preparándote para ser mejor cada día

A mis padres por su inmenso apoyo y cariño

A tí Mary por tu apoyo incondicional.

A mí hermano Kermhitt, te admiro mucho carnal

A mí hermano Clemente, adelante Ingeniero, tu puedes.

A mis sobrinos Brayan, Kercito y Flaquito.

Al tío Pancho, la tía María, el tío Morris y toda la familia

A mis amigos

Pero sobre todo a ese inmenso mar que me permitió seguir aprendiendo de el

**RESUMEN de tesis de EDER ESTRADA MARTINEZ, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN OCEANOGRAFIA COSTERA.**

**ENSENADA BAJA CALIFORNIA, ENERO DE 2008**

**“DINÁMICA DE NUBES DE ESPORAS DE *Ulva lactuca* (L.) EN BAHÍA ALCATRAZ, B.C., MÉXICO”**

**Resumen aprobado por:**



**Dr. Isai Pacheco Ruiz**  
**Director de tesis**

Se evaluó la dinámica de las nubes de esporas de un manto de *Ulva lactuca* (L.) localizado en bahía Alcatraz, B.C., México. Para entender el proceso, se obtuvo la batimetría con un perfilador acústico de corrientes y un geoposicionador satelital, ambos conectados a una computadora portátil. Se realizaron arrastres para obtener profundidad y datos de corrientes marinas. El viento y marea se obtuvieron con la estación meteorológica UABC-1 y el programa de predicción de mareas del Centro de Investigaciones Científicas y de Educación Superior de Ensenada respectivamente. Se obtuvieron series de tiempo de temperatura con termógrafos StowAway Temp Logger. Las esporas se colectaron con recolectores de cuerdas de nylon de 2 mm de diámetro fijadas al fondo y mantenidas verticalmente con una boya. Se muestreó en 15 puntos de la bahía en los periodos del 13 al 18, del 18 al 23 y del 23 al 28 de Junio del 2004. La concentración de esporas se tomó como número de esporas germinadas en las cuerdas recolectoras, las cuales fueron cultivadas en el laboratorio. Los resultados revelan una nube de esporas que domina en los primeros metros de la columna de agua y decrece conforme se aleja de la costa hacia la parte más profunda de la bahía. La máxima densidad registrada fue  $\geq 500$  esporas por  $\text{cm}^2$ . La dispersión de esporas a partir del centro del manto algal hasta los colectores mas retirados fue de 1.25 y 1.67 Km en los tres periodos y de 1.67 Km por la orilla de la bahía. Se calculó una dispersión de 2.85 km en un tiempo de 1 hora 35 minutos con velocidad de la corriente de hasta  $50 \text{ cm s}^{-1}$  y a  $25 \text{ cm s}^{-1}$  las esporas se pueden dispersar hasta 1.42 km para la primer fotografía. En la segunda fotografía la dispersión se calculó en 3.66 km en 2 horas 2 minutos con velocidad de la corriente de hasta  $50 \text{ cm s}^{-1}$  y a  $20 \text{ cm s}^{-1}$  de 1.46 km. Y en la tercera fotografía con un tiempo de 1 hora 14 minutos, la dispersión se estimó en 2.22 km con velocidad de corrientes de

hasta  $50 \text{ cm s}^{-1}$  (superficie) y a  $20 \text{ cm s}^{-1}$  la dispersión es de 880 m. El viento fue predominante del SW (verano) con una magnitud promedio de  $5 \text{ m s}^{-1}$  el cual presentó amplia relación con las corrientes registradas. Esto sugiere que en ambientes someros como bahía Alcatraz el viento pudiera regir la dispersión de propágulos de las algas marinas. Los resultados obtenidos con el Modelo General Curvilíneo Oceánico corroboraron que las corrientes juegan un papel importante en la dispersión de propágulos de *Ulva* en bahía Alcatraz.

**CONTENIDO**

	Página
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>VIII</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>6</b>
2.1. Objetivo general	6
2.2. Objetivos particulares	6
<b>3. HIPÓTESIS</b>	<b>7</b>
<b>4. ÁREA GEOGRÁFICA DE ESTUDIO</b>	<b>8</b>
<b>5. METODOLOGÍA</b>	<b>10</b>
5.1. Mediciones	10
5.2. Batimetría	10
5.3. Marea	12
5.4. Corrientes marinas	12
5.5. Viento	14
5.6. Temperatura	15
5.7. Colecta de esporas	15
5.8. Aplicación del modelo GCOM (General Curvilinear Ocean Model).	19
<b>6. RESULTADOS</b>	<b>22</b>
6.1. Batimetría	22

6.2. Marea	23
6.3. Corrientes	24
6.4. Viento	27
6.5. Temperatura	28
6.6. Distribución vertical y horizontal de esporas de <i>U. lactuca</i> en bahía Alcatraz.	29
6.7. Dispersión de esporas de <i>U. lactuca</i> en bahía Alcatraz.	36
6.8. Resultados del GCOM.	42
<b>7. DISCUSIONES</b>	<b>46</b>
<b>8. LITERATURA CITADA</b>	<b>50</b>
<b>9. ANEXOS</b>	<b>57</b>
9.1. Anexo 1	57

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Descripción</b>	<b>Página</b>
<b>1</b>	Ubicación geográfica de bahía Alcatraz en el golfo de California, México.	<b>9</b>
<b>2</b>	Embarcación adaptada con ADCP, GPS y PC para coleccionar datos de profundidad de la bahía.	<b>11</b>
<b>3</b>	Trayectoria de los Arrastres con el ADCP en la bahía para generar la batimetría. La trayectoria punteada corresponde al muestreo de junio de 2004 y la trayectoria continua es del muestreo de julio de 2006.	<b>11</b>
<b>4</b>	Equipo de navegación para la obtención de los datos de corrientes marinas.	<b>13</b>
<b>5</b>	En la izquierda el ADCP tomando la lectura de las corrientes por arrastres. A la derecha el ADCP fijo en el fondo de la bahía.	<b>13</b>
<b>6</b>	Estación meteorológica marca Aanderaa.	<b>14</b>
<b>7</b>	Esquema de los colectores de esporas.	<b>16</b>
<b>8</b>	Ubicación geográfica de los colectores.	<b>17</b>
<b>9</b>	“Carboys” con medios de cultivo con las cuerdas colectoras.	<b>18</b>
<b>10</b>	Microscopio compuesto (izquierda), el que se utilizó para contar plántulas (derecha), que germinaron sobre las cuerdas recolectoras.	<b>19</b>
<b>11</b>	Malla del fondo marino de la zona de estudio en tercera dimensión. El color rojo corresponde a la zona más somera mientras que el azul corresponde a la zona más profunda.	<b>20</b>
<b>12</b>	Mallado tridimensional con divisiones en la vertical.	<b>20</b>
<b>13</b>	Plano batimétrico de bahía Alcatraz, B.C. (elaborado con datos obtenidos en junio del 2004 y julio del 2006).	<b>22</b>

<b>14</b>	<b>Imagen satelital de bahía Alcatraz, muestra islote e isla Alcatraz.</b>	<b>23</b>
<b>15</b>	<b>Armónico de marea con los constituyentes de la marea M2 (izquierda) y S2 (derecha), característico de marea semidiurna.</b>	<b>24</b>
<b>16</b>	<b>Comportamiento de la marea durante el muestreo (Marea mixta).</b>	<b>24</b>
<b>17</b>	<b>Corrientes marinas correspondientes al 14 de junio del 2004 durante bajamar, dentro del primer periodo de colecta (13 al 18 de Junio del 2004). La línea roja indica el tiempo y condición de marea en que se muestreo.</b>	<b>25</b>
<b>18</b>	<b>Corrientes marinas correspondientes al 20 de junio del 2004 durante pleamar, dentro del segundo periodo de colecta (18 al 23 de Junio del 2004). La línea roja indica el tiempo y condición de marea en que se muestreo.</b>	<b>26</b>
<b>19</b>	<b>Corrientes marinas correspondientes al 22 de Junio del 2004 durante bajamar, dentro del tercer periodo de colecta (23 al 28 de Junio del 2004). La línea roja indica el tiempo y condición de marea en que se muestreo.</b>	<b>27</b>
<b>20</b>	<b>Rosa de vientos e histograma de frecuencia en bahía Alcatraz.</b>	<b>28</b>
<b>21</b>	<b>Diagrama de astillas, intensidad y dirección de los vientos de Bahía Alcatraz (El viento se reporta de donde proviene).</b>	<b>28</b>
<b>22</b>	<b>Temperatura registrada a cinco metros de profundidad en bahía Alcatraz (junio del 2004 a abril del 2005), la línea roja indica el periodo de muestreo.</b>	<b>29</b>
<b>23</b>	<b>Distribución espacial de las esporas, del 13 al 18 de junio del 2004.</b>	<b>30</b>
<b>24</b>	<b>Distribución espacial de las esporas, del 18 al 23 de junio del 2004.</b>	<b>32</b>
<b>25</b>	<b>Distribución espacial de las esporas, del 23 al 28 de junio del 2004.</b>	<b>34</b>

<b>26</b>	Dispersión de esporas de <i>U. lactuca</i> a partir del centro del manto (13 al 18 de junio de 2004).	<b>36</b>
<b>27</b>	Dispersión de esporas en un tiempo conocido de mediciones de corrientes, vientos y marea.	<b>37</b>
<b>28</b>	Dispersión de esporas de <i>U. lactuca</i> a partir del centro del manto (18 al 23 de junio de 2004).	<b>38</b>
<b>29</b>	Dispersión de esporas en un tiempo conocido de mediciones de corrientes, vientos y marea.	<b>39</b>
<b>30</b>	Dispersión de esporas de <i>U. lactuca</i> a partir del centro del manto (23 al 28 de junio de 2004).	<b>40</b>
<b>31</b>	Dispersión de esporas en un tiempo conocido de mediciones de corrientes, vientos y marea.	<b>41</b>
<b>32</b>	Resultados del GCOM comparados con los resultados arrojados por las mediciones oceanográficas (a, b y c).	<b>43</b>
<b>33</b>	Remolinos presentes en la región de estudio (tomada de Torres <i>et al.</i> , 2007).	<b>44</b>
<b>34</b>	Resultados del GCOM para el campo de densidad (tomada de Torres <i>et al.</i> , 2007).	<b>45</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>Descripción</b>	<b>Página</b>
<b>1</b>	Coordenadas geográficas de los colectores.	<b>18</b>
<b>2</b>	Concentración de esporas de <i>Ulva lactuca</i> en bahía Alcatraz, B.C. en junio del 2004 (colectores del 13 al 18 de junio).	<b>31</b>
<b>3</b>	Concentración de esporas de <i>Ulva lactuca</i> en bahía Alcatraz, B.C. en junio del 2004 (colectores del 18 al 23 de junio).	<b>33</b>
<b>4</b>	Concentración de esporas de <i>Ulva lactuca</i> en bahía Alcatraz, B.C. en junio del 2004 (colectores del 23 al 28 de junio).	<b>35</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

La presencia, distribución y colonización de las macroalgas en un área o ambiente determinado esta influenciada, como en todo organismo bentónico sésil, por la capacidad de dispersión de sus propágulos. Este proceso a su vez dependerá de las características físicas de dichos cuerpos reproductivos (tamaño, forma, densidad, etc.) y biológicas (capacidad de movimiento autónomo), así como de la dinámica del fluido que los contiene (velocidad de la corriente) (Eifion y Babb, 1968; Coon *et al.*, 1971; Amsler y Searles, 1980; Okuda y Neushul, 1981; Zechman y Mathieson, 1985; Hoffmann, 1987; Hoffmann y Camus, 1989; Reed, 1990; Santelices, 1990; Amsler *et al.*, 1992; Clayton, 1992; Norton, 1992; Maggs y Callow, 2002; Gaylord Brian *et al.*, 2002).

Se sabe que el tamaño, forma y densidad de los propágulos de macroalgas puede afectar parcialmente la dispersión de estos (Coon *et al.*, 1971; Amsler y Searles, 1980; Santelices, 1990; Amsler *et al.*, 1992; Gaylord Brian *et al.*, 2002). Las algas marinas exhiben un intervalo muy amplio en el tamaño de sus propágulos, y según sea la especie, pueden ir desde  $\approx 2 \mu\text{m}$  en muchas algas cafés y verdes, hasta  $\geq 180 \mu\text{m}$  en algunas rojas que también pueden llegar a ser 5-10% más densos que el agua de mar (Coon *et al.*, 1971; Okuda y Neushul, 1981; Hoffmann, 1987; Clayton, 1992; Maggs y Callow, 2002). El tamaño de los propágulos en muchas especies de macroalgas, esta relacionado con la presencia de una capa envoltorio llamada mucílago, que aunque no es muy bien conocida su función, se ha observado que en la mayoría de los casos dobla su volumen (Ngan y Price, 1979; Zechman y

Mathieson, 1985; Clayton, 1992). Los propágulos de algas marinas también exhiben formas variadas, los hay esféricos, ovalados, elongados, en forma de frijol. Pueden presentar dos o cuatro flagelos en la parte anterior, insertados lateralmente o carecer de ellos, lo que afecta su razón de hundimiento y tiempo de permanencia en la columna de agua durante la dispersión (Coon *et al*, 1971; Hoffmann y Camus, 1989; Santelices, 1990; Clayton, 1992; Maggs y Callow, 2002).

Hoffman y Camus, (1989) observaron que las esporas de *Enteromorpha intestinalis* permanecen mucho más tiempo en la superficie que otras algas, lo cual se cree que está relacionado con su capacidad de movimiento. Las células nadadoras más rápidas de algas marinas alcanzan velocidades de 80 a 300  $\mu\text{m s}^{-1}$ . Sin embargo, la capacidad de los propágulos de nadar intensamente en alguna dirección, solo es a pequeñas distancias y dependiendo la especie es el tiempo que dura el nado, el cual puede ir de unos cuantos segundos hasta algunos días (Suto, 1950; Norton, 1992). No obstante, se cree que la habilidad que tienen algunas esporas para nadar radica en su respuesta a estímulos ambientales, como la luz (Hoffmann y Camus, 1989; Maggs y Callow, 2002), por ejemplo, las esporas de algunas algas verdes permanecen distribuidas en la superficie de la columna de agua, lo que sugiere que estos propágulos tienen amplia respuesta a estímulos tácticos (fototaxis), a diferencia de propágulos de algunas algas rojas y cafés que tienden a dirigirse hacia el fondo, como las esporas de *Macrocystis pyrifera* que presentan fototaxis negativa (Amsler y Searles, 1980; Reed *et al.*, 1988; Hoffman y Camus, 1989). El tiempo que los

propágulos son viables en la columna de agua es un factor que juega un papel importante en la distancia a la cual son dispersados para la colonización de un sustrato (Hoffmann, 1987; Maggs y Callow, 2002; Shanks *et al.*, 2003). Las esporas pueden ser viables de 4 a 11 días y hasta por encima de seis semanas como lo reportado en esporas del género *Ulva* (Hoffmann y Camus, 1989; Maggs y Callow, 2002). Por lo anterior, se dice que las esporas que tienen la habilidad de permanecer suspendidas (viables) en la columna de agua durante largos periodos de tiempo pertenecen a especies de algas oportunistas, dichas esporas se ven favorecidas al ser dispersadas a distancias considerables (Reed *et al.*, 1988).

Las esporas de *Ulva* son las que se reportan con mayor dispersión ( $\approx 35$  Km), a partir de la planta progenitora (Amsler y Searles, 1980; Zechman y Mathieson, 1985 y Santelices, 1990). Lo anterior se atribuye a que los propágulos pueden ser viables en la columna de agua hasta por más de ocho días y permanecer en suspensión durante estos períodos (Eifion y Babb, 1968; Hoffman y Camus, 1989; Santelices, 1990; Maggs y Callow, 2002).

Además de las características ya mencionadas, hay que considerar que los factores físicos que influyen en el movimiento del agua, como las corrientes marinas y/o las mareas, son parte importante durante la dispersión de esporas de macroalgas (Suto, 1950; Coon *et al.*, 1971; Hoffman y Camus, 1989). La dispersión de propágulos de macroalgas, definida como ***“la distancia de propagación que alcanzan los propágulos en cualquier dirección, partiendo de una planta progenitora”*** (Hoffmann, 1987; Santelices, 1990;

Norton, 1992; Shanks *et al.*, 2003), puede estar determinada por la marea o por corrientes marinas. Se ha demostrado que las fuertes corrientes producidas por marea puede explicar parcialmente la riqueza de especies de propágulos de algas marinas y especies de larvas del plancton distribuidos a lo largo de estuarios y aguas costeras durante su etapa de vida libre (Zechman y Mathieson, 1985; Mc Nair y Newbold, 2001). Así mismo, las corrientes marinas influyen en la dispersión de los propágulos de muchas algas marinas y pueden sobrepasar por mucho a los movimientos producidos por esporas flageladas (Suto, 1950). Así, el efecto de las corrientes sobre las diferencias en tamaño, densidad y razón de sedimentación de los propágulos producirá variaciones en la dispersión (Coon *et al.*, 1971).

La línea de costa y topografía submarina es otro factor que puede afectar la dispersión de propágulos de macroalgas ya que la velocidad y dirección de las corrientes que contienen a los propágulos pueden variar debido a la forma que presentan la línea costera y el fondo marino (Buenrostro Amador, 1991; Shanks *et al.*, 2003).

Por lo anteriormente expuesto, es claro que para poder explicar la presencia de alguna especie en algún sitio determinado del medio ambiente marino en función de su dispersión, es necesario considerar tanto los factores biológicos de la especie como el ambiente hidrodinámico al que están expuestos los propágulos.

Esta investigación se centró en describir cómo afectan los factores hidrodinámicos en la dispersión de esporas de *U. lactuca* de bahía Alcatraz,

localizada en la costa NW del Golfo de California. El sistema es altamente productivo debido a que está influenciado por aguas ricas en nutrientes que provienen del canal de Ballenas, lo cual también se ve reflejado en una gran producción de propágulos de macroalgas (Álvarez Borrego *et al.*, 1978; Pacheco Ruíz *et al.*, 1992 y Pacheco-Ruíz, 1999b). No obstante, en el golfo de California, poco se ha investigado acerca de la dinámica de nubes de esporas de algas marinas. Se evaluó la dispersión de nubes de esporas de *Chondracanthus squarulosus* (Setchell & N.L. Gardner) J.R. Hughey, P.C. Silva & Hommersand en la columna de agua y se observó la distribución vertical y horizontal, sin embargo, no se correlacionó la dispersión con las fuerzas hidrodinámicas de la zona (Pacheco-Ruíz, 2000).

En este estudio se incluyeron mediciones oceanográficas (vientos, corrientes y mareas) para poder explicar cómo el movimiento del fluido influye en la dispersión de propágulos de algas marinas y así incursionar en estudios ecológicos sobre la dinámica de propágulos de algas marinas del golfo de California.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general.**

Evaluar la dinámica de las nubes de esporas de *U. lactuca* en bahía Alcatraz, B.C., México.

### **2.2. Objetivos particulares.**

1. Determinar la dispersión de las esporas a partir del centro del manto.
2. Estimar la dispersión de las esporas en un tiempo conocido.
3. Determinar la principal fuerza hidrodinámica (mareas, corrientes ó vientos), que actúa en la dispersión de los propágulos de *U. lactuca*.
4. Aplicar un modelo numérico que ayude a entender la dinámica de los propágulos de algas marinas durante su etapa de vida libre.

### 3. HIPÓTESIS

#### **Hipótesis:**

Los procesos hidrodinámicos son determinantes en la distribución de los propágulos de *U. lactuca*, esencialmente por la constante actividad que genera las corrientes forzadas por la marea y viento.

#### 4. ÁREA GEOGRÁFICA DE ESTUDIO

Bahía Alcatraz se encuentra ubicada en la costa NW del golfo de California (Fig. 1), entre los 29° 09' 57" N y 113° 37' 30" W límite norte y los 29° 09' 42" N y 113° 36' 46" W límite sur (Pacheco Ruíz *et al.*, 2002). El clima en esta región es típicamente desértico con poca precipitación durante el año. Los vientos se presentan básicamente de cuatro direcciones durante las diferentes épocas del año; la de invierno predominantemente del N-NW, con eventos frecuentes de cuatro a cinco días de duración y magnitudes de  $10 \text{ m s}^{-1}$ , la de verano con vientos dominantes del W-SW con eventos de varios días y magnitudes de  $10 \text{ m s}^{-1}$  pero más esporádicos que en invierno, la tercera que puede presentarse todo el año con vientos del W en forma esporádica, pero principalmente en primavera y otoño, estos vientos son popularmente conocidos como "westes" y alcanzan magnitudes mayores a  $10 \text{ m s}^{-1}$  y la cuarta es la ocurrencia de vientos persistentes durante periodos prolongados (del orden de semanas), en la época de transición de entre invierno y verano y viceversa (Buenrostro Amador, 1991). Los cuerpos costeros de esta zona están influenciados por aguas ricas en nutrientes que provienen del canal de Ballenas (Álvarez Borrego *et al.*, 1978; Pacheco Ruíz *et al.*, 1992 y Pacheco-Ruíz, 1999b), la temperatura del agua oscila entre los 13 a 14° C en invierno y hasta los 30° C en verano (Blanco-Betancourt *et al.*, 2004). En la mayoría de bahías y ensenadas de la zona, se reporta sustrato arenoso (Pacheco Ruíz y Zertuche González, 1996b).

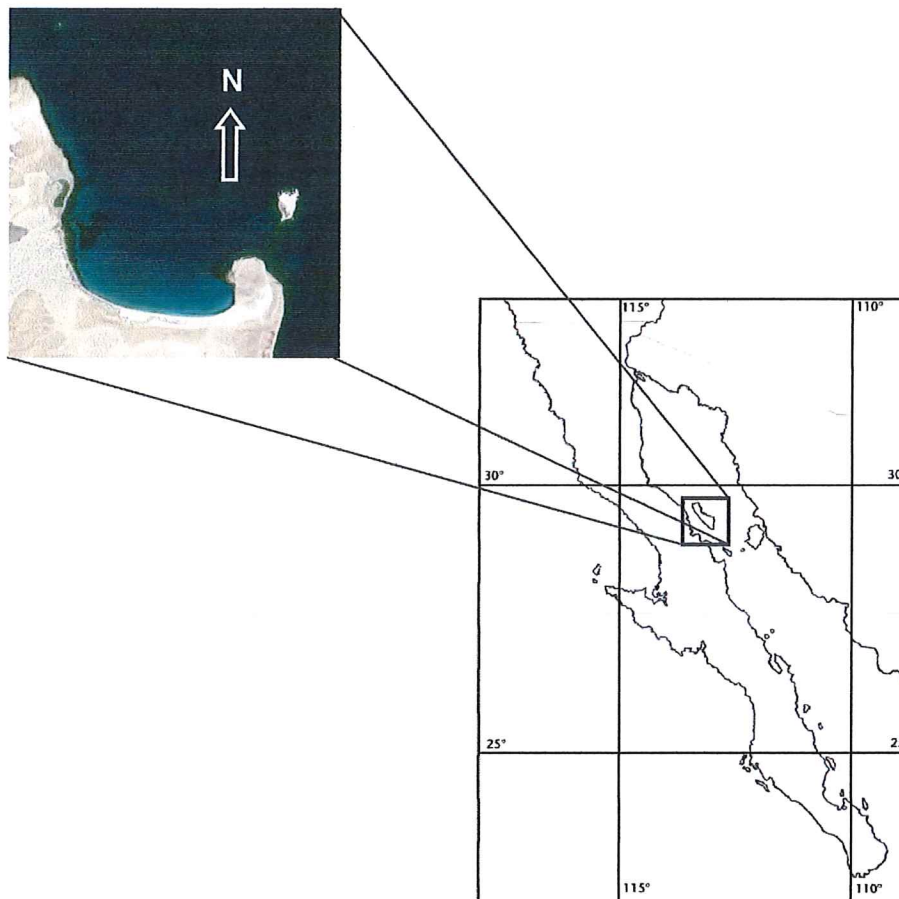


Figura 1. Ubicación geográfica de bahía Alcatraz en el golfo de California, México.

Particularmente, bahía Alcatraz presenta sustrato rocoso en la parte norte, pero en general domina el sustrato arenoso, la pendiente es suave y va hasta los 35 m de profundidad. La temperatura del agua en esta zona es de 15° C a 18° C en invierno y 22° C a 29° C durante la estación más cálida del año (verano) (Blanco Betancourt *et al.*, 2004).

## **5. METODOLOGÍA**

### **5.1. Mediciones.**

Para el análisis de la dinámica de nubes de esporas de *U. lactuca* se realizaron las mediciones oceanográficas que a continuación se describen:

### **5.2. Batimetría.**

La batimetría se generó con datos colectados en campo durante el periodo del 13 al 28 de junio de 2004 y de julio de 2006. Se utilizó una embarcación marca AVON a la cual se adaptó un ADCP (Perfilador Acústico de Corrientes) marca SonTek y un sistema de GPS (Geoposicionador Satelital), ambos conectados a una computadora portátil en donde se almacenaron los datos (Fig. 2). Se realizaron varios arrastres en el interior de la bahía, abarcando la mayor cobertura posible (Fig. 3). Los arrastres se realizaron a una velocidad constante de 5 m min<sup>-1</sup>, con registro de datos cada 30 segundos. Los datos colectados hacen referencia a la hora, longitud, latitud y profundidad.

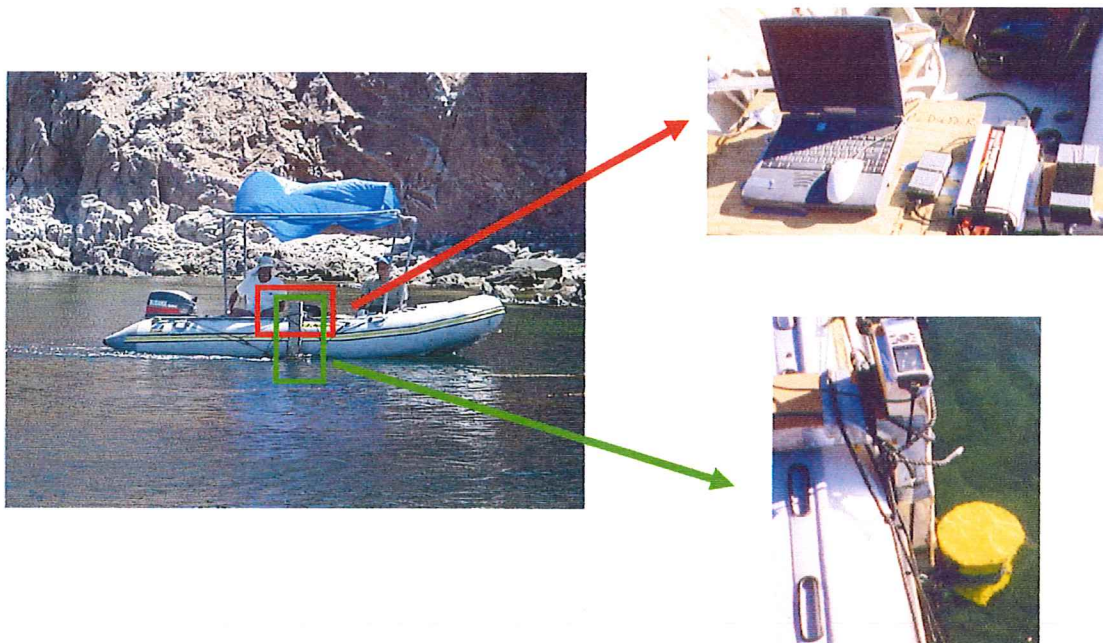


Figura 2. Embarcación equipada con ADCP, GPS y PC para colecta de datos de la profundidad de la bahía.

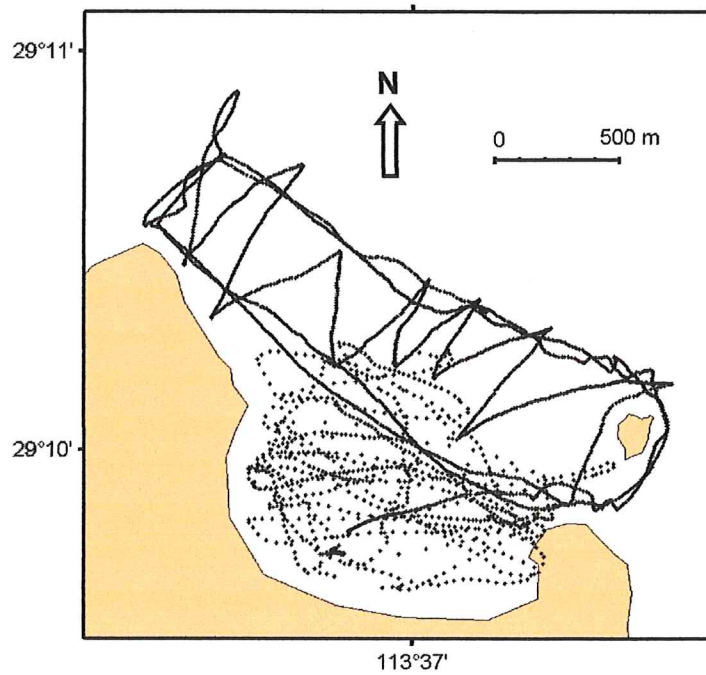


Figura 3. Trayectoria de los Arrastres con el ADCP en la bahía para generar la batimetría. La trayectoria punteada corresponde al muestro de junio de 2004 y la trayectoria continua es del muestreo de julio de 2006.

La marea astronómica fue referida al Nivel Medio del Mar (NMM), interpolada al tiempo correspondiente y sumada a los valores de profundidad para corregir los datos de batimetría por el cambio en el nivel del mar, para ello se utilizó la predicción de marea de bahía de los Ángeles ([www.cicese.mx](http://www.cicese.mx)), esta corrección permitió referir nuestro banco de datos al nivel de bajamar media inferior, similar al usado en la predicción del CICESE.

### **5.3. Marea.**

La serie de tiempo de marea correspondiente al periodo de colecta de las esporas de *Ulva* se obtuvo del programa de predicción de mareas del CICESE (Mar Vo.6. predicciones de marea en México). Los datos obtenidos se utilizaron para el análisis de transporte de esporas de *U. lactuca* por corrientes generadas por la marea.

### **5.4. Corrientes marinas.**

Para medir las corrientes marinas en la bahía, se utilizó un ADCP (Perfilador Acústico de Corrientes) marca SonTek y un sistema de GPS ([www.sontek.com](http://www.sontek.com)), instalado en una lancha Zodiac como parte del equipo de navegación (Fig. 4).



Figura 4. Equipo de navegación para la obtención de los datos de corrientes marinas.

Los arrastres con el Doppler se realizaron dentro del periodo de colecta de las esporas (Fig. 2 y 5), tomando en cuenta los ciclos de marea viva y muerta, durante el flujo y reflujo. Sólo se tomaron en cuenta las series de tiempo que presentaron mejor registro de datos. El ADCP se dejó operando de forma autónoma a partir del 25 de Junio del 2004, con el fin de obtener datos para predicciones futuras (Fig. 5, derecha).

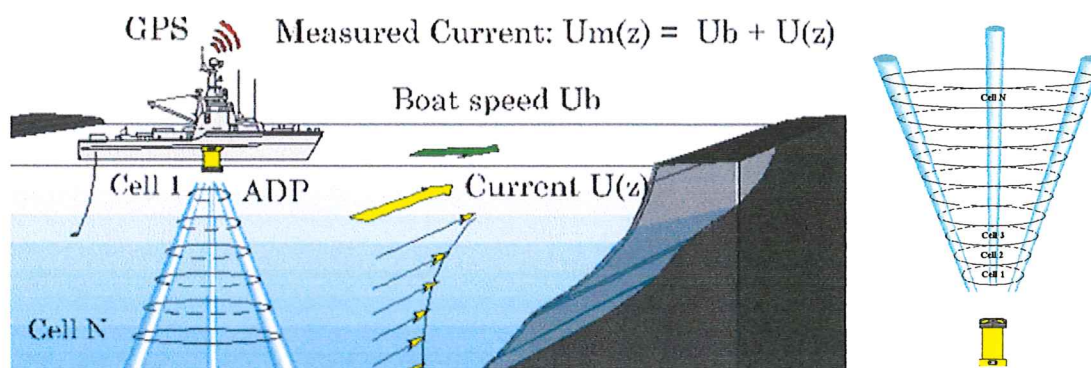


Figura 5. En la izquierda el ADCP tomando la lectura de las corrientes por arrastres. A la derecha el ADCP fijo en el fondo de la bahía.

### 5.5. Viento.

Para la colecta de datos de la velocidad y dirección del viento, se instaló una estación meteorológica (UABC-1), marca Aanderaa Instruments, modelo Automatic Weather Station 2700, a orillas de la bahía a  $29^{\circ} 09' 57''$  N y  $113^{\circ} 37' 26''$  W (Fig. 6). Las mediciones iniciaron el 14 de junio de 2004 a partir de las 10:00 a.m. hasta junio de 2005 con intervalos de 30 minutos.

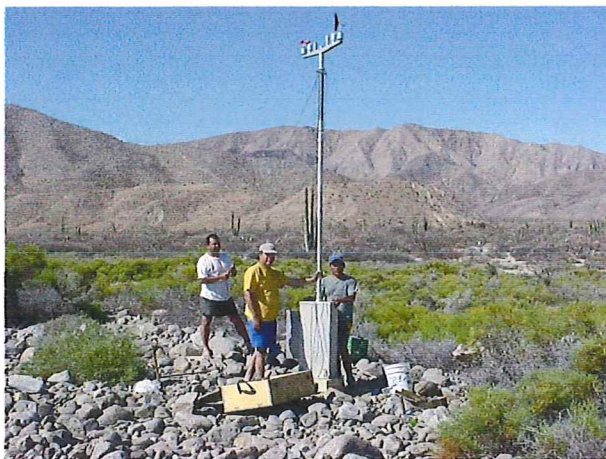


Figura 6. Estación meteorológica marca Aanderaa.

Los datos obtenidos corresponden al periodo del 14 al 28 de Junio de 2004 y comprenden velocidad y dirección del viento, la estación también registró datos como; temperatura del aire, humedad relativa, presión atmosférica e irradiación.

La dirección del viento se corrigió por la desviación magnética ( $12.4^{\circ}$ ) y se presenta referida al norte geográfico. Para representar velocidad y dirección del viento se utilizó la convención meteorológica para indicar la dirección de donde provino el viento. De los datos obtenidos, solamente se utilizaron los

referentes a velocidad y dirección del viento, con los cuales se generó una base de datos en la computadora para hacer los gráficos y análisis correspondientes.

### **5.6. Temperatura.**

Para medir la temperatura del agua en bahía Alcatraz, se utilizaron termógrafos modelo StowAway Temp Logger, fabricados por Onset Computer Corp., los cuales tienen un tamaño de 13 x 2 x 2.5 cm, y operan con un intervalo de 5° C a 37° C, con un error de  $\pm 0.2^\circ$  C y resolución de 0.16° C (Onset Products, 2004). Tres termógrafos se colocaron a diferentes profundidades para medir a intervalos de 2 horas durante el periodo de muestreo y posterior a este. La forma en que se colocaron los termógrafos fue mediante un sistema de anclaje conformado de las siguientes partes: peso muerto, cabo de polipropileno de ½ pulgada y una boya de flotación. El termógrafo se colocó en un protector de PVC. Todo el sistema fue similar al descrito por Blanco-Betancourt *et al.*, (2004). También se registraron datos de la temperatura por medio del ADCP, durante los arrastres que se realizarón para medir corrientes marinas. Los datos registrados se almacenaron en una computadora para posteriormente realizar los análisis correspondientes.

### **5.7. Colecta de esporas.**

Para la colecta de esporas se utilizaron colectores diseñados de la siguiente manera: una boya de flotación de la cual quedaban suspendidas dos cuerdas; una cuerda recolectora de esporas, esta fue de nylon de 2 mm de diámetro de color blanco, una cuerda que se dejo para extraer a la cuerda

colectora de esporas y un muerto de concreto para fijar las cuerdas hasta el fondo (Fig. 7).

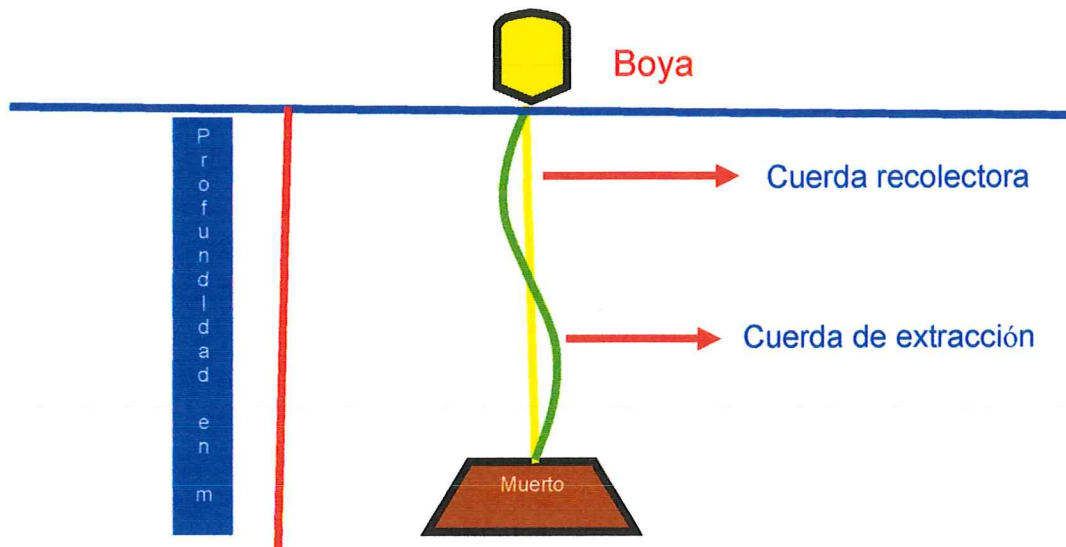


Figura 7. Esquema de los colectores de esporas.

Los colectores se colocaron en 15 puntos en el interior de bahía Alcatraz, tratando de abarcar la mayor área posible (Fig. 8; Tabla 1). La colecta se realizó en tres periodos, durante el cual cada colector permaneció suspendido por cinco días en el agua. El primer muestreo de esporas fue del 13 al 18 de junio, el segundo del 18 al 23 y el último del 23 al 28 de mismo mes de 2004. Después de las colectas de esporas, a cada una de las cuerdas se les tomó 10 cm de longitud a cada metro a lo largo de la cuerda. Las fracciones de cuerda se etiquetaron y se guardaron en bolsas de plástico negras, las que se colocaron en una hielera para ser transportadas al laboratorio para su cultivo. Posteriormente, las cuerdas se pusieron en el interior de garrafones de vidrio de

25 lts (carboys) con medio de cultivo Provasoli's (ANEXO 1) y aireación continua (Fig. 9), temperatura de 20° C, fotoperíodo 12L:12O e irradiación de 60-65  $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ . Cada 8 días se hicieron recambios de agua hasta que las plántulas de *Ulva* fueron visibles, posteriormente y con la ayuda de un microscopio compuesto, se realizaron los conteos de plántulas presentes en todo el fragmento de cuerda (Fig. 10). Los resultados se reportan en número de esporas  $\text{cm}^2$ , ya que el número de plántulas se tomó como número de esporas germinadas o adheridas a la cuerda y que se encontraban suspendidas en la columna de agua durante el periodo de muestreo.

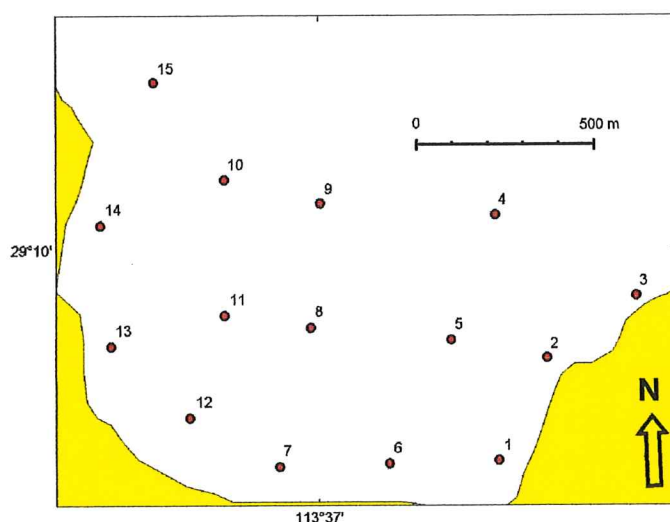


Figura 8. Ubicación geográfica de los colectores.

Tabla 1. Coordenadas geográficas de los colectores.

ESTACION	LATITUD	LONGITUD	ESTACION	LATITUD	LONGITUD
1	29.16118	-113.611	9	29.16788	-113.617
2	29.16385	-113.61	10	29.16849	-113.619
3	29.16548	-113.607	11	29.16495	-113.619
4	29.16759	-113.612	12	29.16228	-113.62
5	29.16432	-113.613	13	29.16415	-113.623
6	29.16109	-113.615	14	29.16731	-113.623
7	29.16101	-113.618	15	29.17104	-113.621
8	29.16464	-113.617			



Figura 9. "Carboys" con medios de cultivo y las cuerdas colectoras.

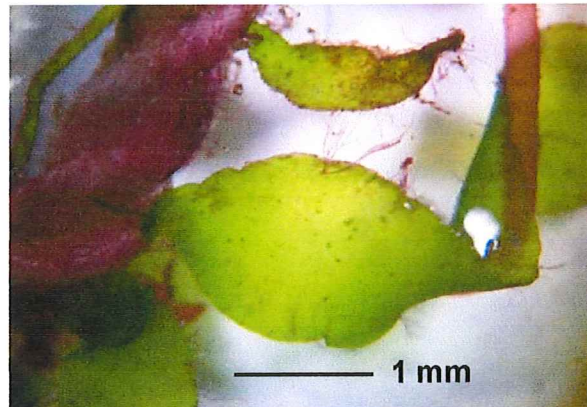
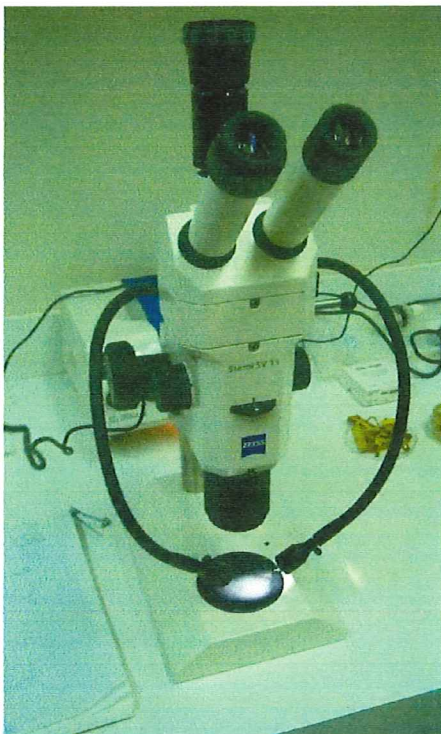


Figura 10. Microscopio compuesto (izquierda), el que se utilizó para contar plántulas (derecha), que germinaron sobre las cuerdas recolectoras.

### 5.8. Aplicación del modelo GCOM (General Curvilinear Ocean Model).

Para obtener un panorama más detallado de la dinámica de las nubes de esporas de *U. lactuca* de bahía Alcatraz, se utilizó el modelo GCOM. Es un modelo hidrodinámico en coordenadas curvilíneas, que utiliza mallas que se ajustan al fondo marino y línea de costa. Con los campos iniciales de densidad y velocidad, el modelo calculó la evolución temporal de los campos de velocidad de las corrientes de la zona (Torres y Castillo, 2003; Torres-Navarrete *et al.*, 2004) (Fig. 11 y 12).

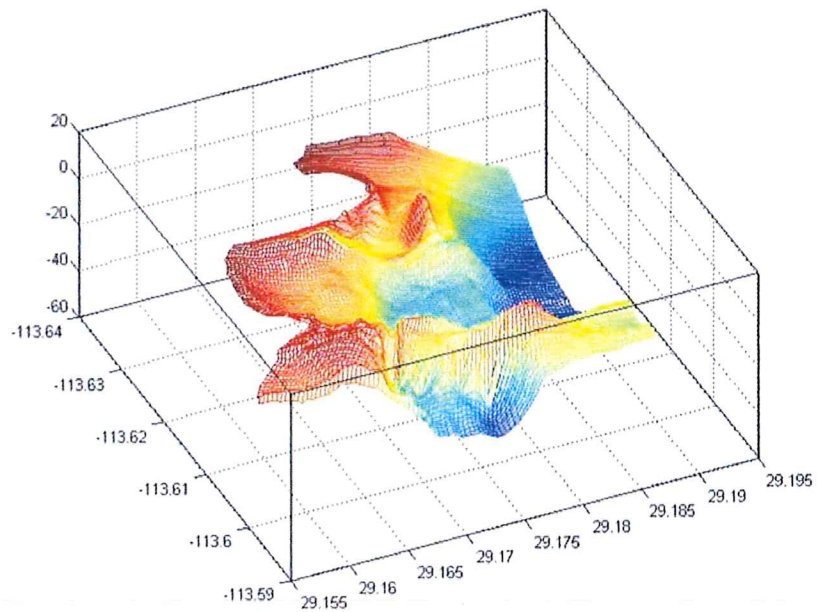


Figura 11. Malla del fondo marino de la zona de estudio en tercera dimensión. El color rojo corresponde a la zona más somera mientras que el azul corresponde a la zona más profunda.

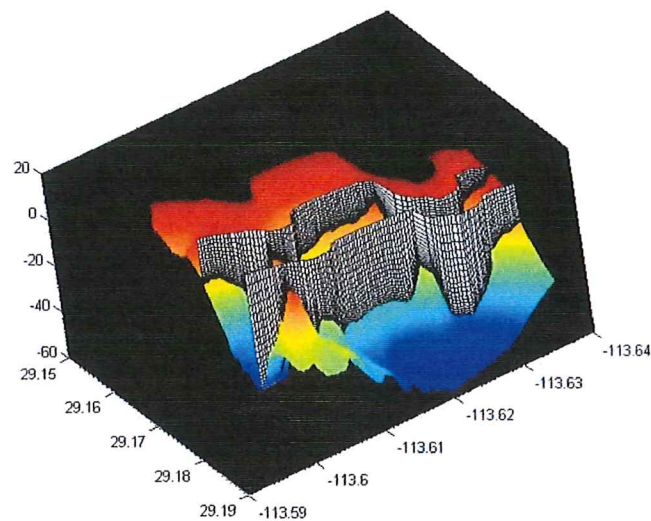


Figura 12. Mallado tridimensional con divisiones en la vertical.

El modelo corrió con valores de número de Reynolds  $Re=50$  y número de Froud  $F=1.25$  que corresponden aproximadamente a las condiciones de verano. En las fronteras abiertas se impuso una corriente oscilatoria para simular el efecto de marea. El paso de tiempo fue  $\Delta t=0.001$  s.

## 6. RESULTADOS

### 6.1. Batimetría.

La batimetría reveló el tipo de topografía submarina de bahía Alcatraz, la cual indica que es una zona poco profunda, en las regiones más cercanas a la costa la profundidad osciló de 2 a 5 m, incrementándose gradualmente hasta los 22 m en la parte más alejada (mar adentro) y a partir de los 25 m la pendiente se incrementó hasta llegar a los 40 m hacia el canal de Ballenas (Fig. 13).

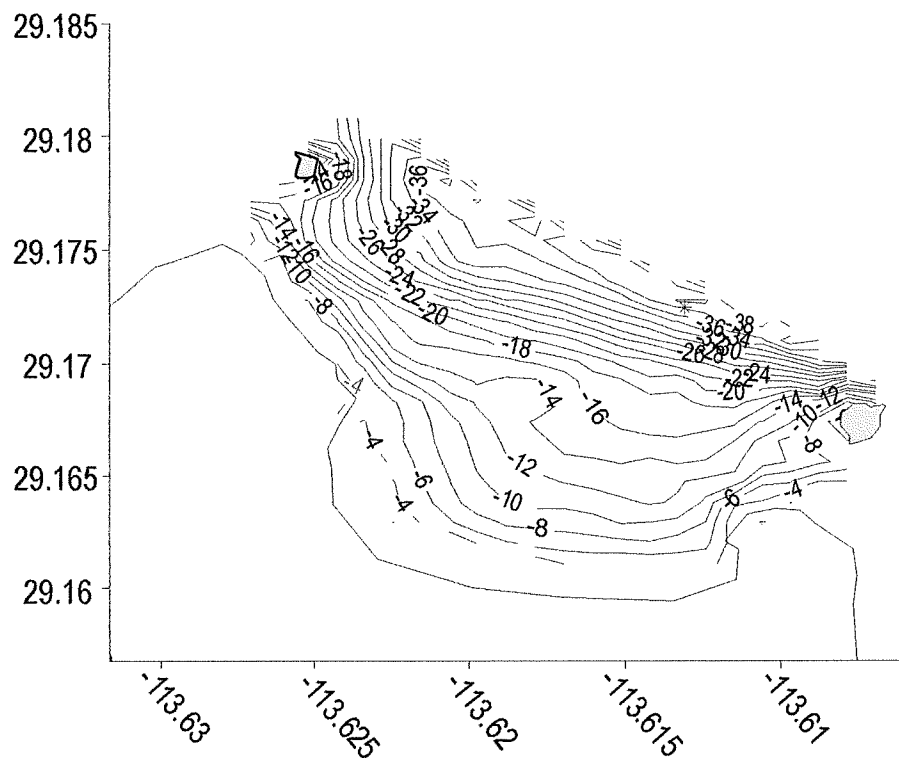


Figura 13. Plano batimétrico de bahía Alcatraz, B.C. (elaborado con datos obtenidos en junio de 2004 y julio de 2006).

Un análisis de la zona por imagen satelital, indica la presencia de dos estructuras que pudieran ser determinantes en el flujo de la bahía. En el extremo noroeste de la bahía se encuentra un pequeño islote y en el extremo sureste se encuentra isla Alcatraz de mayor tamaño (Fig. 14).

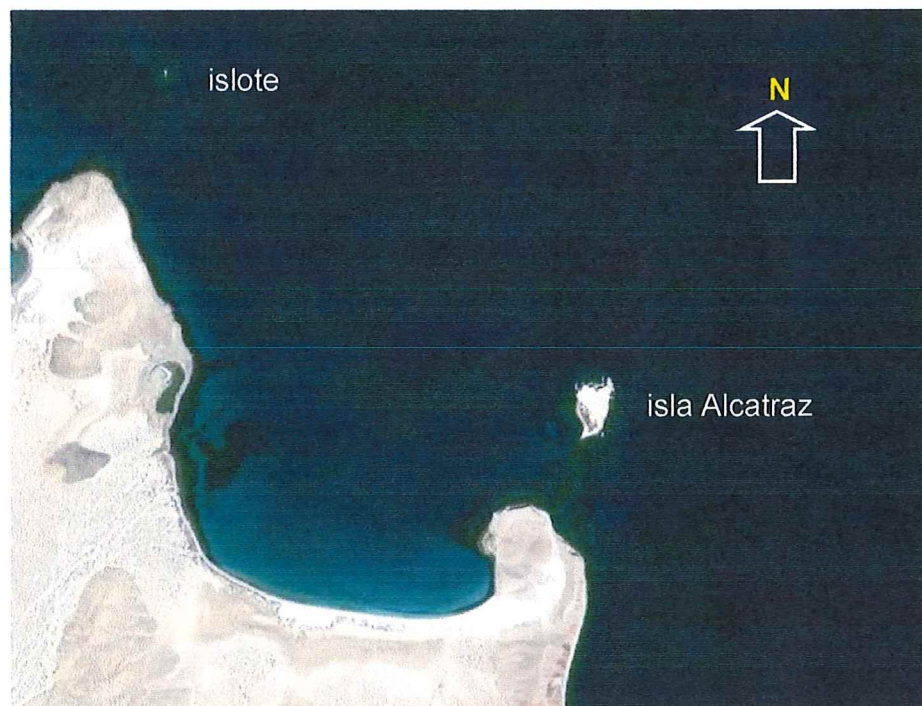


Figura 14. Imagen satelital de bahía Alcatraz, muestra islote e isla Alcatraz.

## 6.2. Marea.

La marea fue mixta, dominada principalmente por las constituyentes semidiurnas M2 (constituyente lunar) y S2 (Constituyente solar) (Fig. 15). El rango máximo de marea llegó hasta 3 m al día (Fig. 16).

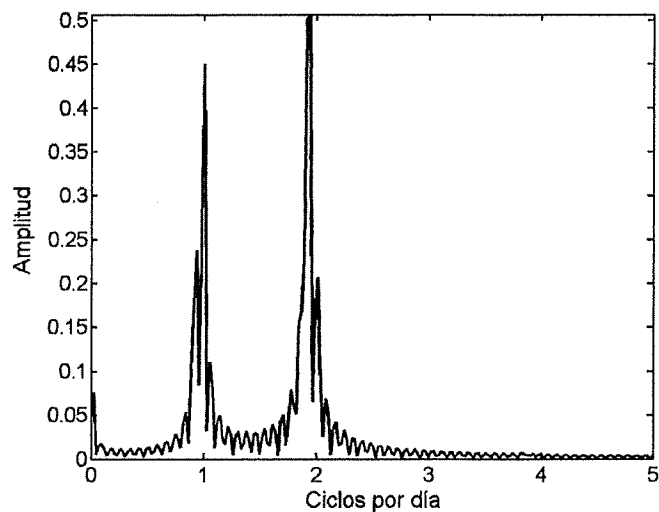


Figura 15. Armónico de marea con los constituyentes M2 (izquierda) y S2 (derecha), característico de marea semidiurna.

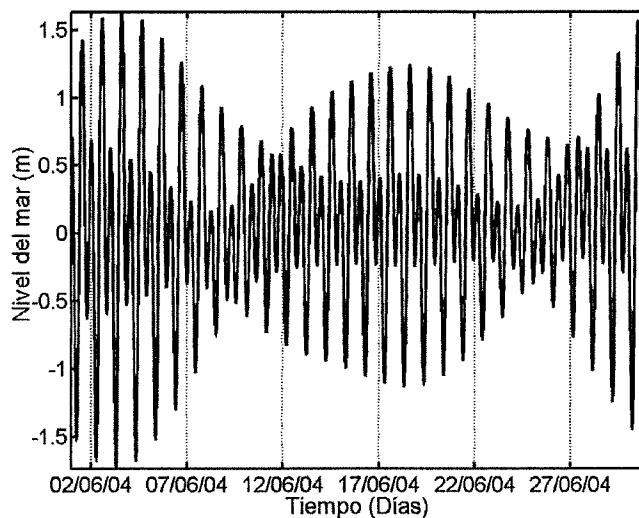


Figura 16. Comportamiento de la marea durante el muestreo (Marea mixta).

### 6.3. Corrientes.

Las corrientes presentaron un patrón muy similar de velocidad en cada uno de los registros, sin embargo tienen ciertas particularidades que a continuación se describen:

El primer registro de corrientes, correspondiente al 14 de junio de 2004 y con un tiempo de duración de 1 hora 35 minutos, indicó variaciones en la velocidad, estas van desde la superficie, con una intensidad cercana a los  $50 \text{ cm s}^{-1}$ , disminuyendo gradualmente hasta lo más profundo de la bahía (20 m). Las corrientes superficiales y un gráfico del comportamiento de la marea (bajamar), del momento indican que el flujo de agua es paralelo a la línea de costa en dirección noroeste (Fig. 17).

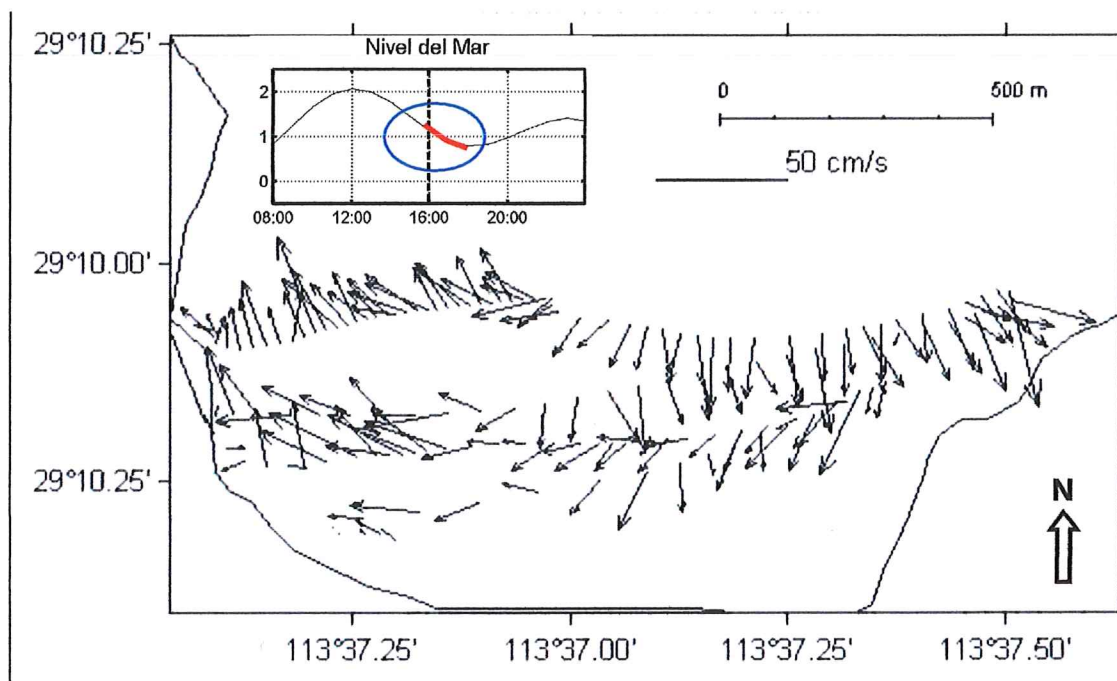


Figura 17. Corrientes marinas correspondientes al 14 de junio de 2004 durante bajamar, dentro del primer periodo de colecta de esporas (13 al 18 de junio de 2004). La línea roja indica el tiempo y condición de marea en que se muestreo.

En el segundo registro correspondiente al 20 de junio de 2004 y un tiempo de duración de 2 horas 2 minutos, las corrientes superficiales cercanas a

la costa de la bahía son de alrededor de los 20 a 30  $\text{cm s}^{-1}$  y en la parte más externa de la bahía los registros son de hasta 50  $\text{cm s}^{-1}$ , estas disminuyen gradualmente hacia el fondo (20 m). Sin embargo, la condición de marea es diferente a la del primer periodo. La dirección de la corriente es sureste y la condición de marea abarca parte de una pleamar y bajamar (Fig. 18).

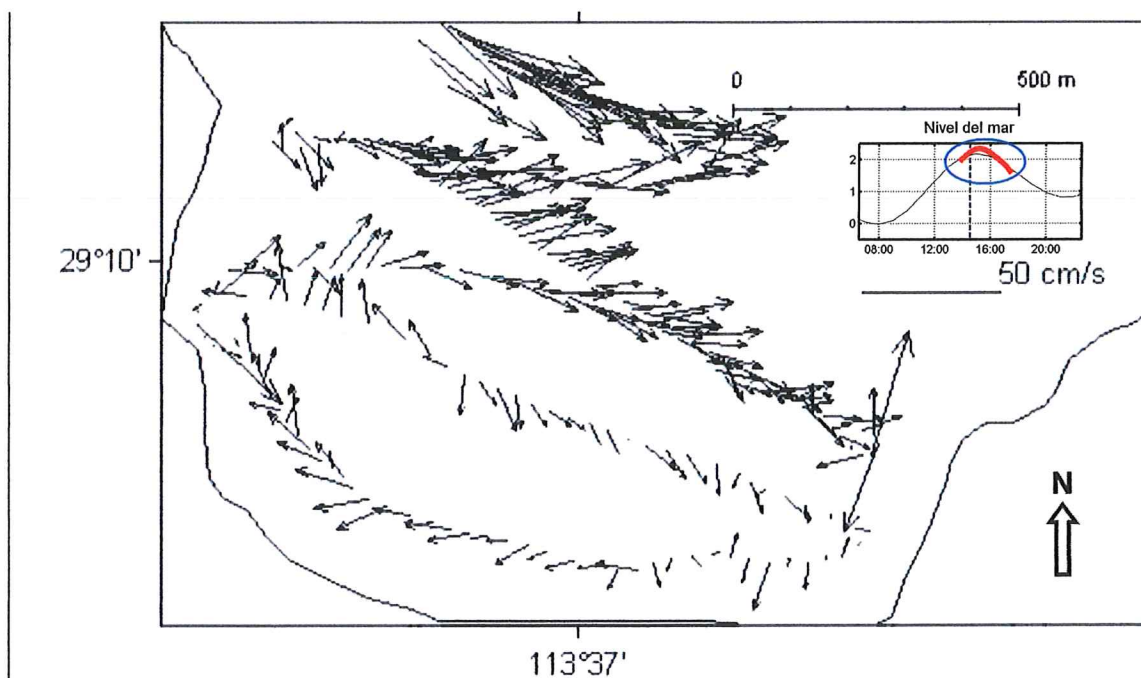


Figura 18. Corrientes marinas correspondientes al 20 de junio de 2004 durante pleamar, dentro del segundo periodo de colecta de esporas (18 al 23 de junio de 2004). La línea roja indica el tiempo y condición de marea en que se muestreo.

En el tercer registro de corrientes, correspondiente al 22 de junio del 2004 y un tiempo de duración de 1 hora 14 minutos, los datos fueron similares al del primer registro, las corrientes son entre los 30 y 50  $\text{cm s}^{-1}$ , con marea descendente. El flujo es paralelo a la línea de costa en dirección norte, también

se observa un flujo ligeramente hacia el sureste sobre el lado externo de la bahía (Fig. 19).

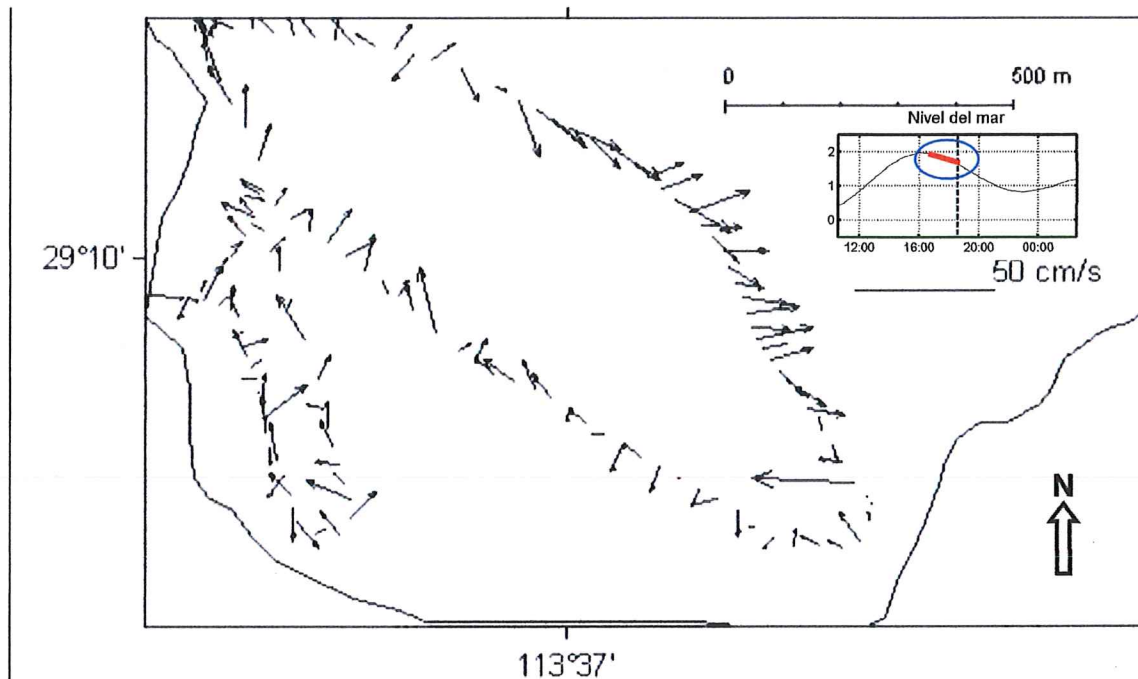


Figura 19. Corrientes marinas correspondientes al 22 de Junio de 2004 durante bajamar, cercano al tercer periodo de colecta de esporas (23 al 28 de Junio de 2004). La línea roja indica el tiempo y condición de marea en que se muestreo.

La dirección de las corrientes cambia durante la pleamar y la bajamar, lo que sugiere un intercambio de agua de la bahía con el océano adyacente y una posible circulación forzada por el efecto de marea (corrientes de marea).

#### 6.4. Viento.

La condición de viento para los periodos en los que se colectaron las esporas de *U. lactuca* fueron vientos predominantes del SW con intensidad de  $5 \text{ m s}^{-1}$  o más (Fig. 20 y 21).

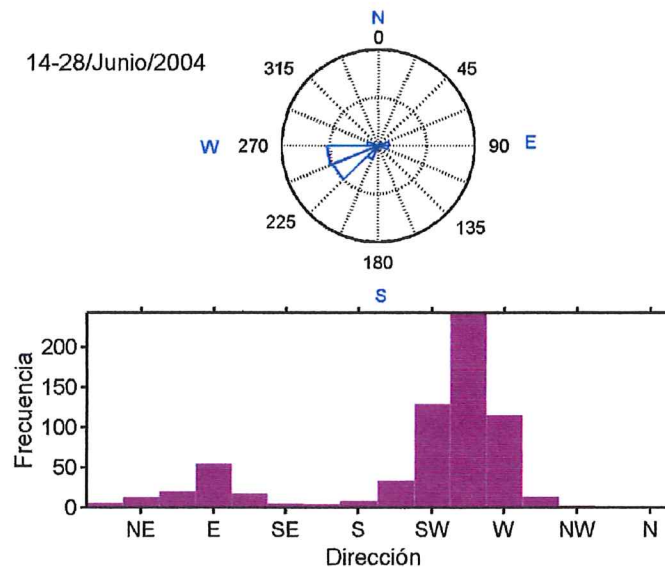


Figura 20. Rosa de vientos e histograma de frecuencia en bahía Alcatraz.

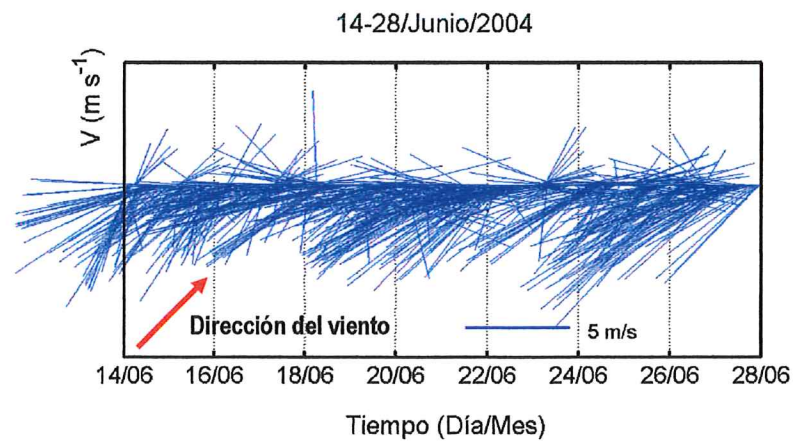


Figura 21. Diagrama de astillas, intensidad y dirección de los vientos de Bahía Alcatraz (El viento se reporta de donde proviene).

### 6.5. Temperatura.

La temperatura indica que en verano existe la presencia de masas de agua cálida con temperaturas de entre 18 y 25° C, hasta llegar a los 29° C en primavera. Posteriormente desciende hasta los 16° C a 14° C en invierno.

Durante el período de colecta de esporas la temperatura máxima fue de 25 ° C y la mínima de 23 ° C (Fig. 22).

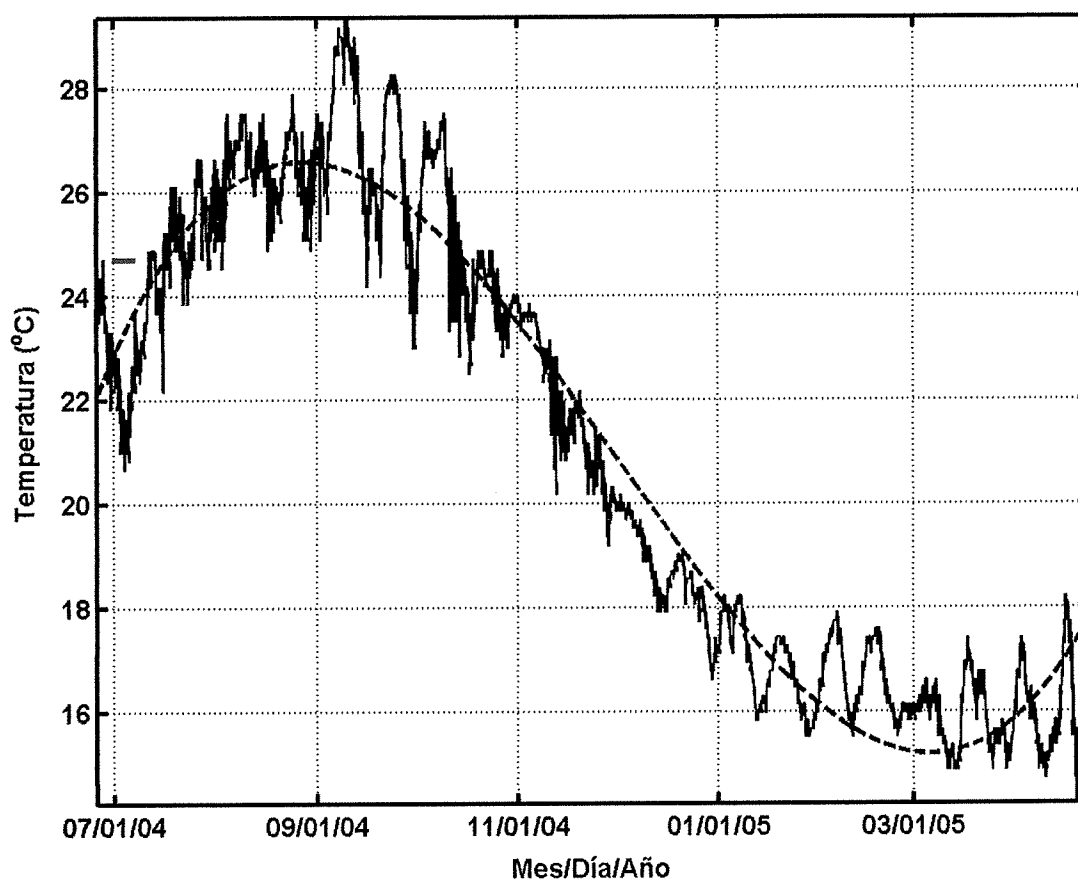


Figura 22. Temperatura registrada a cinco metros de profundidad en bahía Alcatraz (junio de 2004 a abril de 2005), la línea roja indica el periodo de muestreo.

### 6.6. Distribución vertical y horizontal de esporas de *U. lactuca* en bahía Alcatraz.

En el primer periodo de muestreo de propágulos (13 al 18 de junio del 2004), se detectó una nube de esporas que prácticamente dominó toda la

columna de agua, desde la superficie hasta los -17 m de profundidad. Se detectaron máximas concentraciones de esporas cercanas a la costa en dirección NW y particularmente en los primeros -4 m de profundidad (colectores 6,7,12 y 13), lo cual confirma que en esa zona se encuentra la fuente de liberación de esporas (el manto de *U. lactuca*). La máxima concentración fue  $\geq 500$  esporas por  $\text{cm}^2$  y los mínimos de 1 esporas por  $\text{cm}^2$ . La concentración de esporas decreció hacia las partes más profundas y alejadas de la costa (Fig. 23; Tabla 2).

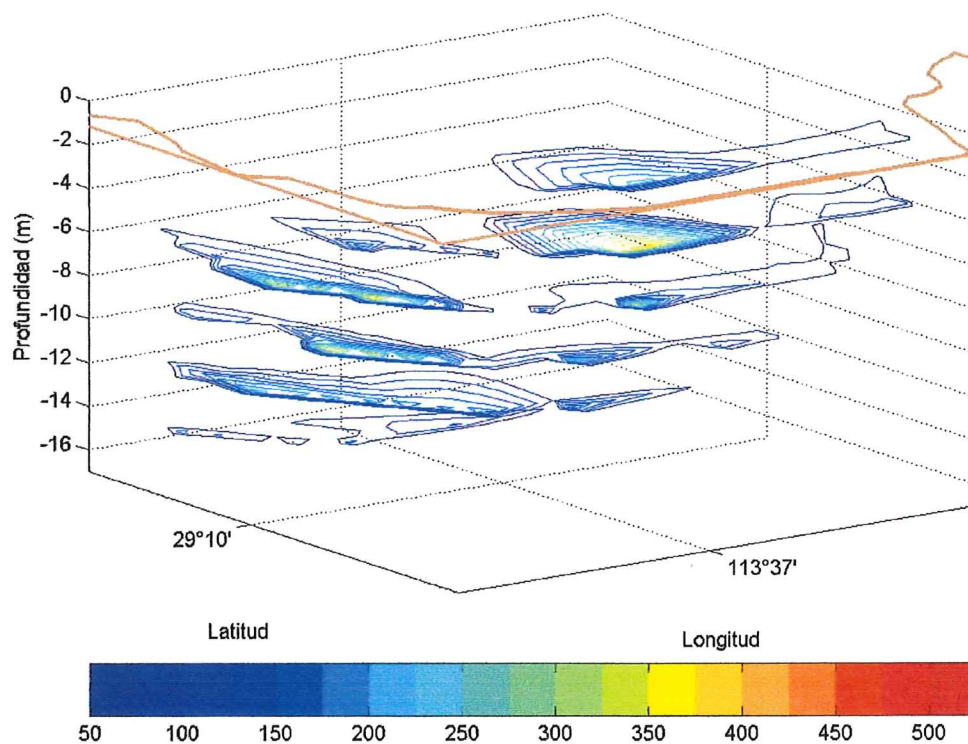


Figura 23. Distribución espacial de las esporas, del 13 al 18 de junio de 2004.

Tabla 2. Concentración de esporas de *Ulva lactuca* en bahía Alcatraz, B.C. en junio del 2004 (colectores del 13 al 18 de junio).

PROFUNDIDAD (m)	NÚMERO DE RECOLECTOR Y DE ESPORAS FIJADAS															Σ
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Superficie	81	25	N	2	4	79	240	6	14	7	19	38	41	39	4	599
-1	39	21	O	8	2	8	69	5	10	5	8	20	372	3	19	589
-2	100	39		4	7	42	295	2	10	32	27	53	337	1	31	980
-3	91	30	R	3	3	38	449	8	23	44	13	0	114	30	31	877
-4		70	E	2	5	176	443	14	30	17	27	133	518	79	32	1546
-5			C	12	1	98		5	15	32	22	2		169	32	388
-6			U	2	5			3	28	18	9				41	106
-7			P	1	10			9	27	52	33				28	160
-8			E	4	4			10	28	21	58				20	145
-9			R	12	18			28	21	17	30				18	144
-10			A	4	12			23	48	35	59				6	187
-11			D	3	21			23	40	25	123				27	262
-12			O	5	10			36	27	14	180				18	290
-13				3	23			149	24	1					9	209
-14				14					49	41					14	118
-15				1					108	18					15	142
-16															5	5
-17															15	15
<b>Total</b>	<b>311</b>	<b>185</b>	<b>-----</b>	<b>80</b>	<b>125</b>	<b>441</b>	<b>1496</b>	<b>321</b>	<b>502</b>	<b>379</b>	<b>608</b>	<b>246</b>	<b>1382</b>	<b>321</b>	<b>365</b>	<b>6762</b>

En el segundo periodo de muestreo (18 al 23 de junio de 2004), se observó que la nube decreció considerablemente, las máximas concentraciones prevalecieron en los primeros -4 m de profundidad. La nube de esporas en la columna de agua se detectó en la superficie y hasta los -17 m de profundidad. Las máximas concentraciones se detectaron cerca de la costa en dirección NW. El máximo número fue de 91 esporas por  $\text{cm}^2$  mientras que el mínimo fue 1 esporas por  $\text{cm}^2$  (Fig. 24; Tabla 3).

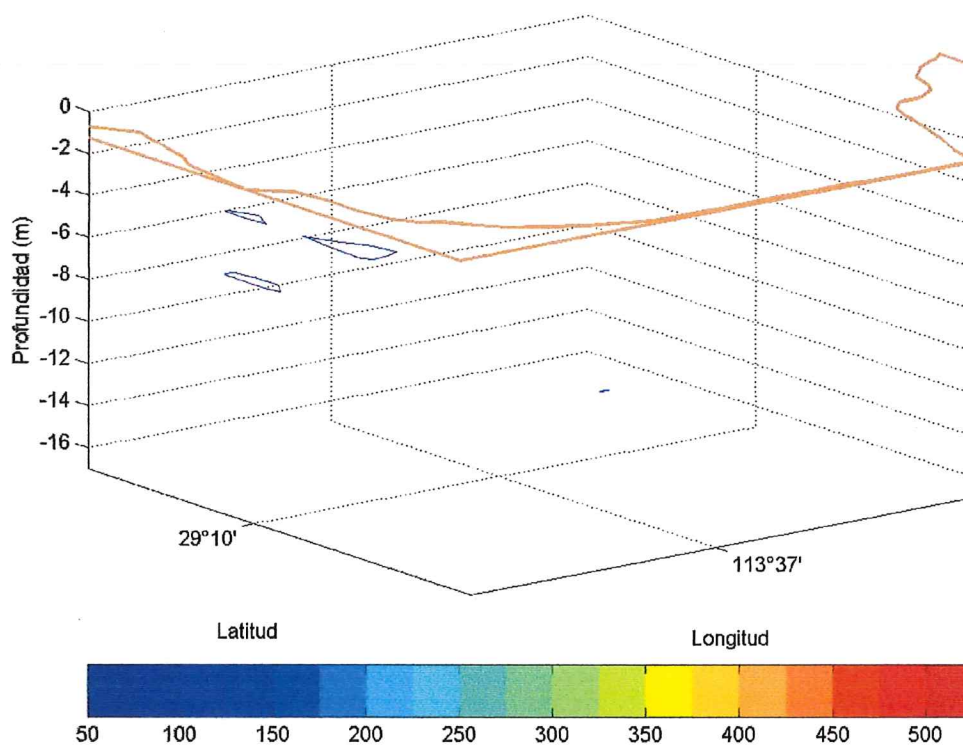


Figura 24. Distribución espacial de las esporas, del 18 al 23 de junio de 2004.

Tabla 3. Concentración de esporas de *Ulva lactuca* en bahía Alcatraz, B.C. en junio de 2004 (colectores del 18 al 23 de junio).

PROFUNDIDAD (m)	NÚMERO DE RECOLECTOR Y DE ESPORAS FIJADAS															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Σ
Superficie	3	7	N	2	10	4	10	3	1	3	15	2	15	1	2	78
-1	21	10	O	9	3	5	10	3	13	5	12	10	25	42	19	187
-2	2	11		8	13	10	15	20	4	11	4	7	32	48	27	212
-3	2	15	R	10	14	16	46	14	6	5	8	4	91	59	13	303
-4	40	3	E	8	5	20	9	11	15	7	13	6	1	71	14	223
-5			C	5	5	16		24	9	13	15	11		15	10	123
-6			U	10	4			18	6	4	8	2		67	18	137
-7			P	10	24			38	9	9	14	14			8	126
-8			E	7	22			41	12	15	16				20	133
-9			R	7	30			22	14	13	13				23	122
-10			A	12	24			24	2	14	18				14	108
-11			D	11	26			7	13	12	17				17	103
-12			O	12	27			63	2	4	11				11	130
-13				6	27				24	11	16				6	90
-14				5					6	12	26				4	53
-15				6					26	23	7				5	67
-16				6					44						6	56
-17				11											15	26
Total	68	46	-----	145	234	71	90	288	206	161	213	56	164	303	232	2277

En el tercer periodo de muestreo (23 al 28 de junio de 2004), se observó un incremento en la concentración de esporas, donde las máximas concentraciones se detectaron en los primeros -4 m de profundidad cercano a la costa en dirección NW. El valor máximo fue de 120 esporas por  $\text{cm}^2$  y el mínimo de 1 espora por  $\text{cm}^2$  (Fig. 25; Tabla 4).

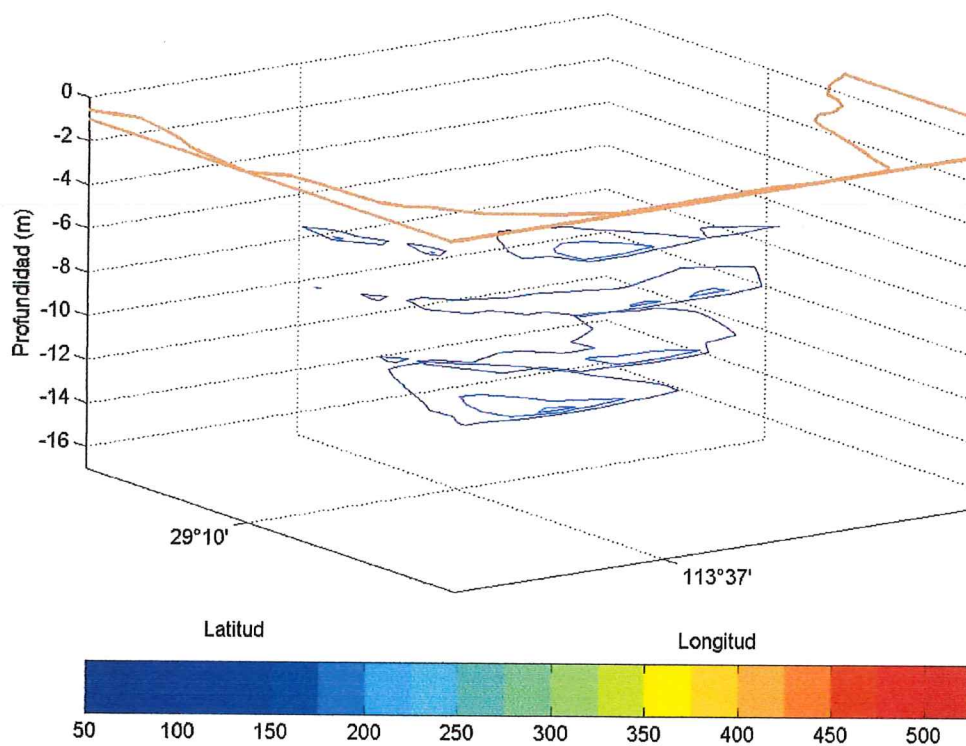


Figura 25. Distribución espacial de las esporas, del 23 al 28 de junio de 2004.

Tabla 4. Concentración de esporas de *Ulva lactuca* en bahía Alcatraz, B.C. en junio de 2004 (colectores del 23 al 28 de junio).

PROFUNDIDAD (m)	NÚMERO DE RECOLECTOR Y DE ESPORAS FIJADAS															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Σ
Superficie	20	2	5	16	11	7	9	4	19	6	11	9	24	3	5	151
-1	20	5	8	7	18	18	57	7	27	16	14	20	74	49	7	347
-2	58	8	7	9	13	12	68	12	24	14	13	33	100	15	17	403
-3	49	6	4	10	13	55	110	21	31	12	24	40		41	9	425
-4		1		11	48	28	71	14	18	19	23	63		29	10	335
-5				16	28	86		18	22	23	33			32	10	268
-6				17	40			24	29	33	41				---	184
-7				10	42			10	31	28	27				---	148
-8				15	53			33	27	27	45				---	200
-9				10	67			41	27	19	46				---	210
-10				15	63			31	23	26	33				---	191
-11				11	59			50	48	23	57				---	248
-12				12	49			103	59	10	41				---	274
-13				13	61			120	38	20	44				---	296
-14				21					20	13	47				---	101
-15				22					8		18				---	48
-16				18					21						---	39
-17				21											---	21
<b>Total</b>	<b>147</b>	<b>22</b>	<b>24</b>	<b>254</b>	<b>565</b>	<b>206</b>	<b>315</b>	<b>488</b>	<b>472</b>	<b>289</b>	<b>517</b>	<b>165</b>	<b>198</b>	<b>169</b>	<b>58</b>	<b>3889</b>

### 6.7. Dispersión de esporas de *U. lactuca* en bahía Alcatraz.

En el primer periodo de liberación (13 al 18 de junio de 2004), se observó una dispersión de 1.18 y 1.25 Km en dirección NW tomando como punto de partida el centro del manto de *U. lactuca* el cual presentó una cobertura de 17.2 hectáreas (Fig. 26). Las esporas dispersadas por la orilla de la bahía, alcanzaron una dispersión de hasta 1.67 Km (Fig. 26).

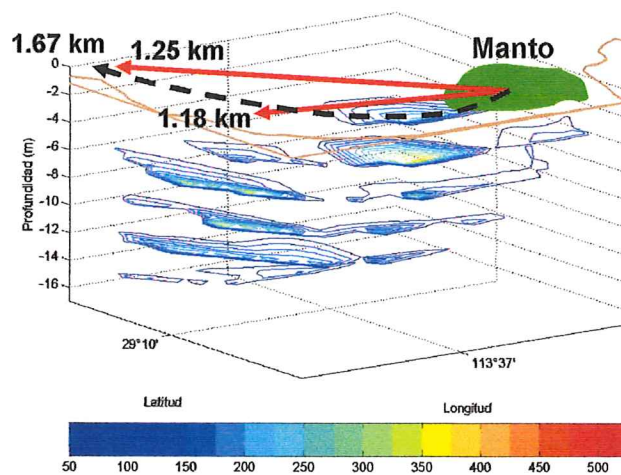
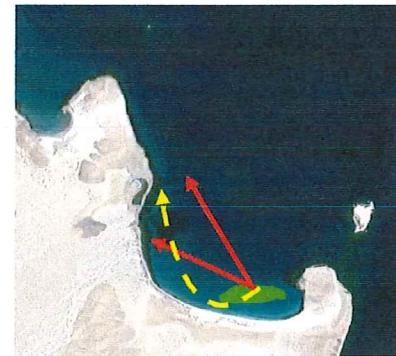


Figura 26. Dispersión de esporas de *U. lactuca* a partir del centro del manto (13 al 18 de junio de 2004).

El tiempo de medición de las corrientes correspondientes al 14 de junio de 2004 fue de 1 hora 35 minutos, con velocidades de hasta  $50 \text{ cm s}^{-1}$  (superficie). Con los datos se estimó que las esporas pueden ser transportadas hasta 2.85 km. Esta distancia es mucho mayor a la reportada a partir del centro del manto hasta el colector más distante. A velocidades de  $25 \text{ cm s}^{-1}$  las esporas pueden ser dispersadas hasta 1.42 km (Fig. 27). Los vientos provenientes del NE con intensidades  $\geq 5 \text{ m s}^{-1}$ , coinciden con las corrientes que se generan en ese instante en el extremo SE de la bahía y posteriormente cuando la condición de viento cambia (provenientes del SW) las corrientes también, en la parte noroeste de la bahía (Fig. 27).

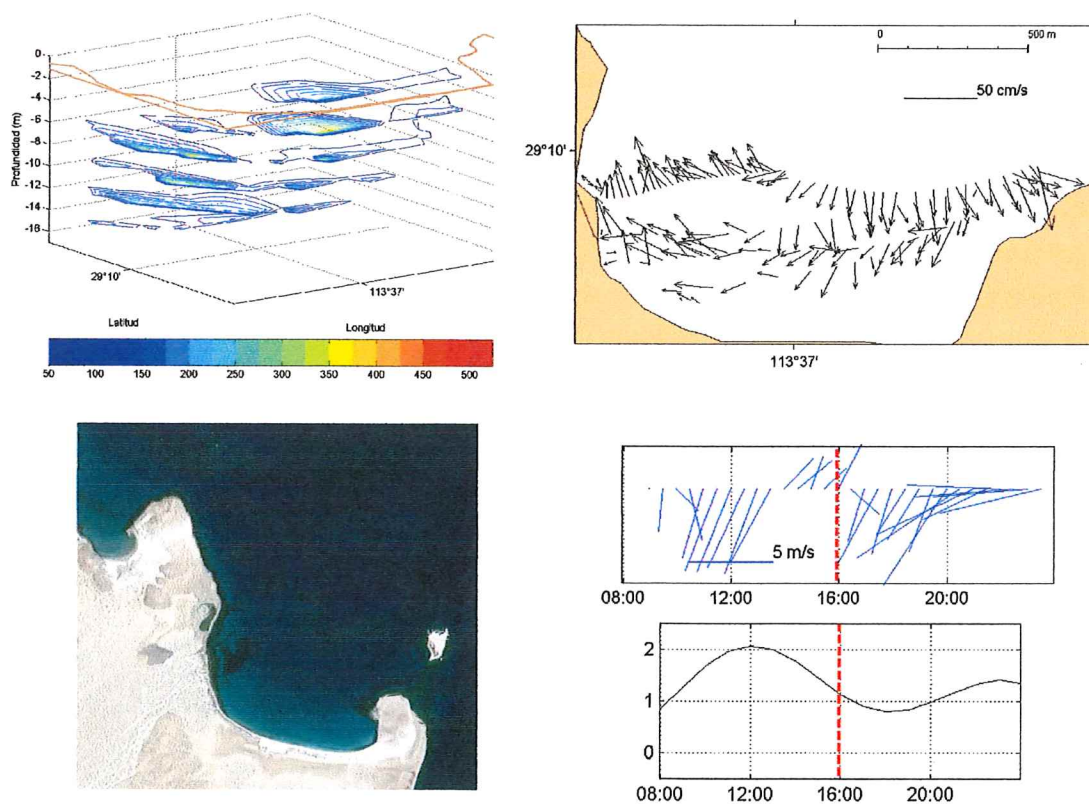


Figura 27. Dispersión de esporas en un tiempo conocido de mediciones de corrientes, vientos y marea.

En el segundo periodo de colecta (18 al 23 de junio de 2004), se observó una dispersión similar a la del primer muestro. Se observó una dispersión de 1.18 y 1.25 Km en dirección NW a partir del centro del manto, entre los 4 a 6 m de profundidad (Fig. 28). Igual que en el caso anterior, las esporas que se dispersan por la orilla de la bahía, lo pueden hacer hasta por 1.70 Km (Fig. 28).

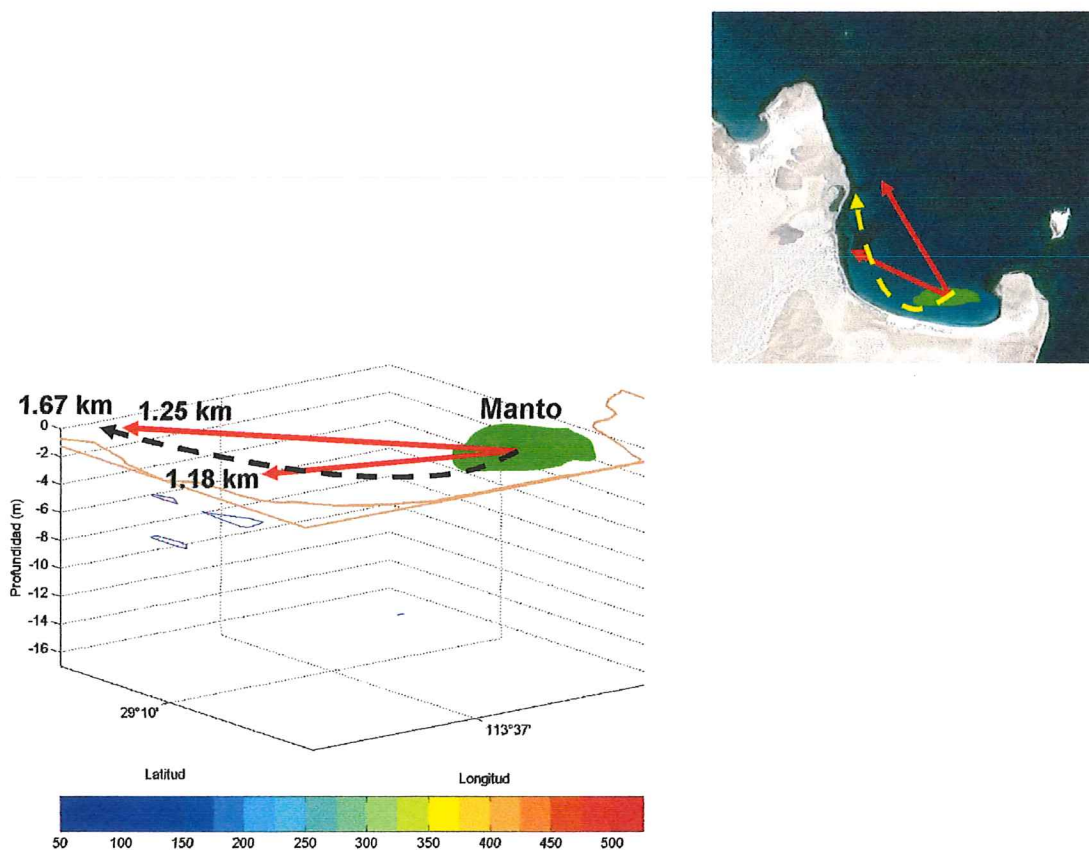


Figura 28. Dispersión de esporas de *U. lactuca* a partir del centro del manto (18 al 23 de junio de 2004).

La medición de corrientes, correspondiente al 20 de junio de 2004 dentro de la segunda colecta de esporas duró 2 horas 2 minutos en donde las

velocidades de hasta  $50 \text{ cm s}^{-1}$  (superficie) nos sugieren una dispersión de 3.66 km (Fig. 29). Velocidades de  $20 \text{ cm s}^{-1}$  registradas en la orilla de la bahía y en las partes más profundas sugieren una dispersión de 1.46 km (Fig. 29). Los vientos correspondientes a esta fotografía provienen principalmente del SW con intensidades  $\geq 5 \text{ m s}^{-1}$  los cuales concuerdan con la dirección de las corrientes de la parte externa de la bahía, se dirigen hacia el SE y en la parte interna se ven reducidas dado que la topografía impide un efecto directo por vientos (Fig. 29).

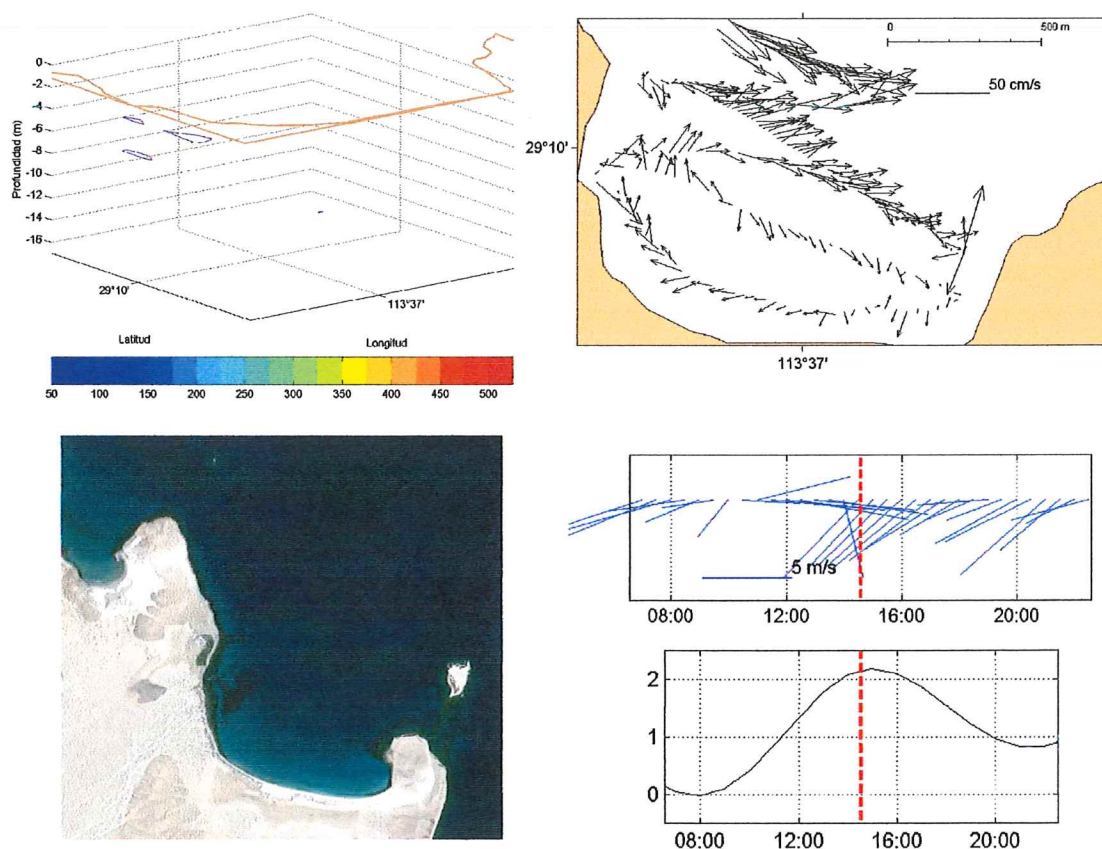


Figura 29. Dispersión de esporas en un tiempo conocido de mediciones de corrientes, vientos y marea.

En el tercer periodo de colecta (23 al 28 de junio de 2004), se observó una dispersión parecida a los dos casos anteriores. Se observó una dispersión de 1.18 y 1.25 Km en dirección NW, en esta última se fijaron más esporas. La dispersión se aprecia prácticamente en toda la columna de agua y principalmente en las zonas cercanas a la línea de costa. (Fig. 30). La ruta de dispersión de las esporas, por la orilla de la bahía es de hasta 1.70 Km o más (Fig. 30).

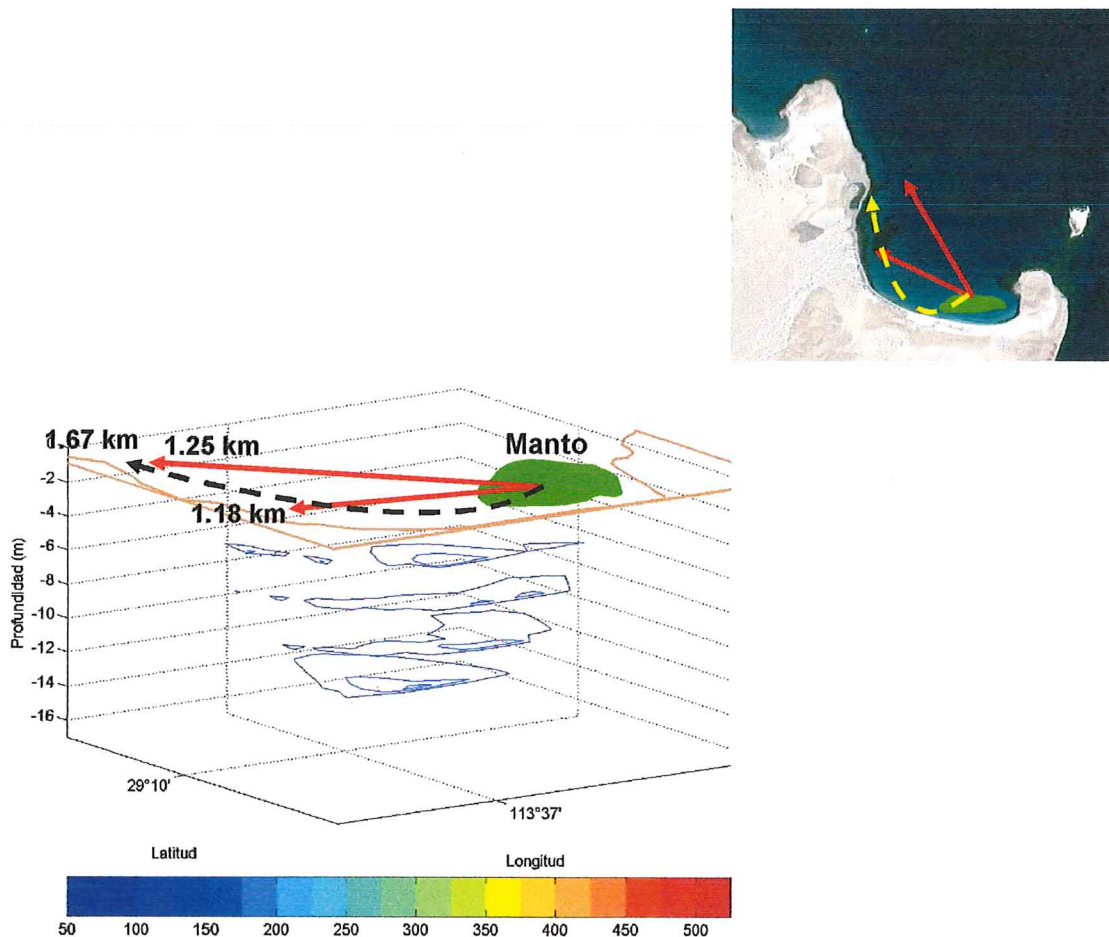


Figura 30. Dispersión de esporas de *U. lactuca* a partir del centro del manto (23 al 28 de junio de 2004).

La medición de corrientes, correspondiente al 22 de junio de 2004 y cercana a la tercera colecta de esporas fue de 1 hora 14 minutos. Las velocidades de hasta  $50 \text{ cm s}^{-1}$  (superficie) sugieren una dispersión de 2.22 km (Fig. 31). Velocidades de  $20 \text{ cm s}^{-1}$  registradas en la orilla de la bahía y en las partes profundas sugieren una dispersión de 880 m (Fig. 31). El viento afecta la dispersión superficial, en esta fotografía los vientos provenientes principalmente del SW con intensidades  $\geq 5 \text{ m s}^{-1}$ , coinciden con las corrientes de la parte externa de la bahía y al igual que la fotografía anterior, la topografía podría estar protegiendo la parte interna del sistema y no estar influenciada directamente por viento (Fig. 31).

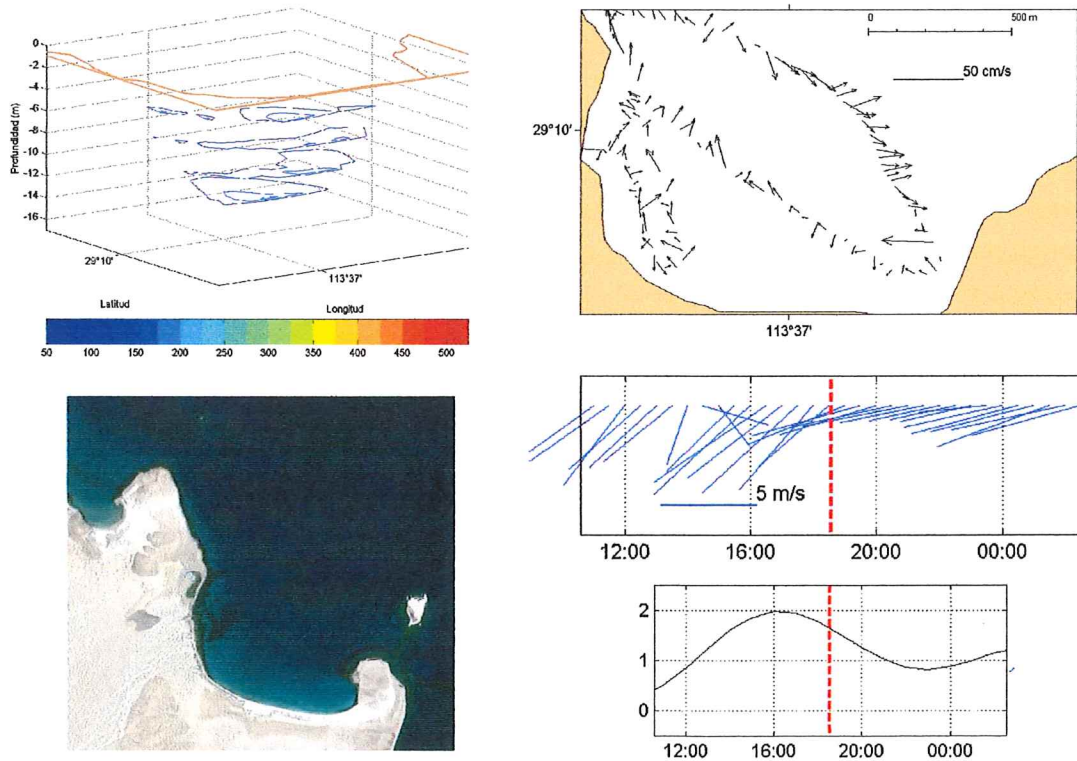


Figura 31. Dispersión de esporas en un tiempo conocido de mediciones de corrientes, vientos y marea.

## 6.8. Resultados del GCOM.

Los resultados arrojados por el GCOM reafirman los obtenidos con las mediciones oceanográficas. Durante el primer muestreo de esporas, se detectó transporte de masas de agua hacia el NE de la bahía (Fig. 32a izquierda). Esto promueve que la dispersión de esporas sea en dicha dirección y probablemente hacia el exterior del sistema. También se detectó flujo en dirección opuesta, hacia el lado sur de la bahía. Transporte vertical se registró en la parte norte de la bahía (entre el islote norte y la costa) producto de un afloramiento de agua del orden de  $0.05 \text{ cm s}^{-1}$  (Fig. 32a derecha).

En el segundo muestreo existe un transporte de masas de agua hacia la parte norte y sur de la bahía (Fig. 32b izquierda). Estos flujos promueven la dispersión de esporas en dichas direcciones. El transporte vertical en la parte norte de la bahía (entre el islote norte y la costa) fue del orden de  $0.05 \text{ cm s}^{-1}$  (Fig. 32b derecha).

En el tercero muestreo, también existe transporte hacia el norte y hacia el sur por la parte más externa de la bahía, ambos promueven la dispersión hacia el exterior entre los islotes localizados en los extremos y la franja costera (Figura 32c, izquierda). Transporte vertical es evidente en dirección norte, del orden de  $0.05 \text{ cm s}^{-1}$  transportando hacia el exterior a las esporas (Figura 32c, derecha).

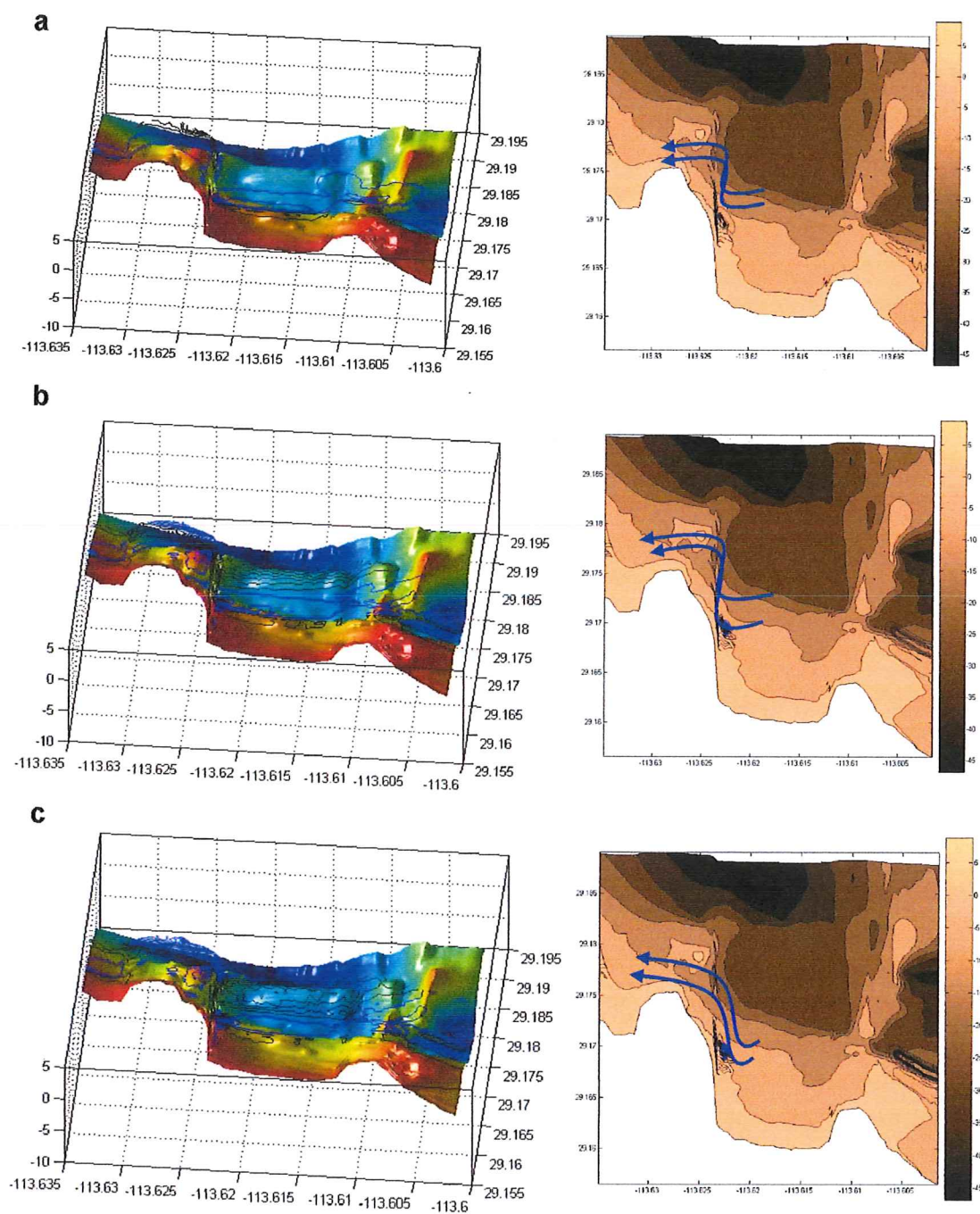


Figura 32. Resultados del GCOM comparados con los resultados arrojados por las mediciones oceanográficas (a, b y c).

Mediante la inspección de imágenes de satélite, se detectaron estructuras en forma de remolinos que se desprenden del islote norte y la isla sur, ubicadas en frente de la zona de estudio (Figura 33). La presencia de estos remolinos indica que hay una corriente paralela a la costa y en dirección sur, así como otra que fluye hacia mar adentro perpendicular a la línea de costa y a lo largo de la isla sur.

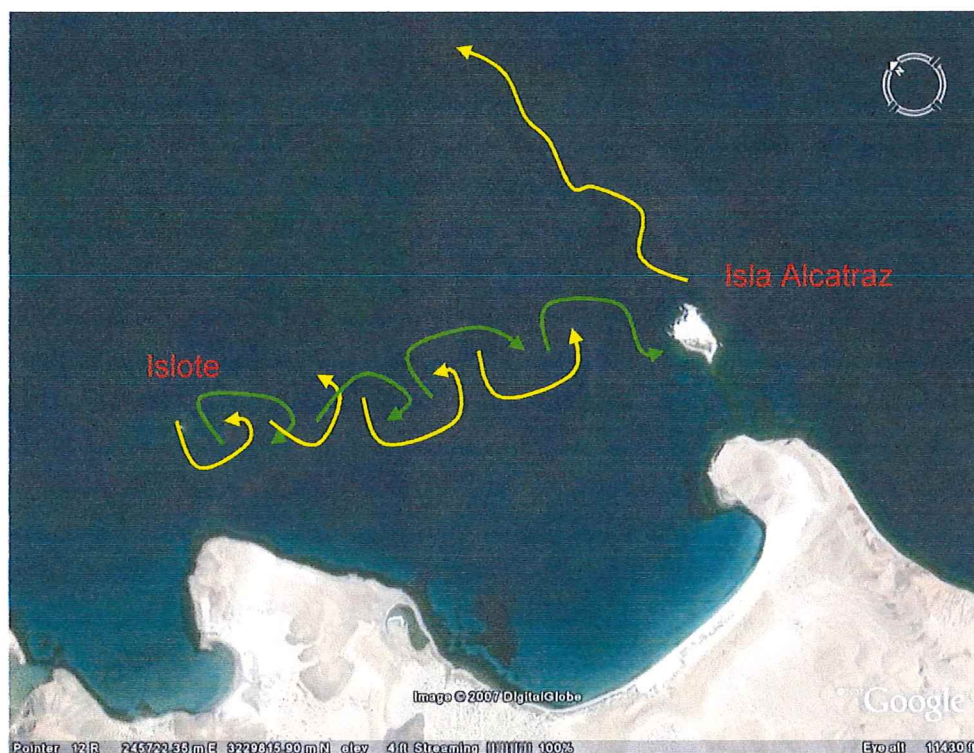


Figura 33. Remolinos presentes en la región de estudio (tomada de Torres *et al.*, 2007).

El GCOM, se corrió forzando una corriente en la frontera este. Los resultados correspondientes al campo de densidad demuestran la presencia de remolinos, que están regidos por la interacción corrientes-batimetría, así como de las condiciones de estratificación presentes (Fig. 34).

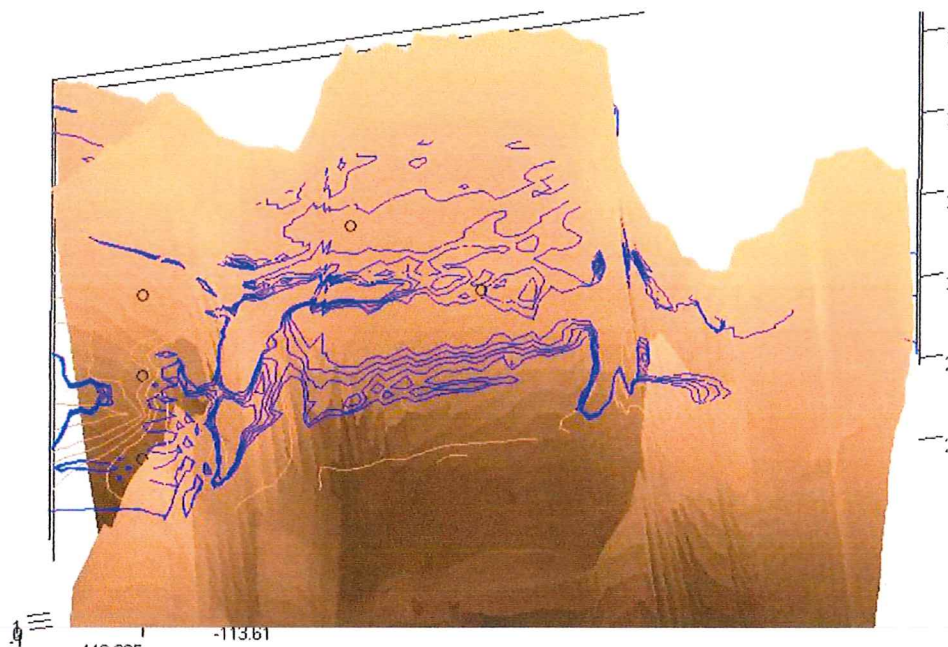


Figura 34. Resultados del GCOM para el campo de densidad (tomada de Torres *et al.*, 2007).

## 7. DISCUSIONES.

Los propágulos de algas verdes presentan altas densidades y amplia distribución en la columna de agua (Pianka, 1970; Bobadilla y Santelices, 2004). En este estudio la máxima densidad registrada fue  $\geq 500$  esporas por  $\text{cm}^2$ . La distribución fue prácticamente en toda la columna de agua durante cada uno de los muestreos. El método más directo para examinar la dispersión de propágulos de algas marinas es cuantificando los cuerpos reproductivos fijados en un sustrato a partir de la fuente de emisión (Reed *et al.*, 1988; Shanks *et al.*, 2003). Se reporta que la dispersión de propágulos del género *Ulva* puede ser de hasta  $\approx 35$  Km, a partir de la planta progenitora (Amsler y Searles, 1980; Zechman y Mathieson, 1985 y Santelices, 1990). Nosotros detectamos dispersión de esporas a partir del centro del manto algal de 1.25 y 1.67 Km, sin embargo, consideramos que esta es superior ya que nuestros datos se limitan a lo registrado en el colector más distante a partir de la fuente de emisión. No se colocaron recolectores más retirados del manto que pudieran arrojar datos superiores a los aquí reportados. La capacidad de que los propágulos de algas del género *Ulva* sean dispersados largas distancias esta relacionado con su capacidad de movimiento, respuesta a estímulos ambientales, como la luz y viabilidad en la columna de agua de hasta por más de ocho días o incluso semanas, quedando a expensas de la dinámica del fluido que los contiene (Amsler y Searles, 1980; Reed *et al.*, 1988; Hoffman y Camus, 1989; Maggs y Callow, 2002; Shanks *et al.*, 2003), a diferencia de propágulos que por su

comportamiento y boyancia tienden a dirigirse hacia el fondo o son liberados cerca del fondo donde las corrientes son menos intensas (Shanks *et al.*, 2003).

Varios tipos de partículas, ecológicamente importantes en los mares (detritus orgánico, propágulos de algas, larvas de peces y algunos invertebrados), son transportadas por el fluido que las contiene, por efecto de corrientes de marea, corrientes costeras, etc. (Mc Nair y Newbold, 1997; Mc Nair y Newbold, 2001). Tres condiciones de dispersión se calcularon en función de mediciones oceanográficas (corrientes marinas, mareas y viento) importantes durante la dispersión de propágulos de algas marinas (Coon *et al.*, 1971; Zechman y Mathieson, 1985; Kendrick y Walker, 1991; Pacheco-Ruiz, 2000; Mc Nair y Newbold, 2001). En la primera fotografía se calculó una dispersión de 2.85 km en un tiempo de 1 hora 35 minutos con velocidad de la corriente de hasta  $50 \text{ cm s}^{-1}$  y a  $25 \text{ cm s}^{-1}$  las esporas pueden ser dispersadas hasta 1.42 km. En la segunda fotografía la dispersión se calculó en 3.66 km en 2 horas 2 minutos con velocidad de la corriente de hasta  $50 \text{ cm s}^{-1}$  y a  $20 \text{ cm s}^{-1}$  de 1.46 km. Y en la tercera fotografía con un tiempo de 1 hora 14 minutos, la dispersión se estimó en 2.22 km con velocidad de corrientes de hasta  $50 \text{ cm s}^{-1}$  (superficie) y a  $20 \text{ cm s}^{-1}$  la dispersión es de 880 m. Consideramos que las distancias de dispersión aquí reportadas, son suficiente para que las esporas de *Ulva* sean transportadas fuera del sistema o reincorporarse en función del flujo de la corriente, por ejemplo, Shanks *et al.* (2003) mencionan que una corriente costera con velocidad de  $10 \text{ cm s}^{-1}$  puede transportar propágulos a una distancia de 5 Km en un tiempo de 14 horas, suficiente para migrar o regresar a

asentar al sistema. La variación en la dispersión de propágulos de algas marinas esta influenciada por las diferencias en el flujo producido por mareas, vientos o gradientes de velocidad de corrientes a diferentes profundidades (Ackerman, 1986; Shanks *et al.*, 2003). Por ejemplo, algunas especies de larvas planctónicas de peces e invertebrados son transportadas por efecto de la variación de corrientes de marea a aguas costeras (poco profundas) para su desarrollo (Mc Nair y Newbold, 2001). Creemos que los movimientos producidos por las mareas pueden producir variaciones en la dirección que toman las esporas durante la dispersión, sin embargo, se carece de mediciones oceanográficas durante periodos de tiempo más largos, por lo que solo se reporto la dispersión en escalas de tiempo pequeñas.

Durante la colecta de esporas se observó que el efecto de viento fue predominante del SW (verano) y presentó una amplia relación con las corrientes registradas. Los resultados sugieren que en ambientes someros como bahía Alcatraz el viento pudiera regir la dispersión de propágulos de las algas marinas, como lo reportado en otros estudios, que mencionan que las tormentas y los fuertes vientos producidos por estas dispersan grandes distancias a los propágulos (Reed *et al.*, 1988; Kendrick y Walker, 1991).

La costa y topografía submarina puede afectar la dispersión de propágulos de macroalgas ya que influye en el comienzo de turbulencias debido a la forma que estas presentan (Buenrostro Amador, 1991; Mc Nair y Newbold, 1997; Gaylord Brian *et al.*, 2002; Shanks *et al.*, 2003). En bahía Alcatraz, la línea de costa, el fondo marino y la presencia de islotes e islas pueden

modificar las rutas de dispersión de las esporas de *U. lactuca*. El GCOM indica que el islote e isla modifican el flujo de las corrientes, formando una barrera en la parte externa de la zona.

Los modelos numéricos se han utilizado cada vez más para entender la dispersión de propágulos de especies marinas importantes ecológicamente y comercialmente (Mc Nair y Newbold, 1997; Mc Nair y Newbold, 2001; Gaylord Brian *et al.*, 2002). En este estudio se realizó un ensayo con el GCOM, el cual corroboró que las corrientes juegan un papel importante en la dispersión de propágulos de *Ulva* en bahía Alcatraz.

## 8. LITERATURA CITADA

Álvarez-Borrego, S., J.A. Rivera, G. Gaxiola-Castro, M.J. Acosta-Ruiz y R.A. Schwartzlose. 1978. Nutrientes en el Golfo de California. *Ciencias Marinas*, 5: 53-71.

Amador Buenrostro, A., S.J. Serrano Guzmán and M.L. Argote Espinoza. 1991. Modelado numérico de la circulación inducida por el viento en Bahía de los Ángeles, B.C., México. *Ciencias Marinas*. 17 (3): 39-57.

Amsler, C.D. and R.B. Searles. 1980. Vertical distribution of seaweed spores in a water column offshore on North Carolina. *J. Phycol.* 16: 617-619.

Amsler, C.D., D.C. Reed, and M. Neushul. 1992. The microclimate inhabited by macroalgae propágulos. *Br. Phycol. J.* 27:253-270.

ANDERSEN R.A., BERGES, J.A., P.J. & WATANABE, M.M. 2005. Appendix A- Recipes for freshwater and seawater media. En Andersen. *Algal culturing techniques*. Elsevier. 429-532.

Blanco-Betancourt, R., I. Pacheco-Ruíz, J.M. Guzmán-Calderón, J.A. Zertuche-González, A. Chee-Barragán, A. Martínez-Díaz de León, A. Gálvez-

Téllez y J.M. López-Vivas. Seawater temperature database for six bays on the northwestern coast of the Gulf of California, Mexico. *Reporte Técnico*, (1): 1-35.

Bobadilla, M., and B. Santelices. 2004. A new technique for simultaneous collection of macroalgal propágulos in the water column. *Journal Experimental Marine Biology and Ecology*. **298**:125-131.

BOLD H.C. & WYNNE M.J. 1985. *Introduction to the algae: Structure and reproduction*. Prentice Hall Inc., E.U.A. 720 pp.

Clayton, M.N. 1992. Propagules of Marine macroalgae: structure and development. *Br. Phycol. J.* 27: 219-232.

Coon, D.A., M. Neushul and A.C. Charters. 1971. The settling of marine algal spores. *Proceedings of the seventh international seaweed symposium*. 8-12: 237-242.

Gaylord, B., D.C. Reed, P.T. Raimondi, L. Washburn, and S. R. McLean. 2002. A physically based model of macroalgal spore dispersal in the wave and current-dominated nearshore. *Ecology*. 83 (5) pp 1239-1251.

- Hoffman, A.J. 1987. The arrival of seaweed propagules at the shore: A review. *Botanica Marina*. Vol. 30, pp. 151-165.
- Hoffman, A.J. and P. Camus. 1989. Sinking rates and viability of spores from benthic algae in central Chile. *Exp. Mar. Biol. Ecol.* 126: 281-291.
- Jones, E.W. and M.S. Babb. 1968. The motile period of swimmers of *Enteromorpha intestinalis* (L). Link. *Br. phycol. Bull.* **3** (3) 525-528.
- Kendrick, G.A. and D.I. Walker. 1991. Dispersal distance for propágulos of *Sargassum spinuliferum* (Sargassaceae, Phaeophyta) measured directly by vital staining and venturi suction sampling. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **79**,133-138.
- Maggs, A.C. and M.E. Callow. 2002. Algal spores. Encyclopedia of life sciences. pp. 1-6.
- McNair, J.N., and J.D. Newbold. 2001. Turbulent transport of suspended particles and dispersing benthic organisms: the hitting-distance problem for the local exchange model. *J. Theor. Biol.* **209**: 351-369.

McNair, J.N., J.D. Newbold, and D.D. Hart. 1997. Turbulent transport of suspended particles and dispersing benthic organisms: How long to hit bottom? *J. Theor. Biol.* **188**: 29-52.

Ngan, Y. and I.R. Price. 1979. Systematic significance of spore size in the Floridophyceae (Rhodophyta). *Br. Phycol. J.* **14**: 285-303.

Norton, T.A. 1992. Dispersal by macroalgae. *Br. Phycol. J.* **27**: 293-301.

Okuda, T. and M. Neshul. 1981. Sedimentation studies on red algal spores. *J. Phycol.* **17**: 113-118.

Onset Products (2004). Optic StowAway Temp Logger.  
[Http://www.onsetcomp.com/Products/Product\\_Pages/temperature\\_pages/optic\\_stowaway\\_logger.html](http://www.onsetcomp.com/Products/Product_Pages/temperature_pages/optic_stowaway_logger.html)

Pacheco Ruiz I. and J.A. Zertuche González. 1996b. Green algae (Chlorophyta) from Bahía de los Ángeles, Gulf of California, México. *Botanica Marina.* **39**, pp. 431-433.

Pacheco Ruiz, I. and Zertuche González J.A. 1999b. *Gracilariopsis lamaneiformis* beds along the west coast of the Gulf of California, Mexico. *Hydrobiologia.* **398/399**: 509-114.

Pacheco Ruiz, I., Zertuche González J.A., Chee Barragán A. and Arroyo Ortega E. 2002. Biomass and potential commercial utilization of *Ulva lactuca* (Chlorophyta, Ulvaceae) beds along the north-west coast of the Gulf of California. *Phycologia*. 41: 199-201.

Pacheco-Ruíz, I. 2000. Historia de vida de *Chondracantus pectinatus* (gigartinales, rodophyta) en la costa noroeste del golfo de California. Tesis de Doctorado. Programa de Postgrado en Oceanografía Costera. Universidad Autónoma de Baja California. Xxxx pp.

Pacheco-Ruíz, I., J.A. Zertuche-González, A. Cabello-Pasini and B. H. Brinkhuis. 1992. Growth responses and seasonal biomass variation of *Gigartina pectinata* Dawson (Rodophyta) in the Gulf of California. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 157: 263-274.

Pianka, E.R., 1970. On r-and k selection. *Am. Nat.* **104**, 592-597.

Provasoli, L. 1968. Media and prospects for the cultivation of marine algae. In Watanabe, A. & Hattori, A. [Eds.] *Cultures and Collections of Algae*, Proc. U.S. – Japan Conference, Hakone, September 1966. *Jpn. Soc. Plant. Physiol.*, 63-75.

- Reed, D.C. 1990. The effects of variable settlement and early competition on patterns of kelps recruitment. *Ecology*. **71**:776-787.
- Reed, D.C., R. Laur, and A. W. Ebeling. 1988. Variation in algal dispersal and recruitment: the importance of episodic events. *Ecological Monographs*. **58**:321-335.
- Santelices, B. 1990. Patterns of reproduction, dispersal and recruitment in seaweeds. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* **28**: 177-276.
- Shanks, L. A., B.A. Grantham, and M.H. Carr. 2003. Propagule dispersal distance and the size and spacing of marine reserves. *Ecological Applications*. **13**(1) pp. S159-S169.
- Suto, S. 1950. Studies on shedding, swimming and fixing of the spores of seaweeds. *Bull. Jap. Sci. Fish.* **16**, pp. 1-9.
- Torres, C. R. y J. E. Castillo 2003. Stratified Rotating Flow over Complex Terrain. *J. Appl. Num. Math.* **47** 531-541.
- Torres, C. R., A. Mejía-Trejo, R. Blanco-Betancourt, I. Pacheco-Ruíz, E. Estrada-Martínez (2007). 3D High Resolution Circulation in Alcatraz Bay,

B.C., México using The General Curvilinear Ocean Model GCOM. En preparación.

Torres, C. R., A. S. Mascarenhas y J. E. Castillo 2004. Three-dimensional stratified flow over the Alarcón Seamount, entrance to the Gulf of California, México. *Deep-Sea Res.* In press.

[www.cicese.mx](http://www.cicese.mx)

[www.sontek.com](http://www.sontek.com)

Zechman, F.W. and A.C. Mathieson. 1985. The distribution of seaweed propagules in Estuarine, Coastal and Offshore waters of New Hampshire, U.S.A. *Botanica Marina*. XXVII: 283-294.

## 9. ANEXOS

### 9.1. Anexo 1

**Medio de Cultivo Provasoli's (Provasoli, 1968; Bold y Wyne, 1978; Andersen *et al.*, 2005).**

#### **Nitrógeno**

Compuesto: Na NO<sub>3</sub>

Cantidad: 14gr

Aforar a 250 ml con agua destilada

#### **Fósforo**

Compuesto: Na<sub>2</sub>Glicerofosfato

Cantidad: 2gr

Aforar a 250 ml. Con agua destilada

#### **Hierro**

Compuesto: Fe (EDTA 1:1M)

Cantidad: 1<sup>to</sup> 0.6 gr. De Na<sub>2</sub> EDTA

2<sup>do</sup> 0.7 gr. De Fe (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>) 6 H<sub>2</sub>O

Mezclar en ese orden y aforar a 250ml. Con agua destilada.

#### **Metales Mix**

Compuesto: Na<sub>2</sub>EDTA Cantidad 2.0gr.

FeCl<sub>3</sub>-6H<sub>2</sub>O 0.098gr.

H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 2.25gr.

MnSO<sub>4</sub>-4H<sub>2</sub>O 0.328gr.

Zn SO<sub>4</sub>-7H<sub>2</sub>O 0.044gr.

CuSO<sub>4</sub>-7H<sub>2</sub>O 0.0096gr.

Mezclar en ese orden y aforar a 500ml. Con agua destilada.

#### **Tris Buffer**

Compuesto: Tris Buffer (2-amino-2-hidroximetilmetano-1,3-idiol)

Cantidad: 16.67gr. aforado a 250ml. Con agua destilada.

33.34gr. aforado a 500 ml. Con agua destilada.

NOTA: Poner 1 ml. De cada uno en un litro de agua de mar filtrada, y pasada por U.V. y esterilizada en autoclave.

**Vitaminas****Stock A**

Vitaminas: B12

Cantidad: 0.08gr

Diluir en 150ml. De agua destilada y aforara 250ml. Con agua destilada

Concentración final:320mg/L

**Vitamina: Tiamina**

Cantidad: 4gr

Diluir y aforar a 250ml. Con agua destilada

Concentración final:16gr/L

**Vitamina: Biotina**

Cantidad: 0.08gr

Diluir y aforar a 500ml. Con agua destilada

Concentración final: 160mg/L

**Stock B**

1. Mezclar 5 ml. De cada una de las tres vitaminas.
2. Aforar a un litro con agua destilada.
3. Autoclave por 5 minutos.
4. Tomar 5 ml de la solución para enriquecer 1 litro de agua de mar.

**Dióxido de Germanio**Compuesto:  $\text{GeO}_2$ 

Cantidad: 0.250gr.

1. Aforar a 1 litro con agua destilada
2. Tomar 1 mililitro de esta solución y aforar a 1 litro de agua de mar.
3. Autoclave por 5 minutos.

**Antibióticos**

1gr. Ampicilina

1gr. Estreptomycin

800 000U Penicilina

Aforar a 500ml. De agua de mar filtrada y esterilizada.