



CENTRO DE INVESTIGACIONES  
BIOLOGICAS  
DEL NOROESTE, S.C.

---

---

Programa de Estudios de Posgrado

**EFEECTO DE LAS ESTRUCTURAS HIDROGRAFICAS DE  
MESOESCALA EN LA DISTRIBUCION DE LOS  
MAXIMOS SUB-SUPERFICIALES DE CLOROFILA Y  
PARTICULAS, EN LA ENTRADA AL GOLFO DE  
CALIFORNIA.**

**T E S I S**

Que para obtener el grado de

**Maestro en Ciencias**

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales  
(Orientación en Oceanografía Pesquera)

p r e s e n t a

**Aline Jaimes Hernández**

La Paz, B.C.S. Mayo del 2006

**ACTA DE LIBERACION DE TESIS**

En la Ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las 11:00 horas del día 11 del Mes de Mayo el 2006, se procedió por los abajo firmantes, miembros de la Comisión Revisora de Tesis avalada por la Dirección de Estudios de Posgrado del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., a liberar la Tesis de Grado titulada:

**"EFECTO DE LAS ESTRUCTURAS HIDROGRAFICAS DE MESOESCALA EN LA DISTRIBUCION DE LOS MAXIMOS SUB-SUPERFICIALES DE CLOROFILA Y PARTICULAS, EN LA ENTRADA AL GOLFO DE CALIFORNIA"**

Presentada por el alumno: **Aline Jaimes Hernandez**

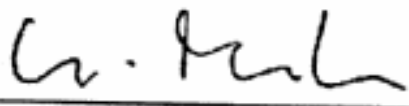
Aspirante al Grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN EL USO, MANEJO Y PRESERVACION DE LOS RECURSOS NATURALES CON ORIENTACION EN **Oceanografía Pesquera**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron su **APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

**LA COMISION REVISORA**



**Dr. Armagón Traviña Castro  
DIRECTOR DE TESIS**



**Dr. Helmut Maske Rubach  
CO-TUTOR**



**Dr. Daniel Lluich Cota  
CO-TUTOR**



**DRA. THELMA ROSA CASTELLANOS CERVANTES,  
DIRECTORA DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

## COMITÉ TUTORIAL

Dr Armando Trasviña Castro	Director de Tesis
Dr. Helmut Maske Rubach	Co-Tutor
Dr. Daniel Lluch Cota	Co-Tutor

## COMITÉ REVISOR DE TESIS

Dr. Armando Trasviña Castro	Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada BCS.
Dr. Helmut Maske Rubach	Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada BC.
Dr. Daniel Lluch Cota	Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste

## JURADO DE EXAMEN DE GRADO

Dr. Armando Trasviña Castro	Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada BCS.
Dr. Helmut Maske Rubach	Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada BC.
Dr. Daniel Lluch Cota	Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C
Dr. Salvador Lluch Cota (Suplente)	Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.


## Resumen:

### EFFECTO DE LAS ESTRUCTURAS HIDROGRAFICAS DE MESOESCALA EN LA DISTRIBUCION DE LOS MAXIMOS SUB-SUPERFICIALES DE CLOROFILA Y PARTICULAS EN LA ENTRADA AL GOLFO DE CALIFORNIA.

La entrada al Golfo de California está caracterizada por la convergencia de tres masas de agua resultantes en un complejo campo de mesoescala. Los efectos de tales estructuras en la profundidad del máximo de clorofila (DCM), una característica común en muchas regiones del océano, no son bien conocidos. Para investigarlos, se realizó un estudio oceanográfico multidisciplinario entre febrero-marzo 2005. El principal objetivo fue estudiar el efecto de los giros de mesoescala sobre la biología superficial de un océano oligotrófico. Se encontraron varias estructuras ciclónicas y anticiclónicas así como una intensa corriente de chorro en la costa de Baja California. Se observó un incremento/decremento relativo en la distribución vertical de concentración de clorofila y de oxígeno disuelto dentro de los giros ciclónicos/anticiclónicos. La posición del DCM se encontró justo arriba de la termoclina en toda la región. Se encontraron altas concentraciones de clorofila por encima del DCM de la corriente de chorro costera. Ello es consistente con el incremento de concentración de clorofila causado por procesos advectivos, lo que confirma que la advección también juega un papel importante en el incremento observado dentro de las estructuras de mesoescala, porque mueven agua fría enriquecida de la Corriente de California. Los giros anticiclónicos, muestran un comportamiento opuesto debido a que contienen aguas cálidas tropicales, típicamente pobres en nutrientes y baja concentración de clorofila. Se utilizó un modelo unidimensional para determinar el efecto de las variaciones dinámicas generadas por estructuras de mesoescala en un caso en el que el crecimiento balancea el hundimiento de fitoplancton en una estructura vertical mezclada dentro de la capa superficial. El modelo sugiere que la difusión vertical en la capa superficial mezclada es un mecanismo importante capaz de diluir las concentraciones de fitoplancton.

**Palabras clave:** Profundidad del máximo de clorofila (DCM), mesoescala, giro ciclónico, giro anticiclónico, corriente de chorro, termoclina, clorofila.

Resumen aprobado por:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Armando Trasviña Castro.

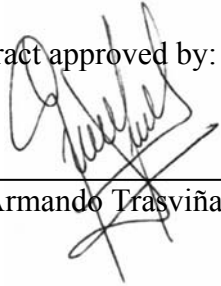
## Abstract:

### OF THE EFFECT OF MESOSCALE STRUCTURES ON THE DEEP CHLOROPHYLL AND PARTICLE MAXIMA AT THE ENTRANCE TO THE GULF OF CALIFORNIA

The entrance to the Gulf of California is characterized by the convergence of three surface water masses resulting in a complex mesoscale field. The effects of such structures on the deep chlorophyll maximum, an ubiquitous feature of many oceanic regions, is not well known. An interdisciplinary oceanographic survey was carried out in February-March 2005. The main goal was to study the effect of mesoscale eddies on the biology of an oligotrophic ocean. Several cyclonic and anticyclonic structures were found as well as a narrow and intense current jet off the coast of Baja California. Inside cyclonic/anticyclonic eddies a relative increase/decrease of both chlorophyll and dissolved oxygen concentration is clearly observed. The deep chlorophyll maximum is found positioned above the thermocline throughout the survey. Higher concentrations are found inside the deep chlorophyll maximum inside the cyclonic eddy and in the deep chlorophyll maximum of the coastal jet. The latter case is consistent with the enhancement of chlorophyll concentrations by advective processes. This confirms that advection plays an important role in the enhancement observed inside such mesoscale structures. These eddies are advecting cold, upwelling-enriched California Current waters. Anticyclonic eddies show the opposite behavior because they contain warm tropical waters, typically poor in nutrients and low in chlorophyll concentrations. A one-dimensional model is used to determine the effect of dynamical variations generated by mesoscale structures, when growth balances the sinking of phytoplankton in a mixed vertical structure within the surface mixed layer, model results suggest that vertical diffusion is an important mechanism capable of diluting phytoplankton concentrations.

**Key words:** Deep chlorophyll maximum (DCM), mesoscale, cyclonic eddies, anticyclonic eddies, current jet, thermocline, chlorophyll.

Abstract approved by:



---

Dr. Armando Trasviña Castro.

### **Dedicatoria**

A mi Mama, a mi Hermana, a la memoria de mi Abuelo,  
y a todo aquel que tenga interés en leer este documento.

### Agradecimientos personales

Gracias Mama y hermanita por apoyar todas mis decisiones. Gracias Familia las enseñanzas y buenos deseos de los que están y de los que se fueron me siguen siempre.

Quienes nos lanzamos a vivir fuera de nuestra casa desde temprano acabamos de crecer y madurar en las mesas de otros hogares, quiero agradecer infinitamente a la Prof. Lupita Cota y Gabriel quienes abrieron las puertas de su casa y junto con Lancelot y Cayetana, fueron mi familia en la etapa *más difícil* de este proceso  
MUCHAS GRACIAS.

Gracias Dra. Irma Olguín, por tu apoyo, sugerencias y tiempo.

Thanks Dr. Steve Hastings your support during and after my master degree has been invaluable.

A la familia urbana: Mary Carmen Ruiz de la Torre, por tu amistad y apoyo incondicional en etapas críticas del proceso. A Karen, Aarón y Brenda por ser mi familia en Ensenada y por las clases de MATlab.

Gracias hermanos de generación de todos aprendí mucho.

Gracias a Gaby Suarez y Horacio Cabrera.

*De la comarca Liguí: Alex Olivera, Nadia Rubio. Y sus alrededores: Carlos Viesca, Alejandro Ramos, Camilo Pohlenz, Yummy Moran, Alberto Lanz.*

Compañeros de postgrado, Cristian Sadiel, por resolver muchas dudas.

Gracias Maestros CIBNOR, Personal de Posgrado, Personal biblioteca y amigos  
Tonny Diaz y Ana Maria Talamantes

A todos gracias.

## AGRADECIMIENTOS.

Este proyecto de tesis se realizó mediante la colaboración y el financiamiento de: CIBNOR, CICESE, BCS., y CICESE, Ensenada. Agradezco enormemente a todas las personas que participaron en la realización del mismo en sus diferentes etapas.

Al Dr. Armando Trasviña de CICESE, BCS., por dirigir este trabajo, por enseñarme a trabajar con lo que me gusta: la oceanografía. Así como su apoyo para contar con las facilidades en la estancia realizada en CICESE, Ensenada y en La Paz.

Al Dr. Helmut Maske Rubach de CICESE, Ensenada, por su valioso tiempo dedicado, comentarios, sugerencias, interés en el proyecto y en el proceso de aprendizaje.

Al Dr. Daniel Lluch Cota de CIBNOR, La Paz, BCS, por su tiempo y sugerencias en el escrito y etapas críticas del proceso final del proyecto.

Al CONACYT por la beca otorgada.

Al programa de postgrado, a la Dra. Thelma Castellanos por la flexibilidad en la realización del proyecto bajo esta modalidad.

A los miembros de la estación CICESE, La Paz, BCS., por brindar la plataforma académica y técnica, especialmente en la programación para el procesamiento de los datos de CTD.

A los integrantes del laboratorio de microbiología marina (**MICMAR**), CICESE, Ensenada, por recibirme en varias ocasiones aceptarme en su equipo. Por su apoyo en infraestructura, recursos técnicos y académicos. Gracias Mary Carmen, Cesar Almeda y Alejandrina por sus buenas vibras.

A los participantes del crucero FDU0205 – zona de transición (re-loaded)

Gracias al Programa de Acercamiento a la Ciencia y la Educación (**PACE**) por apoyar mi estancia en la última etapa de realización del proyecto. Y por integrarme al ámbito de la educación básica, que complementa mi formación académica durante el desarrollo del grado de maestría.



## CONTENIDO

<b>RESUMEN:</b> .....	<b>IV</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>XI</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	<b>XVII</b>
<b>I INTRODUCCION</b> .....	<b>1</b>
<b>I.I. Antecedentes generales</b> .....	<b>1</b>
<b>I.II. Región de Estudio</b> .....	<b>7</b>
I.III. Antecedentes oceanográficos. ....	9
<b>I.IV. Objetivo y metas</b> .....	<b>13</b>
<b>II. MATERIALES Y METODOS</b> .....	<b>14</b>
<b>II.I. TRABAJO DE CAMPO</b> .....	<b>15</b>
II.I.I Metodología de Muestreo.....	15
II.I.II. Metodología del Análisis.....	17
II.I.III. Datos.....	17
II.I.IV. Procesamiento de datos.....	18
II.I.V. Procesamiento de CTD ondulante (SBEO19 <i>plus</i> ).....	18
II.I.VI. Procesamiento para los datos del <i>sbeo911</i> y <i>sbe19 plus</i> .....	22
II.I.VII. Procesamiento de los datos del Minioptics.....	24
II.I.VIII. Secciones Verticales.....	26
II.I.IX. Cálculo de la velocidad geostrofica.....	27
<b>II.II. CALIBRACIÓN</b> .....	<b>28</b>
II.II.I Dispersión de luz por partículas (mV) vs Concentración de partículas (mg/m <sup>3</sup> ).....	28
II.II.II. Fluorescencia (mV) vs. Concentración de Clorofila (mg/m <sup>3</sup> ).....	28
<b>II.III. RECONSTRUCCIONES GAUSSIANAS</b> .....	<b>32</b>
<b>II.III. PERFILES DE IRRADIANCIA</b> .....	<b>35</b>
<b>III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>37</b>
<b>III.I. HIDROGRAFÍA</b> .....	<b>38</b>
III.I.I. Transecto LUSOC.....	42
III.I.II. Transecto SOCCO.....	48
<b>III.II. BIOLOGÍA SUPERFICIAL</b> .....	<b>63</b>

III.II.I Reconstrucciones Gaussianas .....	64
Sección LUSOC.....	67
Sección SOCCO .....	67
Sección CABOS .....	68
III.II.II Análisis de componente principal de los perfiles verticales de densidad.....	76
<b>III.III. MODELO FENNEL &amp; BOSS. APLICADO A LOS DATOS DEL CRUCERO FDU0205.....</b>	<b>85</b>
Caso 1. Crecimiento óptimo sin limitación de nutrientes y $K_z$ variable. ....	94
Caso 2. Los efectos de la velocidad de hundimiento/natación en una estructura de mezcla vertical que incluye una capa superficial mezclada. ....	98
<b>IV. CONCLUSIONES.....</b>	<b>110</b>
<b>V. ANEXOS.....</b>	<b>115</b>
<b>VII. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>128</b>

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Secciones verticales del Golfo de Tehuantepec México, Verano 1991. Tomado de (Trasviña, 1991). El eje horizontal es la distancia a lo largo del transecto en Km. El eje vertical es la presión de 0 a 140 decibares de profundidad. A. Sección vertical de densidad; B. Sección vertical de concentración de clorofila (g/l). Dentro del rectángulo punteado destaca la posición de la pycnoclina (A) y del máximo de clorofilas (B) entre 0.2 a 0.289 g/l, justo por encima de la pycnoclina. ....5
- Figura 2.** Región de Estudio .....8
- Figura 3.** Diagrama TS típico de la Entrada al Golfo de California construido a partir de 25 perfiles verticales de temperatura y salinidad hasta 800m de profundidad. Los círculos indican las posiciones de los índices TS de las masas de agua típicas de la zona, Unidades de salinidad en UPS. Tomado de (Trasviña et al., 1999). .....10
- Figura 4.** Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo. La línea azul indica la trayectoria de muestreo. Los círculos rojos señalan las estaciones utilizando los tres CTD's; los cuadros negros señalan los perfiles del PRR. La región se divide en tres transectos: LUSOC, SOCCO y CABOS. ....16
- Figura 5.** Escoge el rango de datos a procesar.....20
- Figura 6.** Agrupación de perfiles utilizando la función downup.m. ....21
- Figura 7.** Formato de encabezado y datos seguido para 131 perfiles del SBE911 y del SBE 19 plus. ....23
- Figura 8.** Perfil 001 del minioptics: A. Datos No interpolados, se grafica el parámetro en el eje vertical y el numero consecutivo de registro en el eje horizontal. B. Datos Interpolados con tiempo, se grafica presión (db) en el eje vertical y el parámetro interpolado en el eje horizontal.....25
- Figura 9** Formato de encabezado y datos, seguido para 30 perfiles del minioptics. ....26
- Figura 10.** Menú Principal de grafdat6.m.....26
- Figura 11.** Regresiones lineales: A. Concentración de partículas vs dispersión de partículas con datos del Minioptics. Eje horizontal de Fluorescencia (mV): B. Fluorómetro de la Roseta (SBE9/11), C. Fluorómetro Minioptics, D. Fluorómetro Ondulante. En el eje vertical de B, C, y D, se grafica Concentración de clorofila ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ). .....29
- Figura 12.** A. Perfil de clorofila calibrada ( $\text{mg m}^{-3}$ ); B. Perfil de fluorescencia (mV) de la Estación #1 del minioptics; C. Perfil de fluorescencia (mV) de la Estación #2 del SBE911. ....30

- Figura 13.** Regresión lineal entre Fluorómetros (minioptics vs. SBE911), en la profundidad del máximo de fluorescencia.....31
- Figura 14.** Diagrama de reconstrucción gaussiana modelada. Los valores de los parámetros A, B y C se muestran en la tabla de datos La línea sólida señala los datos crudos. Las líneas punteadas señalan las dos curvas gaussianas que fueron necesarias para la reconstrucción de éste perfil. La línea roja muestra el perfil modelado. ....33
- Figura 15.** Perfil de Irradiancia del lance 009. El eje horizontal muestra la profundidad [m]; el eje vertical muestra la relación entre luz en PAR in situ / PAR en aire. De esta manera 0.01 es igual a 1% de luz superficial.....36
- Figura 16.** Diagrama TS de la Entrada al Golfo de California. Construido por 130 perfiles de CTD ondulante y SBE911. El Diagrama TS de cada sección se muestra en: A. LUSOC; B. SOCCO; C. CABOS. ATS-Agua Tropical Superficial. AGC-Agua del Golfo de California. ASS-Agua Subtropical Sub-superficial. AIP-Agua Intermedia del Pacífico. APP-Agua Profunda del Pacífico. Basado en la climatología de Castro, et al 2006. ....40
- Figura 17.** Temperatura Superficial del Mar (TSM). Marzo 2005. Fuente MODIS-AQUA.....42
- Figura 18.** Secciones verticales a lo largo del transecto LUSOC de CTD SBE 911 y SBE19 plus. En cada figura, el eje horizontal señala la presión desde superficie hasta 200db; el eje vertical muestra latitud, el norte se ubica a la derecha. Mapas de color de A. Temperatura (°C). B. Salinidad (usp). C. Fluorescencia (mV). D. Concentración de Oxígeno disuelto ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ).....45
- Figura 19.** Sección de Velocidad transecto LUSOC. Velocidad geostrófica ( $V_{\text{geo}}$ ) calculada de datos de lances tradicionales de CTD y CTD Ondulante. La escala de color indica valores desde -1.5 (dirección Oeste) hasta 1.5 (dirección Este) La línea gruesa representa 0. Líneas continuas/punteadas representan positivos/negativos. ....46
- Figura 20.** Secciones verticales a lo largo del transecto SOCCO. El eje horizontal señala la presión desde superficie hasta 200db; el eje vertical muestra latitud, el norte se ubica a la derecha. Mapas de color de A. Temperatura (°C). B. Salinidad (usp). C. Fluorescencia (mV). D. Concentración de Oxígeno disuelto ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ).....51
- Figura 21.** Sección de Velocidad transecto SOCCO. A. Velocidad geostrófica ( $V_{\text{geo}}$ ) calculada de datos de lances tradicionales de CTD. La escala de color indica valores desde  $-0.25$  hasta  $0.15\text{ms}^{-1}$ , hacia el norte y hacia el sur respectivamente. La línea gruesa representa 0. Líneas continuas/punteadas representan positivos/negativos. ....52
- Figura 22.** Secciones verticales a lo largo del transecto CABOS. El eje horizontal señala la presión desde superficie hasta 200db; el eje vertical muestra longitud, Mapas de color

de A. Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ). B. Salinidad (usp). C. Fluorescencia (mV). D. Concentración de Oxígeno disuelto ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ).....55

**Figura 23.** Secciones de Velocidad transecto CABOS. Velocidad geostrófica ( $V_{\text{geo}}$ ) calculada de datos de lances tradicionales de CTD. La escala de color indica valores desde -0.2 hasta 0.5. La línea gruesa representa 0. Líneas continuas/punteadas representan positivos/negativos. ....56

**Figura 24.** Perfiles de Irradiancia, registrados por el PRR 600 para el periodo de estudio. La línea azul indica PAR in situ/aire; Línea rosa indica PAR 490nm. Línea negra corresponde a la regresión. A. Lance 009 y B. Lance 032. En el eje horizontal se indica profundidad de metros. ....60

**Figura 25.** Perfiles de Irradiancia, registrados por el PRR 600 para el periodo de estudio. La línea azul indica PAR in situ/aire; Línea rosa indica PAR 490nm. Línea negra corresponde a la regresión. A. A. Lance 044, B. Lance 056, C. Lance 071, D. Lance 083, E. Lance 094. En el eje horizontal se indica profundidad de metros.....61

**Figura 26.** Perfiles de: A. Dispersión de partículas. B. Fluorescencia. A cada perfil se les resta el valor mínimo de la señal de voltaje. Eje vertical profundidad. Eje horizontal mV. ....63

**Figura 27.** Regresión Lineal Fluorescencia (mV) vs Dispersión de partículas (mV).....64

**Figura 28.** Regresión lineal de A. Centro máximo de fluorescencia vs Centro máximo de partículas. y Sigma de fluorescencia vs sigma de partículas.....75

**Figura 29.** Modelación Gaussiana de las estaciones 1, 6 y 7. Perfiles verticales de A. Fluorescencia y B. Dispersión de partículas. Datos representados por línea negra punteada. Curvas gaussianas representadas por Gauss1, Gauss2, Gauss3, Gauss4. Perfil Gaussiano modelado representado por la línea roja. El Eje vertical señala la amplitud (mV). El eje horizontal muestra profundidad (m). ....68

**Figura 30.** Modelación Gaussiana de las estaciones 8, 10 y 11. Perfiles verticales de A. Fluorescencia y B. Dispersión de partículas. Datos representados por línea negra punteada. Curvas gaussianas representadas por Gauss1, Gauss2, Gauss3, Gauss4. Perfil Gaussiano modelado representado por la línea roja. El Eje vertical señala la amplitud (mV). El eje horizontal muestra profundidad (m). ....69

**Figura 31.** Modelación Gaussiana de las estaciones 12, 14 y 15. Perfiles verticales de A. Fluorescencia y B. Dispersión de partículas. Datos representados por línea negra punteada. Curvas gaussianas representadas por Gauss1, Gauss2, Gauss3, Gauss4. Perfil Gaussiano modelado representado por la línea roja. El Eje vertical señala la amplitud (mV). El eje horizontal muestra profundidad (m). ....70

**Figura 32.** Modelación Gaussiana de las estaciones 16, 20 y 22. Perfiles verticales de A. Fluorescencia y B. Dispersión de partículas. Datos representados por línea negra punteada. Curvas gaussianas representadas por Gauss1, Gauss2, Gauss3, Gauss4. Perfil Gaussiano modelado representado por la línea roja. El Eje vertical señala la amplitud (mV). El eje horizontal muestra profundidad (m). .....71

**Figura 33.** Modelación Gaussiana de las estaciones 40, 41 y 45. Perfiles verticales de A. Fluorescencia y B. Dispersión de partículas. Datos representados por línea negra punteada. Curvas gaussianas representadas por Gauss1, Gauss2, Gauss3, Gauss4. Perfil Gaussiano modelado representado por la línea roja. El Eje vertical señala la amplitud (mV). El eje horizontal muestra profundidad (m). .....72

**Figura 34.** Modelación Gaussiana de las estaciones 46, 47 y 48. Perfiles verticales de A. Fluorescencia y B. Dispersión de partículas. Datos representados por línea negra punteada. Curvas gaussianas representadas por Gauss1, Gauss2, Gauss3, Gauss4. Perfil Gaussiano modelado representado por la línea roja. El Eje vertical señala la amplitud (mV). El eje horizontal muestra profundidad (m). .....73

**Figura 35.** Modelación Gaussiana de las estaciones 49 y 50. Perfiles verticales de A. Fluorescencia y B. Dispersión de partículas. Datos representados por línea negra punteada. Curvas gaussianas representadas por Gauss1, Gauss2, Gauss3, Gauss4. Perfil Gaussiano modelado representado por la línea roja. El Eje vertical señala la amplitud (mV). El eje horizontal muestra profundidad (m). .....74

**Figura 36.** Grafico de factor 1 (eje X) y factor 2 (eje y). Rotación: Varimax Normalizado. Extracción: Componentes Principales. La dispersión de cada perfil de densidad se señala por los símbolos en el centro de la grafica. Los rombos corresponden al grupo 1; los círculos corresponden al grupo 2; los triángulos corresponden al grupo 3; los cuadros corresponden al grupo 4. ....77

**Figura 37.** Ubicación geográfica de los perfiles de densidad del minioptics. Cada simbolo representa un grupo. Simbologia: rombos-grupo 1; circulos-grupo 2; triangulos-grupo 3; cuadros-grupo 4; cruces-grupo 5. ....79

**Figura 38.** Agrupación de los perfiles de A. Densidad ( $\text{Kg. m}^{-3}$ ), B. Concentración de Clorofila ( $\text{mg m}^{-3}$ ), C. Concentración de Partículas ( $\text{mg m}^{-3}$ ). Las líneas punteadas horizontales indican una ventana de densidad en la que se ubica el DCM. ....82

**Figura 39.** Agrupación de los perfiles de A. Densidad ( $\text{Kg. m}^{-3}$ ), B. Concentración de Clorofila ( $\text{mg m}^{-3}$ ), C. Concentración de Partículas ( $\text{mg m}^{-3}$ ). Las líneas punteadas horizontales indican una ventana de densidad en la que se ubica el DCM. ....83

**Figura 40.** Esquema de dos estructuras de mesoescala de la entrada al Golfo de California. A. Remolino anticiclónico como el de la sección SOCCO. B. Remolino ciclónico, como el de la sección LUSOC. ....89

**Figura 41.** A. Esquema general de la representación del modelo F&B. En el eje vertical se muestra un perfil de superficie hasta 200m de profundidad, en el eje horizontal se muestra el coeficiente de difusión turbulenta en  $m^2 s^{-1}$ ; en la representación se incluye una constante de difusión vertical (línea sólida). Para generalizar la representación se simula un gradiente de  $Kz$  ( $dKz$ ) que simula el límite de la capa superficial mezclada a 20 y a 80m de profundidad (líneas intermitentes). B. Validación del modelo con los datos del coeficiente de difusión turbulenta calculado por los autores. Tomado de Fennel & Boss, 2003. ....91

**Figura 42.**  $Kz$  calculado para 20 perfiles de la sección LUSOC (A); 38 perfiles de la sección SOCCO (B); y 32 perfiles de la sección CABOS (C). La línea sólida representa  $Kz$  constante. Las líneas punteadas simulan la tendencia de una capa superficial mezclada a 20m y a 50m. ....93

**Figura 43.**  $Kz$  calculado para: (A) remolino ciclónico; (B) remolino anticiclónico; y (C) corriente de chorro. La línea sólida representa  $Kz$  constante. Las líneas punteadas simulan la tendencia de una capa superficial mezclada (A) 40m; (B) 60m; (C) 20m. ....95

**Figura 44.** Columna Izq.,  $Kz$  calculado para las estructuras de mesoescala. Columna der., perfil de clorofila modelado para el  $dKz$  de cada estructura. A) En un remolino ciclónico, B) En un remolino anticiclónico, y C) En la corriente de chorro. ....96

**Figura 45.** Perfiles modelados de concentración de clorofila – columna izquierda; y concentración de nutrientes – columna derecha. A. Remolino ciclónico y B. Remolino Anticiclónico. ....100

**Figura 46.** Sección vertical de transecto LUSOC. En el eje horizontal se muestra longitud, en el eje vertical se muestra profundidad. Los contornos muestran la posición de las isotermas. En A. se grafica la estructura de  $Kz$ , la barra de color señala la velocidad de  $Kz$  en  $m^2 s^{-1}$ . B. grafico de concentración de clorofila modelada, la barra de color muestra concentraciones en  $mg m^{-3}$ . C. grafico de la fluorescencia Observada en mV. ....106

**Figura 47.** Sección vertical de transecto SOCCO. En el eje horizontal se muestra longitud, en el eje vertical se muestra profundidad. Los contornos muestran la posición de las isotermas. En A. se grafica la estructura de  $Kz$ , la barra de color señala la velocidad de  $Kz$  en  $m^2 s^{-1}$ . B. grafico de concentración de clorofila modelada, la barra de color muestra concentraciones en  $mg m^{-3}$ . C. grafico de la fluorescencia Observada en mV. ....107

**Figura 48.** Sección vertical de transecto CABOS. En el eje horizontal se muestra longitud, en el eje vertical se muestra profundidad. Los contornos muestran la posición de las isotermas. En A. se grafica la estructura de  $Kz$ , la barra de color señala la velocidad de  $Kz$  en  $m^2 s^{-1}$ . B. grafico de concentración de clorofila modelada, la barra de color muestra concentraciones en  $mg m^{-3}$ . C. grafica de la fluorescencia Observada en mV. ....108

**Figura 49.** Perfiles de estructura vertical de  $K_z$ , concentración de clorofila modelada y concentración de nutrientes modelada de: A. Remolino ciclónico, B. Remolino Anticiclónico.....113

**Figura 50.** Secciones verticales de densidad. A. LUSOC; B. SOCCO; C. CABOS. ....117



## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla I.</b> Transectos recorridos durante la campaña oceanográfica.....	14
<b>Tabla II</b> Valores de desfase prueba.....	22
<b>Tabla III.</b> Datos ópticos del instrumento PRR 600. Se muestra el numero de lance (id), la fecha, hora (UTC) y. La profundidad a la que $Z_{par}=1\%$ . La profundidad óptica del dcm. La fracción de luz superficial del dcm y el coeficiente de atenuación en el dcm ( $k_{DCM}$ ).58	
<b>Tabla IV.</b> Síntesis de los valores obtenidos de la reconstrucción. Sigma representa el ancho de banda de la curva modelada. Centro máximo es la profundidad en metros en la que se ubica el máximo. La amplitud señala el valor máximo en minivolts. ....	67
<b>Tabla V.</b> Eigenvalores perfiles de densidad. ....	77
<b>Tabla VI.</b> Muestra las agrupaciones de la estructura de densidad de los perfiles del minioptics. ....	78
<b>Tabla VII.</b> Lista de símbolos. Tomada de Fennel y Boss, 2003. ....	87
<b>Tabla VIII</b> Lista de parámetros modelados. ....	90
<b>Tabla IX.</b> $K_d$ calculado para su correspondiente dkz. ....	102
<b>Tabla X.</b> Lista se abreviaturas.....	119
<b>Tabla XI.</b> Datos. Instrumento minioptics. ....	120
<b>Tabla XII.</b> Datos. Instrumento SBE 911. ....	122
<b>Tabla XIII.</b> Datos. Instrumento SBE19 plus. ....	125
<b>Tabla XIV.</b> Datos ópticos. Instrumento PRR 600. ....	127

**LISTA DE ECUACIONES**

Ecuacion.1 .....	32
Ecuacion.2 .....	35
Ecuacion.3 .....	35
Ecuacion 4 .....	86
Ecuacion.5 .....	86
Ecuacion 6. ....	86
Ecuacion.7 .....	86
Ecuacion.8 .....	86
Ecuacion.9 .....	86
Ecuacion.10 .....	92
Ecuacion 11 .....	92
Ecuacion.12 .....	97
Ecuacion.13 .....	115
Ecuacion.14 .....	115
Ecuacion.15 .....	116
Ecuacion.16 .....	116
Ecuacion.17 .....	116

# **EFEECTO DE LAS ESTRUCTURAS HIDROGRAFICAS DE MESOESCALA EN LA DISTRIBUCION DE LOS MAXIMOS SUB-SUPERFICIALES DE CLOROFILA EN LA ENTRADA AL GOLFO DE CALIFORNIA**

## **I INTRODUCCION**

### **I.I. Antecedentes generales**

La existencia de un máximo sub-superficial de clorofila se observa en muchas regiones del océano (Riley *et al.*, 1949; Steele y Yentsh, 1960; Cullen, 1982). El entendimiento básico de los mecanismos que generan los máximos subsuperficiales es importante para entender el funcionamiento de la cadena trófica, así como, mejorar las técnicas que estiman la biomasa y la productividad primaria de una columna de agua mediante sensores remotos (Hidalgo-González y Alvarez-Borrego, 2004). La fluorescencia es una variable biológica fácilmente medida en el océano, debido a que absorbe luz a longitudes de onda específicas constituye una técnica verosímil que permite estimar la concentración de clorofila, es por eso que en los perfiles verticales oceánicos las concentraciones máximas subsuperficiales son bien conocidas y representan una característica permanente a lo largo de los trópicos, además pueden encontrarse en regiones templadas, aunque usualmente allí están sujetos a fuertes variaciones estacionales (Venrick, 1993; Hodges y Rudnick, 2004).

Uno de los problemas que enfrenta el fitoplancton en el océano es la necesidad de luz y nutrientes para crecer y reproducirse. Debido a que la fuente de luz viene desde la superficie y la fuente de nutrientes viene del fondo, es entonces la zona eufótica una capa delgada en donde existe suficiente energía para que la fotosíntesis y el crecimiento se lleven a cabo (Mann y Lazier, 1991). En el océano se ha establecido un patrón de distribución de temperatura, clorofila, producción primaria y nitratos referido como la

estructura tropical típica (TTS), en donde la columna de agua está claramente dividida en una capa superior (mezclada, cálida, iluminada, con poca disponibilidad de nutrientes) y en una capa profunda (densa, fría y rica en nutrientes), ambas separadas por una región clinal caracterizada por cambios rápidos de temperatura, densidad y nutrientes (denominadas termoclina, piconclina y nutriclina, respectivamente). El modelo de Herbland y Voituriez 1979 cit in (Mann y Lazier, 1991), sugiere que la nutriclina y la termoclina se encuentran a la misma profundidad. Justo encima de la zona de gradiente se definen dos máximos: 1. La profundidad del pico máximo de partículas (por sus siglas en inglés DPM), y 2. La profundidad del pico máximo de clorofila (por sus siglas en inglés DCM). El DPM incluye una proporción constante de detritus, carbón orgánico particulado (POC) y células fitoplanctónicas.

Frecuentemente el DCM ocurre sin la formación de un DPM (Hodges y Rudnick, 2004). Cullen y Lewis, (1988) postulan que tales condiciones se deben a variaciones en la proporción clorofila-biomasa (Hodges y Rudnick, 2004). La presencia de un DPM no implica la existencia de un DCM y cuando ambos están presentes frecuentemente difieren en estructura vertical (Fennel y Boss, 2003; Hodges y Rudnick, 2004).

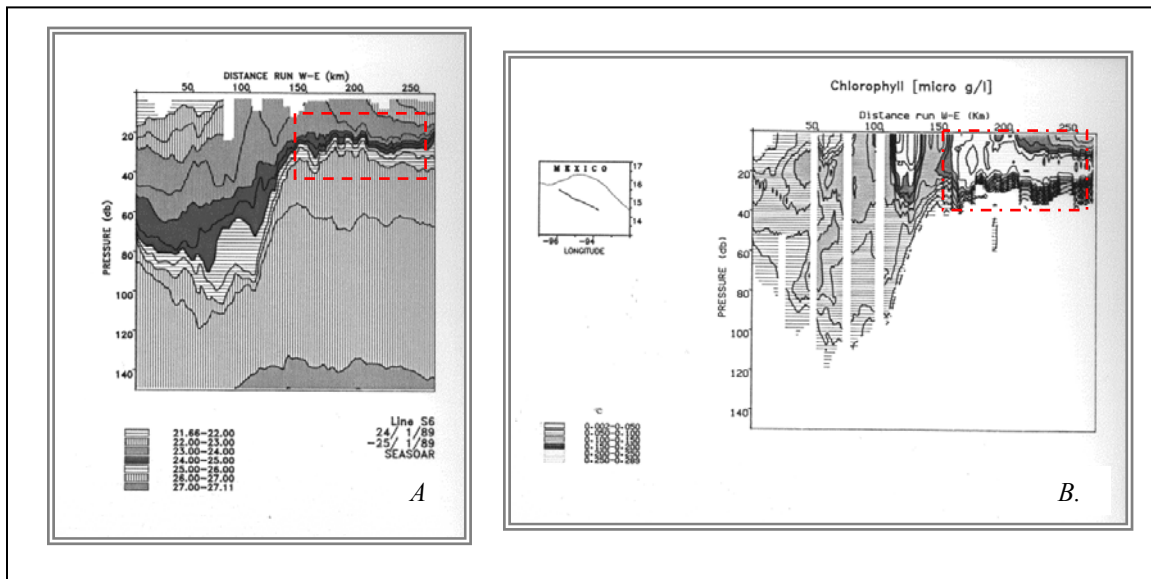
Varios mecanismos han sido propuestos para la formación del máximo de clorofila y un gran número de efectos están implicados (Hodges y Rudnick, 2004). Tales mecanismos, pueden ser ocasionados por cambios en el contenido de clorofila por célula debido a respuestas fisiológicas del aparato fotosintético, que a su vez cambia como resultado de variaciones en el nivel luz, temperatura y nutrientes (Falkovsky, 1980; Laws y Banister, 1980; Sakshaug *et al.*, 1989). También existen flujos episódicos de nutrientes que fluyen hacia la termoclina causados por pulsos en el proceso de mezcla (Sharples y

Tett, 1994). La variabilidad superficial inducida por el viento junto con la circulación horizontal, son capaces de debilitar la termoclina y permitir flujos verticales de nutrientes hacia aguas superficiales (Trasviña, 1991; Sharples y Tett, 1994).

Una ocurrencia común en el océano es la continua transferencia de energía desde corrientes identificables (ej. flujos principales) hasta la eventual disipación de energía mediante otras estructuras más pequeñas; este proceso genera movimiento turbulento en diferentes eslabones de la cascada energética (Mann y Lazier, 1991). El encuentro de dos masas de agua que tienen origen diferente forma regiones de transición local en donde las propiedades varían espacialmente rápido, formando *estructuras frontales* ó *frentes* (Cushman-Roisin, 1987). En un fluido idealizado, despreciando procesos de mezcla y la rotación de la Tierra, una masa de agua pesada superficial al chocar con agua menos densa buscará un nivel de flotabilidad neutro. El balance del gradiente de presión con las fuerzas gravitacionales y de flotabilidad determina la ruta del flujo. El agua de mayor densidad remanente de la colisión se hundirá debajo de la capa delgada del frente siguiendo una ruta isopícnica (Trasviña et al., 2003). Las estructuraa frontales constituyen los límites horizontales entre masas de agua por eso tienen intensas variaciones laterales de densidad. Las pendientes en los límites de los frentes son inestables con tendencia a desarrollar ondas y giros que viajan hacia fuera del frente. A pesar de que algunos giros cubren un amplio rango de escalas de tiempo y espacio, los flujos con periodos más grandes que los ciclos de marea son dominados como giros de mesoescala. Los giros de mesoescala pueden clasificarse como turbulencia geofísica que interactúan significativamente con fenómenos de gran escala. Generalmente tienen tamaños entre 100 y 1000km, viajan pocos kilómetros por día y sus velocidades orbitales alcanzan

velocidades del orden de  $1 \text{ m s}^{-1}$ . Los giros de mesoescala son parte intrínseca de la circulación del océano y juegan un papel importante en el transporte de calor, y sal a través de un frente y desde una masa de agua hacia otra. Generalmente permiten la dispersión de las propiedades del agua, de organismos marinos y también contribuyen a la homogenización de las características dentro de las masas de agua.

Antecedentes en el Pacífico Tropical Mexicano de la influencia de las estructuras frontales en los perfiles de clorofila se ilustran en una región frente al Golfo de Tehuantepec México, durante el verano de 1991 (Fig. 1). En la sección vertical de densidad (Fig. 1A) se destacan las condiciones a la derecha del frente (señaladas en el rectángulo). A la derecha del frente la picnoclina se ubica entre 30 y 40 db, mientras que en la región del frente se hunde hasta 60 y 80 db de profundidad. En la sección de clorofila (Fig. 1B) los valores máximos de concentración de clorofila a la derecha del frente se ubican justo por encima de la picnoclina. En el frente y a la izquierda las condiciones de alta velocidad de corriente modifican la distribución vertical de clorofila (A. Trasviña, Com. Pers.).



**Figura 1.** Secciones verticales del Golfo de Tehuantepec México, Verano 1991. Tomado de (Trasviña, 1991). El eje horizontal es la distancia a lo largo del transecto en Km. El eje vertical es la presión de 0 a 140 decibares de profundidad. **A.** Sección vertical de densidad; **B.** Sección vertical de concentración de clorofila (g/l). Dentro del rectángulo punteado destaca la posición de la piconclina (**A**) y del máximo de clorofilas (**B**) entre 0.2 a 0.289 g/l, justo por encima de la piconclina.

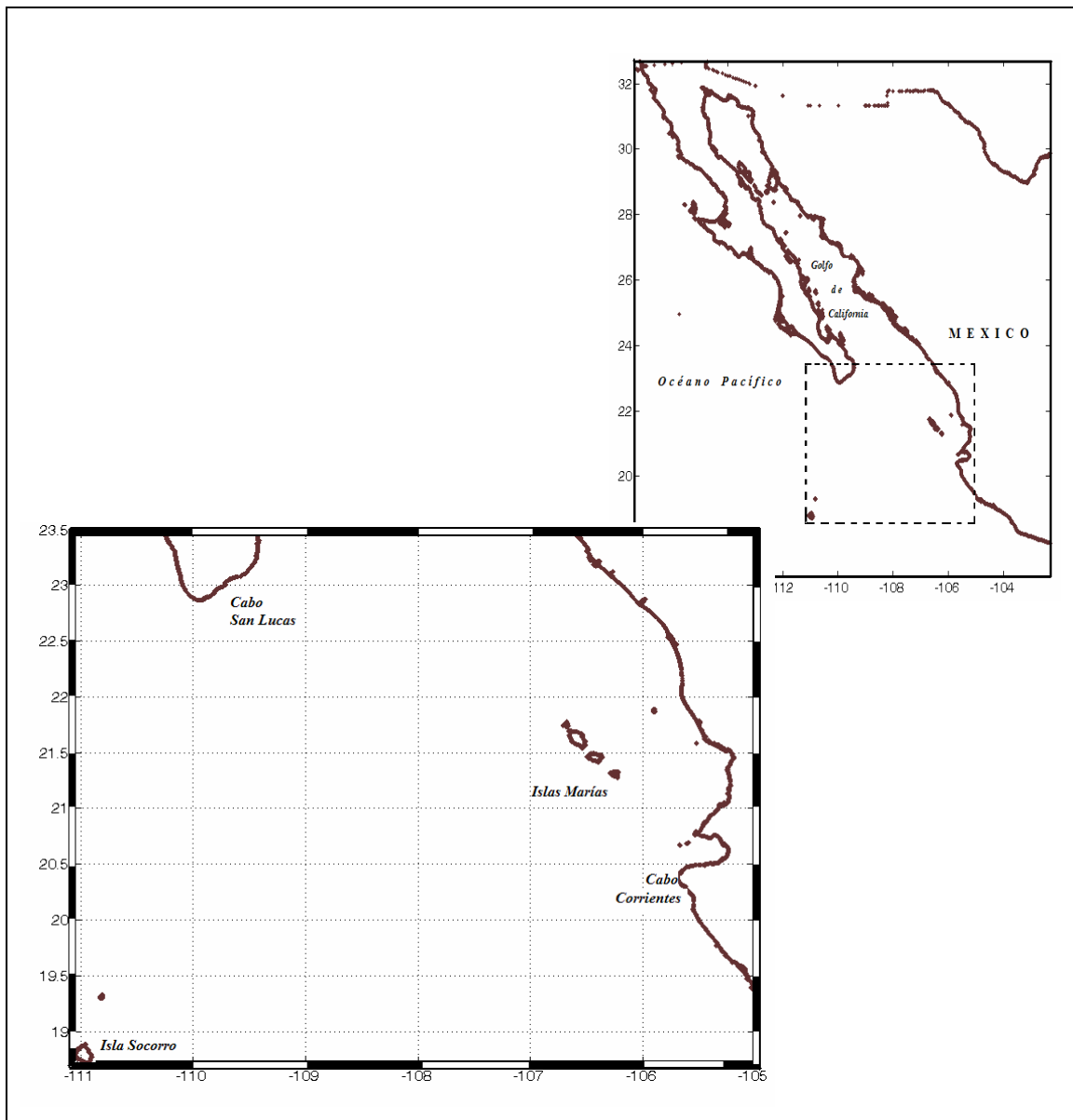
En una estructura tropical típica los perfiles verticales de clorofila muestran máximos subsuperficiales que se ubican por encima de la termoclina. Sin embargo, nos preguntamos si ¿pueden estos perfiles ser alterados por la dinámica de las estructuras frontales que se presentan alrededor de giros o filamentos de mesoescala?. Trataremos de responder esta pregunta analizando observaciones tomadas durante un crucero realizado en la entrada al golfo de California durante el invierno del 2005. Se hacen comparaciones entre las condiciones hidrográficas y la influencia de tales condiciones en los perfiles subsuperficiales de clorofila y de partículas. También se hacen comparaciones con el modelo analítico de (Fennel y Boss, 2003). Este modelo consiste en un conjunto de ecuaciones diferenciales unidimensionales que simulan el comportamiento de la biomasa

de fitoplancton, de los nutrientes disueltos y de la clorofila en un océano oligotrófico en estado estacionario, es decir, no toma en cuenta variaciones en el tiempo ni tampoco incluye corrientes u otros procesos horizontales. Sin embargo se basa en los procesos físicos, fisiológicos y ecológicos fundamentales que determinan las distribuciones verticales de clorofila.



### **I.II. Región de Estudio.**

El área de estudio es la entrada al Golfo de California (GC), se localiza en el Pacífico central mexicano, en la zona de convergencia del Giro del Pacífico Norte donde la Corriente de California se separa del continente para alimentar a la Corriente Nor-Ecuatorial. Abarca aproximadamente de 19° a 24° N y de 104° a 112° W. Cubre una superficie aproximada de 3,900 km<sup>2</sup> (Fig. 2). La entrada del Golfo de California tiene una profundidad promedio de 2,500 m llegando hasta los 4,000 m. Por esto, las masas de agua pueden intercambiarse libremente entre el Golfo de California y el Océano Pacífico conducidos por factores como los vientos regionales, la diferencia entre las velocidades de flujo aire-oceano entre el Golfo y el Océano Pacífico y por los patrones de circulación en la entrada del Golfo (Collins et al., 1997). Ésta es una región de transición caracterizada por la interacción de masas de agua de muy distintos orígenes y se localiza en el extremo norte de la región oceanográfica del Pacífico Tropical Oriental (López-Bojorquéz, 1996).



**Figura 2.** Región de Estudio

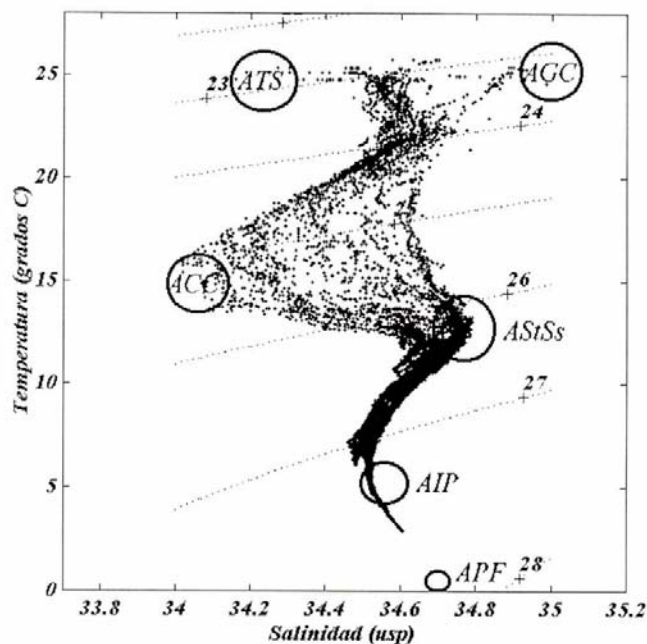
### **I.III. Antecedentes oceanográficos.**

La interacción entre las distintas masas de agua que aquí convergen forma regiones con marcados gradientes de temperatura (Torres-Orozco, 2004). A este tipo de estructuras se le conoce como frentes térmicos. El frente más importante de la zona ocurre afuera de Cabo San Lucas y presenta su intensidad máxima en junio (Collins et al., 1997) cuando confluyen tres masas de aguas superficiales. Estas son el Agua de la Corriente de California (ACC), el Agua del Golfo de California (AGC) y la masa de Agua Superficial Ecuatorial (ASE) (Griffiths, 1963 *cit in* Torres-Orozco, 2004 ). El ACC transporta agua de origen subártico que es fría y de baja salinidad (comparativamente pesada) y las dos restantes, el AGC y el ASE, transportan agua liviana de mayor temperatura (Griffiths, 1968; Roden, 1972; *cit in* Torres-Orozco, 1993). El ASE se caracteriza por temperaturas mayores a los 18 °C y salinidades menores a 35 usp (unidades de salinidad practica). El AGC se distingue por su alta salinidad (>35 usp) y amplio rango de temperaturas. Su presencia en el área de estudio es muy limitada por su interacción con la ASE. La masa de agua más fría de todas corresponde al ACC cuya temperatura varía entre los 12 y 18 °C y se caracteriza por salinidades menores a 34.5 usp. La presencia de estas masas de agua tiene un comportamiento estacional modulado por el patrón de circulación superficial del Pacífico oriental e interanual modulado principalmente por el fenómeno de El Niño (Robles & Marinote, 1987 *cit in* Torres-Orozco, 2004).

Por debajo de la superficie se encuentran la masa de agua Subsuperficial Subtropical (ASsSt) la cual posee un amplio rango de temperatura (9 a 18 °C), se caracteriza por un máximo intermedio de salinidad mayor de 34.5 y menor a 35 usp. La

masa de Agua Intermedia del Pacífico (AIP) se ubica por debajo de todas las anteriores. El AIP se distingue por el mínimo profundo de salinidad (34.5 usp), la temperatura varía de 4 a 9 °C y la salinidad entre 34.5 y 34.8 usp. Por último, la masa de Agua Profunda del Pacífico (APP) es la más profunda de las masas de agua presentes en el área de estudio. En un diagrama Temperatura-Salinidad el APP se identifica por temperaturas menores de 4 °C y salinidades mayores de 34.5 usp.

Un diagrama típico de la entrada al Golfo de California, muestra la presencia de masas de agua de orígenes muy diversos (Fig. 3).



**Figura 3.** Diagrama TS típico de la Entrada al Golfo de California construido a partir de 25 perfiles verticales de temperatura y salinidad hasta 800m de profundidad. Los círculos indican las posiciones de los índices TS de as masas de agua típicas de la zona, Unidades de salinidad en UPS. Tomado de (Trasviña et al., 1999).

De acuerdo con Wyrski, (1965), la circulación oceánica de gran escala en el Pacífico tropical oriental presenta tres patrones estacionales. El primer patrón abarca de

agosto a diciembre. El segundo periodo va de febrero a abril y el tercero de mayo a julio. (Torres-Orozco, 2004).

El primer patrón de circulación corresponde a las estaciones climáticas de verano-otoño. Considerando el esquema de circulación de septiembre propuesto por (Wirky, 1965) como típico de verano, el patrón de circulación se caracteriza por la presencia e intensificación de la Contra Corriente Nor-Ecuatorial (CCNE). Esta corriente se desarrolla a medida que la ZCIT (Zona de Convergencia Intertropical) se desplaza hacia el norte del Ecuador, cerca de los  $10^{\circ}$  N. La CCNE fluye hacia la costa y alimenta a la Corriente Costera de Costa Rica (CCCR), la cual se desplaza a lo largo de la costa hasta cerca de los  $20^{\circ}$  N. Para otoño la ZCIT inicia su regreso hacia su posición más al sur ( $3^{\circ}$  N) y la CCNE disminuye en intensidad (Torres-Orozco, 2004).

El segundo patrón de circulación corresponde a invierno. En esta época la Corriente de California se desplaza paralela a la costa pero se separa del continente cerca de los  $23^{\circ}$  N. A finales del invierno, el flujo principal de la CC penetra más hacia el sur y alimenta a la Corriente Nor-Ecuatorial. La ZCIT se localiza cerca de los  $3^{\circ}$ N y la Contra-Corriente Nor-Ecuatorial está prácticamente ausente, ya que solo se observa al oeste de los  $120^{\circ}$  O. Con la ausencia de la CCNE la CCCR se debilita y los flujos costeros en el Pacífico Tropical mexicano son hacia el sur (Torres-Orozco, 2004).

El tercer patrón de circulación corresponde a las condiciones de primavera-verano. En este periodo la ZCIT inicia su desplazamiento hacia el norte y con ello favorece la formación de la CCNE. Esta última se desplaza hacia la costa y alimenta a la CCCR la cual se desplaza hacia el norte (cerca de  $20^{\circ}$ N). En esta época (junio) la CC alcanza su máxima intensidad y presencia en la región adyacente a la entrada del Golfo

de California ( $23^{\circ}$  N, Lynn y Simpson 1987). La CC provee a la Corriente Nor-Ecuatorial (CNE) y a medida que la CCNE se intensifica tanto la CNE como la CC se recorren hacia el norte (Torres-Orozco, 2004).

Acorde con lo descrito por Wyrcki (1965), Roden (1964) reportó la presencia de un flujo superficial entre Cabo San Lucas y Cabo Corrientes con dirección hacia el sureste en el periodo febrero-mayo. En junio y septiembre la dirección de este flujo es hacia el noreste, siendo más intensos en verano que en invierno,  $21 \text{ cm s}^{-1}$  respectivamente. (Torres-Orozco, 2004)

Las corrientes costeras frente a Cabo Corrientes presentan un flujo hacia el norte la mayor parte del año. Estas corrientes transportan agua cálida de relativa baja salinidad de origen tropical (Zamudio et al., 2001). La región también es afectada por señales de alta frecuencia producidas por el paso de tormentas y huracanes (Zamudio et al., 2001) y por la presencia de Ondas de Kelvin atrapadas a la costa durante eventos de El Niño (Torres-Orozco, 2004).

En resumen, la entrada al Golfo de California es un área muy dinámica. Los choques entre las diversas masas de agua resultan en frentes intensos. La presencia de tales frentes necesariamente tendrá un impacto en la biología de la región. Existen reportes de incrementos locales en capturas. Tal es el caso del atún aleta amarilla atribuido a la gran variabilidad hidrográfica de la región (Torres-Orozco, 2004).

#### **I.IV. Objetivo y metas**

El objetivo principal es describir la relación entre la profundidad de los máximos de clorofila y de partículas en la presencia de estructuras hidrográficas de mesoescala.

Metas particulares se describen a continuación:

- a) Haremos una descripción de la hidrografía de la entrada al Golfo de California en el periodo de estudio.
- b) Análisis de la biología superficial de la región analizando perfiles de fluorescencia y partículas, en relación a los perfiles de densidad.
- c) Utilización de un modelo analítico para simular y enfatizar la importancia de los procesos de mezcla vertical en la posición de los máximos subsuperficiales.

## II. MATERIALES Y METODOS.

La realización de éste estudio forma parte de la colaboración establecida entre el grupo de Oceanografía Física del CICESE en La Paz, BCS, el grupo de Microbiología Marina del departamento de Oceanografía Biológica del CICESE en Ensenada, BC y el programa de Oceanografía Pesquera del CIBnor.

Se realizó un crucero oceanográfico en la entrada al Golfo de California con el objetivo principal de estudiar la biología, la hidrografía y la dinámica de un océano oligotrófico. Los datos fueron colectados por los integrantes del crucero oceanográfico 0502-155 Zona Transición (H. Maske) a bordo del B.O. Fco. de Ulloa. Este se realizó del 27 de Febrero a 12 de Marzo del 2005 en la entrada al Golfo de California, siguiendo las trayectorias de la Figura 4. Este crucero también es el sexto de la serie PATO (Pacífico Tropical Oriental), realizada por el Departamento de Oceanografía Física del CICESE (A. Trasviña), siguiendo la misma trayectoria.

El enfoque principal fue documentar en una región oceanográfica oligotrófica el efecto de giros hidrográficos y frentes de mesoescala (50 a 200km) en la biología superficial. Para este fin se hicieron mediciones de temperatura y salinidad de alta resolución horizontal usando un perfilador ondulante que permite realizar perfiles verticales cada 3.5 kilómetros. La ruta se dividió en tres transectos (Tabla I, Fig. 4).

**Tabla I.** Transectos recorridos durante la campaña oceanográfica.

<b>Transecto</b>	<b>Ruta</b>	<b>ID cruceros PATO</b>
1	Cabo San Lucas – Isla Socorro	LUSOC
2	Isla Socorro – Cabo Corrientes	SOCCO
3	Cabo Corrientes – Cabos San Lucas	CABOS



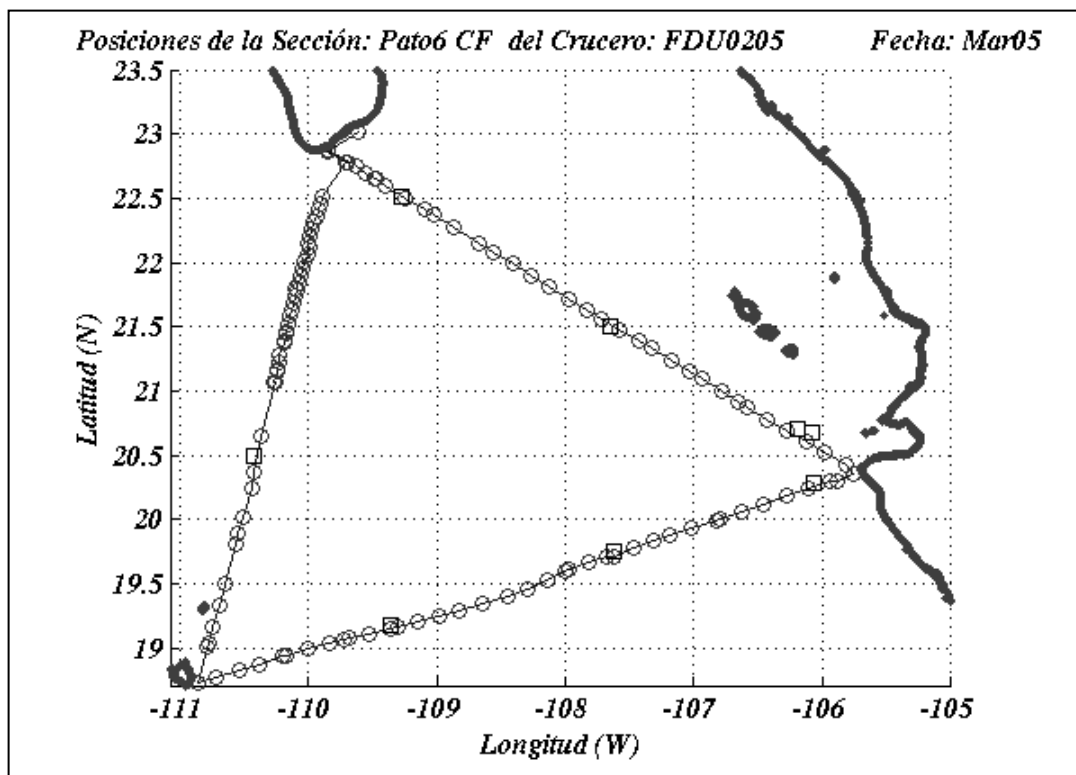
## II.I. TRABAJO DE CAMPO.

### II.I.I Metodología de Muestreo.

En la campaña oceanográfica se registraron 161 estaciones de muestreo. Se registran perfiles verticales de temperatura, salinidad, irradiancia, fluorescencia, oxígeno y dispersión de partículas. Los instrumentos utilizados fueron:

1. CTD ondulante Sea-Bird 19 *plus* + Fluorómetro Wetstar. Instrumento permite realizar perfiles de alta resolución al ser remolcado atrás del barco. El instrumento desciende 1m/s. En la mitad del primer transecto debido a problemas para extraer los datos registrados, no se continuó el perfilado con el ondulante; por lo que se continuaron las mediciones con el instrumento 2.
2. CTD tradicional SBE911 acoplado a una roseta con 12 botellas Niskin. Funciona como un perfilador en puntos específicos en cada transecto, con registros cada 1 m s<sup>-1</sup>.
3. CTD Sea-Bird-SEACAT junto al cuál estaban acoplados un fluorómetro *ECO-AFLx* (Environmental Characterization Optics) de WetLabs y un sensor de dispersión de luz por partículas *LSS* de WetLabs (Light Scattering Sensor). Este instrumento fue acoplado por A Martínez, Instituto de Ciencias de la Atmosfera, UNAM y se referirá en adelante como Minioptics. Los lances de este instrumento se hicieron manualmente, de tal manera que los perfiles se registraron en el modo de caída libre con una frecuencia de medición cada 0.5 m/s.
4. Un sensor PRR\600 (Biospherical Instruments), Mide irradiancia *in situ* de aire y agua a 6 longitudes de onda, presión y temperatura.

A excepción del mini-optics, los CTD's se sujetaron al cable hidrográfico y se remontaron por el malacate del barco. Debido a las condiciones climáticas, a la condición de los equipos de muestreo, el registro de las mediciones de cada instrumento fue intercalado a lo largo de las estaciones de muestreo. La Fig. 4, muestra la trayectoria y la posición de muestreo de cada instrumento; los círculos rojos señalan las estaciones de muestreo de los CTD's, los cuadros negros señalan las estaciones del PRR600, los detalles de las posiciones se describen en las tablas del apartado Anexos.



**Figura 4.** Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo. La línea azul indica la trayectoria de muestreo. Los círculos señalan las estaciones utilizando los tres CTD's; los cuadros señalan los perfiles del PRR. La región se divide en tres transectos: LUSOC, SOCCO y CABOS.

### II.I.II. Metodología del Análisis.

En cada estación las botellas Niskin tomaron muestras de agua a diferentes profundidades: (0m, 25m, 50m, 75m y 100m). De estas muestras se tomaron las alícuotas para el análisis de clorofila *a* y seston. Cada muestra de agua se hacía pasar por filtros de fibra de vidrio GF/F. La filtración se realizó por presión. Los filtros se guardaron en nitrógeno líquido hasta su posterior análisis. El análisis se realizó una extracción mediante ultrasonido en 90% de acetona y las concentraciones de pigmentos se estimaron mediante el análisis fluorométrico de clorofila “*a*”, siguiendo el método de (Welschmeyer, 1994).

De la misma manera, las muestras de agua para la determinación de seston pasaron por un filtro GF/F, estos fueron secados y pesados en una balanza analítica previamente a la filtración por presión y colocación en cajas petri. Estos filtros se guardaron a -20°C; posteriormente en laboratorio, se dejan los filtros a temperatura ambiente durante 24 hrs; después se secan en el horno a 60°C durante 12 hrs. Y se pesan en una balanza analítica para obtener la concentración total de seston, por diferencia de pesos con y sin muestra.

### II.I.III. Datos.

Se adquirieron imágenes de Temperatura Superficial del Mar (TSM) de MODIS-AQUA con una resolución de 4 Km., tomadas del servidor web: <http://poet.ipl.nasa.gov>. Se obtuvieron imágenes diarias correspondientes al periodo del 27/02/05 al 20/03/05 pero debido a las condiciones de alta nubosidad que ocurrieron durante el crucero no fueron de utilidad. Por este motivo se usaron las imágenes promedio del servidor POET.

#### II.I.IV. Procesamiento de datos.

Los datos del CTD ondulante y minioptics se almacenan en la memoria del mismo instrumento. Éstos se descargan periódicamente usando los programas proporcionados por los fabricantes. Los datos del CTD tradicional (SBE911) se adquirieron en tiempo real durante cada uno de las hidrocalas. Los datos de temperatura y salinidad se procesaron preliminarmente a bordo del barco y esto nos permitió graficar secciones hidrográficas de los lances. Al término del crucero se mejoró su resolución, agregando datos del CTD ondulante. Debido a diferencias entre las características en la medición de los instrumentos cada uno de ellos siguió un procesamiento distinto que se describe a continuación.

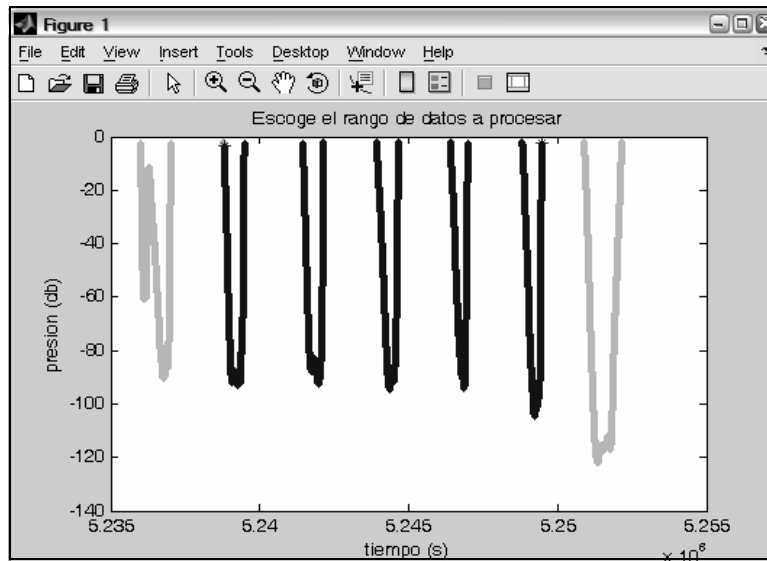
#### II.I.V. Procesamiento de CTD ondulante (SBEO19 *plus*).

Un problema importante con los datos del CTD es la diferencia en la respuesta de los sensores de conductividad y temperatura; estas diferencias se deben a la respuesta más lenta del sensor de temperatura respecto al de conductividad. Estas diferencias producen la aparición de picos en profundidad en las series de tiempo y en los perfiles verticales de la mayoría de las variables termodinámicas cuando son procesadas punto por punto a partir de las series de tiempo de conductividad, temperatura y presión. Para corregir desfases en las señales se han desarrollado métodos que corrigen el defase de la señal de Temperatura -originalmente lenta- (Brown, 1974); ó retrasan la señal de conductividad haciendo aproximaciones mediante filtrado (Middlenton y Foster, 1980; Ochoa, 1989).

El procesamiento de los datos del SBEO19 *plus* se realizó a partir de la modificación de rutinas creadas en MATLAB (Cosío y Trasviña, 2000), las cuales

permiten probar valores de desfase diferentes que acoplan la señal de conductividad y presión. El proceso inicia con la entrada de los datos en formato ASCII dentro de una rutina denominada **separasbeo19bis.m**, esta rutina separa datos de un arrastre de CTD ondulante y los agrupa en matrices de cada variable donde las columnas impares son datos de bajada y los pares son datos de subida. Para que el programa realice estos procesos es necesario calibrarlo. Esto significa que deben definirse los criterios del análisis tales como: *tsalto* (salto en tiempo entre bajadas y subidas), *dcrit* (velocidad mínima en superficie o fondo) y *dmax*. La definición del valor ideal de *dcrit* se hace por prueba y error, tomando como referencia los valores del programa original. El valor de *tsalto* puede estimarse como la mitad del tiempo entre bajadas sucesivas. El valor de *dmax* es simplemente un valor más grande que la profundidad intermedia promedio de todos los lances y se utiliza para diferenciar lances cortos de los más profundos. Además, la rutina convierte el tiempo de días julianos a segundos julianos. Las variables a procesar son: Tiempo (en segundos julianos), Presión, Temperatura, Conductividad, Salinidad, Velocidad del Sonido, Densidad, y Fluorescencia.

Posteriormente se selecciona de manera interactiva el rango de datos en procesamiento, para tener mayor precisión de análisis, se evita seleccionar datos muy superficiales que puedan tener saltos del instrumento debido a oleaje u otros factores ajenos a los sensores del mismo. Además, nosotros excluimos el primer y último lance de este procesamiento para analizarlos de manera independiente, ya que las velocidades de hundimiento varían con respecto al resto de los arrastres. (Fig. 5)



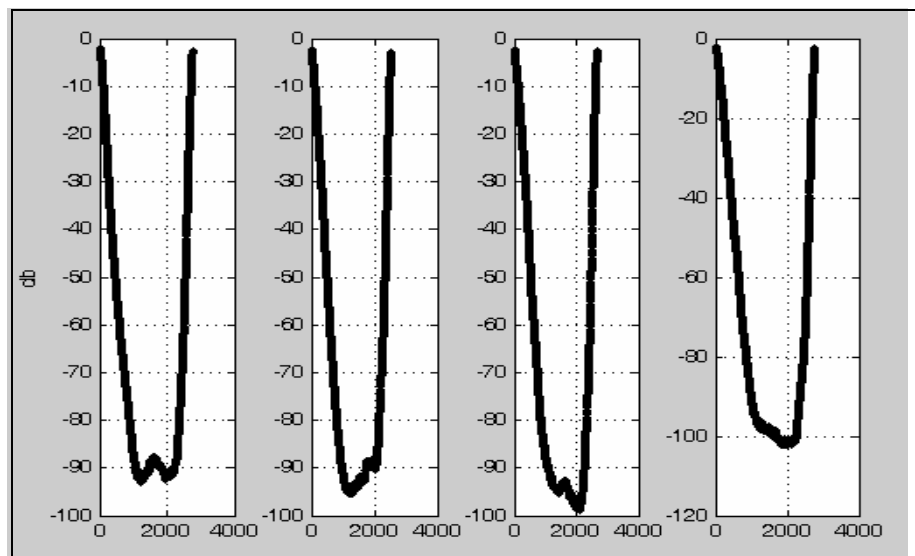
**Figura 5.** Escoge el rango de datos a procesar.

Una vez seleccionado el rango de análisis, la función **downup.m** agrupa las bajadas y subidas del instrumento en cada perfil. Esto se hace a partir de los índices: *down/up*, *IK/IJ*.

- ✓ *Down* y *up*, se calculan a partir de las diferencias de presión ( $Dp$ ) como una estimación de la velocidad entre mediciones adyacentes. Los valores de *down/up* son todas aquellas  $Dp$  que cumplen con el criterio  $Dp \geq/\leq d_{crit}$ , es decir comparamos con el parámetro de velocidad mínima en superficie o fondo ( $d_{crit}$ ).
- ✓  $I_k$ , e  $I_j$ , se calculan mediante las diferencias entre elementos adyacentes de los índices *down/up* que cumplen con el criterio  $down/up \geq R$ . El valor  $R$  se obtiene mediante el despliegue gráfico de las diferencias de los índices *down/up*, seleccionando el valor a partir del cual se encuentran los valores de diferencia más grandes, estos números coinciden con el número de perfiles en el rango de

datos que están siendo procesados. El número de Ij e Ik debe ser el mismo, en caso contrario deberá iniciar el procedimiento nuevamente.

Al finalizar la rutina genera un archivo separado, para cada lance, con extensión *.dat*. Cada archivo contiene datos de bajada y subida de cada variable registrada por el instrumento, con los datos originales y con la misma razón de muestreo de los datos crudos: Tiempo, Presión, Temperatura, Conductividad, Salinidad, Velocidad del Sonido, Densidad y Fluorescencia (Fig. 6).



**Figura 6.** Agrupación de perfiles utilizando la función *downup.m*.

En este punto el procesamiento para los datos del SBE19 plus y SBE911 es el mismo y se describe brevemente a continuación.

### II.I.VI. Procesamiento para los datos del *sbeo911* y *sbe19 plus*.

Se realiza mediante una serie de funciones iniciadas en **leectdsbeo192.m**. Ésta serie de funciones fueron creadas para la lectura y procesamiento de dos tipos de CTD (MCTD ó SeaBird).

La función requiere la especificación de los argumentos de entrada:

**function leectdsbeo192**(nombre,nombre1,nombre2,iopt);

Siendo:

- nombre : nombre del archivo con los datos crudos
- nombre1 : nombre del archivo con los datos del encabezado del lance
- nombre2 : nombre del archivo de configuración
- iopt : Tipo de CTD

La función lee los datos crudos en ASCII extraídos del SBE19 Plus/SBE911; Se realiza el cálculo de salinidad a partir de la conductividad, se interpola linealmente con tiempo el resto de las variables considerando un valor de paso de interpolación constante (*DT*). Para encontrar el valor óptimo de desfase entre la señal de conductividad y temperatura se hicieron pruebas considerando múltiplos positivos y negativos del paso de interpolación. Tabla II.

**Tabla II.** Valores de desfase prueba

Valores de desfase (segundos)
0.88
0.66
0.44
0.22
0
-0.22
-0.44
-0.66
-0.88



Al final se evalúa la eficacia del valor para los datos graficando presión contra salinidad, se verifica que no existan saltos o variaciones anómalas. Posterior a estas pruebas se concluye que el archivo de configuración útil para el procesamiento de los datos extraídos es: config.txt                      -0.44 0.22 3 1 2

En orden cronológico cada valor representa: desfase, paso de interpolación en tiempo, número de pesos en el filtro de alta frecuencia, paso de interpolación en presión y tipo de CTD ( 1- MCTD y 2- Sea Bird).

Las siguientes funciones separan los datos de subida y bajada, eliminan inversiones de la profundidad, interpolan linealmente a presión constante y al final se obtiene la información general del lance (ID, lance, posición, fecha, hora, profundidad total del lance, magnitud del viento, temperatura superficial, temperatura de bulbo seco, instrumento, etc.) y se anexa como encabezado. Se guardan los datos finales en un nuevo archivo de salida con extensión *.fin* que contiene variables de presión (P), temperatura (T), salinidad (S), fluorescencia (F) y tiempo, además de concentración de oxígeno, en el caso del SBE19 *plus*. El programa se corrió para 131 perfiles. El formato de encabezado se muestra en la Fig. 7.

ESTACION	LANCE	LATITUD	LONGITUD	DD	MM	AA
lan001	01	23 01.303	-109 36.293	28	02	05
HORA [UTC]	PROFTOT(m)	PROFLAN(m)	VIENTO: MAG(m/s)	DIR		
16:00:18	-99.9	-99.9	-99.9	-999		
TEMPSUP(°C)	HR(%)	TEBUSE(°C)	INS	FUENTE: H.	MASKE	
-99.9	-99	-99.9	SBE911			
P(db)	T(°C)	S(ups)	C(mS/cm)	O(ml/l)	O(mg/l)	Density (kg/m <sup>3</sup> ) F (volts) Tiempo(seg)

**Figura 7.** Formato de encabezado y datos seguido para 131 perfiles del SBE911 y del SBE 19 plus.

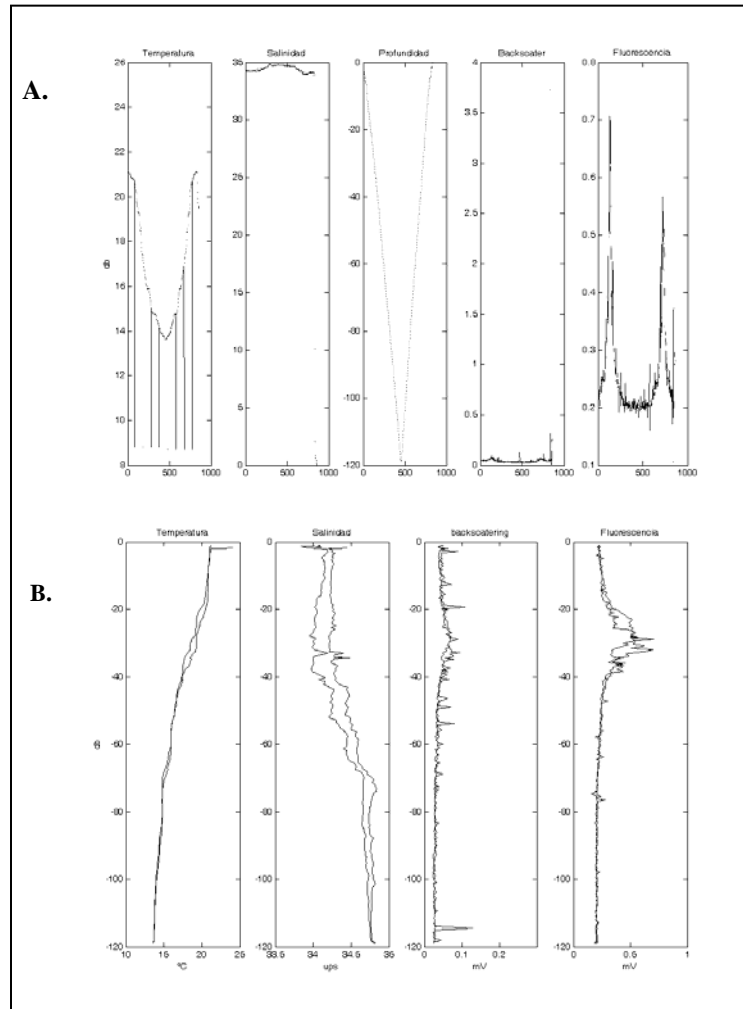
### II.I.VII. Procesamiento de los datos del Minioptics.

El minioptics es un conjunto de instrumentos de Wetlabs y Sea Bird. Se usa para perfilar en el océano superior de manera similar a un CTD tradicional, pero además mide propiedades ópticas de interés biológico como fluorescencia y dispersión de partículas. Este instrumento acoplado registra temperatura (T), salinidad (S), y presión (P), además propiedades ópticas de fluorescencia (F) y dispersión de partículas (backscattering). Actualmente el software para procesar los datos de éste instrumento no está siendo actualizado para trabajar en los sistemas operativos modernos, y por ésto que se buscó un procesamiento alternativo.

Los datos crudos de este instrumento fueron exportados a archivos de Excel. El primer obstáculo a resolver es que el registro de los datos de temperatura - salinidad no es sincrónico con los datos de fluorescencia y dispersión de luz por partículas. Además, estos últimos fueron tomados con diferente frecuencia. Para obtener un registro continuo de los parámetros de temperatura, salinidad, fluorescencia y dispersión de partículas a la misma profundidad, se hizo una interpolación lineal con tiempo para cada lance. La interpolación lineal se hizo posible por la tasa de hundimiento lento y constante del instrumento. De este procesamiento se obtienen archivos con *.dat*, que contienen datos de temperatura, salinidad, fluorescencia y dispersión de partículas al mismo tiempo y profundidad.

La Fig 8, ejemplifica el procesamiento con el perfil mo001. La Fig 8A, muestra el vector de cada parámetro antes de la interpolación en el eje vertical temperatura, salinidad, profundidad, backscattering y fluorescencia, y en el eje horizontal el número consecutivo de registro. En la Fig. 8B. los perfiles verticales interpolados de temperatura,

salinidad, profundidad, backscattering y fluorescencia (eje vertical), vs profundidad (eje horizontal).



**Figura 8.** Perfil 001 del minioptics: A. Datos no interpolados, se grafica el parámetro en el eje vertical y el numero consecutivo de registro en el eje horizontal. B. Datos interpolados con tiempo, se grafica presión (db) en el eje vertical y el parámetro interpolado en el eje horizontal.

Posteriormente los archivos *.dat*, entran a la rutina general que consiste en una serie de funciones que separan la subida y la bajada de cada lance, eliminan inversiones en profundidad, interpolan a presión constante, calculan densidad, obtienen los

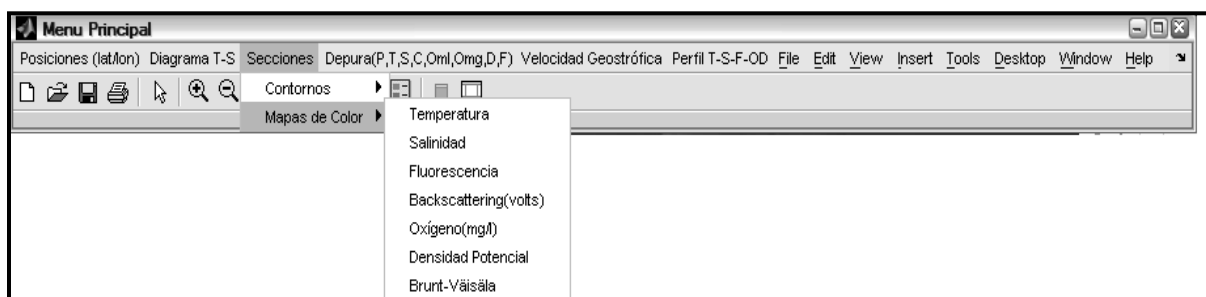
encabezados y escriben el archivo en formato de texto. El programa se corrió para 30 perfiles verticales. El formato del encabezado se muestra en la Fig. 9.

ESTACION	LANCE	LATITUD	LONGITUD	DD MM AA
est01	01	22 51.570	-109 51.234	01 03 05
HORA [UTC]	PROFTOT(m)	PROFLAN(m)	VIENTO: MAG(m/s)	DIR
01:57:36	-99.9	56.73	-99.9	-999
TEMPSUP(°C)	HR(%)	TEBUSE(°C)	INS	FUENTE: H.MASKE
-99.9	-99	-99.9	wetlabs	
P(db)	T(°C)	S(ups)	C(mS/cm)	Backs(volts)
				O(mg/l)
				Density (kg/m <sup>3</sup> )
				Fluor (volts)
				Tiempo (seg)

**Figura 9** Formato de encabezado y datos, seguido para 30 perfiles del minioptics.

#### II.I.VIII. Secciones Verticales.

Al final de este procesamiento se obtienen secciones verticales de los datos, estos fueron graficados con una modificación del programa *grafdat.m* escrito por (Cosío y Trasviña, 2000). Éste programa originalmente se creó para visualizar la triada temperatura, salinidad y presión. Modifiqué el programa original para visualizar además las variables biológicas de fluorescencia, oxígeno y dispersión de partículas. Este nuevo programa se llama *grafdat6* y su ventana interactiva se ilustra en la Fig 10.



**Figura 10.** Menú Principal de *grafdat6.m*

### II.I.IX. Cálculo de la velocidad geostrófica.

Se utilizó la rutina VELGEO (velocidad Geostrófica, escrita por Trasviña et al., (1999). Las matrices de temperatura y salinidad son interpoladas a tiempos conocidos. Se usa un nivel de referencia a 1000m de profundidad, porque se busca una región en la que la variación horizontal de densidad sea pequeña. Se utilizó el método de *mapeo objetivo* a través de la función *objmap* (parte del paquete SAGA de Kirill Pankratov, Woods Hole Oceanographic Institution), para especificar escalas de latitud y un error relativo en una función de correlación gaussiana “clásica”. Ésta función se utiliza para generar los mapas de temperatura y salinidad.

## II.II. CALIBRACIÓN.

Mediante una serie de regresiones lineales se intentó establecer una relación entre los tres fluorómetros (mV) y la concentración de clorofila ( $\text{mg m}^{-3}$ ), y también entre el sensor de partículas del minioptics (mV) y la concentración de seston ( $\text{mg m}^{-3}$ ). Para este fin, se correlacionan los datos de fluorescencia y partículas de cada sensor seleccionando los datos a las cinco profundidades diferentes (1, 25, 50, 75 y 100 m), éstas corresponden a la profundidad de donde se tomó la muestra de las botellas niskin, de las que se determinó la concentración de clorofila de los filtros. La Fig. 11 muestra las regresiones lineales entre la concentración de partículas y clorofila ( $\text{mg m}^{-3}$ ) señalada en el eje vertical y el voltaje de cada sensor representado en el eje horizontal.

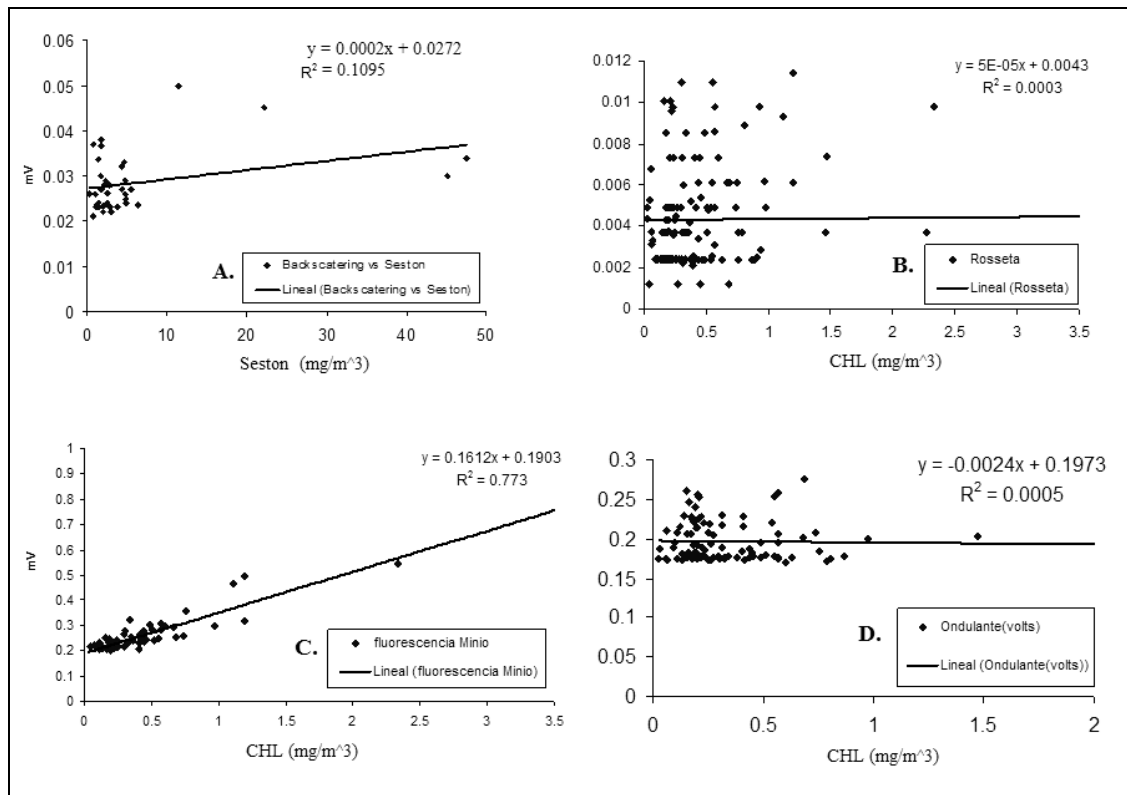
### II.II.I Dispersión de luz por partículas (mV) vs Concentración de partículas ( $\text{mg/m}^3$ ).

No se encontró una relación lineal entre la dispersión de partículas entre el sensor de partículas medida por el minioptics y la concentración partículas medida por el minioptics y el seston (Fig.11A). Creemos que esto se debe a que los filtros de fibra de vidrio utilizados no fueron adecuados, porque éstos absorben humedad e incrementan su peso. Se buscan diferencias de peso muy pequeñas comparadas con el peso del filtro, de tal manera que se encuentran errores grandes. Se recomienda la utilización de otro tipo de filtros.

### II.II.II. Fluorescencia (mV) vs. Concentración de Clorofila ( $\text{mg/m}^3$ ).

La relación entre los fluorómetros y la concentración de clorofila no es clara. Los datos de los fluorómetros del SBE911 (Fig. 11B) y SBE19 *plus* (Fig. 11D) muestran coeficientes de correlación lineal poco significativos respecto a la concentración de

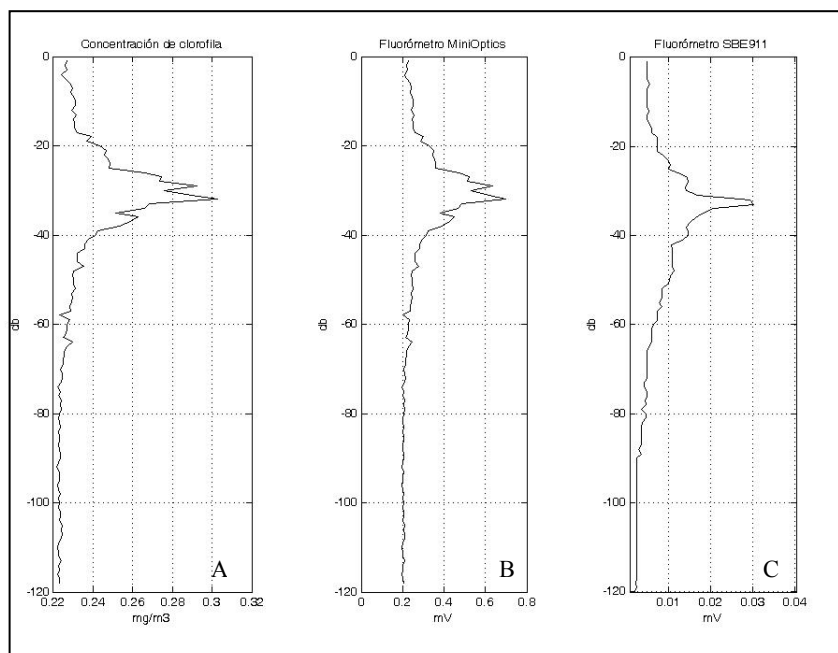
clorofila ( $R^2= 0.0003$  y  $R^2= 0.00005$  respectivamente); por otro lado, los datos del fluorómetro del minioptics si muestran un coeficiente de correlación alto respecto a la concentración de clorofila ( $R^2= 0.773$ ) (Fig. 11 C).



**Figura 11.** Regresiones lineales: A. Concentración de partículas vs dispersión de partículas con datos del Miniopitics. Eje horizontal de fluorescencia (mV): B. Fluorómetro de la Roseta (SBE9/11), C. Fluorómetro minioptics, D. Fluorómetro ondulante. En el eje vertical de B, C, y D, se grafica concentración de clorofila (mg/m<sup>3</sup>).

En resumen, el coeficiente de correlación de los fluorómetros del SBE911 y el SBE19 *plus* con respecto a la concentración de clorofila es bajo (figuras 11B y D). Sin embargo la correlación lineal entre la fluorescencia medida por el minioptics y las mediciones directas de clorofila es significativamente mejor ( $R^2=0.773$ , Fig. 11C).

Además, sí existe relación entre los perfiles de fluorescencia del miniOptics y los del SBE911. Como una primera aproximación se buscó establecer una comparación empírica tomando dos estaciones cercanas de ambos fluorómetros. Debido a que el primer lance de ambos instrumentos no es sincrónico. Resulta que la estación 1 del miniOptics corresponde en posición a la estación 2 del SBE911. (Checar tabla 11 y 12 de la sección anexos). Por esa razón se utiliza el perfil vertical de fluorescencia y clorofila calibrada de la estación 1 del miniOptics y el perfil de fluorescencia de la estación 2 del SBE911, tal relación se ilustra en la Fig 12. Esta relación es más evidente en la profundidad del máximo de clorofila (fig 12A) y en el máximo de fluorescencia (Fig 12 B, C).

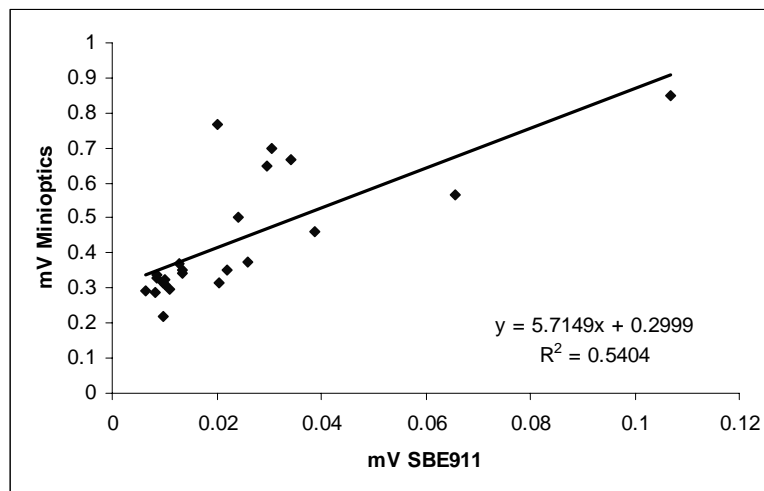


**Figura 12.** A. Perfil de clorofila calibrada ( $\text{mg m}^{-3}$ ); B. Perfil de fluorescencia (mV) de la Estación #1 del miniOptics; C. Perfil de fluorescencia (mV) de la Estación #2 del SBE911.

Como segunda aproximación en la Fig. 13 se muestra el cálculo de la relación entre la fluorescencia del sensor del miniOptics representado en el eje horizontal y la



fluorescencia del SBE911 correspondiente al eje vertical de la figura; se consideran únicamente los datos de fluorescencia en la profundidad del máximo de fluorescencia, en donde la señal es más fuerte. De tal manera que se establece un coeficiente de correlación relativamente alto ( $R^2 = 0.5404$ ). Ésto demuestra indirectamente una relación significativa entre los fluorómetros de ambos instrumentos. De tal manera que existe una relación lineal entre la fluorescencia y la concentración de clorofila. Ambos son proporcionales aunque no se conoce la relación exacta, de tal manera que se considera la profundidad de máxima fluorescencia (DFM) equivalente a la profundidad del máximo de clorofila (DCM). Ésta relación permite discutir las distribuciones de fluorescencia de los CTD's como una aproximación a la distribución de clorofila *a*.



**Figura 13.** Regresión lineal entre Fluorómetros (miniOptics vs. SBE911), en la profundidad del máximo de fluorescencia.

### II.III. RECONSTRUCCIONES GAUSSIANAS

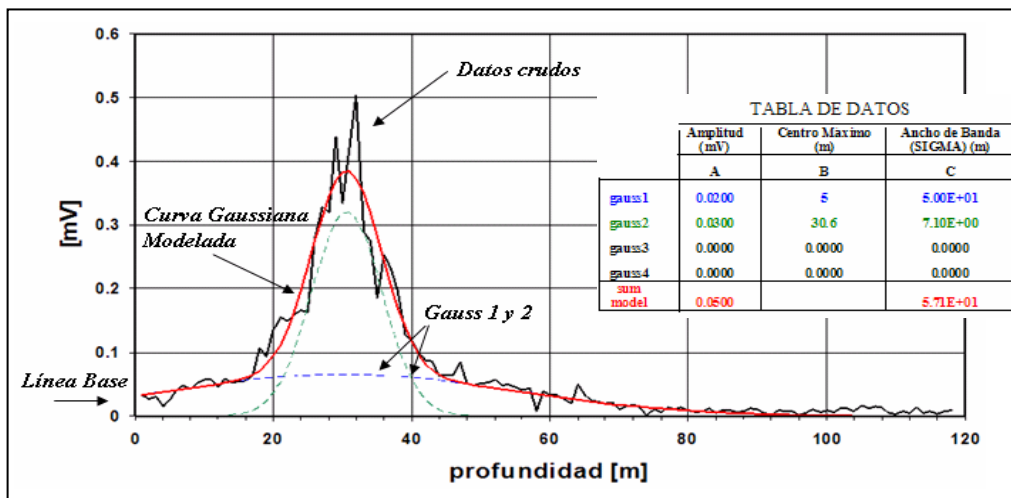
Las dificultades en estimaciones de productividad oceánica desde mediciones superficiales se incrementan debido a las diferencias regionales en la distribución vertical de la clorofila. Se parte de la suposición de que existe una distribución gaussiana que define la forma típica del perfil de clorofila, que es estable para una región dada en un periodo dado (Hidalgo-González, 2002).

Para inferir los perfiles de clorofila y partículas cuando estos perfiles verticales no son uniformes, como en el caso de aguas estratificadas, es posible adoptar un perfil típico. La forma de estos perfiles está siendo continuamente modificada como una función de las concentraciones de clorofila y partículas totales, sobre la base de esa hipótesis se utiliza un perfil Gaussiano generalizado (Lewis et al., 1983) que es adoptado para reconstruir los perfiles reales (Morel, et al., 1989). Este método a diferencia de otros (el filtrado, por ejemplo), evita la pérdida de información que puede ser confundida con ruido o sobreestimaciones.

La Fig. 14, muestra el diagrama que ejemplifica la reconstrucción para un perfil de fluorescencia de la estación 1. El proceso inicia con la extracción de la *línea base* a los datos reales. La línea base equivale al valor de la señal mínima registrada por el instrumento para cada parámetro. En fluorescencia fue de 0.195 mV, y para dispersión de partículas fue de 0.026 mV. Sobre estos valores se inicia el análisis; en el diagrama se indica como *datos crudos*. Posteriormente se realiza el cálculo de las curvas gaussianas a partir de las cuáles se inicia la reconstrucción. El modelo gaussiano parte de la ecuación:

$$\text{Gauss} = A e^{-((x-B)/C)^2} \quad (1)$$

En donde los parámetros: A(amplitud), B(profundidad del máximo) y C(ancho de banda, sigma) son ajustados iterativamente para obtener la máxima verosimilitud entre los mediciones y el perfil aproximado a partir a la suma de curvas gaussianas. Este tratamiento esta basado en el concepto que existen diferentes poblaciones de fitoplancton o partículas en la columna de agua y cada población tiene distribución vertical gaussiana con sus propios parámetros de profundidad máxima, ancho de banda y amplitud. Estos parámetros permiten la comparación numérica sencilla entre diferentes perfiles. Cada una de estas curvas se denomina *Gauss 1, 2, 3 y 4*, y están representadas por las líneas delgadas punteadas en el diagrama. Los valores de *A, B y C* se muestran en la tabla de datos del diagrama. Mediante la suma de las cuatro curvas gaussianas se obtiene un perfil modelado de los datos crudos, que diferencia cuantitativamente las variaciones en la profundidad y en el ancho de ambos máximos subsuperficiales. Se indica como *curva gaussiana modelada* y se muestra por la línea roja en el diagrama.



**Figura 14.** Diagrama de reconstrucción gaussiana modelada. Los valores de los parámetros A, B y C se muestran en la tabla de datos. La línea sólida señala los datos crudos. Las líneas punteadas señalan las dos curvas gaussianas que fueron necesarias para la reconstrucción de éste perfil. La línea roja muestra el perfil modelado.

Este procedimiento se realizó para los 30 perfiles verticales del minioptics de fluorescencia y dispersión de partículas, los gráficos se muestran en la sección de resultados.

### II.III. PERFILES DE IRRADIANCIA.

La irradiancia es un proceso fotoquímico que provee información acerca de cuanta luz disponible existe para la fotosíntesis, además expresa la cantidad de energía radiativa incidente por unidad de tiempo o área (Sakshaug et al., 1997). La profundidad en donde la irradiancia in situ es igual a 1% de la irradiancia superficial determina la profundidad de la capa eufótica ( $PAR_{Z_{eu}}$ ) (Kirk, 1994). La irradiancia descendente (ED) disminuye casi exponencialmente con respecto a la profundidad.

$$Ed(z)=Ed(0) e^{(-k_d z)} \quad (2)$$

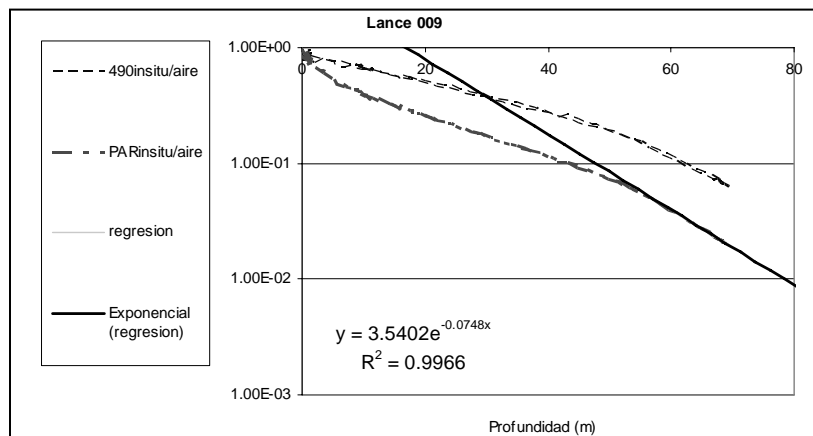
La ec. 2 indica valores de irradiancia descendente a  $Z$  metros de profundidad y justo debajo de la superficie, el coeficiente de atenuación vertical ( $K_d$ ) es el valor promedio de atenuación de luz sobre el intervalo de profundidad de 0 a  $Z$  metros. Las variaciones en  $k_d$  pueden corresponder a diferentes profundidades físicas pero a la misma disminución de la irradiancia en diferentes profundidades ópticas ( $Z_e$ ). La profundidad óptica es definida como el inverso de la atenuación vertical, ec. 3.

$$Z_e(m)=1/K_d \quad (3)$$

Mediante un radiómetro de 6 canales espectrales (*PRR 60*, Biospherical Instruments), se registraron perfiles de irradiancia. Se considera la relación entre la irradiancia descendente en el agua calculado para el espectro visible (400 hasta 700 nm) referida como *PAR in situ* y la radiación en el aire referida como *in situ/aire*. También aquí se considera la banda espectral a 490 nm. En algunos casos los perfiles de nuestros datos no llegan hasta 1% de luz, además se encuentra la dificultad en que el coeficiente de atenuación no es constante y la pendiente cambia con respecto a la profundidad. De tal manera que estimamos el nivel de 1% de luz extendiendo la curva de irradiancia con la

misma pendiente de las observaciones más profundas. Suponemos una disminución lineal de la irradiancia en la sección de la curva, usando la pendiente de los últimos 10 m de profundidad. En la Fig.15 se muestra un diagrama del método. En este ejemplo el 1% de Luz se estima llega hasta 80m de profundidad.

El registro de la irradiancia se hizo intermitentemente a lo largo del área, de tal manera, que se hace la descripción para cada perfil y la información se extrapola como una aproximación de distribución de la irradiancia a lo largo de la columna de agua de las regiones adyacentes. A partir de los datos de irradiancia se calculó la profundidad de la capa eufótica ( $Z_{PAR1\%}$ ), la profundidad óptica de la capa eufótica ( $Z_e$ ), la profundidad óptica de la profundidad del máximo de clorofila  $Z_{e(DCM)}$ , el coeficiente de atenuación de luz ( $k_d$ ) y el coeficiente de atenuación de luz a la profundidad del máximo de clorofila.



**Figura 15.** Perfil de Irradiancia del lance 009. El eje horizontal muestra la profundidad [m]; el eje vertical muestra la relacion entre luz en PAR in situ / PAR en aire. De esta manera 0.01 es igual a 1% de luz superficial.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

El análisis de los resultados se divide en tres secciones:

1. Hidrografía. En esta sección se presentan los resultados para cada transecto de lances de *CTD SBE 911* y *CTD SBE 19 plus*. Se muestran los diagramas TS contruidos con 130 perfiles verticales, mapas de color de secciones verticales, y las secciones de velocidad geostrofica calculada.

2. Perfiles de biología superficial. En ésta sección se muestran los resultados de 30 perfiles verticales de lances del minioptics. Se muestran los perfiles verticales de fluorescencia, partículas y densidad, analizados mediante reconstrucciones gaussianas y análisis de componente principal.

3. Modelo Fennel & Boss. Aplicado a los datos del crucero FDU0205. Se utiliza el modelo analítico, unidimensional de la <sup>1</sup>Dra. Katja Fennel y <sup>2</sup>Emmanuelle Boss del <sup>1</sup>Instituto de investigación Marina de Rutgers, NJ. Los autores brindaron la plataforma del código del modelo construido en MATLAB. Éste fue modificado y ajustado para los datos del crucero FDU0205. Para simular y enfatizar la importancia de los procesos de mezcla vertical en la posición de la profundidad del máximo de clorofila. Se probó con los datos del CTDSBE911.

### III.I. HIDROGRAFÍA.

La entrada al golfo de California (EGC) en el periodo febrero-marzo 2005, está caracterizada por la presencia de masas de agua de orígenes muy diversos (Trasviña et al., 1999). En el diagrama TS (Fig.16) se observa la convergencia superficial de tres masas de agua: 1. Agua Tropical Superficial (ATS). 2. Agua del Golfo de California (AGC) y 3. Agua de la Corriente de California (ACC).

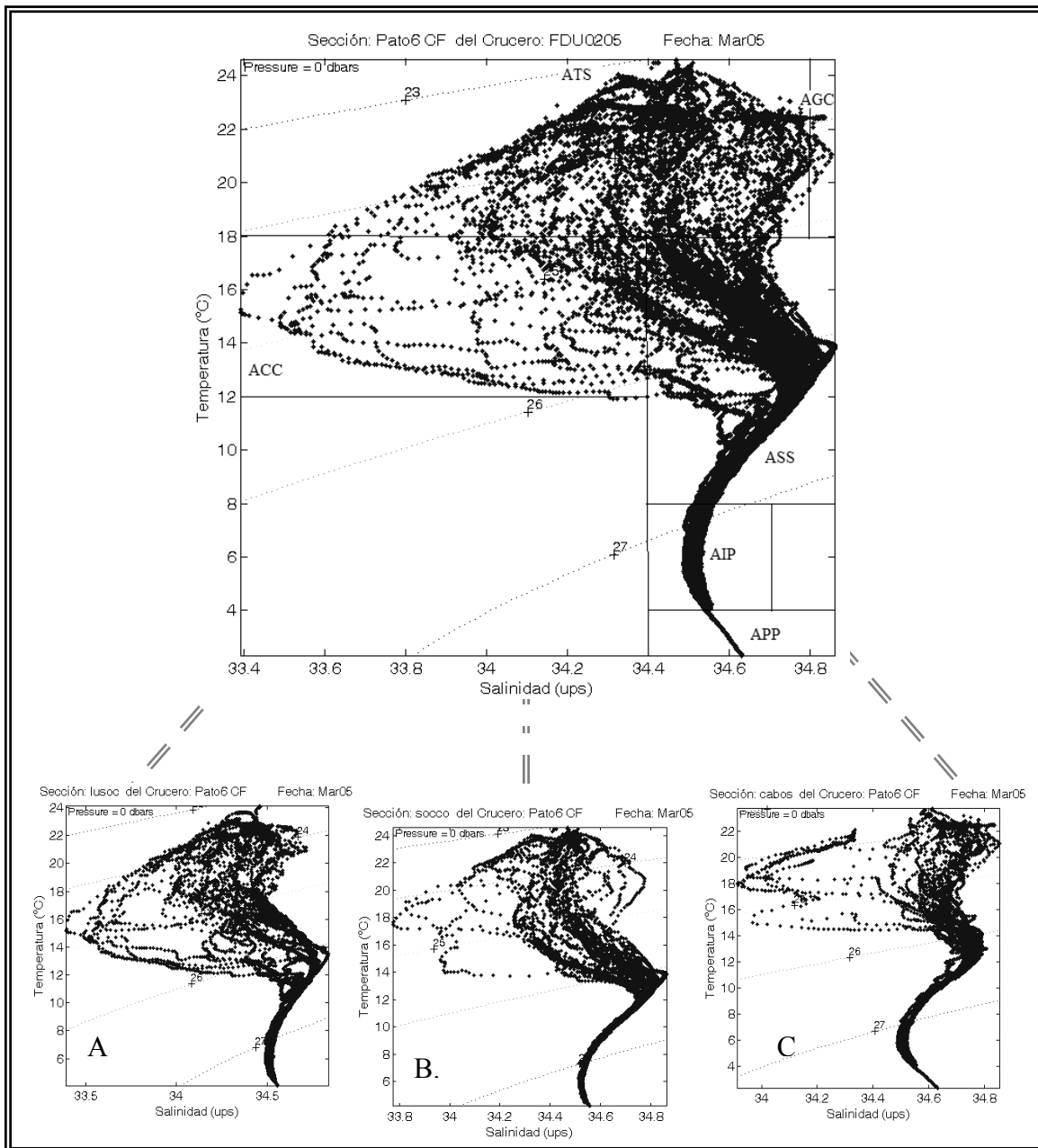
La región está ligeramente influenciada por ATS que se forma a miles de kilómetros al sur (Trasviña et al., 1999) y que contribuye mezclando temperaturas más altas de 18°C y salinidades más bajas que 34.5 usp. Otras zonas con temperatura ligeramente más baja presentan valores cercanos a los que definen a la masa de Agua del Golfo de California (AGC) más cálida de 18°C y con alta salinidad en el orden de 34.8 usp, este es un rango de salinidad más bajo que el típico pero normal en invierno, similar al que define (Castro et al., 2006) para la zona. La región presenta una gran influencia de aguas sub árticas superficiales (Faber-Lorda, 2004) del ACC, con temperaturas entre 12 y 18 ° C y salinidad baja entre 33.4 y 33.6 usp.

El mínimo de salinidad del ACC está muy pronunciado pero dentro de los rangos usuales. El máximo de salinidad en superficie también está por debajo de lo normal que observamos en Mayo o Junio pero es lo normal en invierno. Sucede que los vientos del Oeste producen una invasión de aguas transicionales de la extensión sur de la CC, hacia la entrada del Golfo de California. Estas no son, propiamente dicho, ACC pero sí contienen una buena proporción de ésta y contribuyen a disminuir las salinidades superficiales de la entrada. (Trasviña Com. Per.)



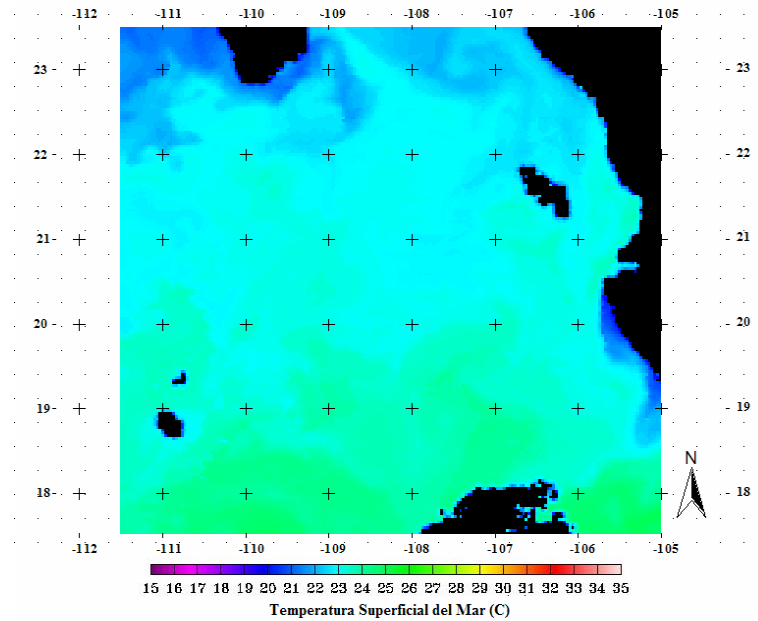
Por otro lado, debajo de la superficie se encuentra la señal de tres masas de agua: el Agua Subtropical Superficial (ASS), con salinidades arriba de 34.8 usp y temperaturas más cálidas de 12°C. En regiones más profundas se registra la señal de dos masas de agua con salinidades debajo de 34.6 usp, cuya diferencia en temperatura las distingue como: Agua Intermedia del Pacífico (AIP) y Agua Profunda del Pacífico (APP). En ambas las temperaturas oscilan encima/debajo de 4°C respectivamente (Fig 16).

Se construyó un diagrama TS para cada transecto. El transecto LUSOC (Fig. 16A) se construyó con 50 perfiles verticales de temperatura y salinidad. En superficie se muestra la influencia de una señal débil de ATS. El transecto predominantemente está influenciado por ACC. Y algunos perfiles muestran una señal del AGC. El diagrama TS del transecto SOCCO (Fig. 16B) fue construido a partir de 27 perfiles verticales de temperatura y salinidad. En superficie se muestra predominantemente la presencia de masas de agua en transición. Se señala la presencia débil de ATS, así como en algunos perfiles tienen influencia de remanentes de ACC y AGC. Sub-superficialmente se ubica ASS claramente definida. El diagrama TS del transecto CABOS (Fig.16C) se construyó a partir de 32 perfiles verticales de temperatura y salinidad. En superficie se observa la ausencia de ATS. En su lugar en algunas zonas la región está influenciada fuertemente por ACC, y en otros perfiles la influencia de AGC es evidente. (A. Trasviña com. Per.)



**Figura 16.** Diagrama TS de la Entrada al Golfo de California. Construido por 130 perfiles de CTD ondulante y SBE911. El Diagrama TS de cada sección se muestra en: **A.** LUSOC; **B.** SOCCO; **C.** CABOS. **ATS**-Agua Tropical Superficial. **AGC**-Agua del Golfo de California. **ASS**-Agua Subtropical Sub-superficial. **AIP**-Agua Intermedia del Pacífico. **APP**-Agua Profunda del Pacífico. Basado en la climatología de Castro, et al 2006.

En la entrada al Golfo de California este transporte se lleva a cabo mediante la formación de estructuras de mesoescala., debido a la confluencia de las masas de agua superficiales que funcionan como precursores de giros o filamentos (Trasviña et al., 1999). La caracterización superficial de la convergencia de estas masas de agua en el periodo, se observa en la imagen satelital de temperatura superficial del mar para la región (Fig. 17). Al sur de la región, entre los 20 y 18° de latitud norte (en verde claro), se muestra agua cálida consistente con la presencia de ATS, cuya influencia en superficie abarca la región desde Isla Socorro hasta la Costa Occidental Mexicana. Frente a la costa de Cabo Corrientes, entre los 20 y 19° de latitud Norte (en morado), se aprecia una masa de agua fría que se ubica a lo largo de la costa mexicana. Hacia el norte (en morado), frente a la costa de la península de Baja California se observa una lengua de agua fría, cuya influencia alcanza el interior del Golfo de California. En el centro de la región, entre 22 y 20 ° latitud norte (en verde-azul), se observan masas de agua con rasgos de temperatura intermedios entre las masas de agua típicas y son necesariamente producto de transición por mezcla.



**Figura 17.** Temperatura Superficial del Mar (TSM). Marzo 2005. Fuente MODIS-AQUA.

Los resultados de las variables hidrográficas que describen la dinámica de la interacción de las masas de agua en los 300 m superiores son descritos a continuación para cada transecto, la siguiente información refiere al CTD SBE911 y SBE 19 plus.

### III.I.I. Transecto LUSOC.

En la sección de temperatura (Fig 18A) se observa una termoclina de profundidad variable. De sur a norte (izquierda a derecha) entre 19° 00' y 20° 50' de latitud norte encontramos el domo característico de un giro de centro frío, con un diámetro aproximado de 150 km. Los giros fríos se caracterizan por tener rotación ciclónica, es decir, contra las manecillas del reloj. Siguiendo la regla de viento térmico, el flujo geostrofico en el hemisferio norte debe suceder con agua cálida a la derecha. Es decir, en el flanco norte del remolino el agua se dirige hacia el Oeste (hacia dentro de la pagina, valores negativos en Fig 19) y en el flanco sur del remolino el agua se dirige hacia el Este

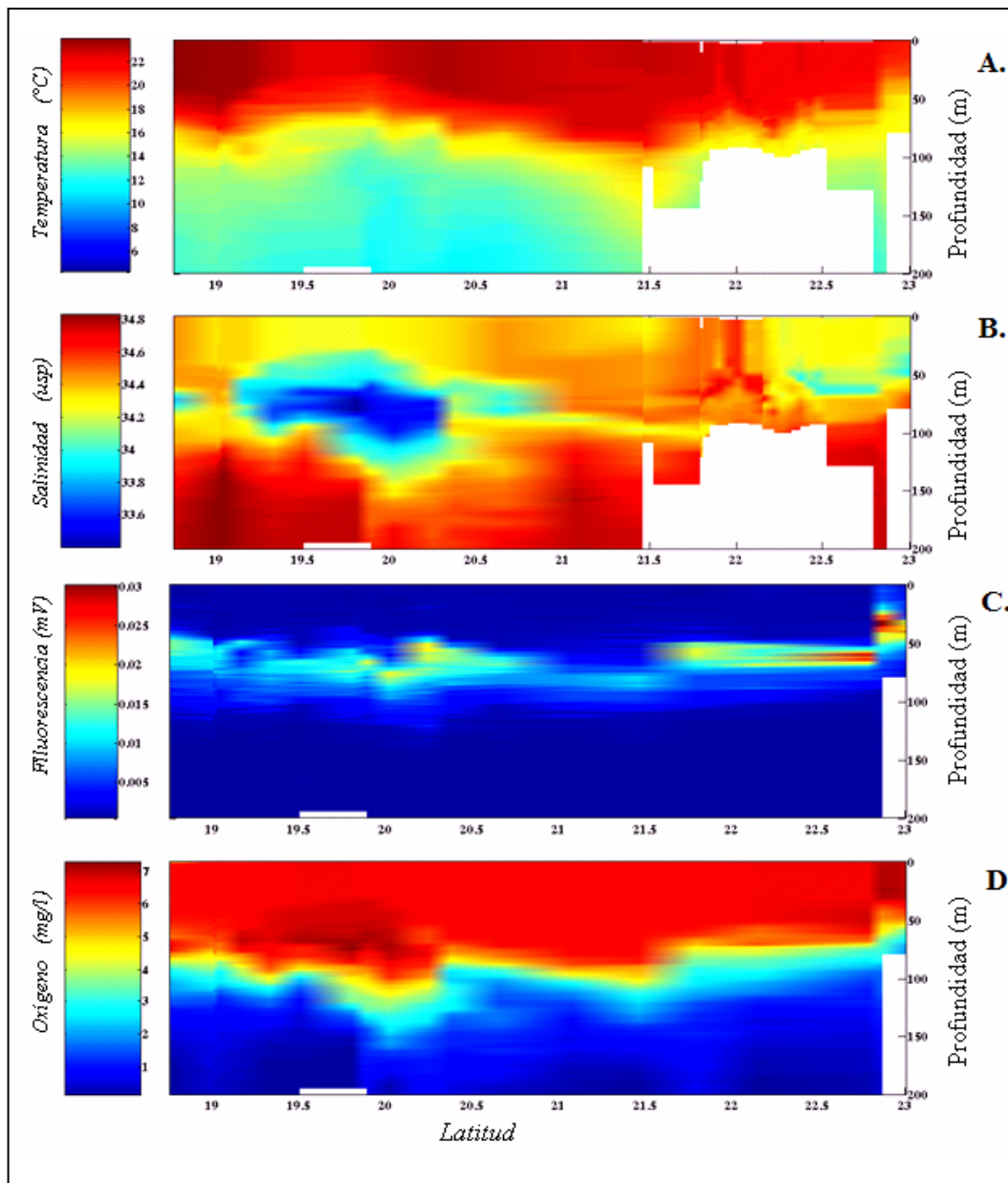
(hacia fuera de la página, valores positivos en Fig 19). En los flancos del giro la termoclina se encuentra entre 90 y 100 m de profundidad y a 60 m en la región central del remolino. Hacia el norte del giro entre  $21^{\circ}$  y  $23^{\circ}$  N la termoclina se eleva desde más de 120 m hasta menos de 60 m en la costa de Cabo San Lucas. Esta elevación corresponde a una corriente que se dirige hacia el Este muy cerca de Cabo San Lucas en el extremo norte de la sección, como se discute en la sección de corrientes geostroficas.

En la sección de salinidad (Fig 18B) se observa un núcleo de baja salinidad (33.3-33.7) en el centro del giro, esta característica se difunde, diluyendo gradualmente su salinidad hacia los extremos del remolino. En el norte del transecto se muestra una señal débil de una masa de agua somera de baja salinidad (33.9 -34.2 usp) que sigue la misma pendiente de la termoclina. La CC se manifiesta aquí y en esta época del año como un flujo subsuperficial intenso con agua fría, de baja salinidad, característica que será descrita en más detalle en la sección CABOS.

En la sección de fluorescencia (Fig. 18 C) se observa una capa subsuperficial de máxima fluorescencia. Éste corresponde al DCM o máximo profundo de clorofilas, - cómo se demuestra en la sección de calibraciones. En ésta región se registran valores en un rango de 0.012-0.030 mV. La profundidad del DCM cambia en profundidad y en concentración en función de la presencia de corrientes y estructuras de mesoescala. La profundidad DCM sigue cercanamente la forma de la termoclina. Hacia el norte del transecto en la región de influencia de la corriente de chorro frente a la Costa de Cabos San Lucas, se registra la señal máxima de fluorescencia, un rango entre 0.02 y 0.03 mV, para el transecto. El DFM se ubica entre 40 y 60m siendo más somero cercano a la costa.

En el resto del transecto en las regiones donde no hay estructuras la capa de máxima fluorescencia permanece con valores muy bajos de alrededor de 0.008 mV.

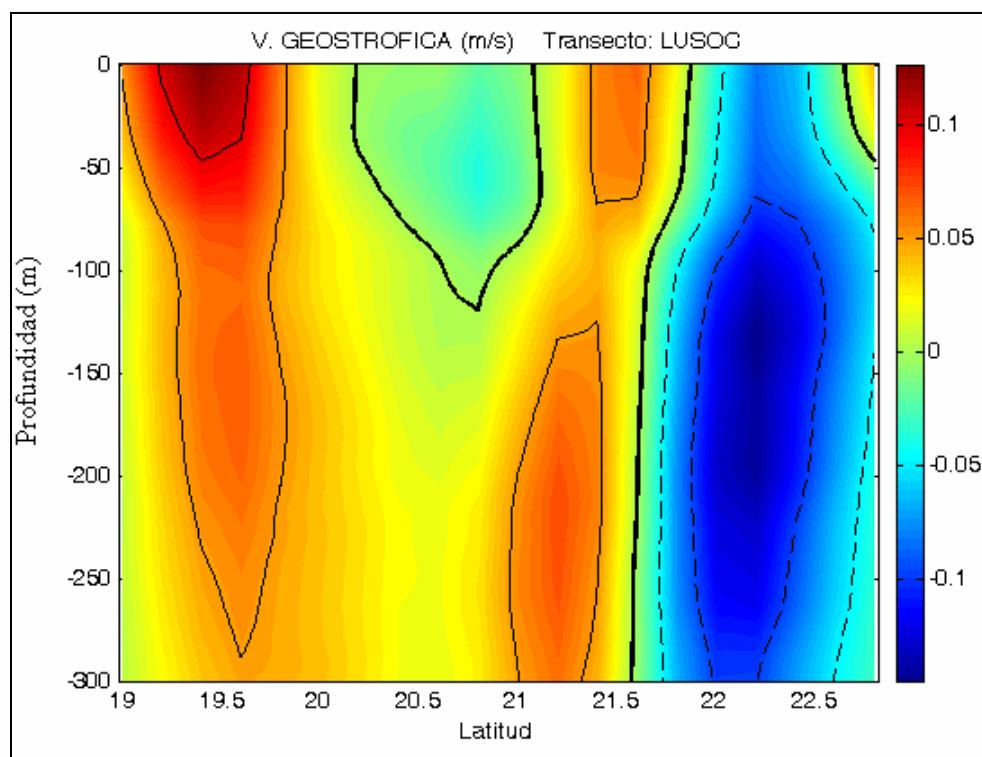
La sección de oxígeno (Fig. 18 D) define el perfil típico; con una región bien oxigenada en la capa de mezcla (4.1 a 5.1 mg/l); una región de gradiente, llamada oxiclina, que se ubica en el fondo de la capa mezclada y que coincide también con el fondo de la termoclina, excepto en el caso del giro frío. Debajo de la oxiclina se encuentra una región hipóxica. Las características más notables de la sección se observan en el centro del remolino y en el extremo norte del transecto, en la región de la corriente de chorro. Allí se registran las concentraciones más elevadas de oxígeno disuelto (OD 4.8-5.1 mg/l) de toda la sección. Debe notarse también que la distribución de OD en el remolino sigue más cercanamente a la distribución de salinidad. Esto es evidencia adicional del origen del agua del remolino en la masa de agua de la CC.



**Figura 18.** Secciones verticales a lo largo del transecto LUSOC de CTD SBE 911 y SBE19 plus. En cada figura, el eje horizontal señala la profundidad desde superficie hasta 200 m; el eje vertical muestra latitud, el norte se ubica a la derecha. Mapas de color de **A.** Temperatura (°C). **B.** Salinidad (usp). **C.** Fluorescencia (mV). **D.** Concentración de Oxígeno disuelto ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ).

La sección de velocidad geostrofica (Fig. 19.) muestra que el campo de velocidad del transecto varía entre  $-0.15$  y  $0.15 \text{ m s}^{-1}$ . Hacia el Norte del transecto, la corriente de chorro descrita frente a la Costa de Cabo San Lucas, se observa como un flujo superficial

que se desplaza hacia el sureste a velocidades que van desde 0.15 a 0.01  $\text{m s}^{-1}$  desde su centro hasta sus extremos del mismo. En la región del remolino se observa la interacción de dos flujos; el del sur con centro en  $19.5^{\circ}\text{N}$  es más intenso, se mueve hacia el Este (hacia fuera de la página) a una velocidad entre 1.5 y 0.5  $\text{m s}^{-1}$  desde el centro hasta los extremos del mismo; el del norte con centro en  $20.8^{\circ}\text{N}$  es más débil se mueve hacia el Oeste (hacia dentro de la página) con velocidades entre 0.01 y 0.06  $\text{m s}^{-1}$ . Este campo de circulación describe un remolino ciclónico, es decir, en el que las corrientes horizontales giran en sentido contrario a las manecillas del reloj. Su influencia en el campo de velocidad se observa en toda la sección desde superficie hasta 300m de profundidad.



**Figura 19.** Sección de velocidad del transecto LUSOC. Velocidad geostrofica ( $V_{\text{geo}}$ ) calculada de datos de lances tradicionales de CTD y CTD Ondulante. La escala de color indica valores desde -1.5 (dirección Oeste) hasta 1.5 (dirección Este) La línea gruesa representa 0. Líneas continuas/punteadas representan positivos/negativos.



Resumiendo, el transecto LUSOC presenta la confluencia de masas de agua en transición. Éstas conservan propiedades que permiten identificarlas como ATS, AGC y ACC. Se observan dos estructuras de mesoescala en la región. La primera es una corriente de chorro muy angosta que avanza hacia el interior del golfo de California, frente a la costa de la península de Baja California. Esta corriente se manifiesta como un flujo superficial intenso con agua fría, de baja salinidad, característica del ACC. La segunda estructura es de mayor tamaño y se produce por la confluencia del ACC y ATS generando un remolino frío de circulación ciclónica, ubicado en el extremo sur del transecto, frente a la costa de Isla Socorro. El efecto de ambas estructuras en el máximo de fluorescencia se manifiesta en el incremento de la señal de fluorescencia y consecuentemente de la concentración de clorofilas en el DCM. El remolino ciclónico y frío acarrea aguas de la corriente de California a esta región de confluencia. El remolino frío contiene agua de la CC, alta concentración de oxígeno hacia el centro del giro, lo que produce condiciones favorables para incrementar las concentraciones de clorofila, evidentes a partir de su firma en fluorescencia, asociados a la estructura. La señal de fluorescencia en el interior del remolino no es simétrica, es mas intensa en su flanco sur. Aunque un estudio mas detallado de la dinámica del remolino esta fuera del alcance de este trabajo, esta distribución indica la posible presencia de una región de convergencia en el interior del remolino. El efecto del giro ciclónico en la región, pone de manifiesto el potencial de los remolinos fríos para estimular la producción biológica. Los remolinos ciclónicos son regiones de gran estabilidad vertical de la columna de agua. Dentro de ellos las aguas frías de alta productividad tienden a avanzar dentro con ellos y se convierten en grandes parches de clorofila (Miller, 2004). Los resultados sugieren que el

efecto principal, es el transporte de agua fría, menos salada, enriquecida en nutrientes hacia el interior de la capa eufótica. Este proceso tiene efectos similares a una surgencia costera, porque estimulan la productividad primaria de aguas superficiales muy por encima de los valores promedio (Mann y Lazier, 1991).

### III.I.II. Transecto SOCCO.

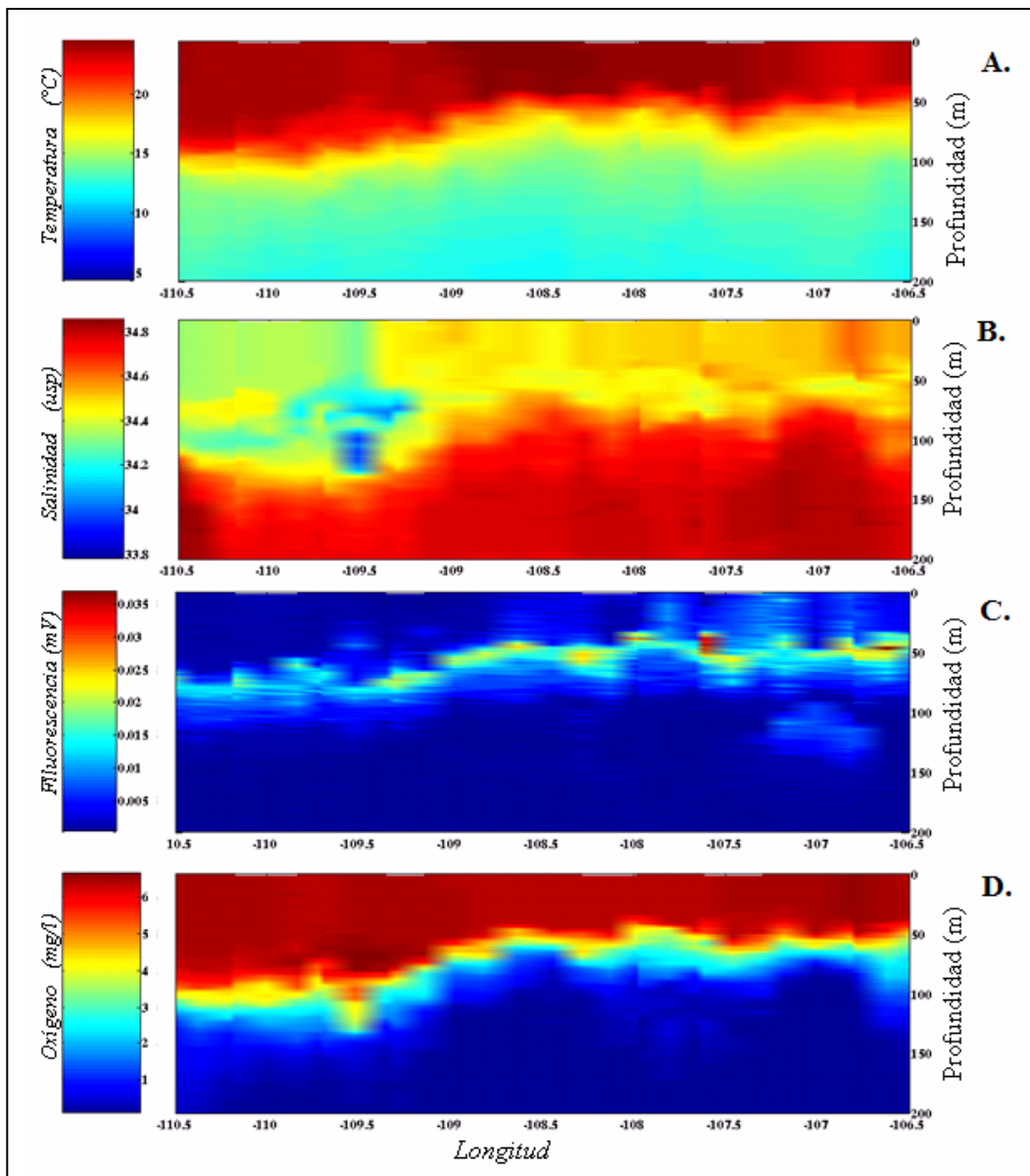
La sección de temperatura (Fig. 20A) muestra un panorama muy diferente al de la sección LUSOC. Aquí la capa de mezcla alcanza profundidades entre 60 y hasta 100m. De Oeste a Este (de izquierda a derecha) entre  $-110^{\circ} 50'$  y  $-109^{\circ} 00'$  W se observa una depresión profunda en la termoclina, su centro alcanza los 100m de profundidad y en los flancos la termoclina se eleva hasta 60 o 70 m. Esta representa un giro cálido con un diámetro estimado de 170km. Estos giros se caracterizan por tener rotación anticiclónica, es decir, se mueven en el sentido de las manecillas del reloj. Hacia el Este del giro, es decir hacia la costa del continente, la termoclina es mucho más plana y solo presenta oscilaciones de pequeña escala que no se pueden describir en detalle con este muestreo.

La sección de salinidad (Fig. 20B) se muestra un núcleo de baja salinidad (33.8-34.2 usp) en el flanco oriental del giro. Ésta masa de agua es agua en transición proveniente del ACC. Se desplaza hacia el Este sobre la capa de mezcla, mezclándose con una masa subsuperficial de agua de alta salinidad (34.6-34.8). Esto también es un raro ejemplo de la ventilación de la masa de agua Subtropical Subsuperficial (ASS, ver Fig 16B del diagrama TS) al mezclarse con aguas de la CC en el interior de este remolino.

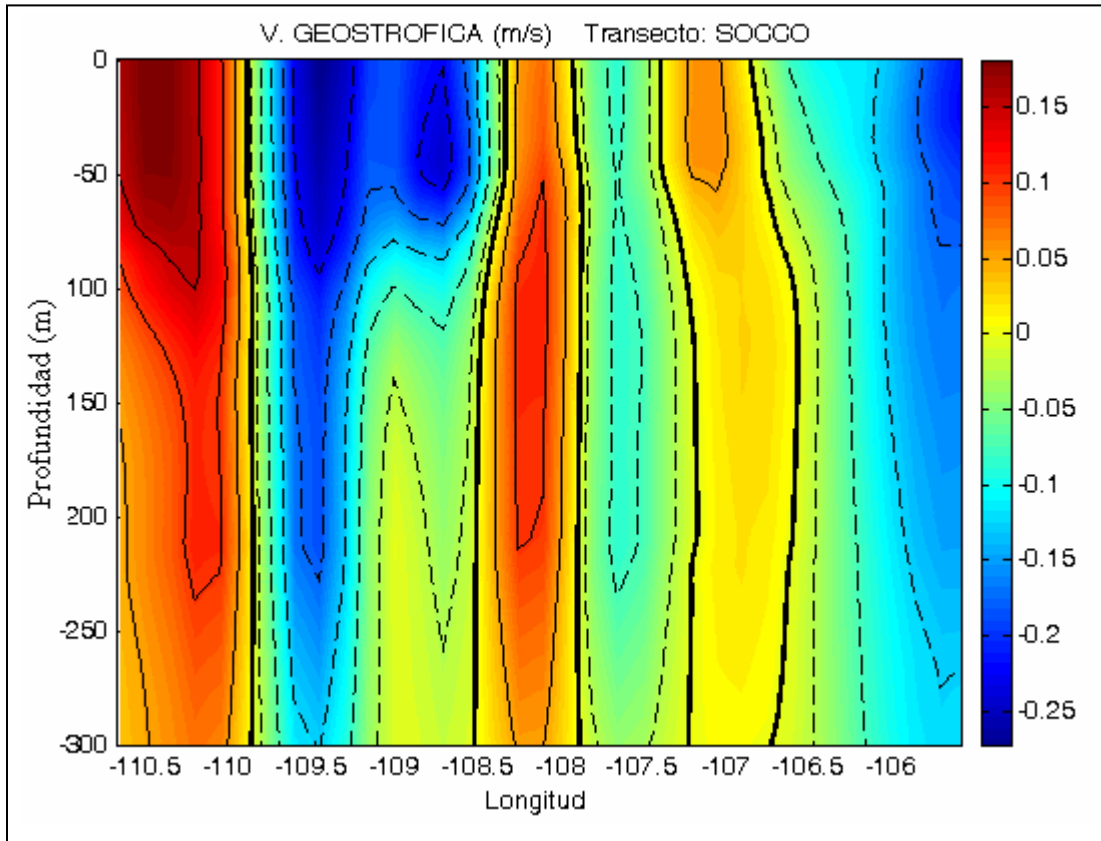
En la sección de fluorescencia (Fig. 20C) se observa una DCM con valores de fluorescencia entre 0.0085 y 0.035 mV. La profundidad del DCM varía a lo largo del transecto y corresponde a la profundidad de la termoclina. De nuevo la profundidad del DCM se encuentra un poco por encima de la base de la termoclina. Dentro del remolino calido, la intensidad del DCM disminuye significativamente con respecto al resto del transecto. La fluorescencia alcanza valores menores a 0.01mV. Dentro de un giro cálido aumenta el grosor de la capa de mezcla y se producen condiciones oligotróficas. En la vecindad del remolino el agua fría con altos niveles de nutrientes se encuentra a mayor profundidad. Aunque no tenemos datos de nutrientes se sabe que también la nutriclina se hunde en el interior de un giro calido (Mann y Lazier, 1991). En la frontera Este del giro la intensidad de la fluorescencia aumenta un poco a 0.013 mV. Este podría explicarse por la existencia de una región de divergencia de las corrientes superficiales. Este es un patrón de circulación que ya ha sido observado en los giros anticiclónicos. Yentsch y Phinney (1985) reportan en la parte mas externa de un giro anticiclónico una región de alta velocidad que forma una “*pared fría*” en donde existe transporte de agua a lo largo de las isopícnias permitiendo el surgimiento de nutrientes (Mann y Lazier, 1991).

En la sección de oxígeno (Fig. 20D) la capa de mezcla tiene concentraciones de oxígeno altas entre 5.8-6.7 mg/l y la oxiclina sigue la forma de la termoclina. Debajo de ésta región las condiciones son hipóxicas con concentraciones de oxígeno entre 0.1 -1 mg/l. Dentro del remolino anticiclónico se observan un incremento del OD en el flanco de baja salinidad. Esto es consistente con la existencia de una región de divergencia en el interior del giro, capaz de producir intercambio vertical y por tanto, incremento en las concentraciones de OD.

En la sección de velocidad geostrófica (Fig. 21) la región del giro a los 110 W muestra un flujo que se mueve hacia el norte (hacia adentro de la página), con velocidades entre  $0.15 \text{ m s}^{-1}$  y entre 109.5 W, se observa la interacción de un flujo hacia el Sur (hacia fuera de la página) de hasta  $-0.25 \text{ m s}^{-1}$  en el flanco opuesto del remolino. La influencia del remolino alcanza una profundidad mayor a los 300m. En el resto del transecto la circulación alterna direcciones y es mucho más débil que en el remolino. Estas variaciones constituyen oscilaciones de pequeña escala que no se pueden describir en detalle con este muestreo.



**Figura 20.** Secciones verticales a lo largo del transecto SOCCO. El eje horizontal señala la profundidad desde superficie hasta 200 m; el eje vertical muestra longitud. Mapas de color de **A.** Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ). **B.** Salinidad (usp). **C.** Fluorescencia (mV). **D.** Concentración de Oxígeno disuelto ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ).



**Figura 21.** Sección de Velocidad transecto SOCCO. **A.** Velocidad geostrofica ( $V_{geo}$ ) calculada de datos de lances tradicionales de CTD. La escala de color indica valores desde  $-0.25$  hasta  $0.15\text{ms}^{-1}$ , hacia el norte y hacia el sur respectivamente. La línea gruesa representa 0. Líneas continuas/punteadas representan valores positivos/negativos.

Resumiendo, en el transecto SOCCO de nuevo se observa la formación de una estructura de mesoescala, producida por el encuentro de una masa de agua cálida, de alta salinidad proveniente del ATS y la masa de agua de la CC. En un flanco del remolino calido hay evidencia consistente con la presencia de una región de divergencia de las corrientes horizontales. Esta región de divergencia se revela de manera indirecta por una amplia zona de baja salinidad, y de concentraciones relativamente altas de oxígeno disuelto, en el flanco oriental del remolino. Allí también se observan valores mas bajos en la fluorescencia de la DCM.

### III.I.III. Transecto CABOS.

En la sección de temperatura (Fig. 22A) la característica más conspicua esta representada en el extremo occidental de la sección entre  $-109.5$  y  $-109^\circ$  W, allí se encuentra una pendiente abrupta hacia la superficie y hacia la costa de Baja California. Ésta estructura define una corriente de chorro, somera e intensa que muestra características hidrográficas muy distintas al resto de la sección. Siguiendo la regla del viento térmico, el flujo geostrófico en el hemisferio norte debe suceder con agua caliente a la derecha. Lo anterior implica que la corriente se dirige hacia el interior del Golfo de California es decir, hacia dentro de la página (ver también la Fig. 23). En el centro del transecto, entre  $-108.5$  y  $-107^\circ$  longitud Oeste, se observa un giro cálido, con un diámetro estimado de 100km. El giro se observa como una depresión de la termoclina hasta los 120m, en los flancos del giro la termoclina se eleva hasta 50m de profundidad. Los detalles de su circulación se describen en la sección de velocidad geostrófica (Fig. 23).

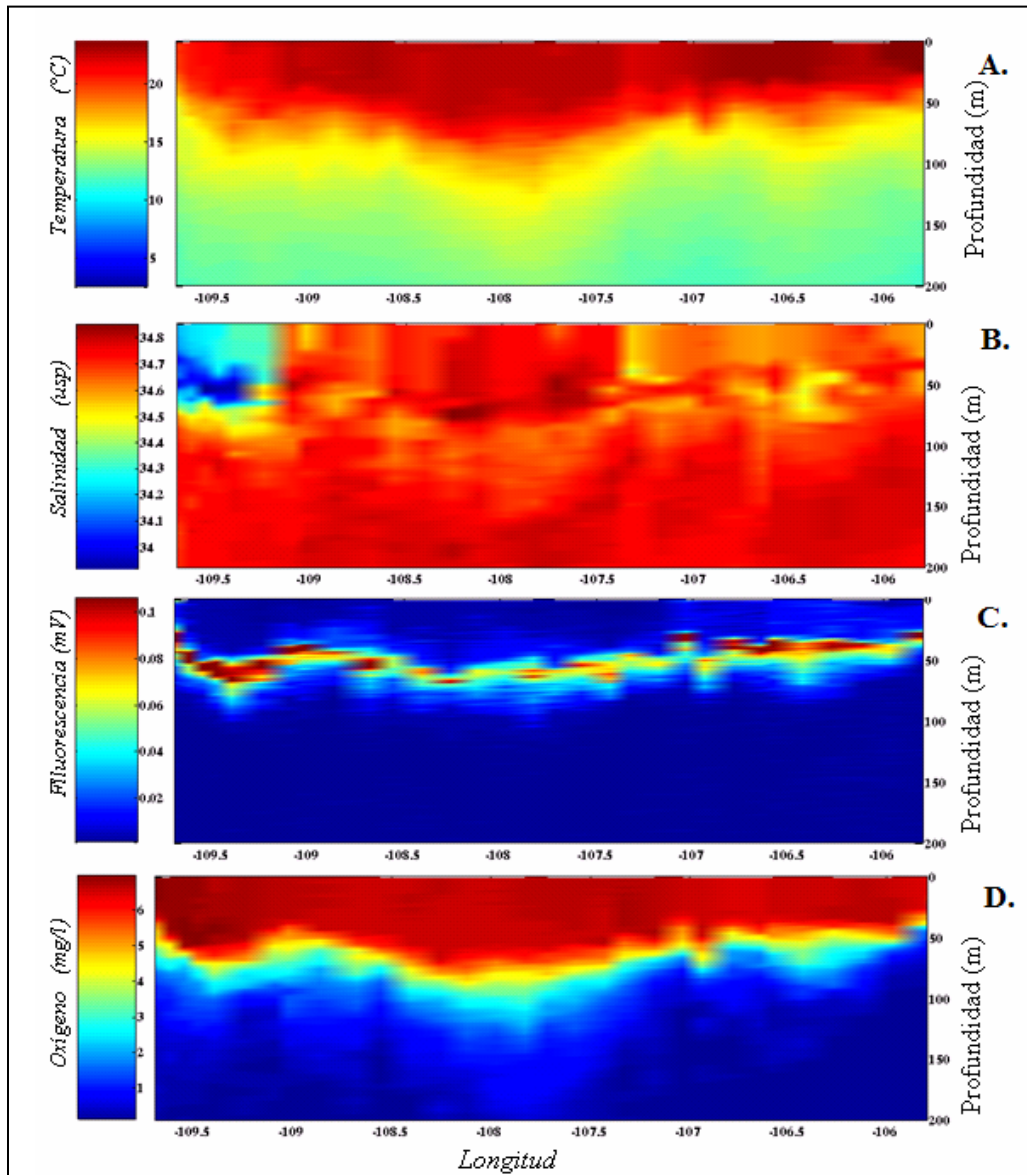
En la sección de salinidad (Fig. 22B) la corriente de chorro muestra una intrusión de agua de baja salinidad proveniente de la CC. En la región del giro se encuentran aguas con alta salinidad (34.85  $\sigma_t$ ) que probablemente provienen del interior del Golfo de California donde la salinidad es típicamente mas alta que en la entrada.

En la sección de fluorescencia (Fig. 22C) la señal de fluorescencia del DCM sigue la base de la termoclina y registra valores en el rango de 0.05 a 0.1mV. La intrusión de la corriente de chorro que transporta aguas comparativamente frías y menos salinas produce una estructura frontal. El agua del chorro es presumiblemente rica en nutrientes y es por esto que se incrementa la intensidad del DCM y que la señal de fluorescencia alcanza

valores relativamente altos de 0.08 a 0.1 mV. Los frentes son reconocidos como una interfase entre dos masas de agua donde la producción de fitoplancton, zooplancton y peces es particularmente alta (Mann y Lazier, 1991). En la región del giro cálido, en donde la capa de mezcla se hace más profunda, se observa la disminución drástica de la señal de fluorescencia (0.036 mV) y disminuye la intensidad de la DCM. La presencia de altas salinidades indica que las aguas provienen del interior del golfo y esto es consistente con las bajas concentraciones de clorofila que se observan en la región del DCM.

La sección de concentración de oxígeno (Fig.22D) muestra que las concentraciones de oxígeno más elevadas (5.2-6.5 mg/l) se localizan dentro de la capa mezclada superficial, pero están directamente vinculadas a la región de la corriente de chorro. Los máximos son subsuperficiales y se alinean claramente con la base de la termoclina en la región frontal. En el remolino cálido el oxígeno disuelto presenta valores mínimos bajo su núcleo y la oxiclina se observa más plana que la termoclina. En el resto del transecto la distribución de oxígeno muestra perfiles típicos, en donde la capa de mezcla es una región bien oxigenada, la oxiclina se ubica en el fondo de la capa mezclada y debajo de ésta los valores disminuyen drásticamente.



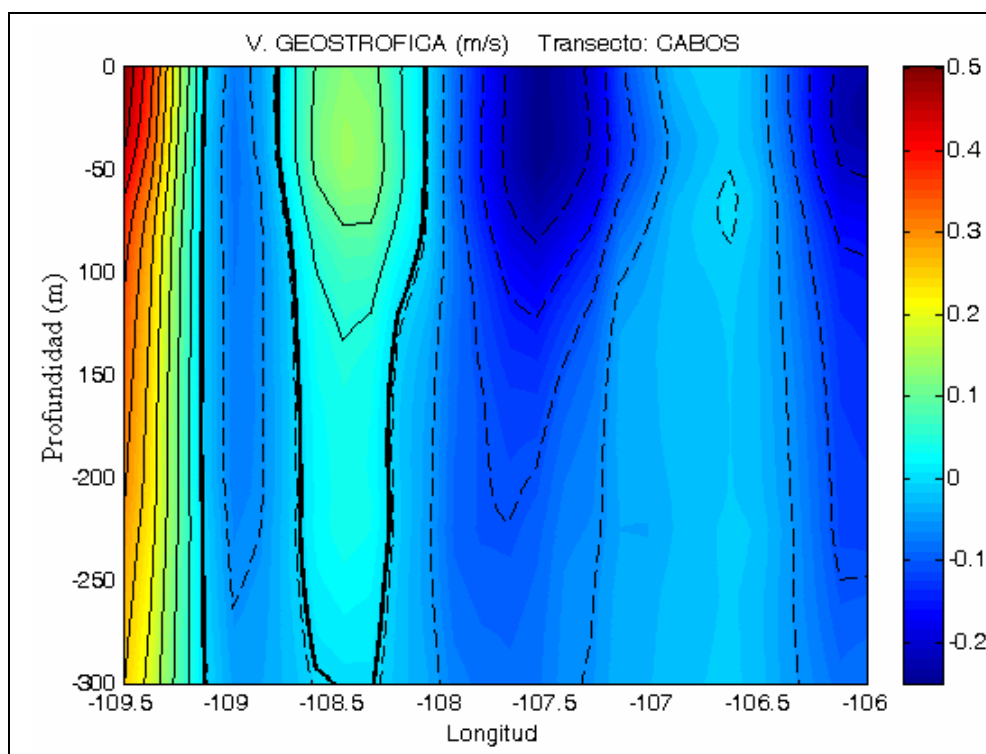


**Figura 22.** Secciones verticales a lo largo del transecto CABOS. El eje horizontal señala la profundidad desde superficie hasta 200 m; el eje vertical muestra longitud. Mapas de color de **A.** Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ). **B.** Salinidad (usp). **C.** Fluorescencia (mV). **D.** Concentración de Oxígeno disuelto ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ).

En el campo geostrófico de velocidad (Fig.23) la corriente de chorro se caracteriza por un flujo intenso ubicado frente a la costa de Cabo San Lucas. Dirigiéndose hacia el interior del Golfo de California a una velocidad que alcanza  $0.5 \text{ m s}^{-1}$  cerca de la costa. En la región del remolino se observan flujos casi simétricos con

centro en  $108^{\circ}\text{W}$ . Hacia el Este el flujo se dirige hacia al interior del Golfo a una velocidad que alcanza  $0.25 \text{ m s}^{-1}$  y al Este del núcleo las velocidades se dirigen hacia fuera del Golfo y alcanzan  $0.2 \text{ m s}^{-1}$ . Esta circulación define un giro anticiclónico. Su influencia en el campo de velocidad se observa hasta 300m de profundidad, siendo más intenso en los primeros 100m. Hacia el Este del transecto, frente a la costa de Cabo

Corrientes se observa un flujo hacia fuera del Golfo con velocidades entre  $0.1$  y  $-0.2 \text{ m s}^{-1}$



**Figura 23.** Secciones de Velocidad transecto CABOS. Velocidad geostrofica ( $V_{\text{geo}}$ ) calculada de datos de lances tradicionales de CTD. La escala de color indica valores desde -0.2 hasta 0.5. La línea gruesa representa 0. Líneas continuas/punteadas representan positivos/negativos.

Resumiendo, en la región se observan dos estructuras de mesoescala. La primera es el chorro costero en la costa de Baja California, lleva agua fría de baja salinidad y altas concentraciones de oxígeno hacia el interior del Golfo de California. La segunda es el

giro calido que se observa en el centro de la sección. En el centro del giro se encuentra una masa de agua de alta salinidad y la presencia del remolino hunde la capa de mezcla. Ello genera condiciones oligotróficas en una amplia región del interior de la sección. En tales condiciones la intensidad de la señal de fluorescencia en el DCM disminuye drásticamente. En contraste, la región de influencia de la corriente de chorro, produce una región de gradiente que incrementa de manera dramática la señal de fluorescencia en la DCM. Éste incremento resulta de la advección de aguas de alta productividad de la CC hacia el interior del Golfo de California.

### III.II. PERFILES DE IRRADIANCIA.

El registro del PRR600 se hizo intermitentemente a lo largo de los transectos, de tal manera que la posición de cada perfil de irradiancia se comparó con la posición del SBE 911 para ubicar geográficamente los perfiles que servirán como estimaciones de las propiedades ópticas inherentes y de otros parámetros intrínsecos a estas propiedades, tales como, la profundidad de la capa eufótica ( $Z_{PAR\ 1\%}$ ), el coeficiente de atenuación de luz ( $k_d$ ), la profundidad óptica de la profundidad del máximo de clorofila  $Z_{e(DCM)}$  y el coeficiente de atenuación de luz a la profundidad del máximo de clorofila  $k_{d(DCM)}$ . Los resultados se muestran en la Tabla III (también ver tabla XVI en anexos).

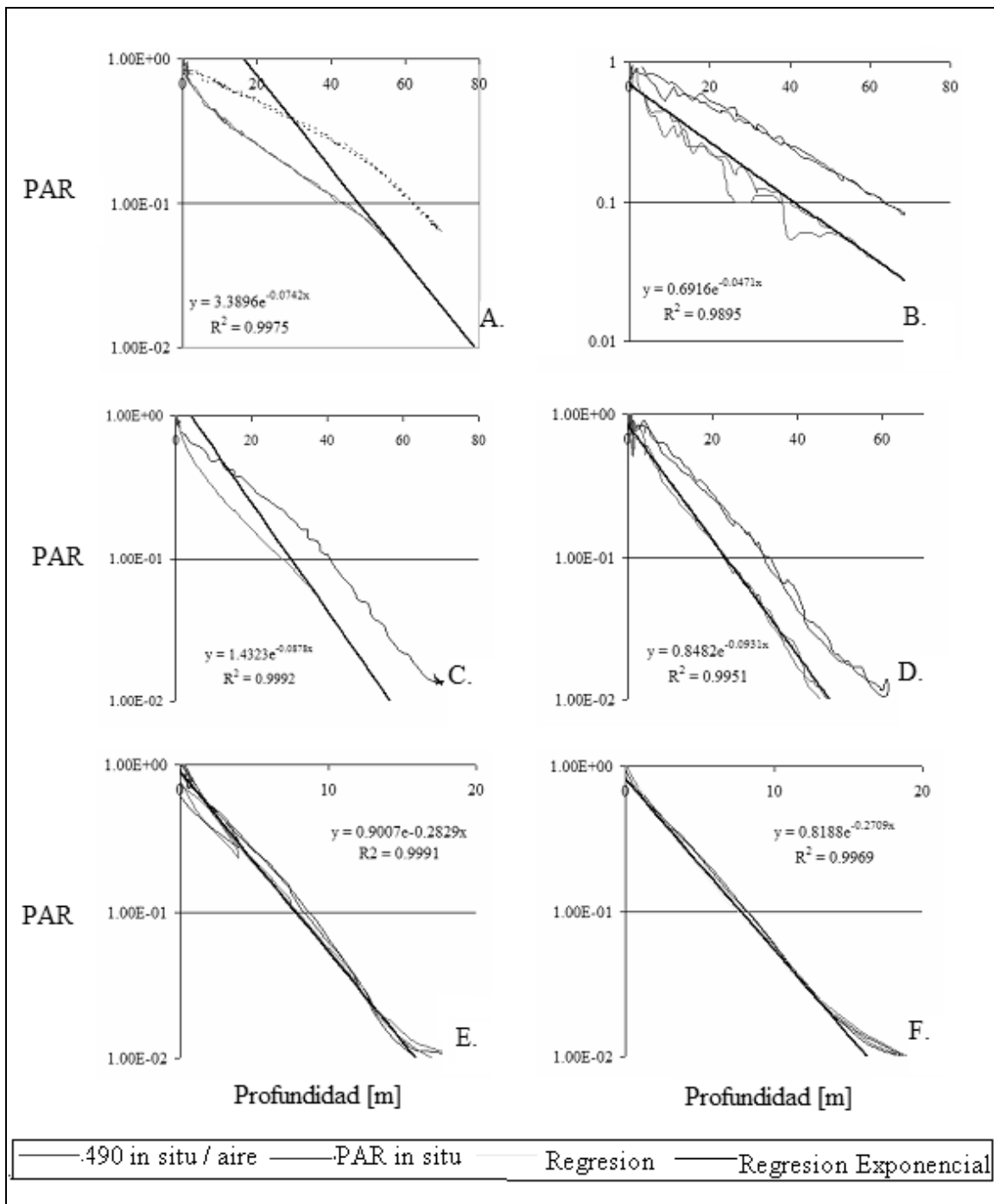
**Tabla III.** Datos Ópticos del Instrumento PRR 600. Se muestra el numero de lance (ID), la fecha, hora (UTC) y la profundidad a la que  $Z_{PAR=1\%}$ . La profundidad óptica del DCM. La fracción de luz superficial del DCM y el coeficiente de atenuación en el DCM ( $k_{d(DCM)}$ ).

ID	Fecha (dd mm aa)	Hora (UTC)	Z PAR=1% (m)	$Z_{(DCM)}$ [m]	$Z_{e(DCM)}$	Fracción de luz superficial del DCM	$K_{d(DCM)}$ [1/m]
Lance 009	02 03 05	18:55	78	58	3.09	0.0457	-0.0532
Lance 032	04 03 05	19:03	81	73	3.59	0.0277	-0.0491
Lance 044	05 03 05	19:27	56.5	51	4.14	0.0159	-0.0691
Lance 056	06 03 05	19:20	47.75	32	3.22	0.039	-0.0753
Lance 059	07 03 05	21:50	16	30	5.82	0.003	-0.0782
Lance 071	09 03 05	21:27	50.67	42	3.88	0.0206	-0.0628
Lance 083	10 03 05	20:07	67.5	55	4.3	0.010	-0.0628
Lance 094	11 03 05	20:08	57	41	2.78	0.0621	-0.0656

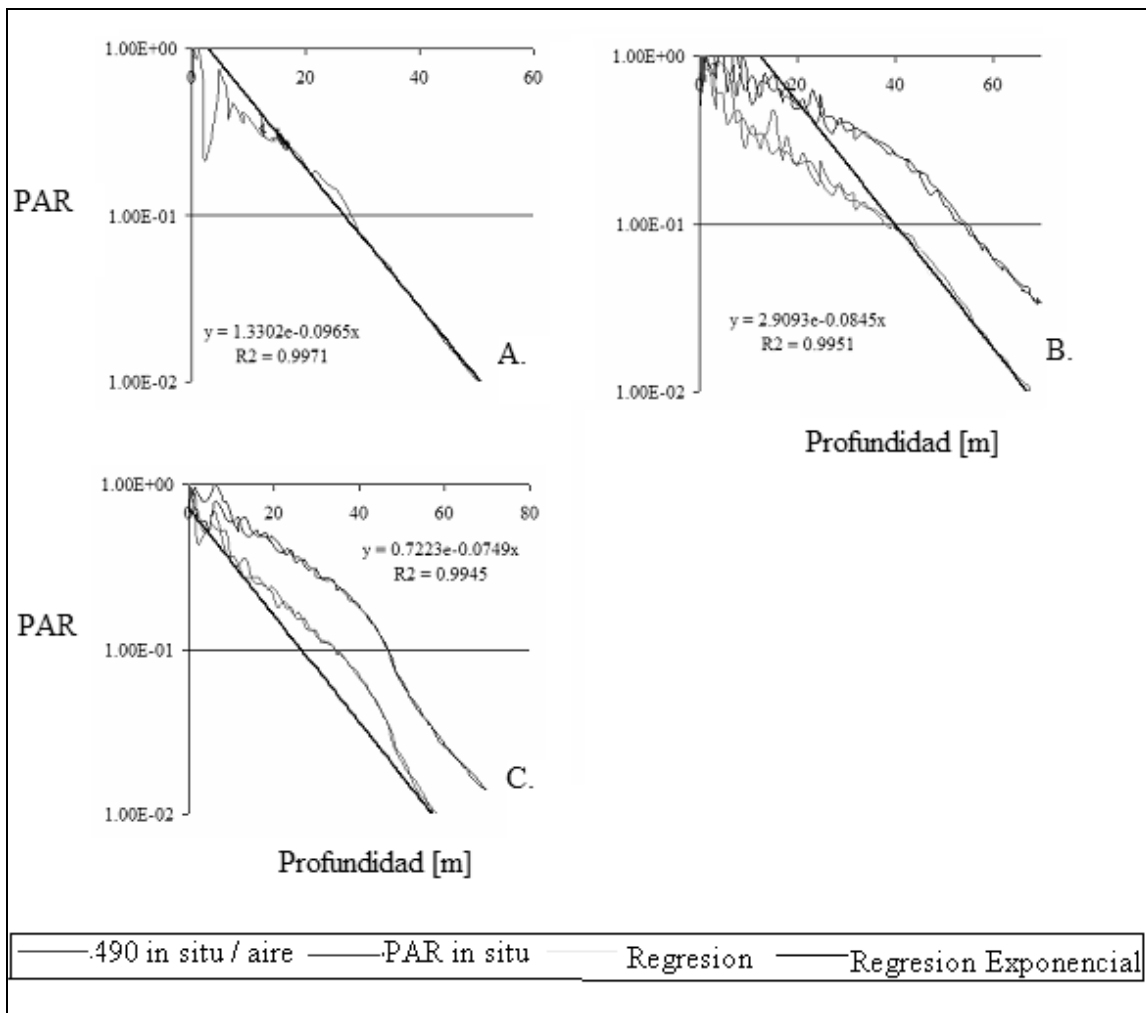
La posición geográfica de estos perfiles ubica únicamente a los lances 009 y 032 como representativos de las estructuras. El lance 009 se ubica en el extremo norte del giro ciclónico del transecto LUSOC. El lance 032 se ubica en el extremo Este del giro anticiclónico del transecto SOCCO, en el lado de gradiente intensificado.

El lance 009 ubica la profundidad de la capa eufótica a 78 m. El DCM se localiza a 58m, ubicado a 3.09 profundidades ópticas, caracterizado por un coeficiente de atenuación de  $-0.0545 \text{ m}^{-1}$  (Fig. 24). En el lance 032 el 1% de luz se ubica a 81m de profundidad, el DCM se localiza a 73m, ubicados a 3.59 profundidades ópticas y por un coeficiente de atenuación de luz de  $-0.0389 \text{ m}^{-1}$  (Fig. 24).

El resto de los perfiles no se asocian geográficamente con las estructuras de mesoescala descritas en la sección anterior. En tales condiciones la profundidad promedio de la zona eufótica se ubica a 55m profundidad. El DCM es mas somero cuando se relaciona con perfiles cercanos a la costa (lance 056, lance 059, lance 071 y lance 094), en contraste los perfiles oceánicos el DCM se localiza a mayor profundidad (lance 044 y lance 083). La profundidad óptica no se observan variaciones significativas, en promedio se ubica a 3.7. Los perfiles 044 y 083, constituyen excepciones ya que el DCM se ubica a una profundidad cercana al 1% de luz. El coeficiente de atenuación de luz es bajo en estos perfiles.



**Figura 24.** Perfiles de Irradiancia, registrados por el PRR 600 para el periodo de estudio. La línea azul indica PAR in situ/aire; Línea rosa indica PAR 490nm. Línea negra corresponde a la regresión. A. Lance 009 y B. Lance 032. En el eje horizontal se indica profundidad de metros.



**Figura 25.** Perfiles de Irradiancia, registrados por el PRR 600 para el periodo de estudio. La línea azul indica PAR in situ/aire; Línea rosa indica PAR 490nm. Línea negra corresponde a la regresión. A. A. Lance 044, B. Lance 056, C. Lance 071, D. Lance 083, E. Lance 094. En el eje horizontal se indica profundidad de metros.

En resumen los resultados de los perfiles de irradiancia indican que en promedio la profundidad de la capa eufótica oscila alrededor de 56 m y tiene un coeficiente de atenuación de luz en un rango de  $0.0389 \text{ m}^{-1}$  a  $0.0782 \text{ m}^{-1}$ , en la profundidad de los máximos subsuperficiales. Las regiones donde la capa eufótica y la profundidad óptica son más someras se localizan frente a la costa de Cabo Corrientes. La capa eufótica y la

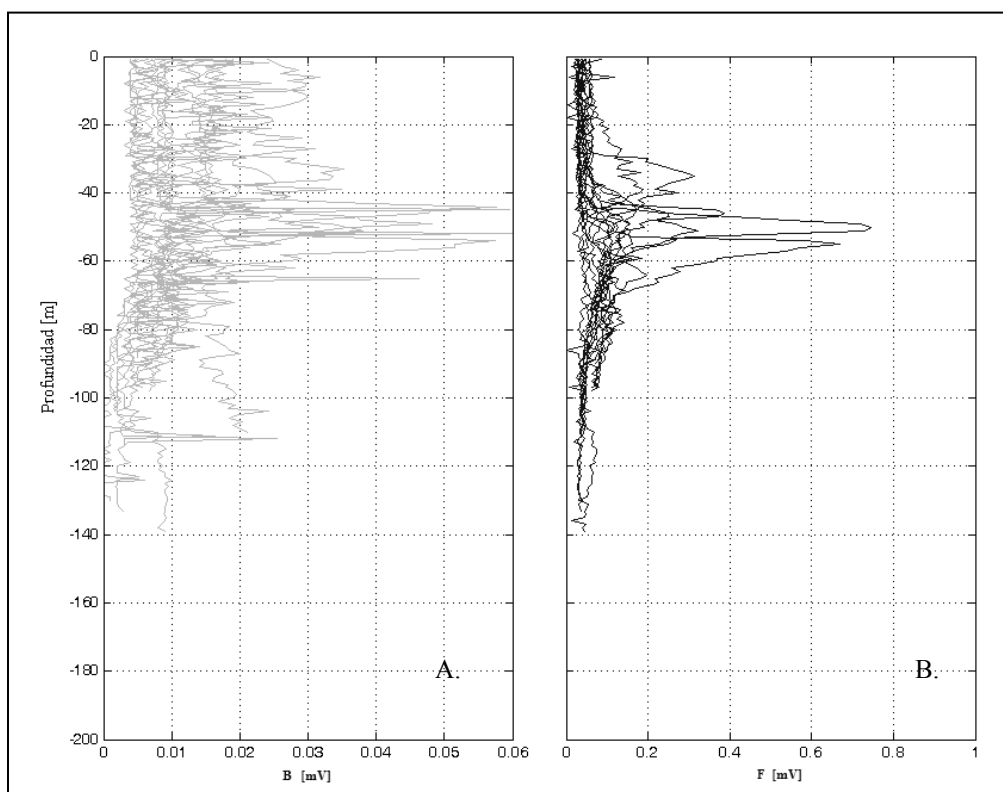
profundidad óptica es más profunda en las regiones oceánicas. El coeficiente de atenuación más bajo (-0.07) está asociado a condiciones mesotróficas que corresponden a los lances ubicados frente a Cabo corrientes. El coeficiente de atenuación más alto (0.04) se relaciona con condiciones oligotróficas asociadas con el remolino anticiclónico del transecto SOCCO, así mismo, este valor, sugiere que en esta región la concentración de partículas se distribuye a lo largo de una capa eufótica más profunda permitiendo al campo de luz alcanzar profundidades más grandes. Es importante mencionar que un alto coeficiente de atenuación vertical alto no necesariamente necesita ser asociado con baja productividad, ese alto coeficiente puede deberse a altas concentraciones de fitoplancton. La alta atenuación por material no-algal que se espera entonces más baja será la productividad (Kirk, 1994).



### III.II. BIOLOGÍA SUPERFICIAL.

Ésta sección muestra el análisis de 26 perfiles verticales de fluorescencia, dispersión de partículas y la estructura de densidad del instrumento minioptics.

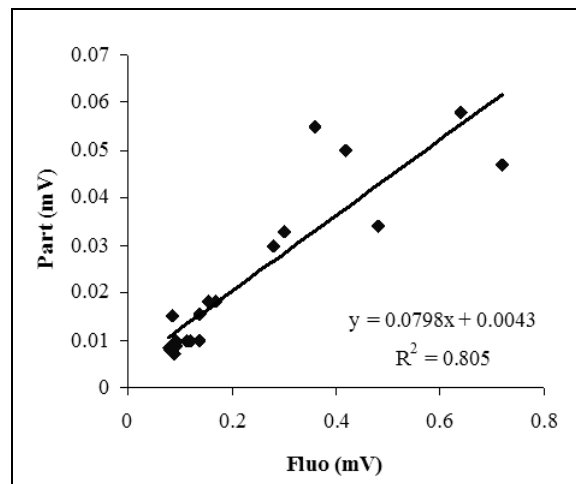
La Fig.26 muestra los perfiles verticales de fluorescencia y dispersión de partículas desde superficie hasta 200m de profundidad. A ambos parámetros se les restó la señal mínima registrada por el instrumento. Los resultados sugieren que no existe separación de dos máximos subsuperficiales para la EGC durante el periodo de estudio.



**Figura 26.** Perfiles de: **A.** Dispersión de partículas. **B.** Fluorescencia. A cada perfil se les restó el valor mínimo de la señal de voltaje. Eje vertical profundidad. Eje horizontal mV.

En general, la mayoría de los perfiles de dispersión de partículas muestra valores homogéneos entre 0.02 a 0.03 mV, que permanecen constantes desde superficie hasta

aproximadamente 60m de profundidad, debajo de ésta profundidad la señal disminuye hasta 0.01mV. Pocos perfiles muestran la formación de un pico máximo de partículas (DPM por sus siglas en inglés) que se ubica entre 40 y 60m de profundidad, en ésta región se alcanzan valores mayores a 0.05 mV. Los perfiles de fluorescencia muestran pequeñas variaciones entre ellos mismos, sin embargo muestran un incremento pronunciado respecto a la profundidad, es decir, en superficie se registran valores menores a 0.2 mV, hasta alcanzar valores mayores de 0.6mV entre 40 y 60m de profundidad. De tal manera que estos perfiles no muestran la formación de dos máximos separados de fluorescencia y partículas (DCM y DPM respectivamente). Se hizo una regresión lineal entre la señal de fluorescencia y la dispersión de partículas, a la profundidad del máximo (Fig.27); el coeficiente de correlación es alto ( $R^2 = 0.8$ ). Por lo que no existe evidencia significativa para definir la formación de un DCM y DPM separados.



**Figura 27.** Regresión Lineal Fluorescencia (mV) vs Dispersión de partículas (mV).

### III.II.I Reconstrucciones Gaussianas.

Con la finalidad de establecer una relación numérica entre el DPM y el DCM se hizo una reconstrucción gaussiana. El análisis toma como argumento principal la posición

del centro máximo y el ancho de banda (sigma), ambos son resultado del perfil gaussiano modelado. Básicamente se determina la diferencia en la forma y profundidad del perfil.

La Tabla IV muestra los resultados de la reconstrucción gaussiana para los 25 perfiles de fluorescencia y partículas. La estación 13 se eliminó porque es muy somera, sólo alcanza 14m de profundidad y tiene una señal muy ruidosa. El centro máximo indica la profundidad en metros del valor máximo. La amplitud señala el valor máximo en minivolts. Sigma corresponde al ancho de la curva gaussiana modelada. Para cada parámetro se compara Fluorescencia y Dispersión de Partículas.

El centro máximo de la mayoría de los perfiles muestra que no existe una variación mayor a 4m en la profundidad de los máximos. Frecuentemente el DCM ocurre sin la formación de un DPM (Hodges y Rudnick, 2004). Cullen y Lewis, (1988) postulan que tales condiciones se deben a variaciones en la proporción clorofila-biomasa la cuál puede variar hasta por un factor de 10 (Hodges y Rudnick, 2004). Sin embargo cuando ambos están presentes frecuentemente difieren en estructura vertical (Fennel y Boss, 2003; Hodges y Rudnick, 2004). A pesar de que el perfil 6 muestra la formación de dos máximos diferenciados, la grafica de la Fig. 29, muestra que el perfil de partículas tiene dos máximos, el primero a 40m y el segundo a 80m; el primer DPM puede ser causado por el registro de una señal perteneciente a una población de organismos heterótrofos. El segundo DPM se ubica cercanamente el DCM. Esta situación particularmente se atribuye a que el perfil 6 se ubica en una región en la que no recibe influencia directa de ninguna estructura. Consecuentemente, estas condiciones reflejan el estado oligotrófico del sistema en ausencia de estructuras, que permite la formación de dos máximos subsuperficiales. En la siguiente sección se profundizará al respecto.

El ancho de banda ( $\sigma$ ) muestra una relación numérica que diferencia el DCM y DPM. Sin embargo, las diferencias en  $\sigma$  son mayores en las estaciones 7, 14, 16, 20, 40 y 46. Esta diferencia se atribuye a que en la mayoría de estos casos la señal de dispersión de partículas tiene una señal alta constante desde superficie hasta la profundidad del máximo de partículas. En contraste la señal de fluorescencia es constante pero baja a lo largo de todo el perfil y se incrementa substancialmente alcanzando su máximo valor a una cierta profundidad (Figs. 28, 29, 30, 31, 32, 33 y 34). Aunque estas diferencias probablemente tienen entre otros un origen instrumental (de tipo electrónico u óptico), tal diferencia no afecta el análisis con curvas gaussianas.

**Tabla IV.** Síntesis de los valores obtenidos de la reconstrucción. Sigma representa el ancho de banda de la curva modelada. Centro Máximo es la profundidad en metros en la que se ubica el máximo. La amplitud señala el valor máximo en minivolts.

<i>Stn</i>	<b>Centro Máximo (m)</b>		<b>Amplitud (mV)</b>		<b>Sigma (m)</b>	
	<i>Fluorescencia</i>	<i>Dispersión De Partículas</i>	<i>Fluorescencia</i>	<i>Dispersión De Partículas.</i>	<i>Fluorescencia</i>	<i>Dispersión De Partículas</i>
1	31	32	0.42	0.05	43.1	57.1
6	85	41/80	0.092	0.00887	104	88
7	66	65	0.12	0.01	109	67
8	70	67	0.093	0.01	105	93
10	70	66	0.09	0.007	105	105
11	60	58	0.086	0.0088	99	99
12	64	54	0.08	0.0083	88	87
14	78	81	0.115	0.0098	85	108
15	68	62	0.085	0.015	90	83
16	46	44	0.157	0.018	79	47
20	54	53	0.14	0.01	76	51
22	54	51	0.14	0.0156	93	81
40	36	35	0.3	0.033	53	105
41	38	36	0.48	0.034	70.1	85
45	69	72	0.17	0.018	103	94.5
46	51	51	0.28	0.03	102	74
47	47	45	0.36	0.055	66.5	64
48	56	55	0.64	0.058	70	71.5
49	51	50	0.72	0.047	60	59
50	40	41	0.47	0.05	80	82

Para continuar la secuencia de descripción de resultados, los gráficos de la reconstrucción se muestran por secciones.

#### Sección LUSOC.

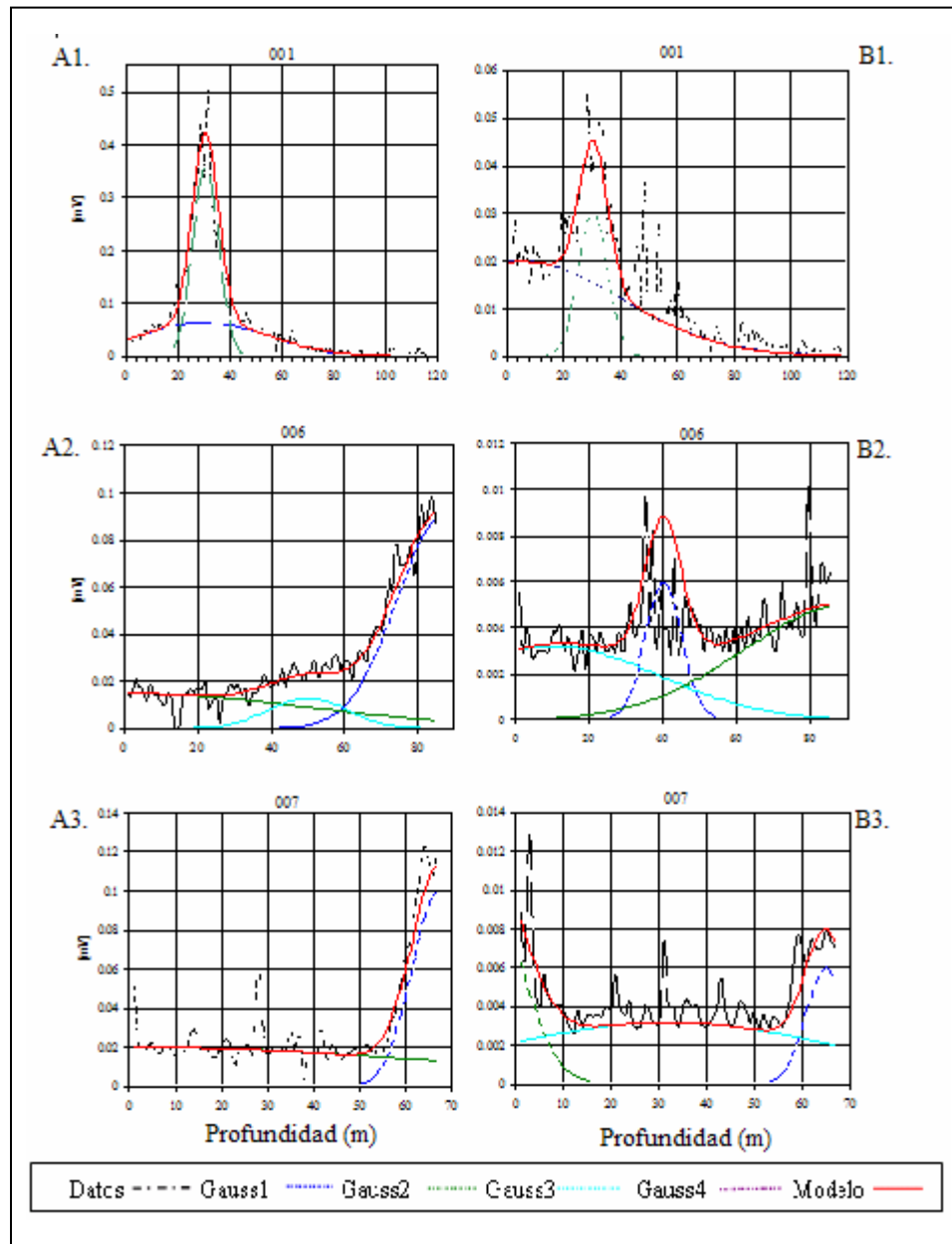
Este transecto es representado por las estaciones 1, 6, 7, 8,10 y 11 (Fig.29 y 30)

#### Sección SOCCO

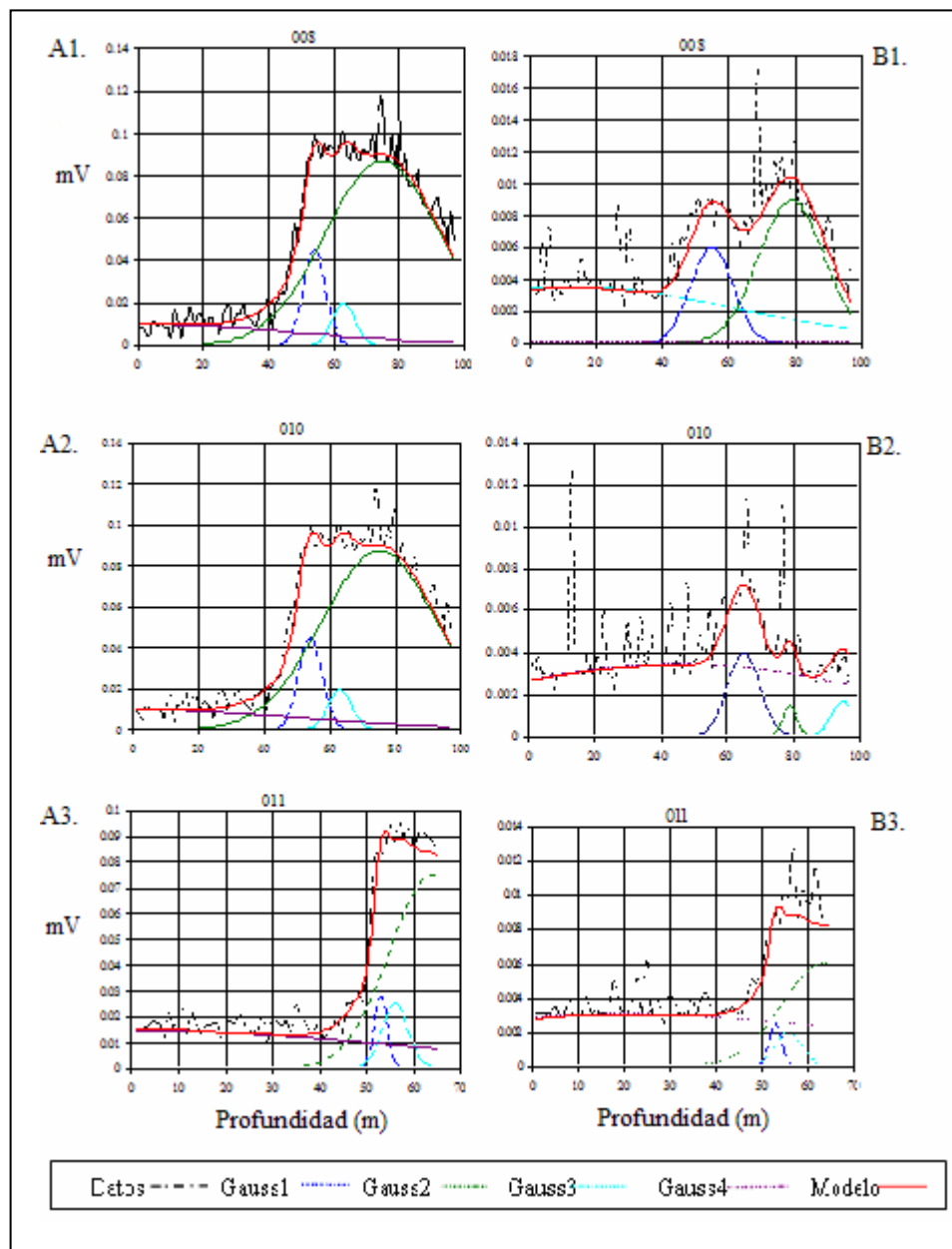
Este transecto es representado por las estaciones 12, 14, 15, 16, 20, 22. (Fig.31 y 32)

### Sección CABOS

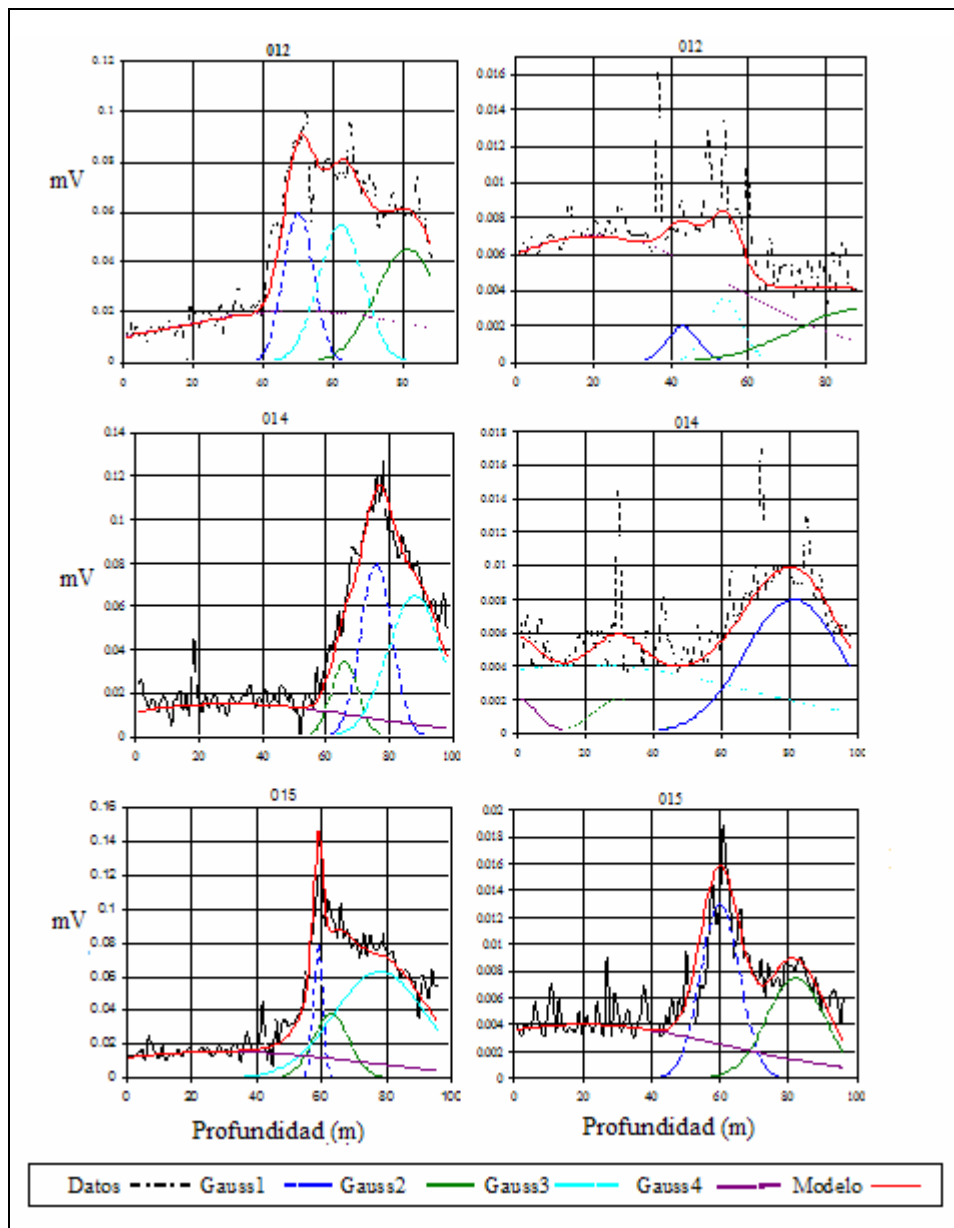
El transecto es representado por las estaciones 40, 41, 45, 46, 47, 48, 49, 50. (Fig.33, 34 y 35)



**Figura 28.** Modelación Gaussiana de las estaciones 1, 6 y 7. Perfiles verticales de A. Fluorescencia y B. Dispersión de partículas. Datos representados por línea negra punteada. Curvas gaussianas representadas por Gauss1, Gauss2, Gauss3, Gauss4. Perfil Gaussiano modelado representado por la línea roja. El Eje vertical señala la amplitud (mV). El eje horizontal muestra profundidad (m).

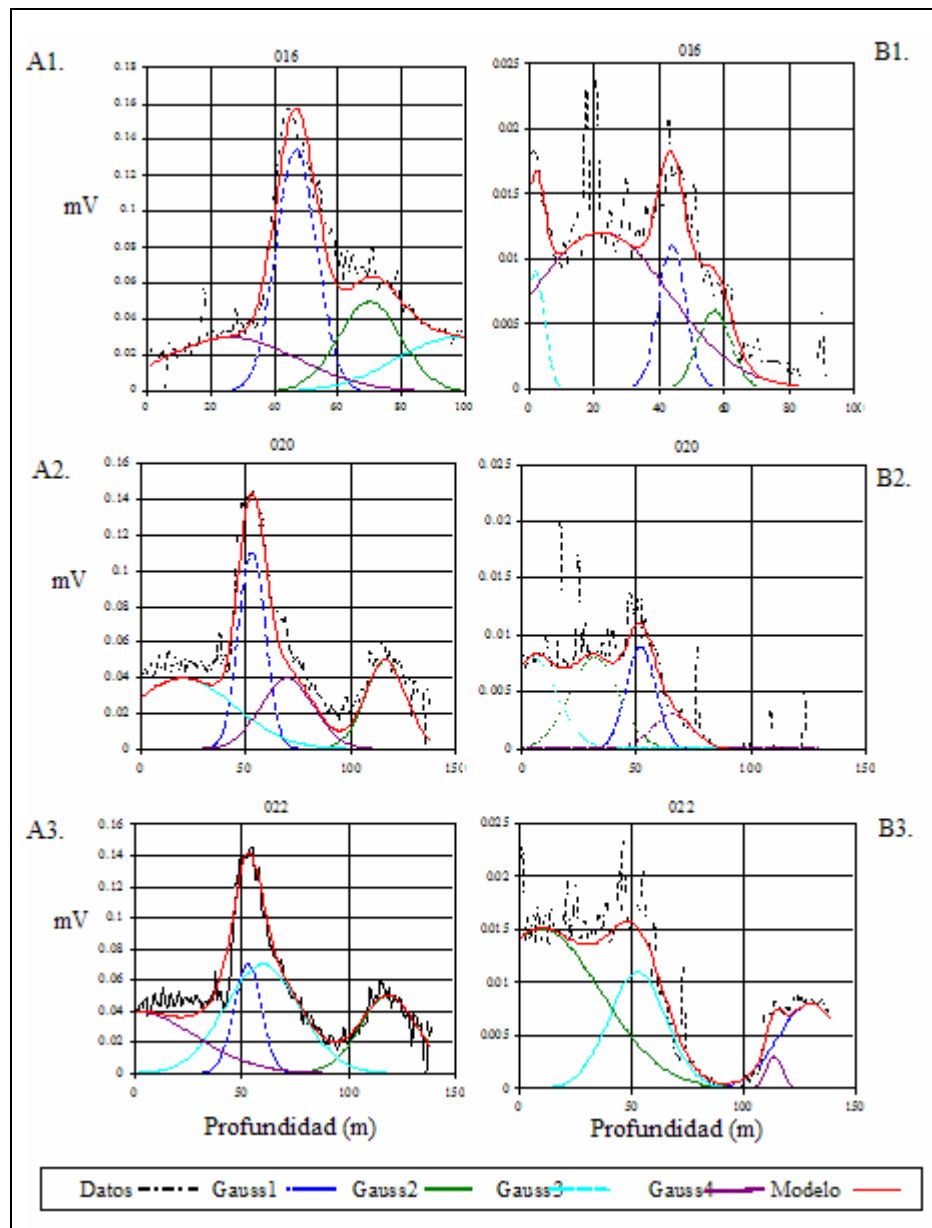


**Figura 29.** Modelación Gaussiana de las estaciones 8, 10 y 11. Perfiles verticales de A. Fluorescencia y B. Dispersión de partículas. Datos representados por línea negra punteada. Curvas gaussianas representadas por Gauss1, Gauss2, Gauss3, Gauss4. Perfil Gaussiano modelado representado por la línea roja. El Eje vertical señala la amplitud (mV). El eje horizontal muestra profundidad (m).

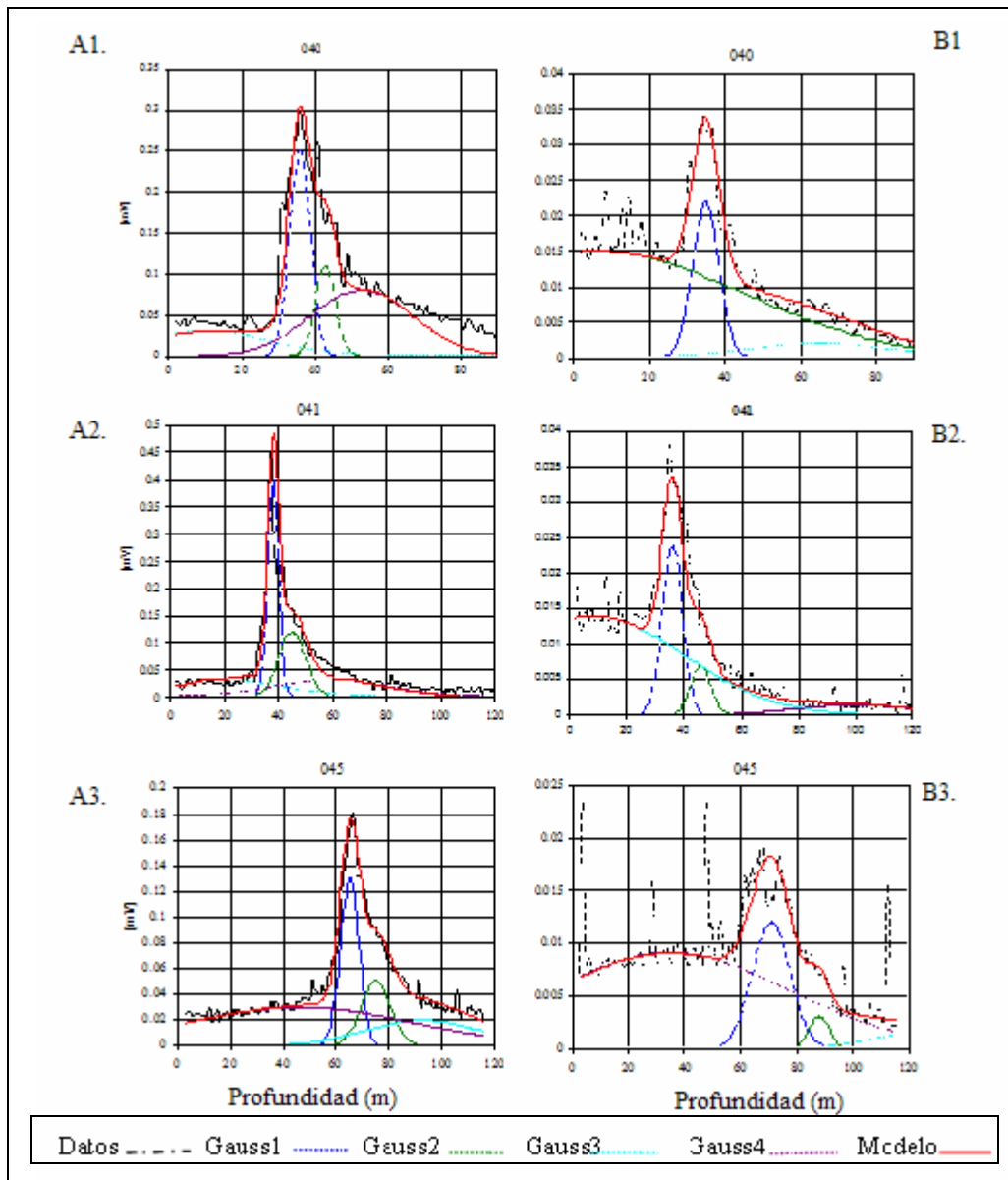


**Figura 30.** Modelación Gaussiana de las estaciones 12, 14 y 15. Perfiles verticales de A. Fluorescencia y B. Dispersión de partículas. Datos representados por línea negra punteada. Curvas gaussianas representadas por Gauss1, Gauss2, Gauss3, Gauss4. Perfil Gaussiano modelado representado por la línea roja. El Eje vertical señala la amplitud (mV). El eje horizontal muestra profundidad (m).

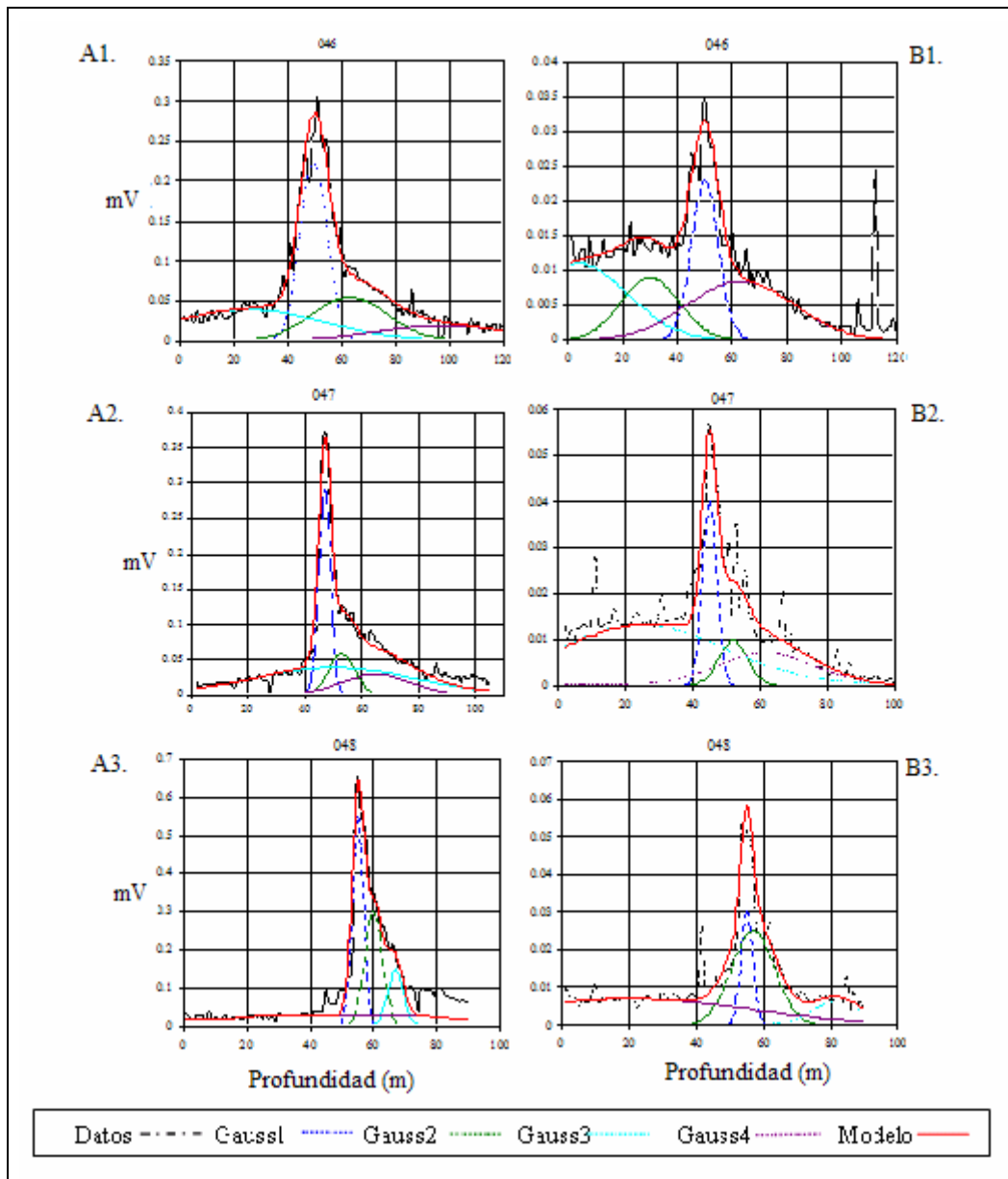




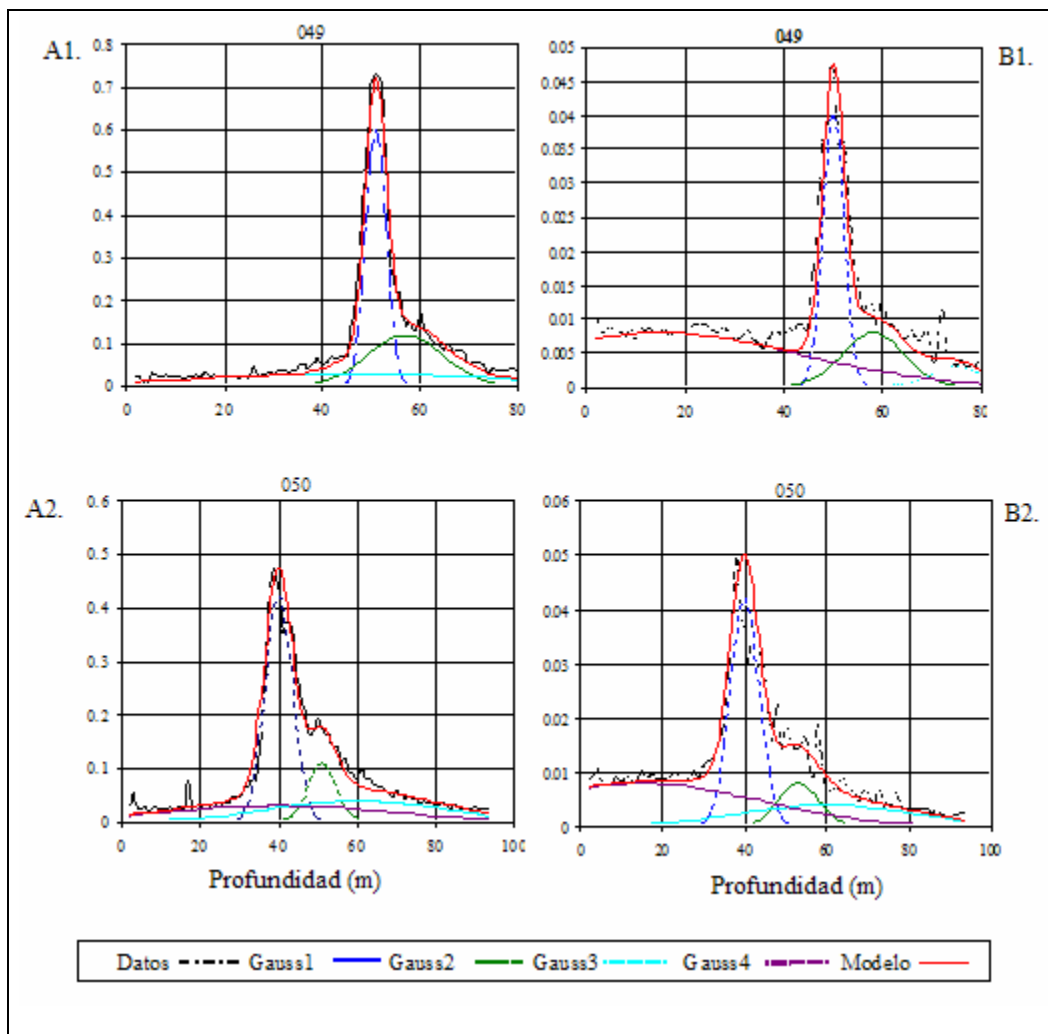
**Figura 31.** Modelación Gaussiana de las estaciones 16, 20 y 22. Perfiles verticales de A. Fluorescencia y B. Dispersión de partículas. Datos representados por línea negra punteada. Curvas gaussianas representadas por Gauss1, Gauss2, Gauss3, Gauss4. Perfil Gaussiano modelado representado por la línea roja. El Eje vertical señala la amplitud (mV). El eje horizontal muestra profundidad (m).



**Figura 32.** Modelación Gaussiana de las estaciones 40, 41 y 45. Perfiles verticales de A. Fluorescencia y B. Dispersión de partículas. Datos representados por línea negra punteada. Curvas gaussianas representadas por Gauss1, Gauss2, Gauss3, Gauss4. Perfil Gaussiano modelado representado por la línea roja. El Eje vertical señala la amplitud (mV). El eje horizontal muestra profundidad (m).

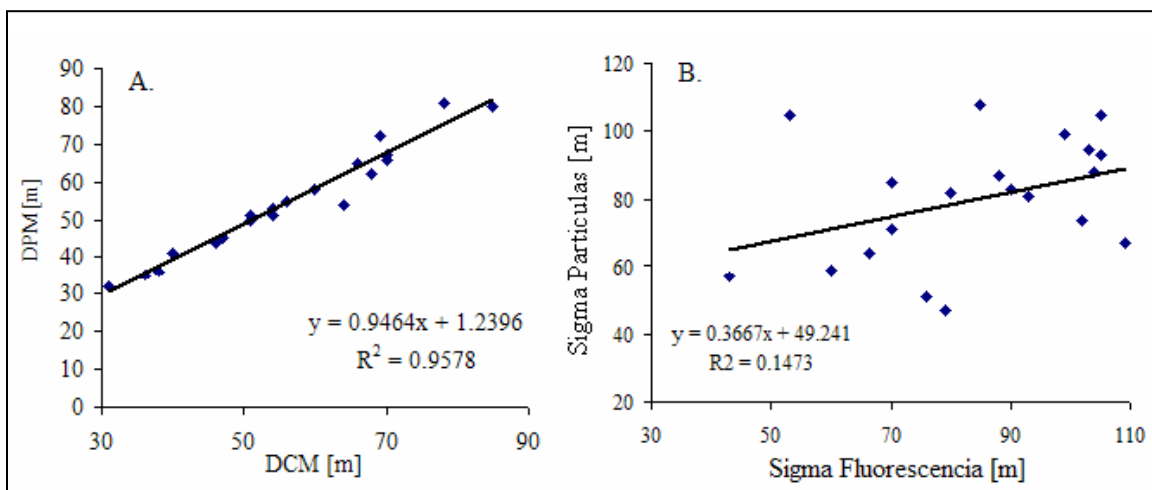


**Figura 33.** Modelación Gaussiana de las estaciones 46, 47 y 48. Perfiles verticales de A. Fluorescencia y B. Dispersión de partículas. Datos representados por línea negra punteada. Curvas gaussianas representadas por Gauss1, Gauss2, Gauss3, Gauss4. Perfil Gaussiano modelado representado por la línea roja. El Eje vertical señala la amplitud (mV). El eje horizontal muestra profundidad (m).



**Figura 34.** Modelación Gaussiana de las estaciones 49 y 50. Perfiles verticales de A. Fluorescencia y B. Dispersión de partículas. Datos representados por línea negra punteada. Curvas gaussianas representadas por Gauss1, Gauss2, Gauss3, Gauss4. Perfil Gaussiano modelado representado por la línea roja. El Eje vertical señala la amplitud (mV). El eje horizontal muestra profundidad (m).

Las regresiones lineales entre el centro máximo de partículas vs el centro máximo de clorofila establece un coeficiente de correlación alto ( $R^2= 0.9$ ) (Fig. 28A), y entre el sigma de fluorescencia vs el sigma de partículas muestra un coeficiente de correlación bajo ( $R^2= 0.14$ ) (Fig. 28B). Estas relaciones sugieren que la región distingue la formación de un máximo de partículas y un máximo de clorofila en cada perfil, sin embargo la posición de ambos no varía significativamente y su estructura vertical es diferente.



**Figura 35.** Regresión lineal de A. Centro máximo de fluorescencia vs Centro máximo de partículas. y Sigma de fluorescencia vs sigma de partículas.

Resumiendo, del análisis de reconstrucción gaussiana se establece de manera general que no existe diferencia entre el posición DCM y el DPM, a excepción de la estación 6 en donde se sugiere que esta diferencia radica en la ausencia de estructuras en la región del perfil. Se intenta reforzar los argumentos analizando el perfil de densidad en la siguiente sección. La reconstrucción establece que cuando hay diferencias entre ambos máximos, estas se manifiestan en la variación de la estructura vertical.

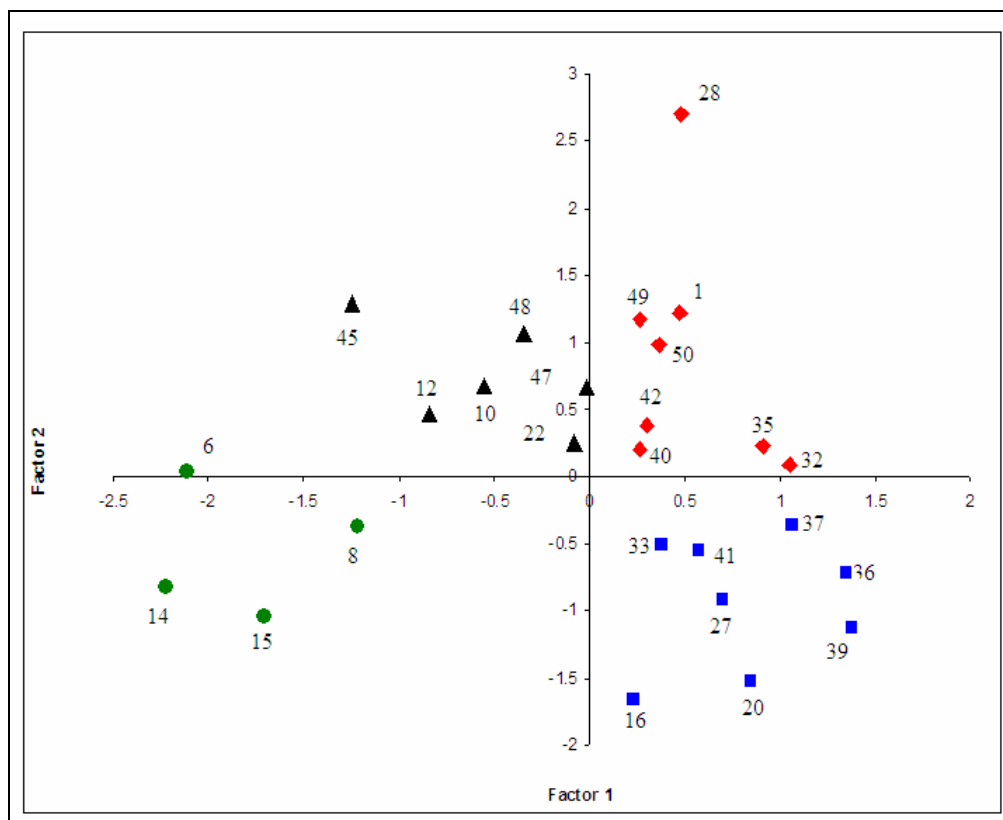
### III.II.II Análisis de componente principal de los perfiles verticales de densidad.

El objetivo de este análisis es encontrar un patrón regular entre la estructura vertical de los perfiles de densidad del minioptics, agrupando las tendencias similares en la estructura vertical de densidad y relacionarlas con la posición de los máximos subsuperficiales de clorofila y partículas. De tal manera que se hizo un análisis de componente principal con los perfiles de densidad del minioptics; todos los perfiles fueron estandarizados a 80 m de profundidad para evitar que estas diferencias constituyan una variable de influencia en la variancia común del análisis.

El análisis de componente principal se considera estadísticamente significativo si el factor de variancia acumulada explica más del 70 % y el eigenvalor es mayor a 1. De acuerdo con el análisis, gran parte de la variancia común de los perfiles de densidad es explicada por los primeros dos *factores empíricos ortogonales* (FEO), que representan el 92.44 % de la variancia acumulada (Tabla V). Además, los datos fueron rotados utilizando el método *varimax normalizado* del paquete Statistica. Ésta función maximiza la variancia de peso de los factores, es decir, aumenta la diferencia entre la variancia máxima y mínima, permitiendo distribuir los grupos de una manera mas clara. En la Fig. 36 se graficaron los dos primeros factores intentando definir grupos respecto a la significancia o peso de los factores 1 y 2.

**Tabla V.** Eigenvalores perfiles de densidad.

	Eigenvalor	% Total	Eigenvalor Acumulado	Acumulado %
<b>1</b>	56.53497	72.48073	56.53497	72.48073
<b>2</b>	15.57078	19.96253	72.10574	92.44326
<b>3</b>	2.88701	3.70130	74.99275	96.14456
<b>4</b>	1.35825	1.74134	76.35100	97.88590
<b>5</b>	0.45235	0.57994	76.80335	98.46584



**Figura 36.** Grafico de factor 1 (eje X) y factor 2 (eje y). Rotación: Varimax Normalizado. Extracción: Componentes Principales. La dispersión de cada perfil de densidad se señala por los símbolos en el centro de la grafica. Los rombos corresponden al grupo 1; los círculos corresponden al grupo 2; los triángulos corresponden al grupo 3; los cuadros corresponden al grupo 4.

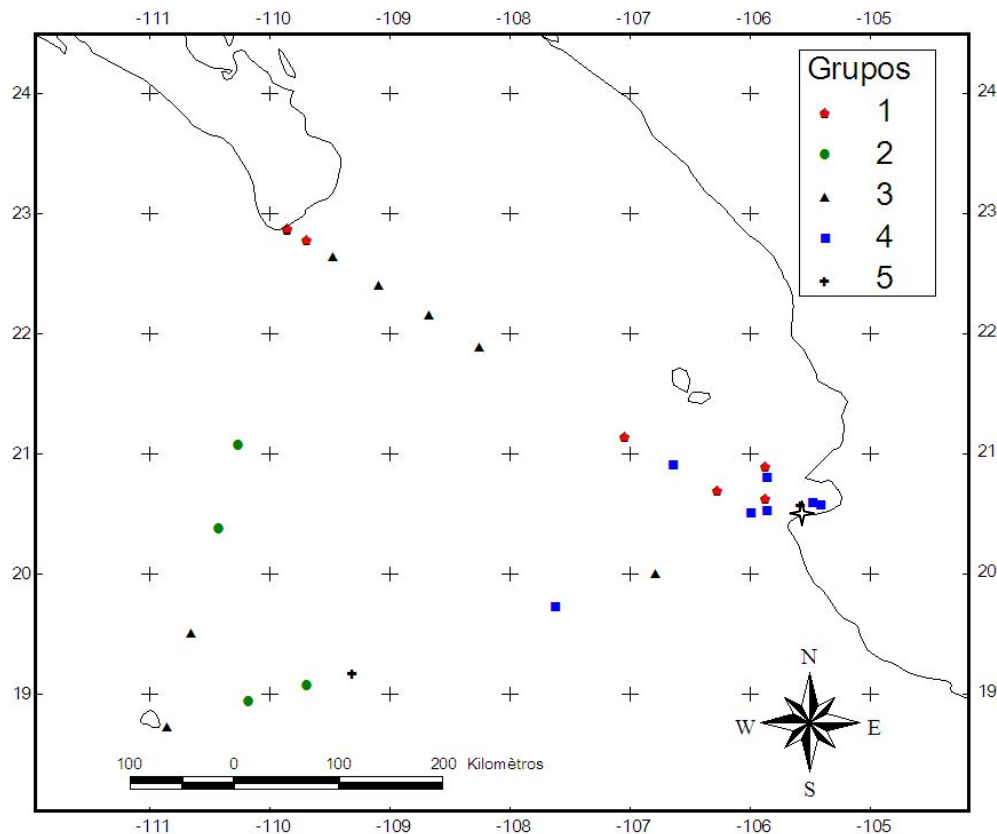
Los resultados sugieren que el análisis encuentra 5 grupos con estructuras verticales de densidad características; los perfiles 16 y 28 no muestran una agrupación definida por lo que se consideran como un grupo independiente, los resultados se muestran en la Tabla VI.

**Tabla VI.** Muestra las agrupaciones de la estructura de densidad de los perfiles del minioptics.

<b>Grupo</b>	<b>Perfiles de densidad agrupados</b>
1	1,32,35,40,42,49,50
2	6,8,14,15
3	10,12,22,45,46,47,48
4	20,27,33,36,37,39,41
5	16,28

Estos grupos tienen cierta relación respecto a la ubicación geográfica de los perfiles. La Fig. 37. muestra un mapa de la posición de los grupos en la región de la EGC durante el periodo de estudio.





**Figura 37.** Ubicación geográfica de los perfiles de densidad del miniópticos. Cada símbolo representa un grupo. Simbología: rombos-grupo 1; círculos-grupo 2; triángulos-grupo 3; cuadros-grupo 4; cruces-grupo 5.

Las tendencias de los perfiles verticales de densidad de cada grupo se grafican en las Figs.38 y 39; de la misma manera se incluyeron los correspondientes perfiles verticales de clorofila y partículas para buscar un patrón de distribución en cada grupo. Las características relevantes de cada grupo se describen a continuación:

**GRUPO 1.** Agrupa las estaciones 1, 32, 35, 40, 42, 49 y 50. Que se caracterizan por tener picnoclinas someras y fuertes, es decir, con un gradiente de densidad amplio que va desde 1024 a 1026  $\text{Kg. m}^{-3}$ . La estructura vertical de densidad define el límite de la capa de mezcla hasta entre 20 a 40 m de profundidad. En tales condiciones la concentración de

clorofila muestra concentraciones entre 0.22 hasta 0.28  $\text{mg m}^{-3}$ . El DCM se localiza entre 30 y 40m, su posición sigue cercanamente la región límite entre la capa de mezcla y el inicio de la pycnoclina. La concentración de partículas muestra valores mayores a 0.019 y 0.22. La posición del máximo se localiza cerca de los 30 y 40m de profundidad (Fig. 38).

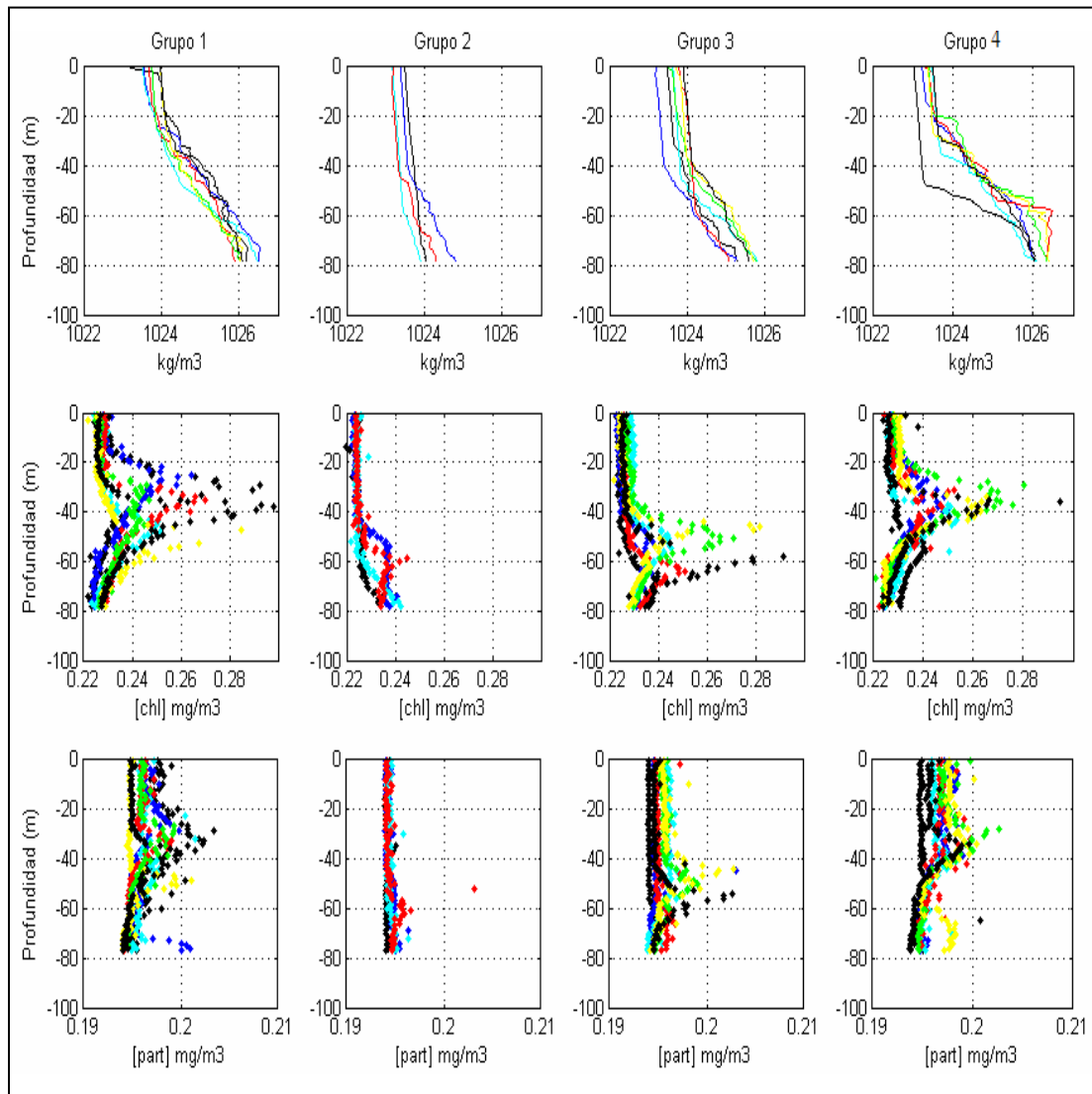
**GRUPO 2.** Reúne las estaciones 6,8,14,15. A diferencia del gpo. 1, este agrupa perfiles de densidad con pycnoclinas débiles, es decir, con un gradiente de densidad pequeño, que va desde 1023 hasta 1024.5  $\text{Kg. m}^{-3}$ . Estas condiciones se relacionan con concentraciones bajas de clorofila, que van desde 0.22 hasta 0.24  $\text{mg m}^{-3}$ . El DCM se localiza entre 50 y ~60m de profundidad. La concentración de partículas es casi constante a lo largo del perfil, oscilando en 0.195  $\text{mg m}^{-3}$  (Fig. 38).

**GRUPO 3.** Agrupa las estaciones ubicadas frente a la costa de Isla Socorro y los perfiles oceánicos cercanos a la costa de Cabo San Lucas. El límite de la capa de mezcla se ubica cercano a 40m de profundidad. Tienen una pycnoclina fuerte, es decir, presenta un gradiente de densidad entre 1023 y 1025.8  $\text{Kg. m}^{-3}$ . La concentración de clorofila se mantiene constante oscilando en 0.23  $\text{mg m}^{-3}$  a lo largo de la capa de mezcla y alcanza valores de hasta 0.28  $\text{mg m}^{-3}$  en la profundidad del máximo de clorofila. El DCM se localiza entre 40 y 60m de profundidad. La concentración de partículas se mantiene constante en 0.195  $\text{mg m}^{-3}$  desde superficie hasta alcanzar un máximo de 0.2  $\text{mg m}^{-3}$ , que se ubica entre 40 y 60m de profundidad. (Fig. 38).

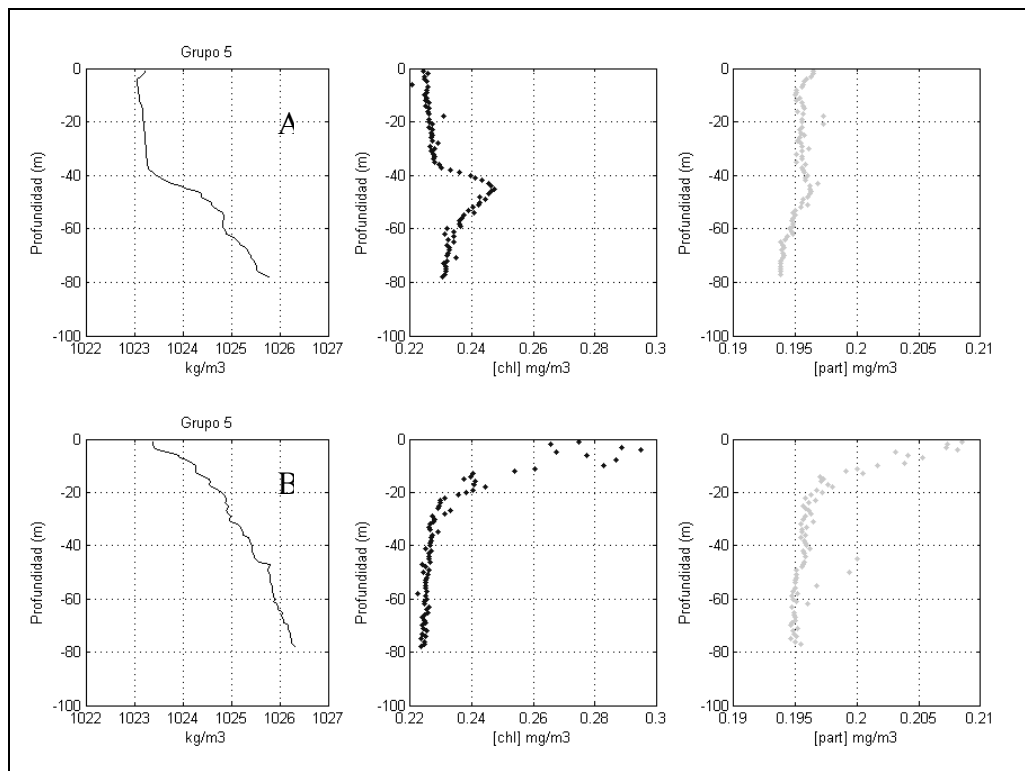
**GRUPO 4.** Agrupa las estaciones ubicadas frente a la costa de Cabo Corrientes. Se observan pycnoclinas someras y fuertes, con un gradiente de densidad que va desde 1023.5 hasta 1026. El límite de la capa de mezcla se ubica entre 20 y 40 m de profundidad. La concentración de clorofila alcanza valores entre 0.22 a 0.28  $\text{mg m}^{-3}$ . El

DCM se localiza entre 30 y 40 m de profundidad. La concentración de partículas es constante en superficie, oscilando en  $0.195 \text{ mg m}^{-3}$ , y disminuye justo en el límite de la capa de mezcla (Fig. 38).

**GRUPO 5.** En este grupo se ubicaron los perfiles 16, 28, ya que difieren en estructura vertical, y no pueden ser comparados con los grupos anteriores, es por ello que se consideran como un grupo separado. El perfil 16 corresponde a la Fig 39A., se caracteriza por tener una capa de mezcla a 40m de profundidad y una pycnoclina marcada entre  $1024$  a  $1026 \text{ Kg m}^{-3}$ , el DCM se localiza en 50m, alcanzando concentraciones máximas de  $0.24 \text{ mg m}^{-3}$ . La concentración de partículas es constante en superficie y disminuye justo en el límite de la capa mezclada. El perfil 28, (Fig. 39B.) no muestra un comportamiento gaussiano en su distribución y no se considera significativo en el análisis (Fig. 39).



**Figura 38.** Agrupación de los perfiles de A. Densidad ( $\text{Kg. m}^{-3}$ ), B. Concentración de clorofila ( $\text{mg m}^{-3}$ ), C. Concentración de partículas ( $\text{mg m}^{-3}$ ).



**Figura 39.** Agrupación de los perfiles de **A.** Densidad (Kg. m-3), **B.** Concentración de clorofila (mg m-3), **C.** Concentración de partículas (mg m-3).

Las agrupaciones del ACP sugieren que existe una relación entre el DCM, el DPM y la estructura vertical de densidad. Éstos resultados corresponden a los resultados obtenidos en los perfiles de las secciones de temperatura. Ya que la temperatura tiene relación directa con la densidad, y por lo tanto también en la forma del DCM por su señal en fluorescencia. El patrón general en cada uno de los grupos es que, aún cuando la capa de mezcla sea profunda o somera, el DCM y el DPM se ubica justo debajo de la capa de mezcla. En cada grupo se observa una “ventana” de densidad entre 1024 y 1025 Kg. m<sup>-3</sup> justo en la cuál el DCM se localiza.

La principal diferencia radica en la concentración de clorofila respecto a la estructura vertical de densidad. De tal manera que se observa un incremento en la concentración de clorofila y partículas, en la profundidad de los máximos, en regiones en donde la capa de mezcla es somera (entre 20 y 40m de profundidad), en las cuales se localizan picnoclinas con fuertes gradientes de densidad; tal es el caso de los grupos 1 y 4. Las altas concentraciones de clorofila y partículas están asociadas a las estaciones localizadas frente a la costa de Cabo San Lucas y Cabo Corrientes y la pared fría del remolino anticiclónico del transecto SOCCO. En condiciones promedio, cuando la capa de mezcla alcanza los 50m de profundidad, la picnoclina tiene un gradiente de densidad débil, y las concentraciones de clorofila en el DCM oscilan en 0.24 mg m<sup>-3</sup>, tal es el caso del grupo 3. Las concentraciones de clorofila y partículas más bajas se relacionan con capas de mezcla profundas (60m de profundidad) y picnoclinas con gradientes de densidad débiles, tal es el caso del grupo 2.

A continuación analizamos la respuesta de un modelo que considera como vínculo entre la hidrografía y la biología superficial el coeficiente de difusión turbulenta, que se estima de la frecuencia de estabilidad de Brunt-Väisälä.

### **III.III. MODELO FENNEL & BOSS. APLICADO A LOS DATOS DEL CRUCERO FDU0205**

Existen diferentes modelos que proponen soluciones analíticas de los mecanismos reguladores del DCM. A pesar de que nuestros resultados no distinguen la separación de dos máximos de clorofila y partículas, como originalmente lo hace el modelo de Fennel et al., se decidió utilizar este modelo para la región de estudio ya que considera los principales procesos que determinan la distribución vertical de fitoplancton, tales como, el crecimiento, las pérdidas biológicas debidas a respiración mortalidad y pastoreo, el hundimiento y la mezcla vertical. Originalmente los autores proponen soluciones para un sistema idealizado: oligotrófico\*, en estado estacionario\*, sin considerar procesos horizontales y basado en procesos físicos, fisiológicos y ecológicos fundamentales que determinan la distribución vertical de la biomasa fitoplanctónica y la clorofila.

El modelo consiste en un conjunto de ecuaciones diferenciales unidimensionales, en donde la única dimensión es la profundidad. Se creó para simular tres casos con condiciones principales:

Caso 1. Crecimiento con saturación de nutrientes, en donde se asume que la provisión de nutrientes es suficiente para soportar crecimiento óptimo; es decir, sin limitación de nutrientes donde la luz controla la tasa de crecimiento fitoplanctónico (abreviaturas y símbolos en la Tabla VII).

$$\frac{d(w_s P)}{dz} = (\mu - R)P + \frac{d}{dz} \left( k_z \frac{dP}{dz} \right) \quad (4)$$

Caso 2. Los efectos de la velocidad de hundimiento/natación en una estructura de mezcla vertical que incluye una capa superficial mezclada. Se generaliza para permitir limitación de nutrientes incluyendo una ecuación de nutrientes (ec.6), en este caso la velocidad de crecimiento fitoplanctónico disminuye a niveles de nutrientes debajo de la concentración de saturación (ec. 5);

$$0 = (R - \mu)P + \frac{d}{dz} \left( K_z \frac{dN}{dz} \right) \quad (5)$$

Al acoplar la ecuación 4 y 5, se obtienen la ecuación 6,

$$\mu = \mu_{\max} \left[ 1 - \exp(-\hat{\alpha} E_{0,PAR}) \right] \frac{N}{K_N + N} \quad (6)$$

El sistema se simplifica considerando un estado estacionario donde el flujo descendente de material particulado a cualquier profundidad dada tiene que ser balanceado por un flujo ascendente de nutrientes disueltos (ec. 7):

$$W_s - K_z \frac{dP}{dz} = K_z \frac{dN}{dz} \quad (7)$$

Caso 3. El DCM está regulado por el efecto de la fotoaclimatación, entendida como un incremento de clorofila por biomasa a bajos niveles de luz (Steele, 1964) (ec. 8):

$$\frac{d(w_s C)}{dz} = (\rho_{chl} \mu - R)C + \frac{d}{dz} \left( k_z \frac{dC}{dz} \right) \quad (8)$$

Donde:

$$\rho_{chl} = \phi_m \left( \frac{\mu P}{\alpha_{chl} E_{oPAR} C} \right) \quad (9)$$



**Tabla VII.** Lista de símbolos. Tomada de (Fennel y Boss, 2003).

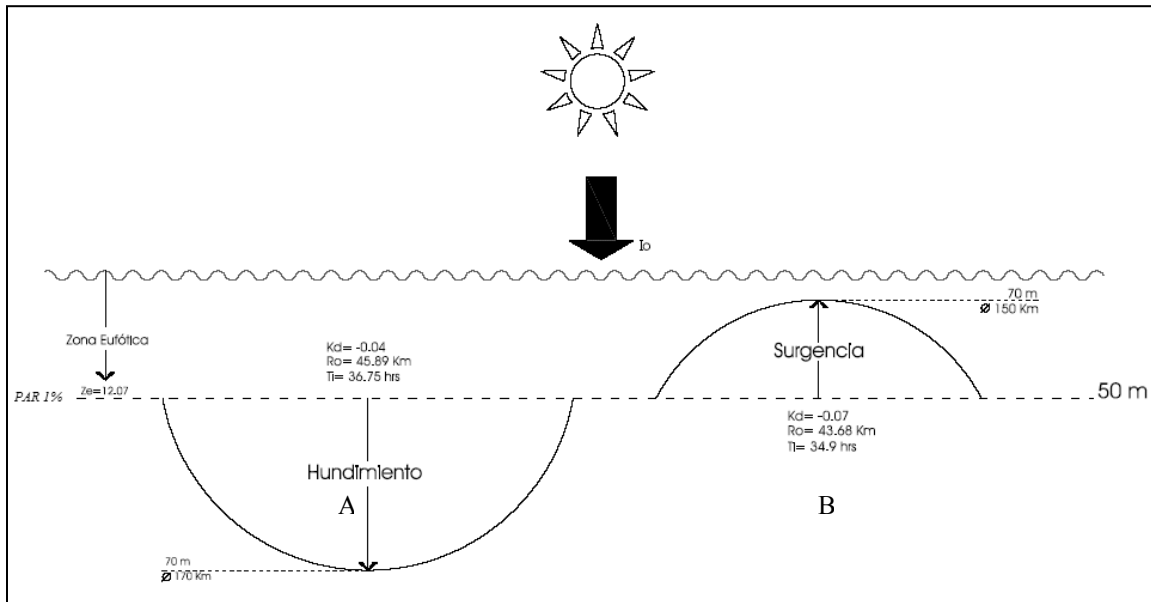
NOTACION	
$z$	Profundidad
$t$	Tiempo
$P$	Concentración de fitoplancton
$P_0$	Condición de frontera del fitoplancton
$N$	Concentración de nutrientes
$N_0$	Condición de frontera de nutrientes
$C$	Concentración de clorofila
$\mu$	Velocidad de Crecimiento fitoplanctónico
$\mu_{max}$	Velocidad máxima de crecimiento fitoplanctónico
$R$	Proporción de pérdida de fitoplancton
$W_s$	Velocidad de hundimiento del fitoplancton
$K_N$	Concentración de saturación de consumo de nutrientes
$K_Z$	Coefficiente de difusión turbulenta vertical
$k_d$	Coefficiente de atenuación difusa de PAR
$Z_{max}$	Profundidad del máximo de fitoplancton
$L$	Escala de longitud (Aquí profundidad eufótica)
$\infty$	Pendiente inicial de la curva de irradiancia fotosintética y máxima velocidad de fotosíntesis.
$E_{0,PAR}$	Radiación fotosintéticamente activa
$g$	Aceleración gravitacional
$P_p$	Densidad de partículas
$P_w$	Densidad del agua
$n$	Viscosidad cinemática
$\Gamma$	Eficiencia de mezcla
$\mathcal{E}$	Velocidad de disipación de la energía
$N^2$	Frecuencia de Brunt-Vaissala
$P_{chl}$	Fracción de clorofila sintetizada
$\Phi$	Proporción de clorofila a biomasa fitoplanctónica
$\Phi_m$	Máxima proporción de clorofila a biomasa fitoplanctónica
$\infty_{chl}$	Pendiente inicial de la curva de irradiancia

Para el objetivo del presente trabajo se modela un caso en cual el crecimiento fitoplactónico está limitado por la disponibilidad de nutrientes y la mezcla vertical, además de los efectos de la velocidad de hundimiento/natación en una capa superficial mezclada. Para este fin se modela el caso 1 y 2 del modelo F & B. En ambos casos se enfatiza la influencia de la mezcla vertical como mecanismo regulador de la posición del DCM. Se utiliza como vínculo entre la hidrografía y la biología superficial el coeficiente de difusión turbulenta, que se calcula como función de la frecuencia de estabilidad de Brunt Väissälä. Además se utiliza el coeficiente de atenuación de luz como una función de la irradiancia descendente. Los detalles del cálculo se describen mas adelante.

Para el desarrollo de este modelo se mantiene la suposición de que en la EGC la profundidad de la capa de mezcla se ubica a 55m de profundidad. Ésta supocisión es propuesta originalmente por los autores del modelo, y coincide cercanamente con las estimaciones de la profundidad de la zona eufótica (1% de luz) en condiciones sin estructura en la EGC (ver apartado III.II). Ésta profundidad también puede ser estimada de las secciones hidrográficas de los resultados (ver apartado III.I).

En el diagrama de la Fig. 40, se esquematizan los dos remolinos de mesoescala de signo opuesto encontrados en la región. Las observaciones sugieren que la profundidad de la capa de mezcla es alterada por la presencia de estructuras de mesoescala: los giros fríos la disminuyen y los giros cálidos la incrementan. En cada caso, las estimaciones del coeficiente de atenuación de luz, calculados en el apartado III.II, sugieren que en el remolino ciclónico de la sección LUSOC  $k_d = -0.07$ ; y en el remolino anticiclónico de la sección SOCCO  $k_d = -0.04$ . En tales condiciones la profundidad de la zona eufótica varía, es decir, es más somera / profunda en relación al remolino ciclónico / anticiclónico

respectivamente. Además, cada estructura tiene radios de deformación mayores a 40 km el periodo inercial calculado sugiere que las fuerzas que formaron el remolino son mayores a un día y medio, es decir, tienen que haber durado más de un periodo inercial. (ver apéndice I, de Anexos).



**Figura 40.** Esquema de dos estructuras de mesoescala de la entrada al Golfo de California. A. Remolino anticiclónico como el de la sección SOCCO. B. Remolino ciclónico, como el de la sección LUSOC.

En la Tabla VIII se enlistan los parámetros modelados. La mayoría de ellos se obtuvieron de la literatura. En cada caso se menciona la referencia. En negritas se resaltan los valores que fueron modificados para la región de la EGC. La justificación de estos valores se incluye más adelante.

**Tabla VIII** Lista de parámetros modelados.

Símbolo	Parámetro	Valor	Unidades
$\mu_{max}$	Velocidad de crecimiento con saturación de nutrientes	0.4	d <sup>-1</sup>
$K_N$	Concentración de Saturación	0.5	mmol N m <sup>-3</sup>
$\infty$	Cociente de la pendiente inicial de la curva O-I y la velocidad máxima de fotosíntesis	0.018 **	(W m <sup>-2</sup> )
$\Phi_m$	Proporción máxima de clorofila a nitrógeno	2	g chl (mol N) <sup>-1</sup>
$R$	Proporción de pérdidas	0.41	d <sup>-1</sup>
$W_s$	Velocidad de Hundimiento	9	m d <sup>-1</sup>
$k_d$	<b>Coefficiente de atenuación de radiación descendente</b>	<b>0.04**</b>	<b>m<sup>-1</sup></b>
$K_Z$	<b>Coefficiente de difusión turbulenta</b>	<b>10<sup>-4</sup> **</b>	<b>m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup></b>
$P_p$	Densidad de Partículas	1,500 †	Kg. m <sup>-3</sup>
$N$	Viscosidad cinemática	0.001	Kg m <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup>
$P_0$	Concentración de fitoplancton cuando $z = 0$	0.1	mmol N m <sup>-3</sup>
$N_0$	Concentración de nutrientes cuando $z \rightarrow -\infty$	30	mmol N m <sup>-3</sup>

\*\* Valores calculados para la EGC, Ver detalles más adelante.

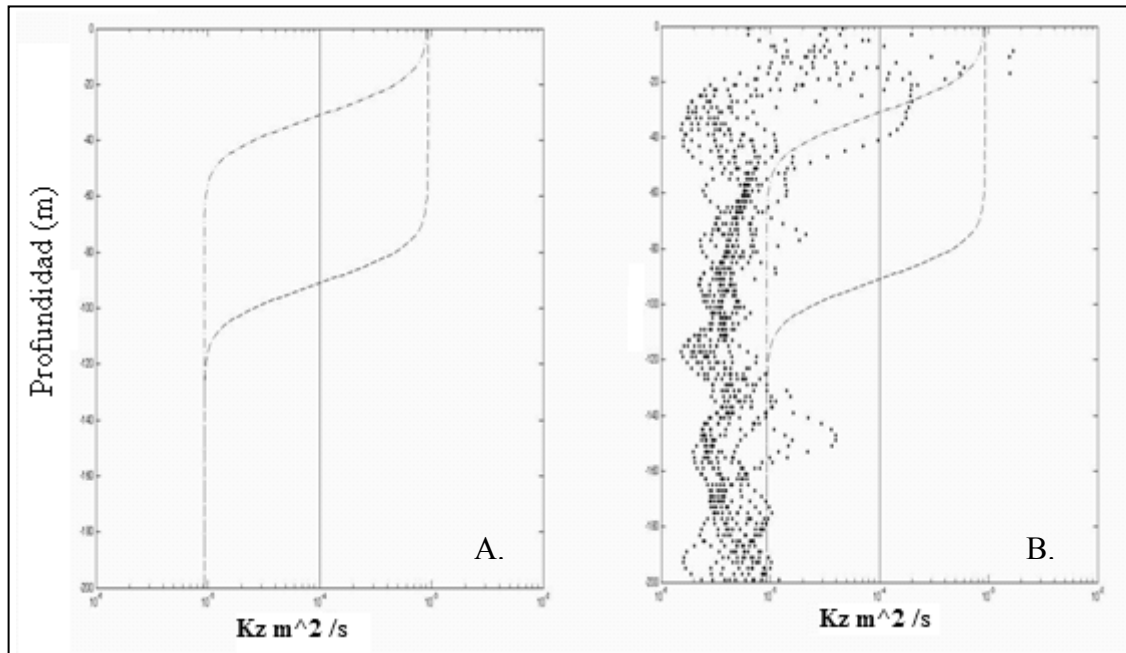
† Valor adaptado de Lerman et al. (1974) cit en (Fennel y Boss, 2003)  
Para mayores detalles del modelo se refiere al artículo de los autores.

En ambos casos del modelo se definen las condiciones de frontera de un perfil de clorofila con forma gaussiana. La concentración de fitoplancton ( $P$ ) es cero en superficie y tiende a cero conforme aumenta la profundidad (en el modelo tiene hacia infinito). Es decir,  $P = P_0$  cuando  $z=0$  y  $P=0$  cuando  $z = Z_{finito}$ .

Es importante mencionar que la reproducibilidad del modelo se *calibró* con los datos originales, con los cuales fue creado por los autores del mismo. El esquema general de la representación se muestra en la Fig. 41. La Fig. 41A, muestra un perfil de superficie hasta 200m de profundidad (eje vertical), el coeficiente de difusión turbulenta en m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup> (en el eje horizontal); en la representación se incluye una constante de difusión vertical, representada como una línea sólida. Para generalizar la representación se simula un gradiente de  $K_Z$  ( $dK_Z$ ) que simula el límite de la capa superficial mezclada a 20 y a 80m de profundidad. Éste esquema permite comparar con datos empíricos, representados

por los puntos en la Fig 41B y establecer la distribución de los datos respecto al modelo.

Los datos mostrados corresponden al  $Kz$  estimado por los autores.



**Figura 41. A.** Esquema general de la representación del modelo F&B. En el eje vertical se muestra un perfil de superficie hasta 200m de profundidad, en el eje horizontal se muestra el coeficiente de difusión turbulenta en  $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ ; en la representación se incluye una constante de difusión vertical (línea sólida). Para generalizar la representación se simula un gradiente de  $Kz$  ( $dKz$ ) que simula el límite de la capa superficial mezclada a 20 y a 80m de profundidad (líneas intermitentes). **B.** Validación del modelo con los datos del coeficiente de difusión turbulenta calculado por los autores. Tomado de Fennel & Boss, 2003.

El coeficiente de difusión turbulenta ( $K_z$ ), varía con la profundidad y se estima en base a la frecuencia de estabilidad de Brunt - Väisälä (Ec. 10). El coeficiente de difusión turbulenta se calculó con los perfiles verticales del CTD SBE911 considerando como constantes la eficiencia de mezcla y la tasa de disipación de energía turbulenta.

$$k_z = \frac{\Gamma E}{N^2} \quad (10)$$

Dónde:

$\Gamma$  = eficiencia de mezcla;  $E$  = razón de disipación de energía turbulenta;

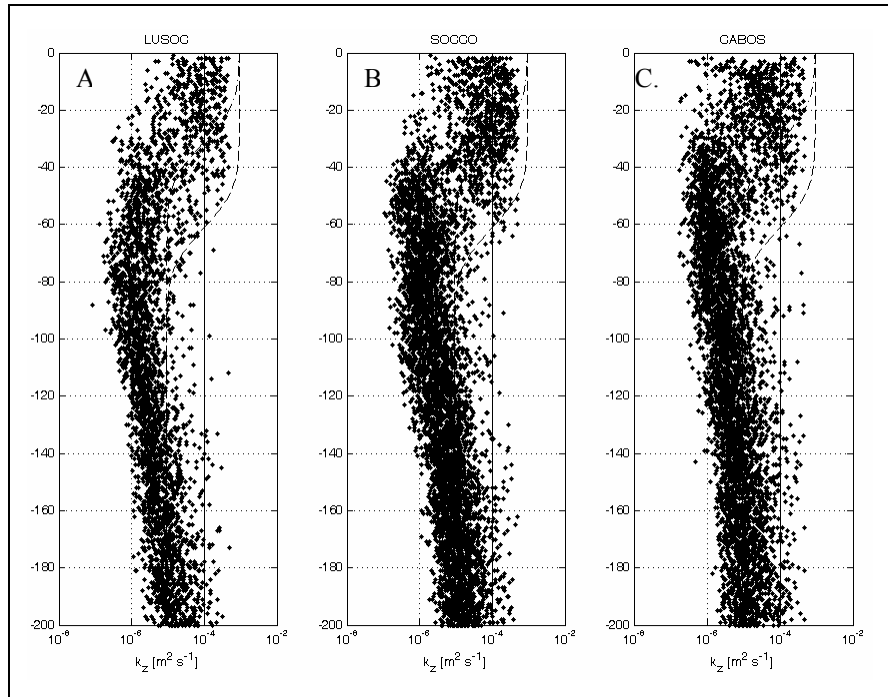
$N^2$  = Frecuencia de Brunt Väissälä al cuadrado (ec 11)

$$N^2 = -\frac{g}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial z} \quad (11)$$

$g$  = Aceleración gravitacional ;  $\rho$  = Densidad del agua

Se utilizó el valor promedio de  $\Gamma E = 3.7 \times 10^{-10} \text{ W kg}^{-1}$  en la termoclina propuesto por Gregg et al. (1986) (cit. in Fennel, et al 2003).

En los datos de la EGC, eliminé los valores menores a  $0.0005 \text{ (m}^2 \text{ s}^{-1}\text{)}$  porque contienen demasiado ruido y no permiten ver la estructura del campo del coeficiente de difusión turbulenta. El cálculo de  $K_z$  se hizo para 90 perfiles verticales. Se representan 20 perfiles de la sección LUSOC, 38 de la sección SOCCO y 32 de la sección CABOS. La Fig. 42 muestra los resultados.



**Figura 42.**  $K_z$  calculado para 20 perfiles de la sección LUSOC (A); 38 perfiles de la sección SOCCO (B); y 32 perfiles de la sección CABOS (C). La línea sólida representa  $K_z$  constante. Las líneas punteadas simulan la tendencia de una capa superficial mezclada a 20m y a 50m.

Los resultados de la Fig. 42. muestran que el coeficiente de difusión turbulenta calculado para la EGC es de  $10^{-4}$ , estos son valores típicos de la capa mezclada, (Lewis *et al.*, 1986; Smyth *et al.*, 2001; Finnigan *et al.*, 2002). El coeficiente de difusión turbulenta es más alto en los primeros 50m de profundidad, de tal manera que la profundidad de la capa de mezcla está definida por los valores máximos superficiales de  $K_z$ , y la región de gradiente del coeficiente de difusión turbulenta ( $dK_z$ ), delimita los límites de la capa mezclada. Debajo ésta región se observa un mínimo subsuperficial de  $K_z$ , éste coincide con la profundidad de la termoclina. En ésta región  $K_z$  oscila alrededor de  $10^{-6}$ . Debajo de esta zona  $K_z$  se incrementa gradualmente y cerca de 200m se alcanzan valores de  $K_z$  parecidos a los de superficie.

Con la información del  $K_z$  para la región de estudio, se inicia el corrimiento del modelo alimentándolo con datos empíricos del coeficiente de difusión turbulenta de la EGC.

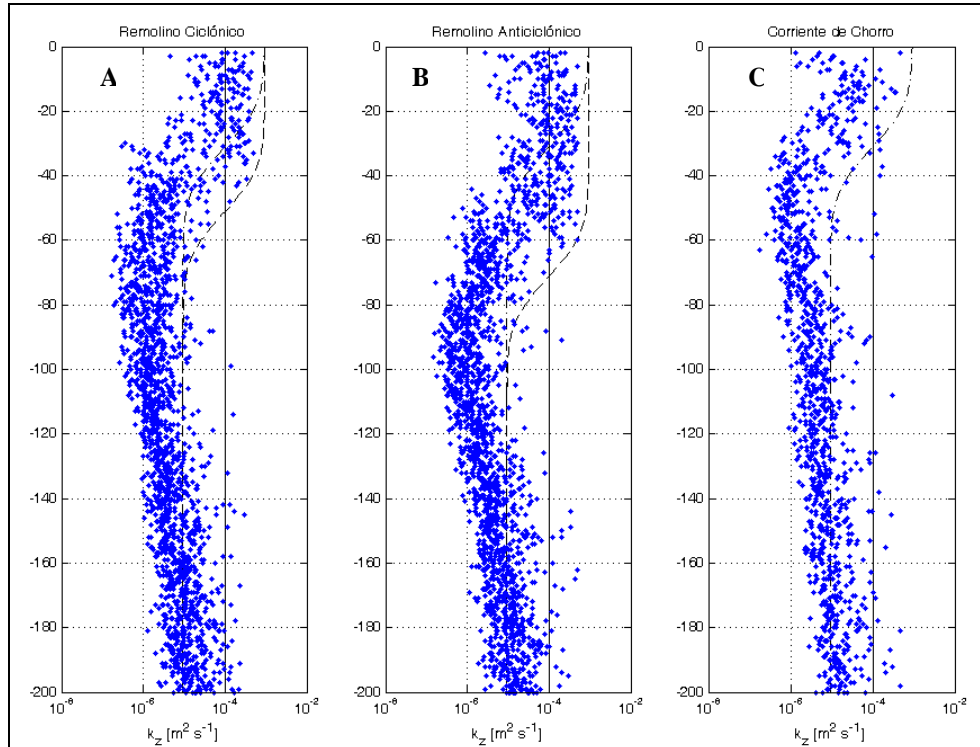
**Caso 1. Crecimiento óptimo sin limitación de nutrientes y  $K_z$  variable.**

El gradiente de variación de  $K_z$  caracteriza a cada estructura descrita para el periodo de estudio. Es por eso que se seleccionan los perfiles que describen a los remolinos y la corriente de chorro. La selección se agrupa de la siguiente manera: (Los detalles de la posiciones de los lances se refieren en la Tabla XII de los anexos.)

Remolino ciclónico	----	Lance 008 al 018
Remolino anticiclónico	----	Lance 021 al 033
Corriente de Chorro	----	Lance 093 al 100

Los resultados se muestran en la columna A de la Fig. 43, la representación se hace para cada transecto, simbolizando una capa de difusión vertical constante (línea sólida) y una capas de mezcla superficial estimada para cada perfil hasta la profundidad del gradiente de difusión vertical más alto (líneas punteadas) de cada transecto. Los resultados muestran que el remolino ciclónico tiene una capa de turbulencia máxima somera que llega hasta los 40m de profundidad (Fig. 43 A). En contraste, en el remolino anticiclónico la capa de máxima turbulencia es más profunda y muestra un gradiente de  $K_z$  a 60m de profundidad (Fig. 43 B). Sin embargo, la corriente de chorro muestra que la capa de máxima turbulencia es aún más somera y señala que el gradiente de  $K_z$  se dá a los 20m de profundidad (Fig. 43 C).



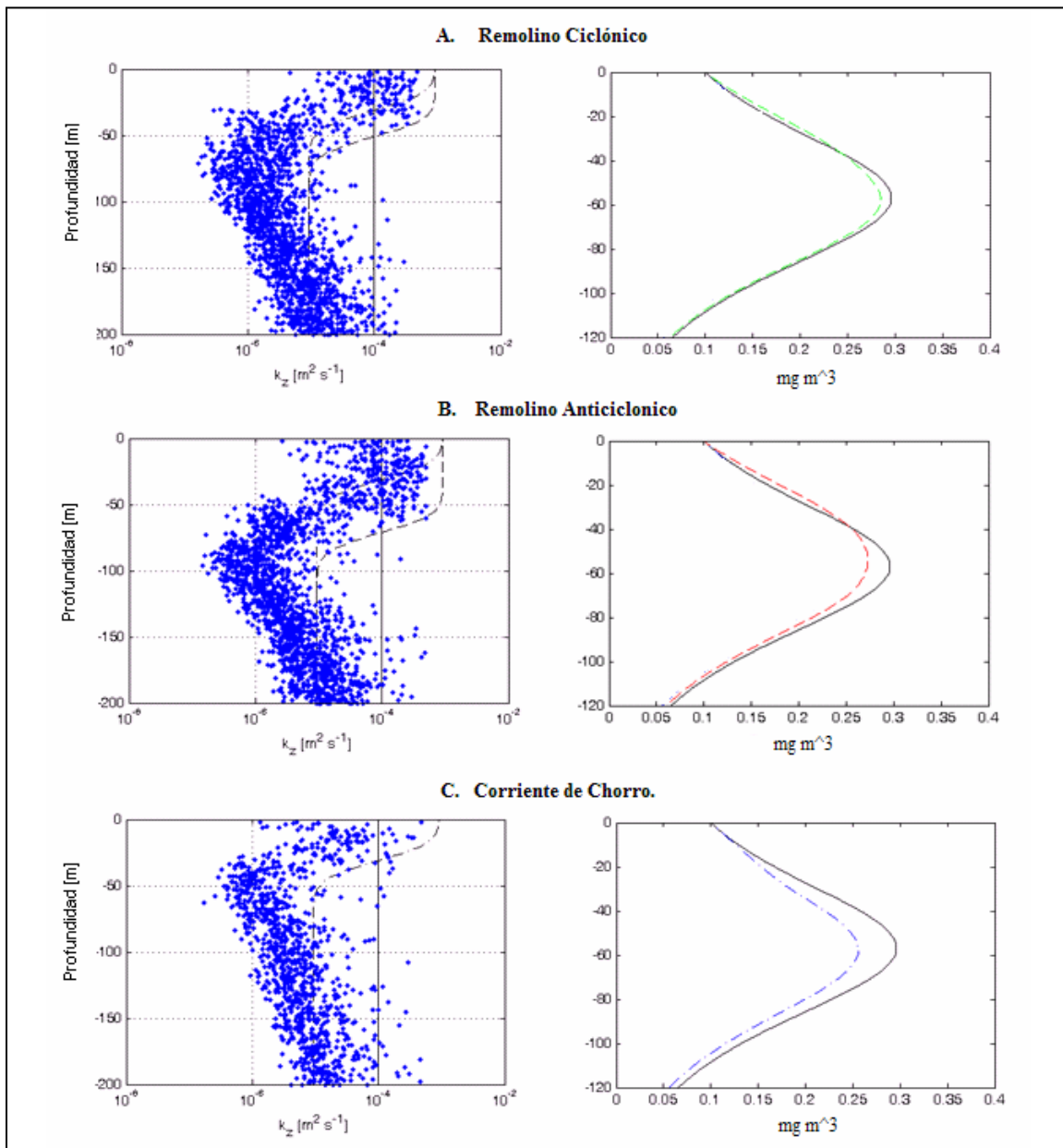


**Figura 43.**  $K_z$  calculado para: (A) remolino ciclónico; (B) remolino anticiclónico; y (C) corriente de chorro. La línea sólida representa  $K_z$  constante. Las líneas punteadas simulan la tendencia de una capa superficial mezclada (A) 40m; (B) 60m; (C) 20m.

De ésta manera, la profundidad de gradiente de  $K_z$  estimado para cada estructura, fue introducido al modelo para simular un caso idealizado sin limitación de nutrientes, cuando el coeficiente de difusión turbulenta define que el limite de la capa de mezcla varía a 20, 40 y 60 m respectivamente, de acuerdo con los resultados mostrados en la Fig. 44.

Los resultados del Caso 1, se muestran en la Fig. 44; en la columna de la izquierda se grafican las variaciones añadidas que corresponden al gradiente de difusión vertical provocado por estructuras de mesoescala, similares a las mostradas en la Fig. 43. Sin embargo, en la columna derecha, se grafica su correspondiente distribución del perfil de clorofila cuando la capa de mezcla se ubica a 20m (línea azul), 40m (línea verde) y

60m (línea rojo) de profundidad. En cada perfil se representa la condición idealizada del DCM a 50 m propuesta por los autores, esta condición simula la profundidad promedio de la capa de mezcla en ausencia de estructuras y en la columna derecha de la figura está representada por la línea negra continua.



**Figura 44.** Columna Izq.,  $K_z$  calculado para las estructuras de mesoescala. Columna der., perfil de clorofila modelado para el  $dK_z$  de cada estructura. **A)** En un remolino ciclónico, **B)** En un remolino anticiclónico, y **C)** En la corriente de chorro.

Los resultados sugieren que en un remolino ciclónico (Fig. 44 A), un anticiclónico (Fig. 44 B) ó una corriente de chorro (Fig. 44C) la posición del DCM no cambia si existe la cantidad suficiente de nutrientes para soportar el crecimiento de la población, aun cuando existan variaciones en el gradiente de Kz. El modelo de (Sharples y Tett, 1994), sugiere que el máximo de clorofila intermedio en la columna de agua es el resultado de un flujo de nutrientes episódico que se mueve hacia la termoclina, causado por pulsos en el proceso de mezcla, en este caso, causado por difusión vertical. Los resultados de la Fig 44, concuerdan con los argumentos de Sharples, 1994. El efecto principal de la turbulencia vertical se observa cuando se difunden nutrientes hacia regiones de nutrientes agotados. Sin embargo, cuando no existe limitación de nutrientes la posición del DCM depende de otros mecanismos para su formación. Fennel & Boss argumentan que el DCM es una función dependiente del balance entre el crecimiento ( $\mu_{max}$ ) y la velocidad de hundimiento ( $W_s$ ). Este argumento implica que no se está considerando la composición de especies fitoplanctónicas, ya que el modelo sólo incluye partículas esféricas con números de Reynolds bajos, de tamaño 0.3 a 3 micras en radio, es decir, un grupo de fitoplancton promedio como prochlorococcus (Moore & Chisholm, 1999). Bajo ésta consideración, el modelo predice que el DCM se ubica a una profundidad en la que no solo la  $W_s$  es importante, si no también mecanismos como las perdidas biológicas, el crecimiento y las diferencias en las velocidades de hundimiento determinan la posición del DCM, tal y como (Fennel y Boss, 2003) lo describen (ec. 12):

$$\mu - R - \frac{dw_s}{dz} = 0 \quad (12)$$

El argumento de la ec. 12 acorde con los autores elimina el efecto de Kz en la posición del DCM; de la misma manera, los resultados sugieren que bajo estas

condiciones  $K_z$  tiene un efecto pequeño. Sin embargo, para los objetivos del trabajo se determina la función de  $K_z$  en el DCM y se continúa con el caso 2 del modelo. Se parte de la suposición de que los resultados de la Fig. 44 permiten verificar que el modelo reproduce exitosamente las condiciones para la región de estudio.

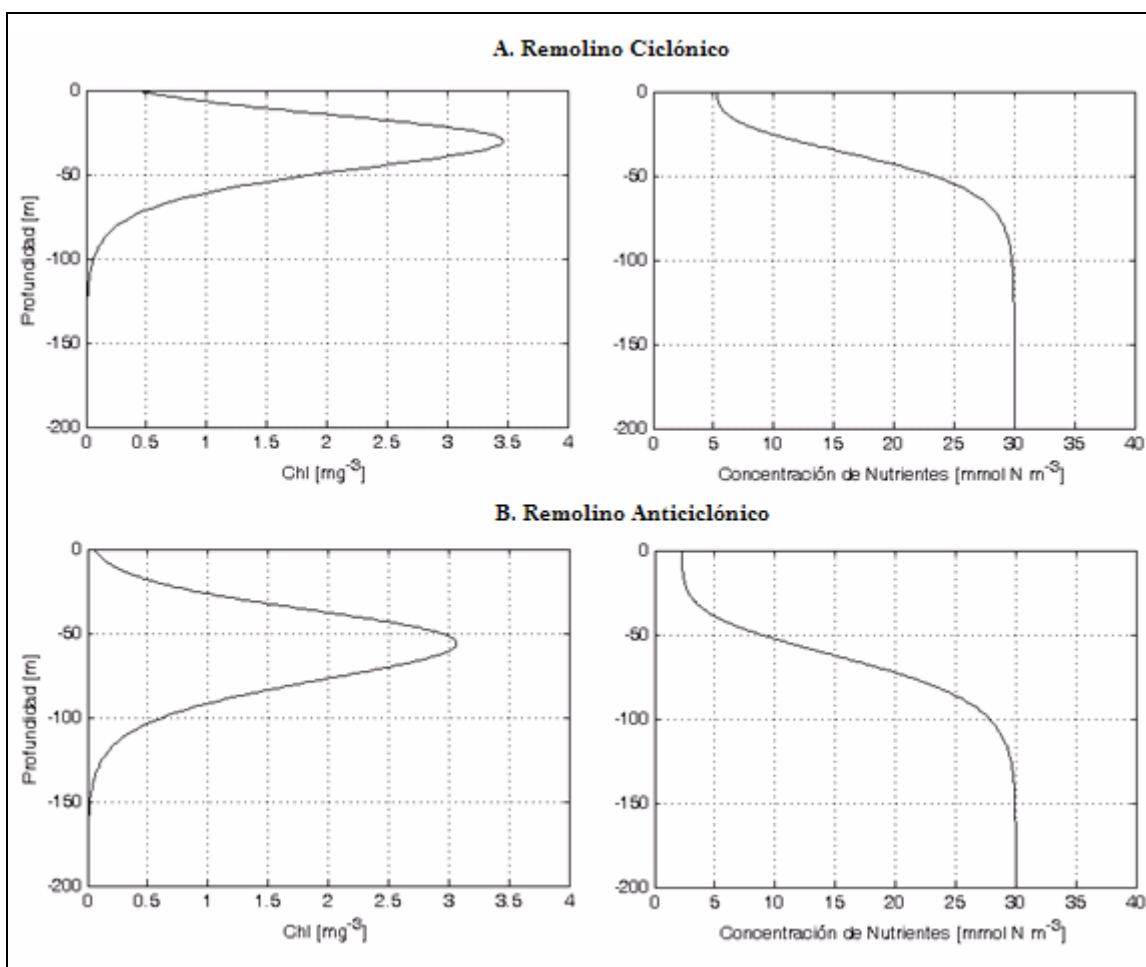
Caso 2. Los efectos de la velocidad de hundimiento/natación en una estructura de mezcla vertical que incluye una capa superficial mezclada.

Hasta este punto se supone una provisión de nutrientes suficiente para soportar el crecimiento de fitoplancton. Sin embargo, en el océano los niveles de nutrientes son bajos en la zona eufótica y el DCM se localiza en una zona de pocos nutrientes sobre la nutriclina (Fennel y Boss, 2003). Es por eso que para generalizar el modelo, los autores incluyen una ecuación de nutrientes (ec. 13), incluyendo la variable  $N$  como una variable de estado adicional.  $N$  representa la forma disuelta del modelo de nutrientes disponible para el fitoplancton ( $N$  incluye formas orgánicas e inorgánicas biodisponibles) (Fennel y Boss, 2003).

En un sistema real, no existe solución posible en la que bajo condiciones limitadas de nutrientes en un perfil de clorofila, la penetración de luz en la columna de agua no sea modificada. De tal manera que se utilizan los datos de irradiancia del lance 009 y 032 para estimar la penetración de luz en un giro ciclónico y en un anticiclónico respectivamente (para detalles de las posiciones véanse las tablas de anexos). En este caso no se modeló la corriente de chorro porque no se tiene datos empíricos de  $k_d$  para ésta estructura.

En el modelo se acoplan las ecuaciones 4 y 5 para integrar la ecuación de nutrientes a la ecuación del caso 1 del modelo. De esta manera se modela un flujo ascendente de nutrientes disueltos balanceado por un flujo descendente de material particulado (células de fitoplancton), a cualquier profundidad, en una estructura vertical dada. Ésta suposición corresponde al caso 2 del modelo; para los objetivos del presente estudio, la estructura vertical está definida por la profundidad del gradiente de  $K_z$ , el cual se estimó para cada estructura en la Fig. 43.

Posteriormente, mediante la aplicación del modelo se obtienen perfiles de la concentración de clorofila [chl] y de la concentración de nutrientes [N]. Los resultados se muestran para cada estructura en la Fig. 45, en: A. Remolino ciclónico y B. Remolino anticiclónico. En la columna izquierda se representa [chl] y en la columna de la derecha se representa [N].



**Figura 45.** Perfiles modelados de concentración de clorofila – columna izquierda; y concentración de nutrientes – columna derecha. **A.** Remolino ciclónico y **B.** Remolino Anticiclónico.

Los resultados de la Fig. 45A, muestran que en el remolino ciclónico, cuando la estructura vertical está definida a 40m de profundidad, el perfil de concentración de nutrientes predice concentraciones superficiales mayores a  $5 \text{ mmol N m}^{-3}$ . En la capa de mezcla las concentraciones aumentan gradualmente conforme se acercan a la nutriclina (desde 5 hasta  $20 \text{ mmol N m}^{-3}$ ). El modelo también predice una nutriclina somera. Bajo estas condiciones el DCM se ubica alrededor de 40 m y reproduce concentraciones de nutrientes cercanas a  $12 \text{ mmol N m}^{-3}$  y concentraciones de clorofila de  $3.5 \text{ mg m}^{-1}$ , ambas en la profundidad del máximo. En contraste, en la Fig. 45B se muestra que en un

remolino anticiclónico el perfil de nutrientes muestra concentraciones desde 3 hasta 30  $\text{mmol N m}^{-3}$ . En la capa de mezcla la concentración de nutrientes es menor a 5  $\text{mmol N m}^{-3}$ . El DCM se ubica alrededor de 60 m de profundidad, bajo estas condiciones el modelo reproduce concentraciones de nutrientes cercanas a 12  $\text{mmol N m}^{-3}$  y concentraciones de clorofila de 3  $\text{mg m}^{-1}$ , ambas en la profundidad del máximo.

Los resultados del modelo sugieren que cuando se simulan condiciones en las que la estructura vertical tiene un gradiente a 40 m de profundidad, como es el caso del remolino ciclónico del transecto LUSOC, el perfil de nutrientes muestra que la [N] será más alta en la capa de mezcla; y en tales condiciones el DCM se ubica a 40 m de profundidad. Ello difiere del remolino anticiclónico del transecto SOCCO, en donde, la estructura vertical tiene un gradiente a 60m de profundidad y el perfil de nutrientes muestra que la [N] será más baja en la capa de mezcla; en tales condiciones el DCM se ubicará a 60m de profundidad. El factor común entre la posición del DCM en ambos casos es que éste se ubica en la profundidad a la cual el perfil de nutrientes alcanza una concentración de nutrientes cercana a 12  $\text{mmol N m}^{-3}$ . Lo anterior sugiere que el DCM se ubicará a la profundidad en la cual se encuentra la cantidad mínima necesaria para crecer y reproducirse. Este punto puede corresponder con la profundidad de compensación, como han reportado diferentes autores, una profundidad a la cual el crecimiento específico, todas las pérdidas, y la mezcla vertical se balancean (Teet *et al.*, 2002; Fennel y Boss, 2003; Huisman *et al.*, 2006). Por otro lado, la diferencia más notable en ambas estructuras es que la concentración de clorofila aumenta en el remolino ciclónico y disminuye en el remolino anticiclónico, estos resultados sugieren la capacidad de diluir las concentraciones de clorofila de ambas estructuras.

Por último, se crearon secciones verticales para los tres transectos en donde se comparó el  $K_z$  calculado, la concentración de clorofila modelada y la fluorescencia observada. Para construir el mapa de color de concentración de clorofila, se calculó la irradiancia ( $E$ ) descendente correspondiente a la profundidad del gradiente de  $K_z$ . Para este fin se utiliza la ecuación 2 del apartado 3.2 perfiles de irradiancia. El coeficiente de atenuación de luz ( $k_d$ ) para cada perfil, se estimó, considerando que la luz disminuye exponencialmente con respecto a la profundidad. Las estimaciones para gradientes de  $K_z$  ( $dK_z$ ) desde 20 hasta 60m se muestran en la Tabla IX.

**Tabla IX.**  $k_d$  calculado para su correspondiente  $dK_z$ .

$dK_z$ (m)	$k_d$ ( $d^{-1}$ )
20	0.09
25	0.08
30	0.07
35	0.65
40	0.055
45	0.05
50	0.045
55	0.04
60	0.038

Los resultados se muestran en las Figs. 46, 47 y 48. Los mapas de color de cada transecto muestran en el eje horizontal latitud (LUSOC) o longitud (SOCCO y CABOS) respectivamente para cada transecto. En la escala de color se muestran los valores de cada variable, los valores más bajos se muestran en azul y los más altos en rojo. En cada



figura se sobreponen los contornos de las isotermas para indicar la posición de la termoclina.

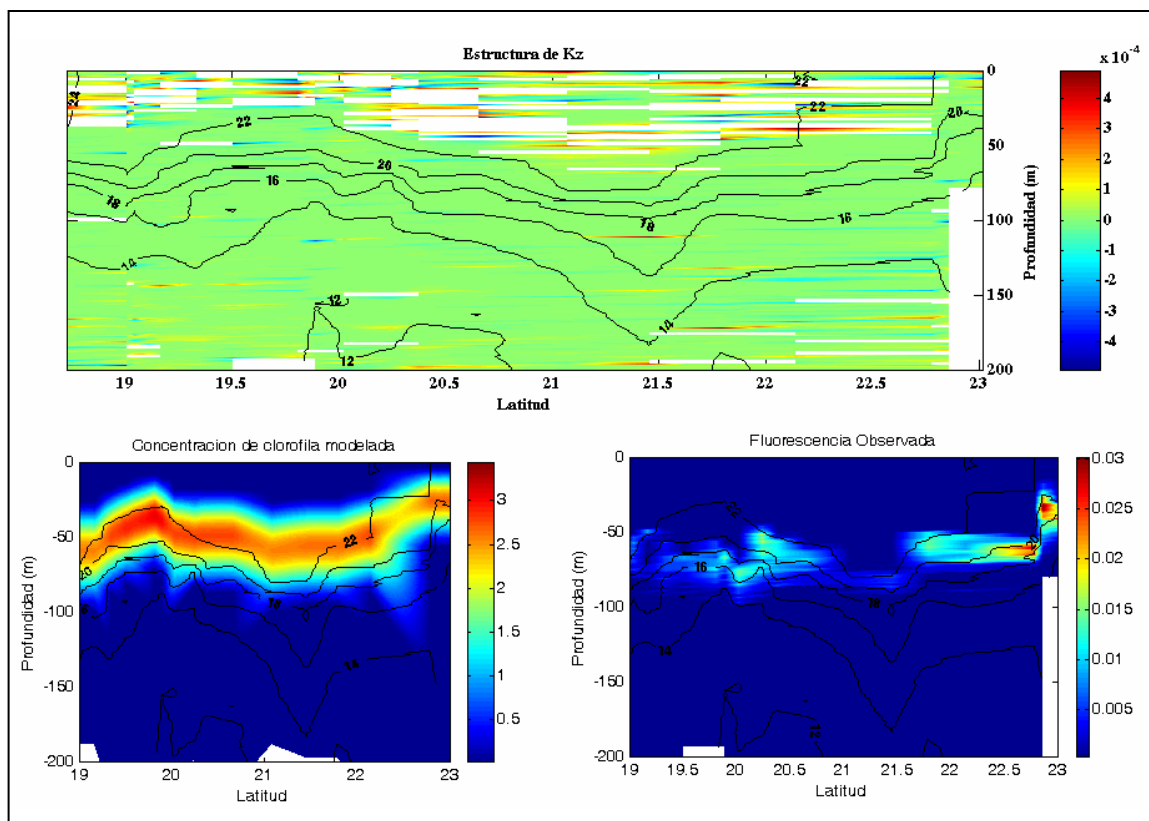
En general, los resultados de las secciones verticales de la estructura de Kz (Figs. 46A, 47A y 48A), muestran que los valores mas elevados de Kz ocurren dentro de la capa de mezcla. La termoclina aparece como una barrera que separa a las regiones más profundas con valores de Kz significativamente menores. Esto sucede porque Kz se estima en base a los valores de la frecuencia de estabilidad ( $N^2$ ) de tal manera que los cambios en la profundidad de la termoclina producidos por las estructuras de mesoescala se manifiestan en el espesor de la región de Kz máxima. En el transecto LUSOC (Fig.46A), la región de Kz máxima es más somera en el centro del domo ciclónico, alcanza solo 40m de profundidad, y aumentando de profundidad hacia los extremos del giro hasta los 50m, el promedio de la profundidad de la termoclina para la sección. En el transecto SOCCO (Fig.47A.) la región de Kz máxima es más profunda en el centro del remolino anticiclónico donde alcanza 60m de profundidad. En el resto del transecto la región de Kz máxima se mantiene alrededor de los 50 m de profundidad. En el transecto CABOS (Fig.48A.), la profundidad de la región de Kz máxima es pequeña frente a la costa de Cabo San Lucas, en la región de influencia de la corriente de chorro, sin embargo, alcanza profundidades de hasta 60m en el centro del remolino anticiclónico.

La sección de concentración de clorofila modelada (Fig. 46B) simula concentraciones altas de clorofila en la DCM (entre 2 y 3.8 mg m<sup>-3</sup>). El patrón general del modelo, predice incrementos en la concentración de clorofila en el centro del domo ciclónico del transecto LUSOC las concentraciones van disminuyendo hacia los extremos del remolino, conforme la termoclina se hace más profunda. En contraste,

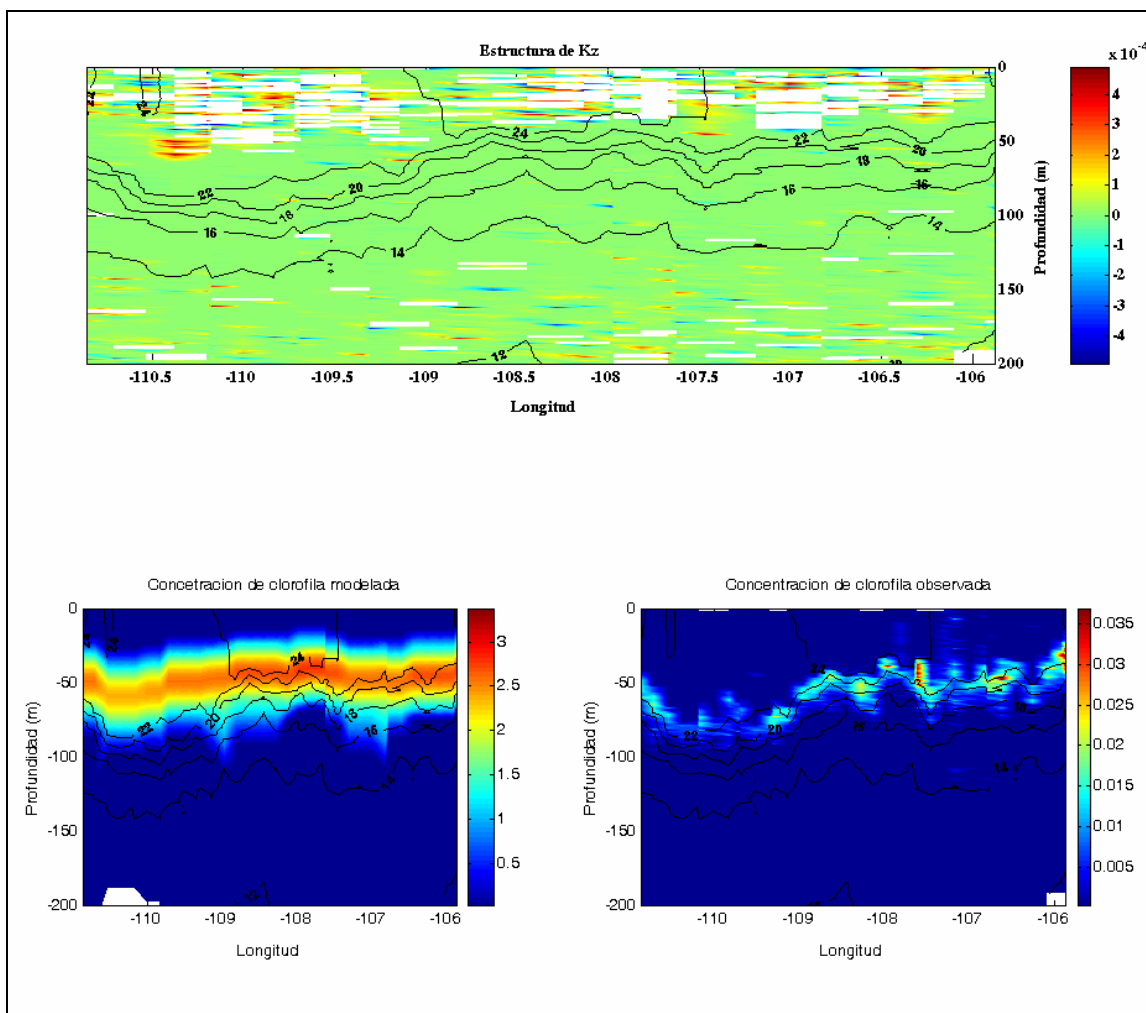
concentraciones relativamente bajas de clorofila son modeladas cuando aumenta la profundidad de la termoclina. El decremento en concentración está directamente asociado a estructuras anticiclónicas del transecto SOCCO y CABOS (Figs.47B y 48B.). El modelo predice bajas concentraciones de clorofila asociadas a gradientes de  $K_z$  extremadamente someros, como se manifiesta en la región de la corriente pegada a costa de Baja California. (Fig.47B.)

Existen diferencias entre las predicciones del modelo y la fluorescencia observada. En nuestras aproximaciones concluimos  $\mu_{\max}=1.8d^{-1}$ , como la mejor aproximación para la EGC; valores más bajos resultan en concentraciones negativas y valores más altos en sobreestimaciones más elevadas en la concentración de clorofila. Para mejorar las predicciones del modelo se sugiere determinar  $\mu_{\max}$ , mediante el cálculo de la fracción de clorofila sintetizada ( $\infty_{chl}$ ) de la ecuación 3 del modelo de Fennel & Boss, para el cual se requieren datos de nutrientes que en este crucero no fueron medidos. Sin embargo, a pesar de la diferencia descrita anteriormente, la tendencia del incremento/decremento en la concentración de clorofila asociada a las estructuras ciclónicas/anticiclónicas respectivamente, es modelada exitosamente. Al final, también se observa que el incremento en la señal de fluorescencia asociada a la corriente pegada a la costa de Cabo San Lucas no se representa en el modelo. Las observaciones muestran un incremento substancial de la fluorescencia en la corriente de chorro respecto al remolino ciclónico. Esta diferencia pone de manifiesto la importancia de los procesos advectivos horizontales en el transporte de masas de agua y especies de fitoplancton que caracterizan las altas concentraciones de clorofila en la estructura. Estos procesos no son considerados en el modelo.

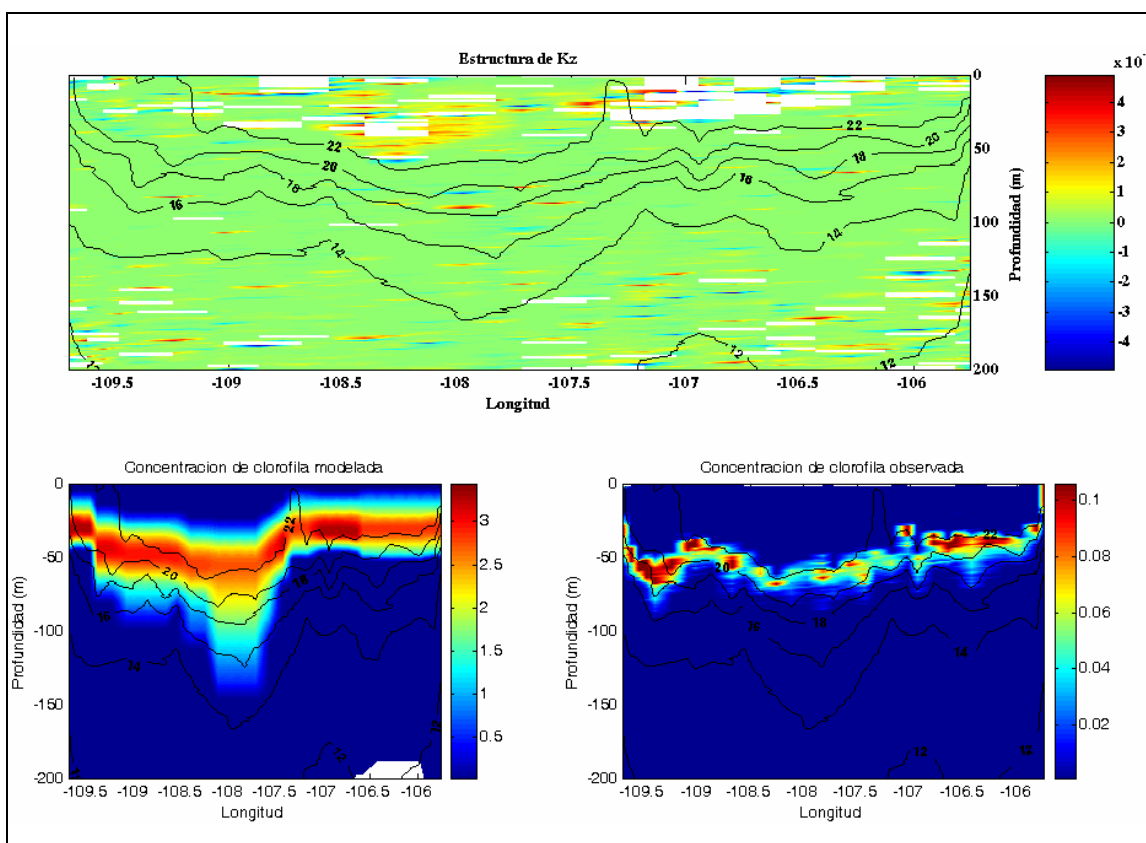
Respecto de las diferencias del modelo para cada sección, se observó que para la sección LUSOC (Figs. 46 B y C) el modelo predice la posición del DCM en la parte alta de la termoclina del remolino ciclónico mientras que las observaciones de fluorescencia sugieren que el DCM es más profundo y que se intensifica la concentración de clorofila en un flanco del giro. Mientras tanto la posición del DCM sobre la corriente costera es parecida en ambos casos pero más profunda en las observaciones. En la sección SOCCO (Figs. 47 B y C) la profundidad del DCM observada en el remolino anticiclónico es más profunda que en el modelo y se nota además un decremento significativo de intensidad. En la sección CABOS (Figs. 48 B y C) el modelo y las observaciones muestran buen acuerdo en el lado Este del remolino anticiclónico. En el interior del remolino las observaciones indican la presencia de una DCM plana y poco intensa que coincide con la base de la capa mezclada, mientras que el modelo predice una DCM que se profundiza con la termoclina del remolino. Hacia la costa de Baja California la DCM observada es intensa y se localiza en el interior de la termoclina mientras que el modelo predice bien la intensificación pero, de nuevo, subestima la profundidad colocando el máximo de la DCM mucho más somero que lo observado.



**Figura 46.** Sección vertical de transecto LUSOC. En el eje horizontal se muestra longitud, en el eje vertical se muestra profundidad. Los contornos muestran la posición de las isotermas. En **A.** se grafica la estructura de  $K_z$ , la barra de color señala la velocidad de  $K_z$  en  $\text{m}^2\text{s}^{-1}$ . **B.** grafico de concentración de clorofila modelada, la barra de color muestra concentraciones en  $\text{mg m}^{-3}$ . **C.** grafico de la fluorescencia observada en mV.



**Figura 47.** Sección vertical de transecto SOCCO. En el eje horizontal se muestra longitud, en el eje vertical se muestra profundidad. Los contornos muestran la posición de las isotermas. En **A.** se grafica la estructura de Kz, la barra de color señala la velocidad de Kz en  $\text{m}^2\text{s}^{-1}$ . **B.** grafico de concentración de clorofila modelada, la barra de color muestra concentraciones en  $\text{mg m}^{-3}$ . **C.** grafico de la fluorescencia observada en mV.



**Figura 48.** Sección vertical de transecto CABOS. En el eje horizontal se muestra longitud, en el eje vertical se muestra profundidad. Los contornos muestran la posición de las isotermas. En **A.** se grafica la estructura de Kz, la barra de color señala la velocidad de Kz en  $\text{m}^2\text{s}^{-1}$ . **B.** grafico de concentración de clorofila modelada, la barra de color muestra concentraciones en  $\text{mg m}^{-3}$ . **C.** grafica de la fluorescencia observada en mV.

En resumen los resultados del modelo sugieren que el coeficiente de difusión turbulenta es un mecanismo importante en la formación del DCM. El papel principal de  $K_z$  es difundir nutrientes hacia superficie de esta manera las células de fitoplancton se ubican en un región en donde  $K_z$  es pequeño y su capacidad de hundirse les permite estabilizarse, pero también en una región en la que existe la cantidad de nutrientes óptima para el crecimiento. Así mismo,  $K_z$  diluye las concentraciones de clorofila en el DCM. Las concentraciones de clorofila modeladas, pueden estar sobreestimadas respecto de las concentraciones reales, ya que la tasa de crecimiento máximo se ha estimado iterativamente a partir del modelo original debido a que no se tiene información suficiente para optimizar mediante la utilización de la ec. 3 del modelo, que permitiría estimar la síntesis de clorofila por célula de fitoplancton. Además, la concentración de clorofila en el DCM está en función del origen de las aguas que lo producen, es por esto que las concentraciones pueden variar en las observaciones debido a transporte horizontal de nutrientes. Tal es el caso de la corriente de chorro, y son justamente los procesos advectivos horizontales los que son ignorados en este modelo. Por otra parte el modelo muestra ciertas limitaciones que radican principalmente en las variaciones en la posición del DCM; en el modelo el DCM se ubica por encima de la termoclina mientras que en las observaciones sigue cercanamente la profundidad de la termoclina, es decir, se localiza en la base de la zona eufótica. Ello permite considerar que la estimación empírica de los perfiles de irradiancia puede mejorar las predicciones del modelo.

#### **IV. CONCLUSIONES.**

##### Observaciones.

La Entrada al Golfo de California (EGC) está caracterizada por un intenso campo de mesoescala producido por la convergencia en superficie de tres masas de agua de origen diferente. La proporción de estas masas de agua varía y su presencia se encuentra delimitada a ciertas regiones. Esta característica conforma una región de transición entre aguas frías, ricas en nutrientes, provenientes de otras corrientes o de aguas profundas exportadas hacia superficie - producidas por procesos de mezcla o surgencias costeras y las aguas cálidas oligotróficas del océano abierto.

En todos los casos la profundidad de máximo de clorofila (DCM) se encuentra por encima del inicio de la termoclina. Este patrón de distribución tiene una tendencia con respecto a la distancia hacia la costa, es decir, el DCM es más somero cerca de la costa que lejos de ésta. Éste patrón regularmente está en relación con la dinámica de la región, es decir, a la presencia de corrientes costeras que producen que se eleve la estructura cerca de la costa, por ejemplo. Adicionalmente, la posición del DCM muestra claras relaciones con la presencia de las estructuras de mesoescala descritas para la región, durante el periodo de estudio.

La descripción de la hidrografía permite caracterizar cuatro estructuras de mesoescala en la región para el periodo de estudio.

1. Una corriente de chorro
2. Un remolino ciclónico
3. Dos remolinos anticiclónicos



Cada una de ellas tiene periodos inerciales mayores a un día y medio y radios de deformación mayores a 40 km. (Ver apéndice I)

Los resultados muestran que el efecto principal del remolino ciclónico del transecto LUSOC es el transporte de agua fría, menos salada, teóricamente enriquecida en nutrientes hacia el interior de la capa eufótica. Mann & Lazier, asemejan este proceso, a una surgencia costera, ya que estos eventos estimulan la productividad primaria de aguas superficiales muy por encima de los valores promedio.

El efecto contrario es caracterizado por un remolino anticiclónico. Estos remolinos son estructuras que están permanentemente estratificadas (aunque con cambios estacionales en el espesor de la capa mezclada) por lo que tienen constantemente bajos niveles de nutrientes (Mann y Lazier, 1991). De tal manera que los resultados sugieren que cuando la termoclina se hunde debajo de la profundidad promedio de la capa de mezcla se promueven condiciones oligotróficas mediante la advección y difusión de agua caliente hacia el fondo de la capa mezclada. En ésta región el agua fría con altos niveles de nutrientes, se encuentra a mayor profundidad y en el entorno afuera del remolino. De tal manera que las isotermas y la nutriclina se hunden hacia el centro del giro. Sin embargo, los flancos del giro, originan regiones de gradiente de velocidad intensificado, también llamadas “paredes frías” que difunden más rápidamente los nutrientes hacia la superficie e incrementan la señal de fluorescencia en el DCM.

Por otro lado, la dinámica en la corriente de chorro incluye procesos advectivos horizontales que producen energía cinética turbulenta que es la responsable de la mezcla vertical. De tal manera que estas condiciones producen incrementos significativos en la señal de fluorescencia en el DCM.

El análisis de los perfiles de irradiancia indica que la profundidad de la capa eufótica promedio se define a 55 m de profundidad.

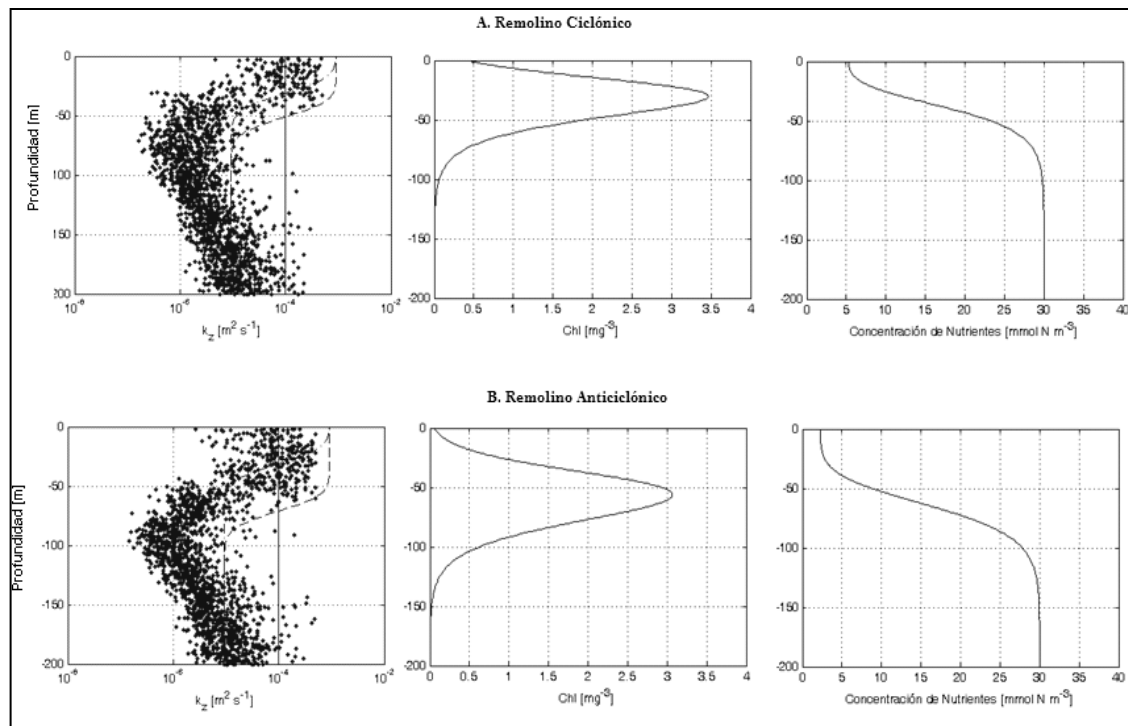
El análisis de la biología superficial muestra que no existe la formación ni separación entre un máximo de partículas (DPM) y un máximo de clorofila (DCM). Cuando existen se relacionan con regiones ausentes de estructuras.

El análisis de componente principal mostró que existe una relación entre la posición del DCM y la profundidad de la capa de mezcla, de tal manera que los incrementos en la concentración de clorofila se asocian a capas de mezcla someras y picnoclinas fuertes. El caso contrario se vincula a condiciones en donde la capa de mezcla es profunda y la picnoclina es débil.

La relación entre la posición del DCM y la profundidad de la capa de mezcla, muestra incrementos en la concentración de clorofila asociados a capas de mezcla someras y picnoclinas fuertes. Cuando la capa de mezcla es profunda y la picnoclina débil la concentración de clorofila disminuye.

Modelo:

Los resultados del caso 1 y 2 del modelo se resumen en la Fig.49, en ésta figura se muestra la estructura vertical de  $K_z$ , el perfil modelado de concentración de clorofila y el perfil modelado de concentración de nutrientes, de A. Remolino ciclónico y B. Remolino anticiclónico.



**Figura 49.** Perfiles de estructura vertical de  $K_z$ , concentración de clorofila modelada y concentración de nutrientes modelada de: A. Remolino ciclónico, B. Remolino Anticiclónico.

En ambas estructuras el modelo sugiere que el DCM se ubica a la profundidad en donde  $K_z$  alcanza un mínimo subsuperficial, estos resultados apuntan a la ec.16. Propuesta por Fennel et al., enfatizando el papel de la velocidad de hundimiento de las células como mecanismo importante en la posición del DCM. Los experimentos de Lande y Word, 1987, cit in Fennel y Boss, 2003, respecto al tiempo de permanencia de partículas/células en la zona eufótica, basados en trayectorias estocásticas de partículas individuales, concluyen que la  $W_s$  de partículas dentro de la capa de mezcla tiene un efecto mínimo o despreciable en el tiempo promedio de permanencia de éstas en la capa de mezcla. Estos experimentos concuerdan con los resultados de la Fig.49, es decir, la condición para que se establezca el DCM requiere que  $K_z$  disminuya para que  $W_s$  sea un

mecanismo importante en la ubicación de las células fitoplanctónicas. Esto implica que:  $K_z \ll W_s = DCM$  (Fennel, 2003).

El factor común entre la posición del DCM en ambos casos es que éste se ubica en la profundidad a la cual el perfil de nutrientes alcanza una concentración de óptima cercana a  $12 \text{ mmol N m}^{-3}$ . Lo anterior sugiere que el DCM se ubicará a la profundidad en la cual se encuentra la cantidad mínima necesaria para crecer y reproducirse. Este punto puede corresponder con la profundidad de compensación, como se ha reportado en diferentes autores, la profundidad a la cual el crecimiento específico, todas las pérdidas, y la mezcla vertical se balancean (Teet *et al.*, 2002; Fennel y Boss, 2003; Huisman *et al.*, 2006).

Por otro lado,  $K_z$  es importante en la dilución de la concentración de clorofila. Ya que se cambia la luz en el ambiente debido al incremento en la concentración de nutrientes en superficie. Un remolino ciclónico causa la divergencia hacia superficie, disminuyendo la profundidad de la capa de máxima turbulencia, incrementando la concentración de nutrientes hacia superficie, de esta manera se incrementa la concentración de clorofilas. Por el contrario, cuando la capa de turbulencia máxima se hunde la concentración de nutrientes disminuye, al igual que la concentración de clorofila en la zona.

## V. ANEXOS.

### Apéndice 1. Remolinos de mesoescala en la Entrada al Golfo de California.

El balance de fuerzas en un remolino ocurre entre la fuerza centrífuga (aceleración relativa) y la fuerza de rotación de la tierra (aceleración de Coriolis). Para el océano la componente más importante de la rotación de la tierra es su componente vertical, es decir, el parámetro de coriolis:

$$f = 2\pi \sin(\Phi) \quad (13)$$

Es la frecuencia con la que rota un plano perpendicular a la superficie de la tierra en la latitud promedio ( $\Phi$ ). El inverso de ésta frecuencia en horas, se conoce como *Periodo Inercial*. Esta es la escala de tiempo del movimiento. Si el movimiento dura más (menos) que el periodo inercial la aceleración de Coriolis tiene (no tiene) tiempo suficiente para actuar y ganar importancia sobre las aceleraciones relativas. El período inercial es el periodo con el que rotaría un plano perpendicular al planeta en su latitud central debido a la rotación del planeta. Es infinito si el centro del plano se encuentra sobre el ecuador y 12 horas si el centro del plano se encuentra en alguno de los polos. Para calcularlo simplemente se toma:

$$T_i = 2\pi / f, \text{ en segundos, ó, } T_i = (2\pi / f) / 3600, \text{ en horas} \quad (14)$$

El radio de deformación de Rossby ( $R_o$ ) es una escala de longitud típica para movimientos de meso y gran escala. Surge en la solución de las ecuaciones de movimiento para aguas someras (Trasviña com. Per.). El radio de deformación de Rossby es una escala natural horizontal de corrientes en el océano cuando el balance

geostrófico y la conservación de la vorticidad son las leyes físicas dominantes. Hacia el ecuador  $f$  tiende a 0 (Mann y Lazier, 1991).

Para los remolinos de la entrada al golfo de California, el radio de deformación de Rossby ( $R_o$ ) es calculado para un océano de dos capas con capa superficial de grosor  $H_i$ . Y se expresa en la ec. 15.

$$R_o = C / 2\Omega, \text{ o bien, } R_o = C / f \quad (15)$$

Donde:

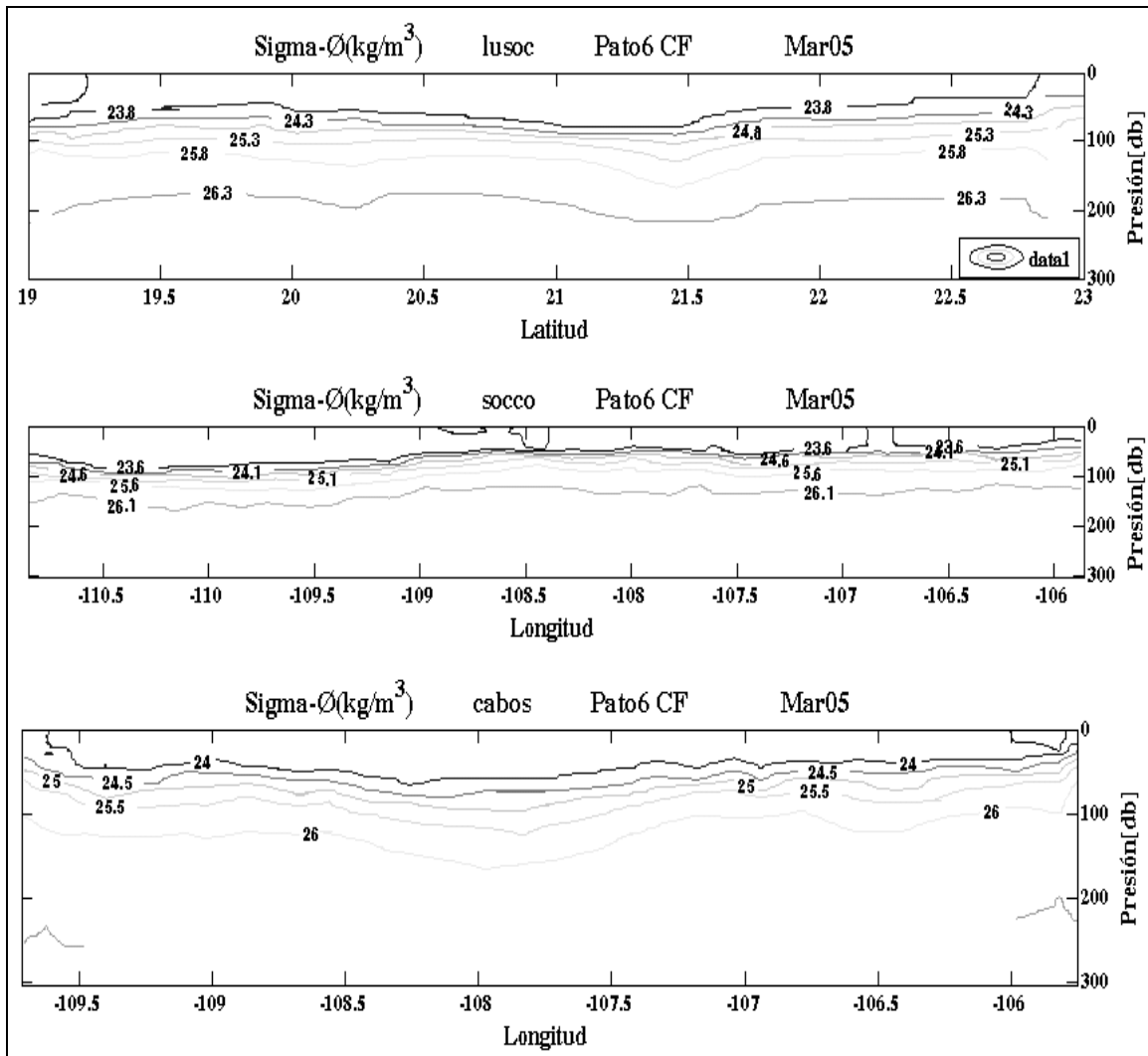
$C$  es la velocidad de fase de ondas largas en un océano de dos capas de capa superficial de grosor  $H_i$ .

$$C = (g' H_i)^{1/2} \quad (16)$$

En este caso  $g'$  es la llamada 'gravedad reducida', la cual se calcula en función de las diferencias de densidad del sistema de dos capas:

$$g' = \frac{\Delta\rho}{\rho_2} g \quad (17)$$

La gravedad reducida de los remolinos de la Entrada al Golfo de California se calculó sobre los valores estimados de las secciones verticales de sigma  $\tau$  de cada transecto y en cada caso se considera 200m de grosor de la capa superficial. Fig. 50.



**Figura 50.** Secciones verticales de densidad. Eje vertical: profundidad desde superficie hasta 300m. En el eje horizontal: **A.** Latitud (LUSOC); **B.** Longitud (SOCCO); **C.** (CABOS).

Remolino ciclónico con diámetro de 150 km. (Transecto LUSOC).

$$\begin{array}{l} \rho_1 = 23.8 \\ g = 9.8 \\ C = 2.18 \text{ m s}^{-1} \end{array} \quad , \quad \begin{array}{l} \rho_2 = 26.3 \\ H_i = 200 \\ f = 4.99 \times 10^{-5} \end{array}$$

$$\mathbf{Ro = 43.68 \text{ Km.}} \quad , \quad \mathbf{T_I = 34.9 \text{ hrs}}$$

Remolino anticiclónico con diámetro de 170 Km. (Transecto SOCCO)

$$\begin{array}{l} \rho_1 = 23.6 \\ g = 9.8 \\ C = 2.18 \text{ m s}^{-1} \end{array} \quad , \quad \begin{array}{l} \rho_2 = 26.1 \\ H_i = 200 \\ f = 4.75 \times 10^{-5} \end{array}$$

$$\mathbf{Ro = 45.89 \text{ Km.}} \quad , \quad \mathbf{T_I = 36.75 \text{ hrs}}$$

Remolino anticiclónico con diámetro de 100 Km. (Transecto CABOS)

$$\begin{array}{l} \rho_1 = 24 \\ g = 9.8 \\ C = 1.95 \end{array} \quad , \quad \begin{array}{l} \rho_2 = 26 \\ H_i = 200 \\ f = 5.34 \times 10^{-5} \end{array}$$

$$\mathbf{Ro = 36.51 \text{ km.}} \quad , \quad \mathbf{T_I = 32.6 \text{ hrs}}$$

En general cada una de estas estructuras tiene periodos inerciales mayores a un día y medio. El radio de deformación se estima es mayor a 40 Km., a excepción del remolino del transecto CABOS, que es la estructura mas pequeña registrada para la región.



## Apéndice 2. Tablas de Datos.

En las siguientes tablas se concentra la información correspondiente a los datos de los tres CTD, así como los datos del PRR. La Tabla X muestra la simbología correspondiente a la información señalada en las tablas XI, XII, XIII y XIV.

**Tabla X.** Lista de abreviaturas

$Z_{(PAR\ 1\%)}$	Profundidad a la que se encuentra el 1% de la radiación fotosintéticamente activa.
$Z_e$	Profundidad Óptica de la zona eufótica
$Z_{e(DCM)}$	Profundidad Óptica del DCM
$k_d$ (1/m)	Coefficiente de atenuación de luz
$k_{d(DCM)}$	Coefficiente de atenuación de luz del DCM
DFM (mV)	Máximo de fluorescencia en minivolts
DCM(mg/m <sup>3</sup> )	Valor máximo de clorofilas en mg/m <sup>3</sup>
$Z_{(DCM)}$ (m)	Profundidad del máximo de Clorofila en metros
DBM(mV)	Valor máximo de dispersión de partículas en minivolts
DPM (mg/m <sup>3</sup> )	Valor máximo de concentración de partículas en mg/m <sup>3</sup>
$Z_{(DBM)}$ (m)	Profundidad del máximo de partículas en metros
DMO (mg/m <sup>3</sup> )	Valor Máximo de Oxígeno en (mg/m <sup>3</sup> )
Dm (mg/m <sup>3</sup> )	Valor Mínimo de Oxígeno en (mg/m <sup>3</sup> )
$Z_{(DMO)}$ (m)	Profundidad máximo de oxígeno en metros
DMT (°C)	Valor del máximo de temperatura en °C
$Z_{(DTM)}$ (m)	Profundidad del máximo de temperatura en metros
DMS(ups)	Valor del máximo de salinidad en usp
$Z_{(DSM)}$ (ups)	Profundidad del máximo de salinidad

**Tabla XI.** Datos. Instrumento Minioptics.

<b>Estación</b>	<b>Fecha</b>	<b>Hora (UTC)</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>DFM</b>	<b>DCM</b>	<b>Z<sub>(DCM)</sub></b>	<b>DBM</b>	<b>DPM</b>	<b>Z<sub>(DPM)</sub></b>
mo001	01 03 05	01:57:36	22 51.57	-109 51.23	0.698	0.3028	32	0.081	0.2034	29
mo006	02 03 05	06:29:39	21 04.14	-110 15.49	0.2937	0.2376	84	0.03	0.1951	35 y 79
mo007	02 03 05	13:05:18	20 39.08	-110 22.13	0.3172	0.2414	64	0.0329	0.1956	3
mo008	02 03 05	18:36:35	20 22.46	-110 25.11	0.3119	0.2406	74	0.0372	0.1963	69
mo010	03 03 05	03:31:00	19 30.19	-110 39.17	0.3301	0.2435	69	0.0326	0.1956	13
mo011	03 03 05	13:23:00	19 00.30	-110 47.07	0.2898	0.237	55 y 57	0.0327	0.1956	57
mo012	03 03 05	20:16:00	18 43.83	-110 51.54	0.2951	0.2379	52	0.0786	0.203	45
mo013	04 03 05	01:04:00	18 49.35	-110 32.24	0.2196	0.2257	39	0.0324	0.1955	6
mo014	04 03 05	06:44:00	18 56.63	-110 10.41	0.322	0.2422	78	0.037	0.1963	72
mo015	04 03 05	13:58:00	19 04.46	-109 41.20	0.3394	0.245	59	0.0791	0.2031	52
mo016	04 03 05	18:42:00	19 10.05	-109 18.42	0.3527	0.2472	45	0.0436	0.1973	18,21
mo020	05 03 05	19:06:00	19 43.17	-107 37.25	0.3166	0.2413	56	0.0653	0.2008	65
mo022	06 03 05	06:37:00	20 00.45	-106 47.57	0.3407	0.2452	55	0.0432	0.1973	47
mo027	07 03 05	22:49:00	20 35.324	-105 28.397	0.369	0.2498	39	0.0539	0.199	39
mo028	08 03 05	00:32:00	20 34.529	-105 34.089	0.7662	0.3138	10	0.1557	0.2154	67

Continuación Tabla XI. Datos Instrumento MiniOptics.

<b>Estación</b>	<b>Fecha</b>	<b>Hora (UTC)</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>DFM</b>	<b>DCM</b>	<b>Z<sub>(DCM)</sub></b>	<b>DBM</b>	<b>DPM</b>	<b>Z<sub>(DPM)</sub></b>
mo032	09 03 05	01:15:00	20 53.269	-105 52.077	0.4598	0.2644	27	0.0662	0.201	78
mo033	09 03 05	02:28:00	20 48.134	-105 51.753	0.4289	0.2594	43	0.1393	0.2128	118
mo035	09 03 05	05:28:00	20 37.205	-105 52.999	0.3803	0.2516	50	0.168	0.2174	56
mo036	09 03 05	07:11:00	20 31.709	-105 51.699	0.3863	0.2526	31	0.0583	0.1997	32
mo037	09 03 05	13:52:00	20 19.060	-105 15.480	0.5602	0.2806	30	0.0762	0.2026	29
mo039	09 03 05	21:11:00	20 30.279	-105 59.590	0.465	0.2653	34	0.0629	0.2004	34
mo040	10 03 05	02:01:00	20 41.236	-106 16.581	0.4931	0.2698	36	0.0543	0.1991	34
mo041	10 03 05	07:42:00	20 54.509	-106 38.760	0.6485	0.2948	37	0.0578	0.1996	35
mo042	10 03 05	13:50:00	21 08.600	-107 02.050	0.3509	0.2469	35	0.0559	0.1993	27,29
mo045	11 03 05	08:00:00	21 53.541	-108 15.656	0.3758	0.2509	66	0.0433	0.1973	48
mo046	11 03 05	16:50:00	22 09.314	-108 40.526	0.5015	0.2711	51	0.0547	0.1991	50
mo047	11 03 05	19:51:00	22 24.886	-109 05.379	0.5674	0.2818	47	0.0767	0.2027	45
mo048	12 03 05	01:40:00	22 38.772	-109 28.024	0.8482	0.327	55	0.0764	0.2026	54
mo049	12 03 05	13:45:00	22 52.280	-109 51.320	0.9253	0.3395	51	0.0672	0.2011	50
mo050	12 03 05	08:27:00	22 46.607	-109 41.959	0.6683	0.298	39	0.0696	0.2015	38

**Tabla XII.** Datos. Instrumento SBE911.

Estación	Fecha	Hora (UTC)	Latitud	Longitud	DFM	Z(DCM)	DMO	DmO	Z(DMO)	DMT	Z(DTM)	DMS	Z(DMS)
lan001	28 02 05	16:00:18	23 01.303	-109 36.293	0.0195	41	4.8877	1.2916	17	20.7544	14	34.5953	79
lan002	01 03 05	01:21:19	22 51.547	-109 51.234	0.0304	33	5.0138	0.06	26	21.2297	1	34.7513	167
lan003	12 03 05	08:00:29	22 46.714	-109 42.237	0.017	60	4.7761	0.0587	50	22.1077	3	34.7474	152
lan004	01 03 05	13:21:29	22 08.419	-110 00.466	0.011	69	4.6204	0.064	14	22.0617	50	34.7707	177
lan005	01 03 05	19:30:41	21 47.162	-110 05.356	0.0114	60	4.5601	0.0617	49	22.6711	0	34.6793	155
lan006	02 03 05	00:58:31	21 27.238	-110 10.304	0.0073	80	4.5606	0.0759	42	23.0043	7	34.7598	216,217
lan007	02 03 05	06:52:51	21 04.172	-110 15.493	0.0064	83	4.5614	0.0726	42	22.8516	43	34.7726	157
lan008	02 03 05	13:41:32	20 39.110	-110 22.146	0.0097	68	4.6294	0.0731	60	22.9704	48	34.6987	204,205
lan009	02 03 05	19:09:59	20 22.463	-110 25.112	0.0102	57	4.5954	0.4964	62	23.1864	1	34.6051	271
lan010	02 03 05	21:44:19	20 14.460	-110 26.339	0.0122	56	4.6527	0.1738	79	23.1982	15	34.5763	208
lan011	02 03 05	23:37:26	20 01.151	-110 30.240	0.011	75 al 79	4.9919	0.0604	74	23.0435	10	34.6981	193
lan012	03 03 05	01:17:55	19 53.348	-110 32.943	0.011	66 al 68	4.9795	0.065	63	22.8154	15	34.6756	258
lan013	03 03 05	04:14:34	19 48.216	-110 34.112	0.0098	74 al 75	5.1268	0.0592	75	22.4621	23	34.7656	183
lan014	03 03 05	06:46:52	19 30.165	-110 39.145	0.0085	66 al 68	4.9641	0.0635	66	22.4055	8	34.7598	206,207
lan015	03 03 05	09:07:12	19 19.819	-110 41.533	0.0075	67	4.7697	0.1077	56	23.0007	21	34.7669	204,205
lan016	03 03 05	11:01:39	19 09.870	-110 44.322	0.0085	49,50	4.818	0.2312	66	23.6603	21,22	34.7895	181
lan017	03 03 05	12:31:16	19 02.403	-110 46.395	0.0085	57	4.4789	0.0594	23	23.6605	46	34.8345	151
lan018	03 03 05	13:26:08	19 00.303	-110 47.072	0.0083	67	4.482	0.0594	7	23.6465	8	34.8357	160
lan019	03 03 05	13:51:24	19 00.188	-110 47.095	0.0085	58	4.487	0.0606	13	23.6191	43	34.8365	168
lan020	03 03 05	20:45:14	18 43.727	-110 51.669	0.0109	60	4.6591	0.2461	73	24.0862	6	34.7575	196
lan021	03 03 05	23:03:32	18 46.351	-110 42.660	0.0116	65	4.5393	0.0623	50	23.8321	6	34.8533	138
lan022	04 03 05	01:23:09	18 49.374	-110 32.236	0.0098	71	4.4813	0.2139	63	24.0368	14	34.8628	146
lan023	04 03 05	04:01:51	18 52.171	-110 22.584	0.008	79	4.477	0.074	15	23.9694	19	34.8299	175
lan024	04 03 05	06:09:33	18 56.186	-110 12.324	0.0084	84	4.4795	0.0594	11	23.8526	45	34.7556	199
lan025	04 03 05	06:56:17	18 56.637	-110 10.419	0.0102	74	4.478	0.0676	14	23.8371	44	34.763	233
lan026	04 03 05	09:14:14	18 59.328	-110 00.313	0.008	78	4.4756	0.0603	9	23.7705	39	34.7578	204
lan027	04 03 05	11:07:03	19 02.213	-109 50.084	0.0098	62	4.5693	0.0593	75	23.9476	17	34.756	197
lan028	04 03 05	12:26:29	19 03.920	-109 43.434	0.0087	74	4.5443	0.0586	63	23.9559	31	34.7589	185

Continuación Tabla XII. Datos. Instrumento SBE911.

Estación	Fecha	Hora (UTC)	Latitud	Longitud	DFM	Z(DCM)	DMO	DmO	Z(DMO)	DMT	Z(DTM)	DMS	Z(DMS)
lan029	04 03 05	13:09:39	19 04.466	-109 41.206	0.0085	68	4.5556	0.0742	62	23.9462	14	34.7584	204
lan030	04 03 05	16:02:22	19 06.044	-109 31.247	0.0085	82	4.6746	0.067	76	23.4948	2	34.7503	197
lan031	04 03 05	16:02:22	19 09.273	-109 21.188	0.0098	73 al 78	4.6303	0.0593	73	23.7148	1	34.7573	201
lan032	04 03 05	19:14:00	19 09.544	-109 18.231	0.0134	73	4.589	0.0594	68	23.8965	2	34.7655	206
lan033	04 03 05	21:26:39	19 12.086	-109 08.631	0.0107	70	4.5429	0.059	66	23.9108	2	34.7758	165
lan034	04 03 05	23:17:47	19 15.249	-108 58.675	0.011	60	4.515	0.058	36	24.4881	3	34.7762	152
lan035	05 03 05	01:08:14	19 17.629	-108 49.293	0.011	51,54	4.4382	0.0582	28	24.6176	6	34.7791	146
lan036	05 03 05	04:11:36	19 20.872	-108 38.228	0.0132	46	4.4447	0.0562	15	24.4348	9	34.7772	144,161
lan037	05 03 05	06:40:44	19 24.220	-108 26.713	0.0085	51 al 56	4.43	0.0593	46	24.4913	23	34.7791	165
lan038	05 03 05	09:02:35	19 27.460	-108 17.195	0.0128	53	4.4339	0.0593	19	24.3072	26	34.7958	161
lan039	05 03 05	10:49:38	19 31.320	-108 07.992	0.011	51	4.4366	0.0587	43	24.1881	24	34.7979	155
lan040	05 03 05	12:33:03	19 35.825	-107 59.569	0.0155	39	4.4443	0.0568	33	24.113	27	34.7946	166
lan041	05 03 05	13:10:29	19 36.607	-107 58.280	0.0216	39	4.4448	0.0591	32	24.1168	1	34.7944	167
lan042	05 03 05	16:15:54	19 39.735	-107 49.099	0.0098	43,44	4.4261	0.0575	6	24.0559	29	34.7702	156
lan043	05 03 05	18:06:11	19 42.558	-107 40.334	0.0098	49	4.4387	0.0575	8	24.0731	21	34.7997	169
lan044	05 03 05	19:37:20	19 42.837	-107 37.290	0.0204	51	4.443	0.0603	9	24.2072	4	34.7762	148
lan045	05 03 05	21:55:44	19 46.396	-107 28.029	0.0122	57	4.468	0.0575	27	24.0033	28	34.8117	150
lan046	05 03 05	23:41:04	19 49.898	-107 18.362	0.0099	53	4.4758	0.0576	12	23.9667	21	34.8056	146
lan047	06 03 05	01:06:24	19 52.723	-107 11.207	0.0107	43	4.4767	0.0576	6	23.8992	1	34.8201	134
lan048	06 03 05	06 03 05	19 56.333	-107 00.879	0.0109	53	4.524	0.0577	46	23.183	41,43	34.812	156,157
lan049	06 03 05	06 03 05	19 59.658	-106 49.613	0.0134	48	4.5497	0.0577	5	23.0205	15	34.8104	156,157
lan050	06 03 05	06 03 05	20 00.307	-106 47.573	0.0134	49	4.5445	0.0592	2	22.9887	1	34.8145	166,167
lan051	06 03 05	06 03 05	20 03.639	-106 37.638	0.0196	46	4.5176	0.0586	39	23.6231	12	34.7965	170
lan052	06 03 05	06 03 05	20 07.353	-106 27.556	0.01	41	4.4709	0.0584	29	23.6992	12	34.7571	172
lan053	06 03 05	06 03 05	20 11.325	-106 16.415	0.0098	52	4.5449	0.0568	51	23.3833	25	34.773	164
lan054	06 03 05	06 03 05	20 14.419	-106 06.098	0.0147	40	4.4749	0.0587	6	23.4849	1	34.7717	184
lan055	06 03 05	06 03 05	20 17.750	-105 55.980	0.0165	32	4.5854	0.057	24	23.8841	1	34.7857	134
lan056	06 03 05	06 03 05	20 18.162	-105 52.730	0.0372	32	4.5941	0.053	15	24.1277	1	34.7822	141

Continuación Tabla XII. Datos. Instrumento SBE911

Estación	Fecha	Hora (UTC)	Latitud	Longitud	DFM	Z <sub>(DCM)</sub>	DMO	DmO	Z <sub>(DMO)</sub>	DMT	Z <sub>(DTM)</sub>	DMS	Z <sub>(DMS)</sub>
Lan069	09 03 05	09 03 05	20 21.483	-105 45.159	0.0364	7	4.3512	0.0545	6	22.9311	4	34.7774	103
Lan070	09 03 05	09 03 05	20 25.436	-105 49.115	0.0318	29	4.4996	0.0585	9	23.626	2	34.7811	125
Lan071	09 03 05	09 03 05	20 31.181	-105 58.792	0.0127	42	4.6697	0.057	30	23.6913	2	34.7871	122
Lan072	09 03 05	09 03 05	20 36.335	-106 07.460	0.0202	38	4.6552	0.0595	18	22.6225	2	34.7798	136
Lan073	10 03 05	10 03 05	20 41.423	-106 16.622	0.065	43	4.645	0.0564	33	22.941	13	34.7936	166
Lan074	10 03 05	10 03 05	20 46.846	-106 25.845	0.0154	41	4.5587	0.0647	30	23.2884	3	34.7798	167
Lan075	10 03 05	10 03 05	20 52.383	-106 34.996	0.0387	36	4.5519	0.0573	31	23.3097	14	34.7777	150
Lan076	10 03 05	10 03 05	20 54.802	-106 38.847	0.0296	42	4.5243	0.0778	34	23.3495	28	34.7717	182
Lan077	10 03 05	10 03 05	20 59.913	-106 47.168	0.0207	40	4.557	0.0599	31	23.2442	25	34.7662	132
Lan078	10 03 05	10 03 05	21 05.439	-106 56.412	0.0148	51	4.6165	0.0597	42	22.706	26	34.769	121
Lan079	10 03 05	10 03 05	21 09.300	-107 02.226	0.022	29	4.5912	0.0623	23	22.6385	10	34.7744	125
Lan080	10 03 05	10 03 05	21 14.059	-107 10.623	0.0122	54	4.7086	0.1041	46	22.1304	2	34.7772	163
Lan081	10 03 05	10 03 05	21 19.745	-107 19.866	0.0133	46	4.7204	0.0595	39	22.2576	2	34.788	111
Lan082	10 03 05	10 03 05	21 23.341	-107 25.857	0.0159	68	4.6245	0.1404	54	22.6896	3	34.7931	125
Lan083	10 03 05	10 03 05	21 28.859	-107 34.793	0.0171	55	4.6294	0.2447	3	23.1559	2	34.8042	64
Lan084	10 03 05	10 03 05	21 33.840	-107 43.184	0.0133	60	4.6489	0.0601	3	22.8233	1	34.836	52
Lan085	11 03 05	11 03 05	21 38.110	-107 49.823	0.0235	64	4.6183	0.1982	3	23.0236	2	34.7968	200
Lan086	11 03 05	11 03 05	21 43.028	-107 58.576	0.011	61	4.6082	0.1652	4	22.7427	2	34.7879	66
Lan087	11 03 05	11 03 05	21 48.427	-108 07.542	0.0118	59	4.5962	0.0604	24	22.8219	5	34.8383	72
Lan088	11 03 05	11 03 05	21 53.628	-108 15.749	0.0261	68	4.6121	0.0675	12	22.5135	3	34.8548	74
Lan089	11 03 05	11 03 05	21 59.283	-108 24.529	0.0142	61	4.6064	0.062	22	22.538	3	34.777	177
Lan090	11 03 05	11 03 05	22 04.835	-108 33.646	0.0112	56	4.6006	0.0598	17	22.565	8	34.7913	57
Lan091	11 03 05	11 03 05	22 09.268	-108 40.713	0.0241	53	4.5706	0.0588	38	23.001	3	34.7837	158
Lan092	11 03 05	11 03 05	22 16.385	-108 52.049	0.0208	44	4.6087	0.0592	3	22.6189	2	34.7878	143
Lan093	11 01 05	11 01 05	22 22.157	-109 01.575	0.049	40	4.6462	0.0586	5	22.5816	27	34.7845	180
Lan094	11 03 05	11 03 05	22 24.708	-109 05.670	0.0655	41	4.63	0.088	22	22.7414	1	34.8184	51
Lan095	11 01 05	11 01 05	22 29.935	-109 14.775	0.0203	57	4.738	0.0843	47	21.8948	2	34.7644	173
Lan096	11 01 05	11 01 05	22 35.624	-109 24.037	0.0218	65	4.857	0.0607	42	22.0886	2	34.7655	140
Lan097	12 03 05	12 03 05	22 38.796	-109 28.923	0.1068	53	4.9043	0.0622	50	21.1284	1	34.7709	114
Lan098	12 03 05	12 03 05	22 41.835	-109 33.042	0.0833	57	4.8618	0.061	48	20.8263	10	34.761	111
Lan099	12 03 05	12 03 05	22 44.608	-109 37.432	0.0391	46	4.8141	0.0773	33	20.6704	7	34.7531	169
Lan100	12 03 05	12 03 05	22 46.714	-109 42.237	0.0341	30	4.8724		4	19.7342	3	34.7441	119

**Tabla XIII.** Datos. Instrumento SBE19 plus.

<b>Estación</b>	<b>lance</b>	<b>Fecha</b>	<b>Hora (UTC)</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>DFM</b>	<b>Z<sub>(DFM)</sub></b>	<b>DMT</b>	<b>Z<sub>(DTM)</sub></b>	<b>DMS</b>	<b>Z<sub>(DMS)</sub></b>
Ond00200	1	28 02 05	16:00:18	22.51488	-109.88492	0.3553	63	22.0617	14	34.7167	129
Ond00201	3	01 03 05	01:21:19	22.46232	-109.90166	0.307	59	22.1303	17	34.5012	93
Ond00202	4	12 03 05	08:00:29	22.41468	-109.9187	0.292	64	22.1874	25	34.5011	93
Ond00203	5	01 03 05	13:21:29	22.36197	-109.93747	0.2648	59	22.2379	25	34.6401	97
Ond00204	6	01 03 05	19:30:41	22.31293	-109.95383	0.2636	69	22.1789	37	34.6078	102
Ond00205	7	02 03 05	00:58:31	22.25882	-109.96945	0.2696	67	22.0386	35	34.549	100
Ond00206	8	02 03 05	06:52:51	22.20702	-109.98322	0.2596	75	22.0891	38	34.5868	82
Ond00207	9	02 03 05	13:41:32	22.15038	-110.00008	0.2998	69	22.1344	58	34.6827	71
Ond00300	10	02 03 05	19:09:59	22.11853	-109.99245	0.2571	55	22.0968	51	34.6177	55
Ond00301	11	02 03 05	21:44:19	22.06343	-110.00967	0.2656	66	22.3948	52	34.665	58
Ond00302	12	02 03 05	23:37:26	22.00342	-110.02969	0.2661	59	22.6054	47	34.6356	49
Ond00303	13	03 03 05	01:17:55	21.94847	-110.0479	0.2644	49	22.6425	5	34.6354	57
Ond00304	14	03 03 05	04:14:34	21.8934	-110.06364	0.2693	64	22.2885	2	34.7151	59
Ond00305	15	03 03 05	06:46:52	21.84085	-110.07698	0.268	54	22.6048	9	34.7143	65

Continuación Tabla XIII. Datos Instrumento SBE19 plus

<b>Estación</b>	<b>Lance</b>	<b>Fecha</b>	<b>Hora (UTC)</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>DFM</b>	<b>Z<sub>(DFM)</sub></b>	<b>DMT</b>	<b>Z<sub>(DTM)</sub></b>	<b>DMS</b>	<b>Z<sub>(DMS)</sub></b>
Ond00306	16	03 03 05	09:07:12	21.79868	-110.09527	0.2679	53	22.5973	2	34.6159	68
Ond00400	17	03 03 05	11:01:39	21.7786	-110.0925	0.281	68	22.6086	11	34.6127	120
Ond00401	18	03 03 05	12:31:16	21.7362	-110.10223	0.2702	58	22.7168	2	34.6156	139
Ond00402	19	03 03 05	13:26:08	21.68253	-110.11436	0.2866	54	22.6457	3	34.5669	111
ond00403	20	03 03 05	13:51:24	21.63292	-110.12428	0.2779	63	22.8087	3	34.6956	129
ond00404	21	03 03 05	20:45:14	21.58082	-110.13993	0.28	56	22.9388	5	34.6881	136
ond00405	22	28 02 05	16:00:18	21.51262	-110.15749	0.2612	77	23.0821	6	34.6356	144
ond00406	23	28 02 05	16:00:18	21.46233	-110.17171	0.2388	83	23.0345	4	34.5099	89
ond00500	24	28 02 05	16:00:18	21.44995	-110.17095	0.2251	83	22.9382	10	34.6854	170
ond00501	25	28 02 05	16:00:18	21.39415	-110.18802	0.2311	72	22.8671	9	34.5508	120
ond00502	26	28 02 05	16:00:18	21.38412	-110.19118	0.2301	70	22.852	2	34.5399	119
ond00503	27	28 02 05	16:00:18	21.2745	-110.22034	0.2297	65	22.726	26	34.6535	140
ond00504	28	28 02 05	16:00:18	21.21935	-110.23305	0.2325	64	22.7929	8	34.4755	55
ond00505	29	28 02 05	16:00:18	21.16567	-110.24515	0.2318	81	22.852	32	34.4355	72
ond00506	30	28 02 05	16:00:18	21.15572	-110.24622	0.2244	76	22.8137	57	34.6124	125
ond00507	31	28 02 05	16:00:18	21.075	-110.26411	0.2306	84	22.8573	45	34.5836	117



**Tabla XIV.** Datos Ópticos. Instrumento PRR 600.

<b>Estación</b>	<b>Fecha (dd/mm/aa)</b>	<b>Hora (UTC)</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>PAR(z) 1%</b>	<b>Z<sub>(DCM)</sub></b>	<b>Fracción de Luz Superficial</b>	<b>Z<sub>e(DCM)</sub></b>	<b>K<sub>d</sub> [1/m]</b>	<b>K<sub>d(DCM)</sub> [1/m]</b>
lance 009	02 03 05	18:55:00	20 22 463	-110 25.11	78	58	0.0457	3.09	-0.0748	-0.0532
lance 32	04 03 05	19:03	19 09 544	-109 18.231	81	73	0.0277	3.59	-0.0471	-0.0491
lance044	05 03 05	19:27:00	10 43 837	-107 37.25	56.5	51	0.0159	4.14	-0.0878	-0.0813
lance 056	06 03 05	19:20:00	20 18 162	-105 52.730	47.75	32?	0.039	3.22	-0.0931?	-0.0100
lance 060	07 03 05	21:50:00	20 35 324	-105 28.397	16	30	0.003	5.82	-0.0271	-0.0970
lance 71	09 03 05	21:27:00	20 31 181	-105 58 792	50.67	42	.0206	3.88	-0.0965	-0.0924
lance083	10 03 05	20:07:00	21 23 341	-107 25 857	67.5	55	0.010	4.6	-0.0845	-0.0839
lance 94	11 03 05	20:08:00	22 24 708	-109 05 670	57	41	0.0621	2.78	-0.129	-0.0486

## VII. LITERATURA CITADA.

1. Brown, N. Y. (1974). "A precision CTD microprofiler." Ocean **74**: 270 - 278.
2. Castro, R., Durazo, R., Mascarenhas, A., Collins, C. A., Trasviña, A. (2006). "Thermohaline variability and geostrophic circulation in the southern portion of the Gulf of California." Deep-Sea Research I.
3. Collins, C., Garfield, N., Mascarenhas, A. S., Spearman, M. G., Rago, T. A. (1997). "Ocean currents across the entrance to the Gulf of California." Journal of Geophysical Research **10**(C9): 20927-20936.
4. Cosío, M. A., Trasviña, A. (2000). "Organización y visualización de datos de CTD." Unión Geofísica Mexicana **20**: 445-456.
5. Cullen, J. (1982). "The deep chlorophyll maximum: comparing vertical profiles of chlorophyll." Can. J. Fish. Aquat. Sci. **39**: 791 -803.
6. Cushman-Roisin, B. (1987). Introduction to Geophysical Fluids Dynamics. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall.
7. Faber-Lorda, M. F. T., A; Cortés, P.; (2004). "Trophic conditions and zooplankton distribution in the entrance of the Sea of Cortés during summer." Deep-Sea Research II **51**: 615-627.
8. Falkovsky, P. G. (1980). Light-shade adaptation in marine phytoplankton. Primary productivity in the sea. Falkovsky, P. G.
9. Fennel, K., Boss, E. (2003). "Subsurface maxima of phytoplankton and chlorophyll: Steady-state solutions from a simple model." Limnology and Oceanography **48**: 1521- 1534.
10. Finnigan, T. D., Luther, D. S., Lukas, R. (2002). "Observations of enhanced diapycnal mixing near the Hawaiian ridge." J. Phys. Oceanogr. **32**: 2988-3002.
11. Hidalgo-González, R. (2002). Producción primaria total y nueva de los Golfos de California y México estimada a partir de los datos de color en el océano del sensor de satélite SeaWiFS. Ecología Marina. Ensenada, B.C, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. **Doctor en Ciencias**: 137.
12. Hidalgo-González, R., Alvarez-Borrego, S. (2004). "Total and new production in the Gulf of California estimated from ocean color data from the satellite sensor SeaWiFS." Deep-Sea Research II **51**: 739-752.

13. Hodges, A. B., Rudnick, D. (2004). "Simple models of steady deep maxima in chlorophyll and biomass." Deep-Sea Research I **51**: 999-1015.
14. Huisman, J., Pham, T., Karl, D., Sommeijer, B. (2006). "Reduced mixing generates oscillations and chaos in the oceanic deep chlorophyll maximum." Nature **439**: 322-325.
15. Kirk, J. (1994). Light and photosynthesis in aquatic ecosystems, Cambridge University Press.
16. Laws, E., Banister, T. (1980). "Nutrient - and light limited growth of *Thalassiosira fluviatilis* in continuous culture, with implications for phytoplankton growth in the ocean." Limnol. Oceanogr. **25**: 457-473.
17. Lewis, M. R., Harrison, W. G., Oakey, N. S., Hebert, D., Platt, T. (1986). "Vertical Nitrate fluxes in the oligotrophic ocean." Science **234**: 870-873.
18. López-Bojorquéz, J. M. (1996). Hidrografía y dinámica del Pacífico transicional mexicano. Oceanografía Física. Ensenada, CICESE. **Tesis de Maestría**: 98.
19. Mann, K. H., Lazier, J. R. N. (1991). Dynamics of Marine Ecosystems, Blackwell Scientific Publications.
20. Middlenton, J. H., Foster, T. D. (1980). "Finestructure measurements in a temperature-compensated halocline." Journal of Geophysical Research **85**: 1107-1122.
21. Miller, C. M. (2004). Biological Oceanography. Malden, Massachusetts, Blackwell Publishing.
22. Ochoa, J. (1989 ). "A practical determination of CTD platinum resistance thermometer response time, and its use to correct salinity bias and spikes." Deep-Sea Research I **36**(Instruments and methods): 139-148.
23. Riley, G. A., Stommel, H., Bumpus, D. (1949). "Quantitative ecology of plankton of the western North Atlantic." Bull. Bingham Oceanogr. **12**: 1-169.
24. Sakshaug, E., Andresen, K., Kiefer, A. (1989). "A steady state description of growth and light absorption in the marine planktonic diatom *Sketonema costatum*" Limnol. Oceanogr. **34**: 198-205.
25. Sakshaug, E., Bricaud, A., Dandonneau, Y., Falkowski, P. G., Kiefer, D. A., Legendre, L., Morel, A., Parslow, J., Takahashi, M. (1997). "Parameters Of Photosynthesis: Definitions, Theory And Interpretation Of Results." Journal of Plankton Research **19**(11): 1637-1670.

26. Sharples, J., Tett, P. (1994). "Modelling The effect of physical variability on the midwater chlorophyll maximum." Journal Of Marine research **52**: 219-238.
27. Smyth, W. D., Moum, J. N., Caldwell, D. R. (2001). "The efficiency of mixing in turbulent patches: inferences from direct simulations and microstructure observations." Journal of Physical Research **31**: 1969-1992.
28. Steele, J. H. (1964). "A study of production in the Gulf of Mexico." Journal Of Marine research **3**: 211-222.
29. Steele, J. H., Yentsh, C. S. (1960). "The vertical distribution of chlorophyll " Journal of Marine Biological Association of the United Kingdom **39**: 217-226.
30. Teet, P., Aristegui, J., Barton, D., Basterrexea, G., De Armas, J. D., Escáñez, E. J., Hernández-León, S., Lorenzo, L., Montero, N. (2002). "Steady-State DCM dynamics in Canaries waters." Deep-Sea Research II **49**: 3543-3559.
31. Torres-Orozco, E. (2004). Características dinámicas e hidrográficas del océano en relación con la distribución de las capturas de atún aleta amarilla (*Tunnus albacares*) en la Entrada al Golfo de California. La Paz, BCS. México, Centro de Investigaciones Biologicas del Noroeste, S.C. **Doctor en Ciencias**: 116.
32. Trasviña, A. (1991). Offshore wind forcing in a coastal ocean: observations and modelling of the Gulf of Tehuantepec, México. School of Ocean Sciences, University of Wales. **Ph D. Thesis**: 86.
33. Trasviña, A., Barton, E. D., Vélez, H. S., Brown, J. (2003). "Frontal subduction of a cool surface water mass in the Gulf of Tehuantepec, México." Geofísica Internacional **42**(1): 101-104.
34. Trasviña, A., Luch-Cota, D., Filonov, A. E., Gallegos, A. (1999). Oceanografía y El Niño. Los impactos del niño en México. Magaña, V. O.: 69-102.
35. Venrick, E. L. (1993). "Phytoplankton seasonality in the central North Pacific: the endless summer reconsidered." Limnology and Oceanography **38**: 1135-1149.
36. Welschmeyer, N. A. (1994). "Fluorometric analysis of chlorophyll a in the presence of chlorophyll a and phaeopigments." Limnology and Oceanography **39**: 1985-1993.
37. Wirky, K. (1965). "Surface currents of the Eastern Tropical Pacific Ocean." Inter-American Tropical Tuna Comision, Bulletin IX **No. 5**: 63-97.
38. Zamudio, L., Lonardi, A. P., Meyers, S. D., O'Brien, J. J. (2001). "ENSO and Eddies on the Southwest Coast of Mexico." Journal of Geophysical Research **28**(1): 13-16,