



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas**  
**Departamento de Oceanología**



**IPN-CICIMAR**

---

**Interacción dinámica de los procesos físicos,  
químicos y biológicos que regulan el metabolismo  
neto en Bahía Concepción, Golfo de California.**

**TESIS**

Que para obtener el grado de

**Maestro en Ciencias**

Con Especialidad en Manejo de Recursos Marinos

Presenta:

**IBQ. IBAN MURILLO MURILLO**

La Paz, Baja California Sur, abril de 2005



**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL**  
**COORDINACION GENERAL DE POSGRADO E INVESTIGACION**  
*ACTA DE REVISION DE TESIS*

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 9:30 horas del día 25 del mes de Junio del 2004 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis de grado titulada:

"INTERACCIÓN DINÁMICA DE LOS PROCESOS FÍSICOS, QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS QUE REGULAN EL METABOLISMO NETO EN BAHÍA CONCEPCIÓN, GOLFO DE CALIFORNIA"

Presentada por el alumno:

**MURILLO**  
Apellido paterno

**MURILLO**  
materno

**IBAN**  
nombre(s)

Con registro: 

B	9	7	0	8	0	8
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante al grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS**

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**

Director de tesis  
PRIMER VOCAL

  
DR. CARLOS H. LECHUGA DEVEZE

PRESIDENTE

  
DR. ANGEL RAFAEL JIMÉNEZ ILLESCAS

SECRETARIO

  
DR. RAFAEL CERVANTES DUARTE  
Co-Director

SEGUNDO VOCAL

  
DR. DAVID LÓPEZ CORTES

TERCER VOCAL

  
DR. SERGIO AGUÍNIGA GARCÍA

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

  
DR. RAFAEL CERVANTES DUARTE



**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL**  
**COORDINACION GENERAL DE POSGRADO E INVESTIGACION**

**CARTA CESIÓN DE DERECHOS**

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 30 del mes Junio del año 2004, el (la) que suscribe IBAN MURILLO MURILLO alumno(a) del Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS con número de registro B970808 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de: DR. CARLOS H. LECHUGA DEVEZE y cede los derechos del trabajo titulado: "INTERACCIÓN DINÁMICA DE LOS PROCESOS FÍSICOS, QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS QUE REGULAN EL METABOLISMO NETO EN BAHÍA CONCEPCIÓN, GOLFO DE CALIFORNIA" al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: imurillo04@cibnor.mx

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

**IBAN MURILLO MURILLO**

*nombre y firma*

---

---

## CONTENIDO

<b>LISTA DE TABLAS .....</b>	<b>3</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>4</b>
<b>GLOSARIO .....</b>	<b>7</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>11</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>14</b>
<b>1. INTRODUCCION .....</b>	<b>17</b>
<b>2. ANTECEDENTES.....</b>	<b>21</b>
<b>3. JUSTIFICACION.....</b>	<b>23</b>
<b>4. OBJETIVOS.....</b>	<b>26</b>
1. GENERAL.....	26
2. PARTICULARES .....	26
<b>5. AREA DE ESTUDIO.....</b>	<b>27</b>
<b>6. METODOLOGIA.....</b>	<b>30</b>
1. TRABAJO DE CAMPO: .....	30
2. TRABAJO DE LABORATORIO: .....	32
3. ANÁLISIS DE DATOS:.....	33
<u>Interacción dinámica de los procesos físicos, químicos y biológicos que regulan el metabolismo neto en Bahía Concepción, Golfo de California.</u>	<b>1</b>

---

---

4. EVALUACIÓN MEDIANTE EL MODELO DE BALANCE DE MASA .....	34
4.1. <i>Balance hidráulico</i> .....	34
4.2. <i>Balance salino</i> .....	35
4.3. <i>Tiempo de recambio</i> .....	35
4.4. <i>Balance entre los materiales no conservativos</i> .....	35
4.5. <i>Enlaces estequiométricos entre los materiales no conservativos</i> .....	36
<b>3. RESULTADOS .....</b>	<b>38</b>
1. EVALUACIÓN MEDIANTE EL MODELO DE BALANCE DE MASA .....	56
<b>4. DISCUSION .....</b>	<b>61</b>
<b>5. CONCLUSIONES .....</b>	<b>69</b>
<b>6. LITERATURA.....</b>	<b>70</b>

---

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1). Estrategia de muestreo realizado durante el 2001 en Bahía Concepción y Bahía de Santa Inés.	31
Tabla 2). Valores medios de salinidad para cada periodo y estación de muestreo durante el 2001 en Bahía Concepción.	44
Tabla 3). Valores medios y desviación estándar de nitrógeno y fósforo para cada estación de muestreo durante el 2001 en Bahía Concepción.	51
Tabla 4). Valores medios y desviación estándar de nitrógeno y fósforo para cada periodo en el sistema y sistema adyacente durante el 2001 en Bahía Concepción.	52
Tabla 5). Resumen de los resultados obtenidos del balance de masa para cada periodo durante el 2001 en Bahía Concepción.	59
Tabla 6). Productividad primaria obtenida por el método en campo y por el balance de masa para cada periodo durante el 2001 en Bahía Concepción.	59

---

---

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1) Área de estudio y estaciones de muestreo en Bahía Concepción.	29
Figura 2). Perfiles verticales y temperatura promedio (°C) para el sistema (E1-E6) y sistema adyacente (E7 y E8) para los 2 periodos hidrográficos durante el 2001 en Bahía Concepción, Golfo de California.	40
Figura 3). Índice de estratificación térmica registrada en Bahía Concepción durante el 2001.	41
Figura 4). Perfiles verticales y salinidad promedio (ups) para el sistema (E1-E6) y sistema adyacente (E7 y E8) para los 2 periodos hidrográficos durante el 2001 en Bahía Concepción.	45
Figura 5). Variabilidad espacial de salinidad (media y desviación estándar) durante el periodo homogéneo en el sistema (E1-E6) y sistema adyacente (E7 y E8) durante el 2001 en Bahía Concepción.	46
Figura 6). Variabilidad espacial de salinidad (media y desviación estándar) durante el periodo estratificado sin precipitación en el sistema (E1-E6) y sistema adyacente (E7 y E8) durante el 2001 en Bahía Concepción.	46

---

Figura 7). Variabilidad espacial de salinidad (media y desviación estándar) durante el periodo estratificado con precipitación en el sistema (E1-E6) y sistema adyacente (E7 y E8) durante el 2001 en Bahía Concepción. 47

Figura 8). Evaporación y precipitación promedio mensual en el sistema durante el 2001 en Bahía Concepción. 48

Figura 9). Valores promedios de nitrógeno y fósforo para cada periodo hidrográfico durante el 2001 en Bahía Concepción. 50

Figura 10). Variabilidad espacial del nitrógeno (media y desviación estándar) durante el periodo homogéneo en el sistema (E1-E6) y sistema adyacente (E7 y E8) durante el 2001 en Bahía Concepción. 53

Figura 11). Variabilidad espacial del nitrógeno (media y desviación estándar) durante el periodo estratificado sin precipitación en el sistema (E1-E6) y sistema adyacente (E7 y E8) durante el 2001 en Bahía Concepción. 53

Figura 12). Variabilidad espacial del nitrógeno (media y desviación estándar) durante el periodo estratificado con precipitación en el sistema (E1-E6) y sistema adyacente (E7 y E8) durante el 2001 en Bahía Concepción. 54

Figura 13). Variabilidad espacial de fósforo (media y desviación estándar) durante el periodo homogéneo en el sistema (E1-E6) y sistema adyacente (E7 y E8) durante el 2001 en Bahía Concepción. 54



---

Figura 14). Variabilidad espacial de fósforo (media y desviación estándar) durante el periodo estratificado sin precipitación en el sistema (E1-E6) y sistema adyacente (E7 y E8) durante el 2001 en Bahía Concepción.	55
Figura 15). Variabilidad espacial de fósforo (media y desviación estándar) durante el periodo estratificado con precipitación en el sistema (E1-E6) y sistema adyacente (E7 y E8) durante el 2001 en Bahía Concepción.	55
Figura 16). Datos utilizados para alimentar el modelo, periodo homogéneo.	56
Figura 17). Datos utilizados para alimentar el modelo, periodo estratificado sin precipitación.	57
Figura 18). Datos utilizados para alimentar el modelo, periodo estratificado con precipitación.	57
Figura 19). Resumen del balance de masa para el periodo homogéneo.	60
Figura 20). Resumen del balance de masa para el periodo estratificado sin precipitación.	60
Figura 21). Resumen del balance de masa para el periodo estratificado con precipitación.	60

---

## GLOSARIO

**Autótrofo:** (Gr. *autos* mismos y *trophis* nutrir) Organismo que utiliza la energía proveniente de la luz y nutrientes inorgánicos para sintetizar compuestos orgánicos.

**Balance de masa:** Es el resultado de los cálculos de variables específicas (agua, sal, nitrógeno, fósforo, carbono, etc.) en una área geográfica y un periodo de tiempo definido. El signo del balance de masa indica la presencia de procesos de exportación o importación respectivamente.

**Boca:** Pequeña y estrecha faja de agua que conecta a una bahía, laguna o un cuerpo de agua similar con otro mayor.

**Capa de mezcla:** Es una capa con propiedades homogéneas, provocada por el efecto de la energía cinética turbulenta en la superficie del mar.

**Circulación antiestuarina:** Se presenta cuando hay una descarga nula o esporádica de aguas por ríos o lluvias en un sistema costero. La mayor tasa de evaporación en la cabeza del estuario produce un incremento en la salinidad de esta masa de agua; lo que a su vez genera que esta se hunda y circule por el fondo hacia la boca del sistema mientras que agua oceánica de menor concentración salina entra por la superficie.

**Cuenca:** Depresión del fondo del mar mas o menos simétrica y de extensión variable.

---

**Estratificación térmica:** Parámetro físico originado por un gradiente de temperatura que se caracteriza por la organización de dos o más capas horizontales arregladas según su densidad, de tal manera que las capas menos densas se encuentran sobre aquellas más densas.

**Flujo:** Es el transporte de materia o energía a través de un área conocida expresada por unidad de tiempo o espacio.

**Flujo de marea:** Es la parte del ciclo de marea que ocurre cuando el agua se desplaza o fluye de la bajamar a la pleamar.

**Gradiente:** Es el cambio en el valor de una propiedad o variable por unidad de distancia en una dirección específica.

**Heterótrofo:** (Gr. *heteros* otro y *trophos* alimentador) Organismos que requieren un suministro de material orgánico del medio en que vive para elaborar sus propios componentes orgánicos.

**Laguna costera:** Son cuerpos acuáticos litorales que tienen, en su mayoría, comunicación permanente o efímera con el mar.

**Marea:** La elevación y caída periódica del nivel del mar debido a las fuerzas generadoras provenientes del sol y la luna.

**Masa de agua:** Un volumen de agua identificado por valores típicos de temperatura y salinidad que le son característicos y que permiten distinguirlo de las capas circundantes.

---

**Modelo:** Herramienta que nos permite conceptualizar, integrar y generalizar el conocimiento científico.

**Producción primaria:** Es la tasa de fijación del carbono en la materia orgánica por los organismos autótrofos por medio de la energía solar o mediante reacciones químicas.

**Productividad primaria:** Es la cantidad de carbono fijado por organismos autótrofos a través de la síntesis de material orgánico a partir de compuestos inorgánicos como el  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  utilizando energía derivada de la radiación solar o de reacciones químicas por unidad de tiempo sobre una base de área ( $\text{mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ) o volumen ( $\text{mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ ).

**Razón de Redfield:** Después de los trabajos de Redfield (1934 y 1958) se refiere a las razones de carbono (106), nitrógeno (16) y fósforo (1) existentes en los tejidos animales y vegetales las cuales tienden a ser constantes.

**Remineralización:** Proceso de transformación de materiales orgánicos a inorgánicos por acción principalmente de bacterias heterotróficas, mediante la utilización de un donador de oxígeno (agua,  $\text{SO}_4$ , etc.).

**Surgencia:** Movimiento ascendente de agua subsuperficial hacia capas superficiales provocado por la acción del viento paralelo a la costa el agua de surgencia se caracteriza por ser fría, rica en nutrientes y con baja concentración de oxígeno disuelto.

---

**Termoclina:** Gradiente vertical del agua de mar entre dos capas de agua en donde la temperatura cambia bruscamente con la profundidad.

**Tiempo de residencia:** Es el intervalo de tiempo requerido para reemplazar completamente el volumen de un estuario, laguna, golfo, etc. generalmente medido en números de ciclos de marea.

**UPS:** Es la abreviación de unidades prácticas de salinidad. Unidades de una nueva definición de salinidad basada en la razón entre la conductividad eléctrica de la muestra y una muestra estándar. Se conocen como unidades prácticas de salinidad por que fueron definidas de tal manera que la nueva escala coincida con la antigua de partes por mil.

---

## RESUMEN

El programa LOICZ (Land Ocean Interactions in the Coastal Zone) permite evaluar el papel de la zona costera en el ciclo global del carbono, su aplicación a escalas locales como bahías y lagunas costeras permite conocer la capacidad de estos ecosistemas para transformar, almacenar y/o exportar materia orgánica disuelta al océano adyacente. El presente trabajo tiene el propósito de conocer como los cambios en la estructura hidrográfica de Bahía Concepción y las influencias externas (lluvias) afectan sus ciclos biogeoquímicos, el balance de los flujos de NP y el metabolismo neto del sistema.

Durante el año 2001 se realizaron muestreos semanales en seis estaciones ubicadas dentro de Bahía Concepción (sistema) y mensuales en dos estaciones al extremo sur de Bahía de Santa Inés (sistema adyacente), las muestras se obtuvieron con una botella Van Dorn a profundidades de superficie, 5, 10, 15, 20, 25 y fondo en el sistema y superficie, 15 y 32 metros en el sistema adyacente. En todos los casos se tomaron datos de temperatura, salinidad y muestras para determinar nitrógeno inorgánico disuelto (DIN) en forma de nitrito ( $\text{NO}_2$ ), nitrato ( $\text{NO}_3$ ) y amonio ( $\text{NH}_4$ ) y el fósforo inorgánico disuelto (DIP) en forma de ortofosfato ( $\text{PO}_4$ ). Los datos de precipitación y evaporación fueron proporcionados por las estaciones meteorológicas de la Comisión Nacional del Agua (CNA). Estos datos fueron analizados por el modelo de balance de masa de LOICZ.

---

Se identificaron los dos periodos hidrográficos que dominan la Bahía, el homogéneo (HM) de noviembre-marzo del 2001 y el estratificado (ST) de mayo-septiembre del 2001. Este último, fue dividido en dos etapas, una estratificada sin precipitación (STSP), mayo-agosto y otra con precipitación (STCP), septiembre. Durante el periodo HM y STSP las pérdidas de agua (exclusivamente por evaporación) son mayores que las entradas (precipitación, escurrimientos, efluentes subterráneos, etc.) y en el periodo STCP las entradas (exclusivamente precipitación) son mayores que las perdidas. En el balance hidráulico se observa que durante el periodo HM y STSP el volumen residual es positivo (HM=  $1,529 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{día}$  y STSP=  $2,344 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{día}$ ), es decir existe un ingreso de agua del sistema adyacente para compensar las pérdidas por evaporación, por el contrario, en el periodo STCP el volumen residual es negativo (STCP=  $- 23,312 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{día}$ ) lo que indica que el sistema exporta agua para compensar la ganancia por precipitación. El volumen de mezcla (flujo por mareas, corrientes y vientos) calculado fue mayor en el periodo STCP (HM=  $178,664 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{día}$ , STSP=  $135,549 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{día}$  y STCP=  $2,016,488 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{día}$ ), esto tiene una influencia directa en el tiempo de residencia el cual fue menor en este periodo (HM= 25.3 días, STSP= 33.0 días y STCP= 1.4 días). En el balance de los nutrientes, el flujo de fósforo ( $\Delta\text{DIP}$ ) en los periodos HM y STSP es negativo (HM=  $-1.023 \text{ mmol P/m}^2/\text{día}$  y STSP=  $-0.233 \text{ mmol P/m}^2/\text{día}$ ) indicando que el sistema está consumiendo DIP para producir materia orgánica, por el contrario en el periodo STCP es positivo (STCP=  $1.230 \text{ mmol P/m}^2/\text{día}$ ) esto indica que el sistema tiene DIP en exceso producto de la respiración; el flujo de nitrógeno ( $\Delta\text{DIN}$ ) tiene un comportamiento similar al del fósforo (HM=  $-1.142 \text{ mmol N/m}^2/\text{día}$  y STSP=  $-0.139$

---

mmol N/m<sup>2</sup>/día y STCP= 3.313 mmol N/m<sup>2</sup>/día). Por otro lado, durante HM y STSP el balance estequiométrico (nfix-Denit) nos indica que el sistema fija nitrógeno (HM= 15.225 mmol N/m<sup>2</sup>/día y STSP= 3.593 mmol N/m<sup>2</sup>/día) y durante STCP libera nitrógeno (STCP= -16.364 mmol N/m<sup>2</sup>/día). Por último, durante los periodos HM y STSP el sistema produce materia orgánica (HM= 108.4 mmol C/m<sup>2</sup>/día y ST= 24.72 mmol C/m<sup>2</sup>/día) indicando que el sistema es dominado por el metabolismo autótrofo y en el periodo STCP el metabolismo dominante es heterótrofo ya que existe consumo de materia orgánica (STCP= -130.36 mmol C/m<sup>2</sup>/día). En conclusión, durante el periodo HM y STSP el nitrógeno y fósforo del sistema es incorporado a la cadena alimenticia (consume carbono), por lo que el sistema se comporta como un sumidero de carbono y durante el periodo STCP esta condición cambia y el sistema se convierte en fuente de nitrógeno y fósforo.



---

## ABSTRACT

The coastal zones present a great dynamism and participate in important form in the global cycle of carbon. The knowledge of its biogeochemical processes, in addition, allows to know the capacity these ecosystems to transform, to store and/or to export organic matter dissolved to the adjacent ocean. The present work has intention to know the changes in the hydrographic structure of Bay Concepcion and the external influences (rains) affect the hydraulic balance, the balance of the NP flows and the net metabolism of the system. During 2001, monthly data of temperature, salinity, dissolved inorganic nitrogen DIN as nitrite ( $\text{NO}_2$ ), nitrate ( $\text{NO}_3$ ) and ammonium ( $\text{NH}_4$ ), and the dissolved inorganic phosphorus DIP as orthophosphate form ( $\text{PO}_4$ ), were estimated in all the water column, at the inside and outside of the Bay. Data of precipitation and evaporation were provided by the weather stations of the National Commission of water (CNA). The collected data were analyzed by a model of mass balance.

Two hydrographic structures dominate the Bay: an homogenous period (HM) from November to March 2001 and a stratified period (ST) from May to September 2001. The stratified period was divided as well in two stages, one stratified without precipitation (STSP), May-August and another one with precipitation (STCP), September. During the period of HM and STSP the losses of water (exclusively by evaporation) are greater than the entrances (underground fluxes, precipitation, drainage, effluents, etc.) and in period STCP the entrances (exclusively precipitation) are greater than the lost ones. In the hydraulic balance it is observed that during

---

period HM and STSP the residual volume is positive (HM =  $1,529 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{day}$  and STSP =  $2,344 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{day}$ ), it is that exists a water entrance of the adjacent system to compensate the losses by evaporation, on the contrary, in period STCP the residual volume is negative (STCP =  $-23,312 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{day}$ ) that indicates that the system exports water to compensate the gain by precipitation. The volume of mixture (flow by tides, currents and winds) calculated was greater in period STCP (HM =  $178,664 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{day}$ , STSP =  $135,549 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{day}$  and STCP =  $2,016,488 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{day}$ ), this has a direct influence in the time of residence as it was smaller in this period (HM = 25.3 days, STSP = 33.0 days and STCP = 1.4 days). In the balance of the nutrients, the phosphorus flow ( $\Delta\text{DIP}$ ) in periods HM and STSP is negative ( $-1,023 \text{ HM} = \text{mmol } -0,233 \text{ P/m}^2/\text{día}$  and STSP =  $\text{mmol P/m}^2/\text{día}$ ) indicating that the system is consuming DIP to produce organic matter, on the contrary in period STCP is positive ( $1,230 \text{ STCP} = \text{mmol P/m}^2/\text{día}$ ) this indicates that the system has DIP in excess product of the breathing; the nitrogen flow ( $\Delta\text{DIN}$ ) has a behavior similar to the one of phosphorus ( $-1,142 \text{ HM} = \text{mmol } -0,139 \text{ N/m}^2/\text{day}$  and STSP =  $\text{mmol } 3,313 \text{ N/m}^2/\text{day}$  and STCP =  $\text{mmol N/m}^2/\text{day}$ ). On the other hand, during HM and STSP the stoichiometric balance (nfix-Denit) indicates to us that the system fixes nitrogen ( $15,225 \text{ HM} = \text{mmol } 3,593 \text{ N/m}^2/\text{day}$  and STSP =  $\text{mmol N/m}^2/\text{day}$ ) and during STCP it releases nitrogen ( $-16,364 \text{ STCP} = \text{mmol N/m}^2/\text{day}$ ). Finally, during periods HM and STSP the system produces organic matter ( $108,4 \text{ HM} = \text{mmol } 24,72 \text{ C/m}^2/\text{día}$  and ST =  $\text{mmol C/m}^2/\text{day}$ ) indicating that the system is dominated by autotrophic metabolism and in period STCP the dominant metabolism is heterotrophic ( $-130,36 \text{ STCP} = \text{mmol C/m}^2/\text{day}$ ). In conclusion, during the period HM and STSP the nitrogen and

---

phosphorus of the system are incorporated to the nutritional chain, reason why the system behaves as a sink and during period STCP this condition changes and the system behaves like a source of nitrogen and phosphorus.

---

## 1. INTRODUCCION

El proyecto LOICZ (Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone) es uno de los ocho proyectos de la IGBP (International Geosphere-Biosphere Programme). Su objetivo es determinar a escala regional y global como los cambios en el sistema tierra están afectando la zona costera y modificando su papel en los ciclos globales. LOICZ está diseñado para mejorar el entendimiento científico de la interacción tierra-océano-atmósfera de tal manera que se tengan bases sólidas para el manejo global de la zona costera. Para alcanzar a entender el flujo de carbono, nitrógeno y fósforo en la zona costera se requiere la compilación de resultados desde la escala local a la regional, con la finalidad de que haya compatibilidad y se puedan hacer comparaciones es necesario adoptar procedimientos y unidades iguales. El modelo biogeoquímico de LOICZ es la herramienta que se utiliza para desarrollar los balances de carbono, nitrógeno y fósforo. Desde la perspectiva de LOICZ el modelo considera dos componentes importantes, a) el flujo biogeoquímico de elementos importantes como el carbono, nitrógeno y fósforo en la zona costera, y b) como estos flujos pueden cambiar en el futuro debido a modificaciones en el ambiente. El modelo se fundamenta en las relaciones estequiométricas de CNP, es simple, requiere pocos datos y es robusto, aunque como cualquier modelo tiene ciertas limitaciones.

A pesar de muchos años de investigación, no ha sido posible balancear satisfactoriamente el ciclo global del carbono; así mismo, el océano está reconocido como uno de los sumideros más grandes de carbono biogénico y fósil liberado a la atmósfera por la acción del hombre. La evaluación del papel de la zona costera en el

---

ciclo global del carbono nos ayudará a entender de qué manera el sistema tierra esta respondiendo a los cambios globales, hasta la fecha esto no ha sido evaluado (Gordon *et al.*, 1996). Redfield (1958) determinó que el fitoplancton marino utiliza carbón, nitrógeno y fósforo en una relación molar promedio de 106:16:1, esto se conoce como la relación de Redfield y puede ser usada para estimar la cantidad potencial de carbón secuestrado utilizando los datos del transporte de nutrientes (CNP).

Diversos mecanismos están involucrados en el consumo de carbonó en el océano. Uno de estos mecanismos es el equilibrio termodinámico que se establece entre la presión parcial del CO<sub>2</sub> en la atmósfera con la capa de mezcla (bomba química); otro involucra la fijación del carbono inorgánico disuelto por el fitoplancton a través de la fotosíntesis y de esta manera se exporta producción primaria nueva a los sedimentos y la zona abisal (bomba biológica); otro mas es el sumidero de aguas polares superficiales ricas en CO<sub>2</sub> (bomba física). La bomba biológica y química tienen presencia tanto en la zona costera como en el océano abierto. La zona costera constituye aproximadamente el 7.6% del área total del océano y la pregunta es: la zona costera es fuente o sumidero de CO<sub>2</sub> atmosférico? (Kempe, 1995).

Como todos los sistemas naturales, la zona costera está influenciada por numerosos procesos físicos, químicos, biológicos y geológicos los cuales responden a cambios externos en escalas espacio-temporales. Por lo anterior, una cierta región de la zona costera puede ser sumidero de CO<sub>2</sub> bajo algunas condiciones (por ejemplo, durante el día, el verano, etc.) pero no bajo otras (por ejemplo, durante la noche, el invierno,

---

etc.), así mismo un sistema costero en particular puede estar sujeto al impacto antropogénico con un aumento en la entrada de nutrientes alterando la capacidad del sistema como fuente o sumidero de carbón (Kempe, 1995).

La entrada de nutrientes en los sistemas costeros, particularmente nitrógeno y fósforo, puede dar como resultado un incremento en la producción de biomasa y por lo tanto constituir un sumidero adicional de carbonó atmosférico. Smith y Mackenzie (1987), y Smith y Hollibaugh (1993), sugieren que el océano como un todo está dominado por el metabolismo heterótrofo, es decir, libera o exhala más CO<sub>2</sub> a la atmósfera del que absorbe.

Las lagunas costeras constituyen alrededor del 15% de las costas del mundo (Yáñez-Arancibia, 1986). México tiene 30 a 35% de estuarios y lagunas costeras en las costas del Pacífico, Golfo de México y el Caribe (Yáñez-Arancibia, 1986). La creciente urbanización mundial de la zona costera predice que para el año 2025, el 60% vivirá en ella lo que implicaría adquirir un mayor conocimiento de las costas para un mejor manejo de los bienes y servicios ambientales que proporciona. En Baja California Sur, por sus características particulares, más del 80% de su población vive en la zona costera. El futuro crecimiento está asociado a las actividades turísticas y de acuacultura, por ello la generación de conocimiento acerca de la capacidad de sus sistemas lagunarios, de manejo de nutrientes, se hace necesaria para sentar las bases de un aprovechamiento sustentable de sus recursos.

Para profundizar y conocer los mecanismos de funcionamiento integral de los ecosistemas costeros en estado casi imperturbables por la actividad humana, y en

---

particular de Bahía Concepción, B.C.S., es necesario evaluar las fuentes de producción y consumo de carbono durante un ciclo anual y su papel en la utilización de los nutrientes producidos. A este respecto es necesario conocer la variabilidad anual del metabolismo dominante del ecosistema (autótrofo o heterótrofo). La generación y aporte anual de nutrientes originados por la oxidación del material orgánico es vital para sustentar los procesos primarios, por lo que los balances de fósforo y nitrógeno representan una buena aproximación para establecer la capacidad del ecosistema para transformar sus aportes de carbono.

---

## 2. ANTECEDENTES

La península de Baja California Sur presenta el litoral menos alterado por las actividades humanas de toda la República Mexicana. En el Golfo de California, las bahías más importantes son Bahía de Los Ángeles, Bahía Concepción y Bahía de La Paz (Gilmartin y Revelante, 1978). De ellas, se conoce que Bahía Concepción, está siendo sujeta a presiones naturales (estratificación térmica, oxidación de materia orgánica en el estrato inferior durante la estratificación, mareas rojas) con una gran variabilidad en los ciclos anuales de nitrógeno y fósforo. Este comportamiento se manifiesta por un marcado período de aguas homogéneas noviembre-marzo y un período de aguas estratificadas mayo-septiembre, (Reyes Salinas, 1994), en la que está involucrada la acción del viento NW-NE forzando agua del Golfo de California hacia el interior de la Bahía (López Cortés *et al.*, 1991).

Particularmente para el periodo homogéneo se supone un ambiente muy productivo pues la elevada producción primaria sustenta una gran cantidad de heterótrofos (Martínez-López y Gárate-Lizárraga, 1994). Sin embargo, durante el periodo estratificado, la capa superficial (0 a 10 m) descansa sobre una termoclina que en la parte inferior (15 a 28 m) soporta una gran población fitoplanctónica con elevadas concentraciones de pigmentos y nutrientes (Lechuga-Devéze *et al.*, 2000; Bustillos-Guzmán *et al.*, 2000), que rápidamente se degrada para dar paso a poblaciones bacterianas (bacterias sulforeductoras) y una acumulación de compuestos tóxicos como amonio, nitritos y sulfuro de hidrógeno (Bustillos-Guzmán *et al.*, 2000).



---

Este gradiente de temperatura genera una barrera física determinante en la distribución del material disuelto y particulado, provocando condiciones de hipoxia y anoxia debido a la oxidación de la materia orgánica abajo de la termoclina (Reyes-Salinas, 1994; Bustillos-Guzmán *et al.*, 2000). Por otro lado, arriba de la termoclina, las concentraciones bajas de nutrientes y el incremento de la temperatura al parecer son los mecanismos que favorecen la presencia de dinoflagelados potencialmente tóxicos como *Alexandrium catenella* y *Dinophysis caudata* (Morquecho-Escamilla, 1996; Lechuga-Devéze y Morquecho-Escamilla, 1998).

Estas variaciones espacio-temporales son actualmente estudiadas desde la micro-escala (segundos, centímetros) hasta escalas estacionales y regionales (Bustillos-Guzmán *et al.*, 1995), ya que es el proceso más importante que controla las variaciones en el flujo de carbón en los océanos (Walsh, 1980). Con los antecedentes de esta bahía se desconoce si los consumidores primarios son suficientemente abundantes para consumir los nutrientes producidos y que fracción de estos pueden ser exportados fuera del sistema o acumulados en el fondo. La generación de este conocimiento es importante en el balance global del carbón en una escala anual (Billen, 1984; Alldredge y Silver, 1988).

---

### 3. JUSTIFICACION

Bahía Concepción, B.C.S., es un ecosistema sujeto principalmente a discretas actividades de aprovechamiento pesquero y turístico. Las entradas de material costero son las fuentes potenciales que soportan la producción primaria en las bahías y estuarios y son las más susceptibles de impacto antropogénico. Sin embargo en este sistema el desarrollo urbano e industrial en el área es nulo y la agricultura mínima, los desechos domésticos por efecto de la actividad turística son en general muy bajos teniendo una afluencia de turismo mayor en los meses de Noviembre a Marzo, por ello se considera que no existe impacto antropogénico en el sistema. Estas características han hecho de este un modelo ideal para la investigación científica.

El conocimiento científico actual de esta bahía es suficiente para determinar que en ella ocurren transformaciones anuales importantes en sus ciclos hidrográficos, biológicos y químicos (Reyes Salinas, 1994; Lechuga-Devéze *et al.*, 2000; Bustillos-Guzmán *et al.*, 2000). Varios de estos procesos requieren aún de ser descritos para profundizar en los mecanismos de función del ecosistema y sus interacciones. Así, el conocimiento de cómo el sistema transforma sus ingresos en nitrógeno y fósforo, y conociendo que estos ingresos son esencialmente de origen natural, este trabajo contribuye al conocimiento del funcionamiento natural (sin presiones humanas) de lagunas costeras del mundo.

---

Por otro lado el balance realizado en este sistema dará bases para explorar y predecir mediante simulación los efectos sobre los ciclos biogeoquímicos (CNP) en el sistema que se puedan presentar en un futuro por cambios en las condiciones ambientales o en los flujos de CNP, ya sea por presiones humanas o naturales. Este estudio contribuye al conocimiento de los procesos biogeoquímicos de la zona costera y por ende al manejo de los recursos con sus implicaciones socioeconómicas, los enlaces entre el modelo biogeoquímico y el impacto socio económico puede tener una amplia variedad de aplicaciones como el manejo pesquero, eutrofización, efectos sobre la alteración del hábitat y el destino y efecto de contaminantes. Las lagunas costeras sostienen tramas tróficas cortas, lo que en primer lugar ofrece recursos pesqueros de incalculable valor.

México es conocido internacionalmente por su riqueza y diversidad biológica, dentro de esta riqueza, los litorales del territorio nacional presentan una variedad de ecosistemas con regímenes hidrológicos y climáticos muy diferentes, es por ello que la investigación científica esta encaminada a identificar las particularidades de estos ecosistemas, que al mismo tiempo revisten importancia desde varias perspectivas: Representan áreas de refugio, reproducción y crianza de numerosas especies endémicas y migratorias, para su aprovechamiento pesquero, en los programas de acuicultura, turismo, recreación y comercio (Contreras, 1993).

La importancia ecológica de las lagunas como áreas ricas en peces, moluscos y crustáceos ha sido señalada con frecuencia (Yáñez-Arancibia, 1986; Contreras,

---

1993), por lo que cualquier información científica debe ser utilizada en el manejo y aprovechamiento de dichos recursos.

---

## 4. OBJETIVOS

### 1. *General*

Determinar un esquema conceptual básico, que permita conocer como el cambio en la estructura hidrográfica de Bahía Concepción y sus influencias externas afectan los ciclos biogeoquímicos y el balance en los flujos de nitrógeno y fósforo con el sistema adyacente.

### 2. *Particulares*

1) Establecer las diferencias en nitrógeno y fósforo representativas de cada periodo hidrográfico y definir su variabilidad espacio-temporal.

2) Determinar el balance hidráulico para cada período hidrográfico.

3) Establecer los flujos de intercambio de nitrógeno y fósforo entre el sistema (Bahía Concepción) y el sistema adyacente (Bahía de Santa Inés) durante el periodo homogéneo y estratificado.

4) Establecer el funcionamiento metabólico dominante en el sistema (heterótrofo o autótrofo) para cada periodo hidrográfico.

---

## 5. AREA DE ESTUDIO

Bahía Concepción, B.C.S., se encuentra situada entre los 26° 33' y 26° 53' latitud norte y 111° 42' y 111° 56' longitud oeste en la costa occidental del Golfo de California (Fig. 1). Mide aproximadamente 45 Km. de largo por 10 Km. en su parte más ancha (Ramírez-Guillen, 1983). Presenta una marea de tipo mixto semidiurno (Obeso *et al.*, 1996), un prisma de marea inferior ( $221 \times 106 \text{ m}^3$ ) al volumen de la bahía ( $4453 \times 10^6 \text{ m}^3$ ), una profundidad media de 15.4 m y  $282 \text{ km}^2$  de superficie (Gilmartin y Revelante, 1978). En base a las condiciones hidrográficas registradas durante 1975 y 1976 la definen como un sistema antiestuarino (Félix-Pico y Sánchez, 1976).

La precipitación media anual es baja y fluctúa entre los 150-250 mm, la evaporación es mayor que la precipitación a lo largo del año con una media anual de 2212 mm. Los vientos en verano soplan del sureste y en otoño e invierno del noroeste (Baqueiro *et al.*, 1983), el clima es de tipo BW (h') hw (x') (e') (Castañeda y Contreras, 1993).

Presenta una temperatura superficial media de 24.5 °C y varía ampliamente de invierno (17.5 °C) a verano (34.8 °C) (Mateo-Cid *et al.*, 1993), y como consecuencia de su aislamiento relativo alcanza temperaturas más altas durante el verano en comparación con las aguas del Golfo de California (Dressler, 1981). La salinidad tiene una media anual de 35.3 ups y fluctúa de 34.6 ups a 37.0 ups a lo largo del año. Las concentraciones superficiales de oxígeno disuelto observadas varían desde

---

5.95 ml/l en invierno hasta 5.4 ml/l en primavera (Félix-Pico y Sánchez, 1976); durante el verano se reportan condiciones de hipoxia y anoxia en la parte profunda de la Bahía (Gilmartin y Revelante, 1978; Reyes Salinas, 1994). La concentración media de ortofosfatos y nitratos durante agosto es de 1.24  $\mu\text{M}$  y 0.66  $\mu\text{M}$  (Gilmartin y Revelante, 1978) respectivamente. El sedimento en la parte central de la Bahía es de origen biogénico principalmente (Shumilin *et al.*, 1996).

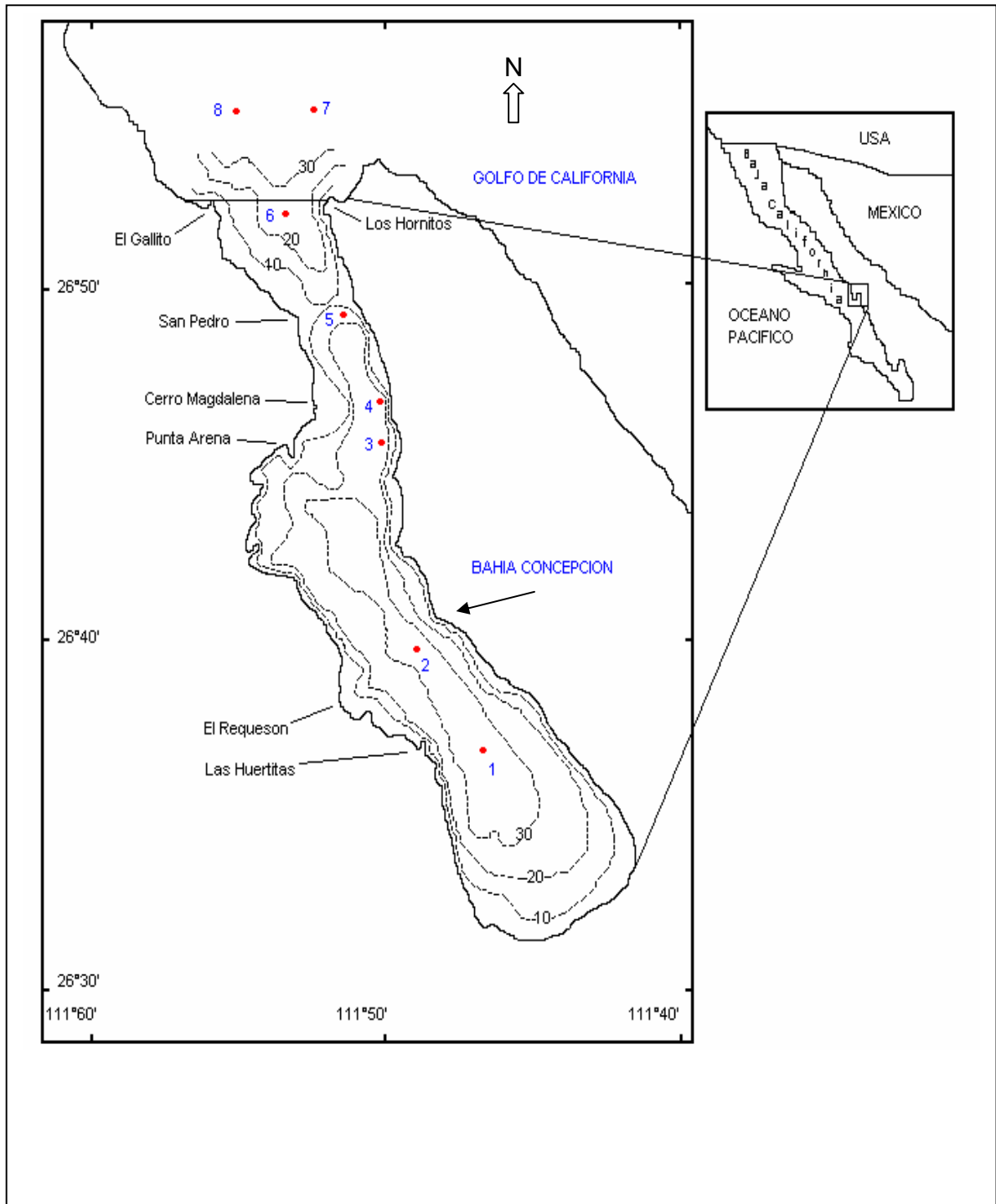


Fig. 1. Área de estudio y estaciones de muestreo en Bahía Concepción.



---

## 6. METODOLOGIA

### **1. Trabajo de campo:**

El muestreo se realizó durante el año 2001 en ocho estaciones, seis se ubicaron lo largo del sistema (Bahía Concepción) y dos en la parte sureste del sistema adyacente (Bahía de Santa Inés) Fig. 1.

Los muestreos fueron realizados bajo el siguiente esquema: En las estaciones 1 y 2 se realizaron campañas semanales y perfiles verticales de temperatura, salinidad y nutrientes (N = nitratos, nitritos, amonio y P = Ortofosfatos) en superficie, 5, 10, 15, 20, 25 y fondo. En las estaciones 3, 4 y 5 campañas mensuales y perfiles verticales de temperatura, salinidad y nutrientes (N y P) en superficie, media agua (15 m) y fondo (28 m). En la estación 6 campañas mensuales y perfiles verticales de temperatura, salinidad y nutrientes (N y P) en superficie, 5, 10, 15, 20, y fondo. En las estaciones 7 y 8 campañas mensuales y perfiles verticales de temperatura, salinidad y nutrientes (N y P) en superficie, 16 y 32 m (Tabla 1).

Tabla 1. Estrategia de muestreo realizado durante el 2001 en Bahía Concepción y Bahía de Santa Inés.

	Estación	Frecuencia de muestreo	Niveles de muestreo.	Parámetros.
Sistema (Bahía Concepción)	1 y 2.	Semanal	Sup., 5, 10, 15, 20, 25 m y fondo.	Temperatura, salinidad, NO <sub>2</sub> , NO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> y PO <sub>4</sub> .
	3, 4 y 5.	Mensual	Sup., 15 m y fondo.	
	6	Mensual	Sup., 5, 10, 15, 20 m y fondo.	
	7 y 8	Mensual	Sup., 16 y 32 m.	Temperatura, salinidad, NO <sub>2</sub> , NO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> y PO <sub>4</sub> .

Las muestras se obtuvieron con botella Van Dorn con 4 litros de capacidad. Para cada nivel se determinó la temperatura y salinidad con un termo-salinómetro marca ORION modelo 135 A. Para el análisis de nutrientes (N y P) se tomó un litro de muestra y se conservó en hielo, una vez en el laboratorio el agua se filtró a través de un filtro de fibra de vidrio Whatman GF/F y se congeló a -20°C hasta su análisis.

---

La producción primaria fue estimada en las estaciones 2 y 6 durante los meses de febrero, marzo, mayo, julio y agosto. El método utilizado fue el de evolución del oxígeno disuelto en botellas claras y oscuras (Strickland y Parsons, 1972); se obtuvo un volumen de muestra suficiente (4 l) para llenar 4 botellas DBO de 300ml, una se fijó para determinar el oxígeno inicial y se incubaron in situ 2 botellas claras y una oscura en superficie, 5, 15 y 20 m, durante 4 a 5 horas.

## **2. Trabajo de laboratorio:**

El análisis de nitrógeno y fósforo, nitrógeno como la suma de nitrito ( $\text{NO}_2$ ), nitrato ( $\text{NO}_3$ ) y amonio ( $\text{NH}_4$ ), y fósforo como ortofosfatos ( $\text{PO}_4$ ), se realizó según Strickland y Parsons (1972). El ión nitrito se determinó utilizando el método de Bendschneider y Robinson (1952), en el cual los nitritos reaccionan con la sulfanilamida en condiciones ácidas para formar un complejo diazo que al reaccionar con la N-(1-Naftil)-etilendiamina forma un compuesto azo coloreado cuya intensidad es medida por espectrofotometría. El ión nitrato se determinó utilizando el método de Morris y Riley (1963), en el cual los nitratos son reducidos a nitritos a través de su paso por una columna empacada de cadmio-cobre y los nitritos resultantes son determinados por el método anterior. El ión amonio se determinó utilizando el procedimiento de Solórzano (1969), en el cual el amonio en un medio alcalino con hipoclorito de sodio-fenol y en presencia de Nitroprusiato de sodio como catalizador forma el azul de indofenol cuya intensidad es medida por espectrofotometría. El ión ortofosfato se determinó utilizando el método de Murphy y Riley (1962), en el cual el ortofosfato reacciona con una mezcla compuesta de ácido molibídico, ácido ascórbico y

---

antimonio trivalente para formar azul de molibdeno cuya intensidad es medida por espectrofotometría. Para la determinación de nutrientes se utilizó un espectrofotómetro visible AQUAMATE marca Spectronic-Unicam.

Las botellas DBO incubadas en campo fueron valoradas por el método de Winkler modificado (Strickland y Parsons, 1972). La producción primaria neta se determinó utilizando la fórmula siguiente  $\text{mg C/m}^3/\text{hr} = 605 \times f \times [V(\text{LB}) - V(\text{IB})] / (N \times \text{PQ})$ , donde:  $f$  = Factor de eficiencia de solución de tiosulfato de sodio,  $V(\text{LB})$  = Volumen de solución de tiosulfato de sodio utilizado en la botella clara incubada,  $V(\text{IB})$  = Volumen de solución de tiosulfato utilizado en la botella clara Inicial,  $N$  = Horas de incubación y  $\text{PQ}$  = Factor fotosintético. Se utilizó una bureta digital marca Brinkmann con una precisión de 30  $\mu\text{l}$ .

### **3. Análisis de datos:**

Para identificar los dos periodos hidrográficos objeto de este estudio se determinó el índice de estratificación térmica con base en la diferencia de temperatura del estrato superior e inferior dividido entre su correspondiente profundidad y entre el número de profundidades menos uno (Bustillos-Guzmán *et al.*, 1995; López-Cortés *et al.*, 2003). Los valores promedio de temperatura fueron utilizados para la identificación de las estructuras hidrográficas más representativas. Se realizaron pruebas de comparación de medias a los datos de salinidad, nitrógeno (suma de nitritos, nitratos y amonio) y fósforo (ortofosfatos) mediante la prueba de Tukey extendida por Spjotvoll y Stolne para grupos con diferente número de datos ( $p < 0.05$ ) con el propósito de mostrar su variabilidad espacial y temporal a través del sistema y el sistema adyacente y

---

observar si existe diferencia significativa entre el sistema y el sistema adyacente durante los dos periodos hidrográficos considerados.

#### **4. Evaluación mediante el modelo de balance de masa.**

La evaluación del metabolismo neto del sistema se realizó mediante la utilización del modelo numérico de balance de masa (Gordon *et al.*, 1996). La conservación de la masa es el principio fundamental. El resultado es un modelo que estequiométricamente enlaza el balance agua-sal-nutrientes y proporciona información sobre: El balance hidráulico-salino del sistema, los flujos de nitrógeno-fósforo y su relación estequiométrica para llegar a conocer el metabolismo neto del sistema.

##### **4.1. Balance hidráulico.**

Establece el balance entre todas las entradas y salidas de agua al sistema costero. Debe haber un volumen de entrada o salida para compensar las pérdidas o ganancias de agua del sistema. Si se asume que el cambio del volumen de agua en el sistema con el tiempo es constante  $dv/dt = 0$ , entonces el volumen de agua puede ser estimado por la diferencia entre las entradas y salidas. Esto se conoce como volumen residual o flujo residual ( $V_r$ ):  $(V_r): dv/dt = V_q + V_p + V_g + V_o + V_e + V_r$ , si  $dv/dt = 0$ , entonces  $V_r = -V_q - V_p - V_g - V_o - V_e$ , donde;  $V_q$  es el aporte por ríos,  $V_p$  es la precipitación pluvial,  $V_g$  aguas subterráneas,  $V_o$  efluentes urbanos y  $V_e$  las perdidas por evaporación.

---

## 4.2. Balance salino

La sal debe conservarse en el sistema  $dVS/dt = 0$ . La salinidad residual  $S_r = (S_{Sist.} + S_{Sist. \text{ ady.}}) / 2$ , la cual multiplicada por el volumen residual  $S_r \cdot V_r$  resulta en el volumen de agua que debería compartirse con el sistema adyacente para alcanzar el equilibrio salino (volumen de mezcla:  $V_x$ ). Sin embargo, en adición al flujo residual existen flujos a través de la frontera entre el sistema y el sistema adyacente debido a mareas, corrientes y vientos, este volumen se calcula a través del gradiente de salinidad que existe entre los sistemas de la manera siguiente: Los aportes externos con distintas salinidades  $V_o S_o + V_p S_p + V_q S_q + V_g S_g + V_e S_e + V_r S_r$  se mezclan en el sistema, de manera que  $dVS/dt = V_o S_o + V_p S_p + V_q S_q + V_g S_g + V_e S_e + V_r S_r + V_{\text{entrada}} S_{Sist. \text{ ady.}} + V_{\text{salida}} S_{Sist.}$ , donde  $V_{\text{entrada}}$  es el volumen de agua que entra al sistema y  $V_{\text{salida}}$  el volumen que sale del sistema, de tal manera que  $V_{\text{entrada}} + V_{\text{salida}} = V_x$ . Despejando  $V_x$  la ecuación se arregla de la manera siguiente  $V_x = (-V_o S_o - V_p S_p - V_q S_q - V_g S_g - V_e S_e - V_r S_r) / (S_{Sist. \text{ ady.}} - S_{Sist.})$ .

## 4.3. Tiempo de recambio

Finalmente el tiempo de recambio de agua en el sistema es igual a  $Tr = V_{Sist.} / (V_x + V_r)$ , donde  $V_{Sist.}$  = Volumen total del sistema.

## 4.4. Balance entre los materiales no conservativos

En este paso del modelo se consideran los materiales que no tienen propiedades conservativas. El balance del material  $Y = \text{CNP}$  (carbono, nitrógeno y fósforo) esta en

---

función del flujo de intercambio establecido para el balance hidráulico y salino. La ecuación general será  $dVY/dt = V_oY_o + V_pY_p + V_qY_q + V_gY_g + V_rY_r + V_xY_{sist\ ady.} + V_xY_{sist.} + \Delta Y$ , donde  $\Delta Y$  representa el flujo no conservativo que actúa removiendo o agregando al elemento Y, resumiendo  $dVY/dt = V_oY_o + V_pY_p + V_qY_q + V_gY_g + V_rY_r + V_x(Y_{sist.\ ady.} - Y_{sist.}) + \Delta Y$ , si  $dVY/dt = 0$ , entonces  $\Delta Y = -V_oY_o - V_pY_p - V_qY_q - V_gY_g - V_rY_r - V_x(Y_{sist.\ ady.} - Y_{sist.})$ .

Cada componente de la formula se resuelve de la manera siguiente, los flujos  $V_oY_o$ ,  $V_qY_q$  y  $V_gY_g$  son determinados solo si existen estos aportes, la precipitación  $Y_p$  y la evaporación  $Y_e$  se asume igual a cero.

El flujo residual o volumen residual del elemento Y se calcula por  $V_rY_r = V_r * Y_r$ , donde  $Y_r = (Y_{sist.} + Y_{sist.\ ady.}) / 2$ , a su vez el volumen de mezcla del elemento Y será  $V_xY_x = V_x * (Y_{sist.\ ady.} - Y_{sist.})$  en total el balance del elemento Y será igual a  $\Delta Y = -V_rY_r - V_xY_x$ , el resultado son las cantidades del elemento Y que se encuentran en exceso o faltan en el sistema.

#### **4.5. Enlaces estequiométricos entre los materiales no conservativos.**

El enlace estequiométrico entre los materiales no conservativos CNP se basa en la suposición de que el flujo de CNP en la zona costera es atribuido a la producción y consumo de materia orgánica y su composición tiende a ser relativamente constante con el océano. Si el metabolismo del plancton domina, entonces la relación molar de Redfield CNP (106:16:1) es una razonable aproximación de la relación CNP de la materia orgánica localmente producida o consumida. Si otro tipo de metabolismo

---

domina el sistema (pastos marinos, manglares o bentos) se debe calcular la relación molar CNP de ese sistema en particular.

a) Enlace estequiométrico Fósforo-Carbono (metabolismo neto del ecosistema,  $\Delta C$ ): El fósforo inorgánico disuelto  $\Delta DIP = \Delta P$ . En base a la cantidad de  $\Delta DIP$  encontrada en el sistema y conociendo la relación molar  $(C:P)_{part.}$  se puede determinar la cantidad de materia orgánica producida o consumida (fotosíntesis -respiración =  $p-r$ ) en el sistema igual a  $\Delta C = \Delta DIP * (C:P)_{part.}$ . Si  $\Delta DIP > 0$  el sistema esta produciendo  $\Delta C$  vía respiración ( $p-r < 0$ ) por lo tanto el metabolismo neto del ecosistema es heterótrofo y si  $\Delta DIP < 0$  el sistema esta consumiendo  $\Delta C$  vía fotosíntesis ( $p-r > 0$ ) por lo tanto el metabolismo neto del ecosistema es autótrofo.

b) Enlace estequiométrico Nitrógeno-Carbono (nfix-denit): La ecuación general es igual a  $(nfix-denit) = \Delta N_{observado} - \Delta N_{esperado}$ . Donde  $\Delta N_{observado}$  es la suma del nitrógeno inorgánico disuelto  $\Delta DIN$  y nitrógeno orgánico disuelto  $\Delta DON$  y asumiendo que se conoce la relación molar  $(N:P)_{part.}$  del material orgánico particulado del sistema, el flujo de nitrógeno asociado con la producción y descomposición de material orgánico particulado será igual a  $\Delta N_{esperado} = \Delta P * (N:P)_{part.}$ . El resultado determina la cantidad de nitrógeno que esta siendo fijado o liberado a la atmósfera ( $N_2$  o  $N_2O$ ), si  $(nfix-denit)$  es positivo, el sistema se comporta como fijador de nitrógeno, es decir, consume todo el nitrógeno que produce, si el resultado es negativo, el sistema tiene nitrógeno en exceso que está siendo liberado a la atmósfera.



---

### 3. RESULTADOS

Durante el periodo estratificado la temperatura media fue de  $28.8 \pm 2.2^{\circ}\text{C}$  en el sistema y de  $26.1 \pm 2.4^{\circ}\text{C}$  en el sistema adyacente; en el periodo homogéneo las temperaturas medias fueron de  $19.1 \pm 1.6^{\circ}\text{C}$  y de  $18.5 \pm 1.4^{\circ}\text{C}$  respectivamente. Desde el interior del sistema hasta el sistema adyacente, se observa un gradiente descendente de salinidad y temperatura; al mismo tiempo, al interior del sistema se desarrolla una fuerte termoclina que aísla el estrato superficial (0 a 10 m) del profundo (15 a 27 m), mientras que el sistema adyacente la columna de agua apenas muestra un ligero descenso de temperatura con la profundidad.

Los perfiles verticales promedio de temperatura de cada estación y para cada periodo hidrográfico se muestran en la Figura 2, se observa que ambos sistemas siguen un patrón similar en su variabilidad espacial y temporal, pero con temperaturas mas bajas en el sistema adyacente y sin llegar a la estratificación. Durante el periodo estratificado, en las estaciones 1, 2 y 6 se puede observar con mayor claridad que existe estratificación debido al mayor numero de niveles muestreados, sin embargo en las estaciones 3, 4 y 5 se encontró un gradiente de temperatura entre superficie y fondo (27m) de aproximadamente  $7^{\circ}\text{C}$ , esto nos indica que efectivamente todo el sistema se estratifica durante este periodo (Figura 2).

Las dos estructuras hidrográficas estuvieron representadas en Bahía Concepción. En este estudio se identificaron como sigue: el periodo de enero a abril (122 días)

---

representó a la condición homogénea (HM), mayo a agosto (118 días) representó el periodo estratificado sin precipitación (STSP) y septiembre (30 días) el periodo estratificado con precipitación (STCP).

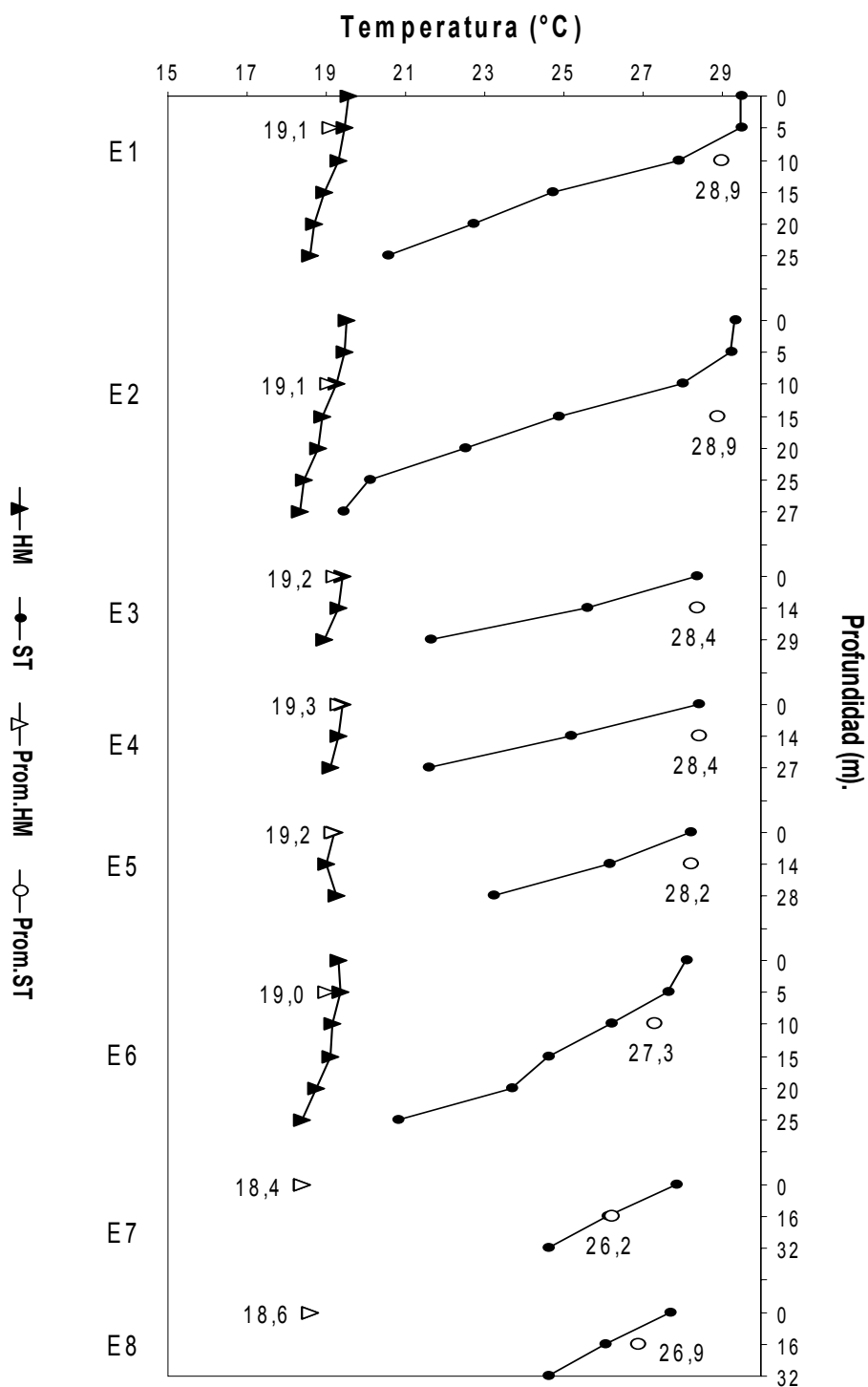


Fig. 2. Perfiles verticales y temperatura promedio (°C) para el sistema (E1-E6) y sistema adyacente (E7 y E8) para los 2 periodos hidrográficos durante el 2001 en Bahía Concepción, Golfo de California.

Los días restantes en el año (95 días) son considerados periodos de transición entre una estructura hidrográfica y la otra. En cuanto al sistema adyacente, aunque fue observado un gradiente de temperatura importante ( $6^{\circ}\text{C}$ ) entre 0 y 32 m, no fue visible el desarrollo de una clara termoclina permaneciendo en transición durante el periodo estratificado como se observa en la figura 3.

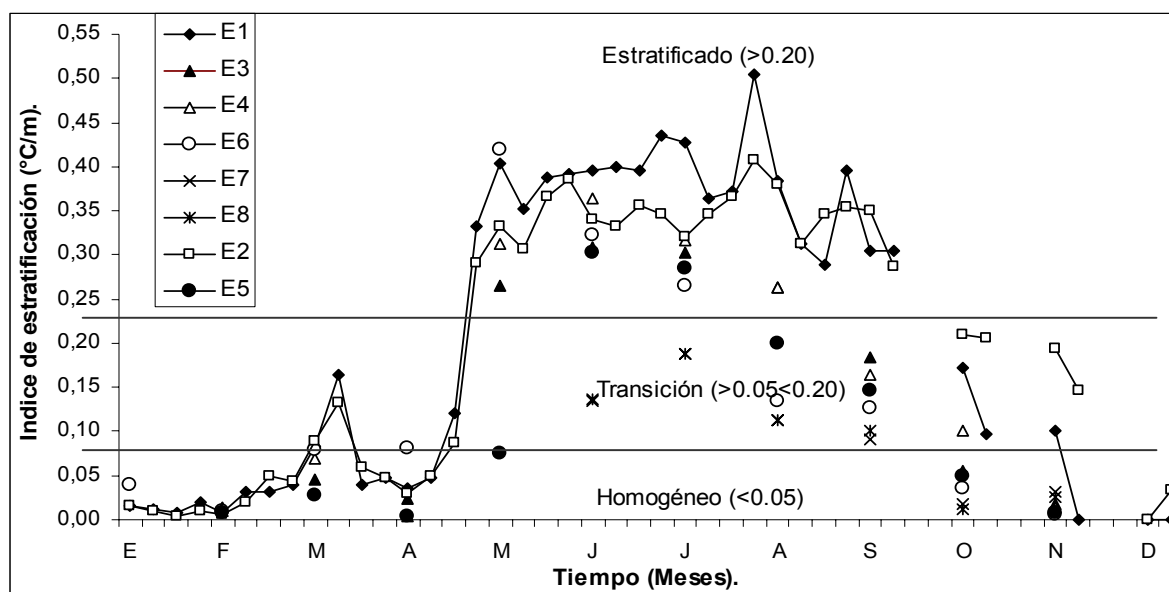


Fig. 3. Índice de estratificación térmica registrada en Bahía Concepción durante el año 2001.

La salinidad muestra un comportamiento similar a la temperatura, en el periodo homogéneo la estructura vertical de la columna de agua muestra valores de 35.2 ups desde el fondo hasta la superficie, en el periodo STSP y STCP se observa el efecto de la termoclina sobre la salinidad en el sistema, teniendo valores de salinidad mas altos (35.1 ups) en el estrato superior 0 a 10m que en el inferior (34.3 ups) 15 a 27m; el sistema adyacente no muestra estratificación por temperatura y salinidad (Figura 2 y 4). Durante los periodos hidrográficos considerados se observó que existe un

---

gradiente en la salinidad promedio entre el sistema y el sistema adyacente, en el periodo HM 0.3 ups, en el periodo STSP 0.6 ups y en el periodo STCP 0.4 ups, este gradiente es suficiente para poder realizar el balance de masa ya que el mínimo aceptado es de 0.3 ups (tabla 2).

Para obtener la variabilidad espacial de la salinidad se realizó el análisis de comparación de medias entre el sistema y el sistema adyacente mediante la prueba de Tukey extendida por Spjotvoll y Stolne para grupos con diferente numero de datos ( $p < 0.05$ ). Se determino para los periodos HM, STSP y STCP que la media del sistema comparada con la del sistema adyacente presenta diferencia significativa. En los periodos HM, STSP y STCP se observa que la salinidad media va en orden descendente de la estación E1 a la E8, de 35.2 ups a 34.9 ups, 35.1 ups a 34.4 ups y de 34.9 ups a 34.4 ups respectivamente, esta disminución se manifiesta con mayor claridad durante el periodo STSP y STCP. Existe una influencia del sistema adyacente sobre las estaciones mas cercanas a la frontera (E1 a la E4) en los periodos STSP y STCP, se realizo una prueba de diferencia de medias de las estaciones 1, 2, 3 y 4 contra las estaciones 5 y 6 en el periodo STSP y las estaciones 1 y 2 contra las estaciones 3, 4, 5 y 6 en el periodo STCP y se determino que existe diferencia significativa y por tanto las estaciones mas cercanas a la frontera son influenciadas significativamente durante todo el periodo estratificado, es decir en el periodo STSP el sistema adyacente influye significativamente en las estaciones E5 y E6 y en el STCP sobre las estaciones E3, E4, E5 y E6 (Tabla 1 y figuras 5, 6 y 7).

---

Respecto a la variabilidad temporal se obtuvo diferencia significativa entre ambos periodos tanto en el sistema como en el sistema adyacente, es decir las condiciones salinas de ambos sistemas cambian de la temporada fría a la calida. Estos resultados nos indican que la salinidad es homogénea en cada sistema, siendo el sistema adyacente menos salino que el sistema, lo cual es fundamental para realizar el balance de masa.

Tabla 2. Valores medios de salinidad para cada periodo y estación de muestreo durante el 2001 en Bahía Concepción.

Periodo	Sistema						Sistema adyacente	
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
HM	35.2	35.2	35.2	35.1	35.0	35.0	34.9	34.9
	±0.3	±0.4	±0.3	±0.3	±0.2	±0.3	±0.2	±0.2
Promedios para cada estación	35.1	35.1	34.9	35.0	34.7	34.5	34.4	34.4
STSP	±0.5	±0.4	±0.5	±0.4	±0.4	±0.3	±0.1	±0.1
	34.9	34.9					34.3	34.4
STCP			34.5	34.4	34.4	34.4		
	±0.2	±0.3					±0.3	±0.3
Promedios para cada sistema	HM		35.2			34.9		
	STSP		35.0			34.4		
	STCP		34.8			34.4		

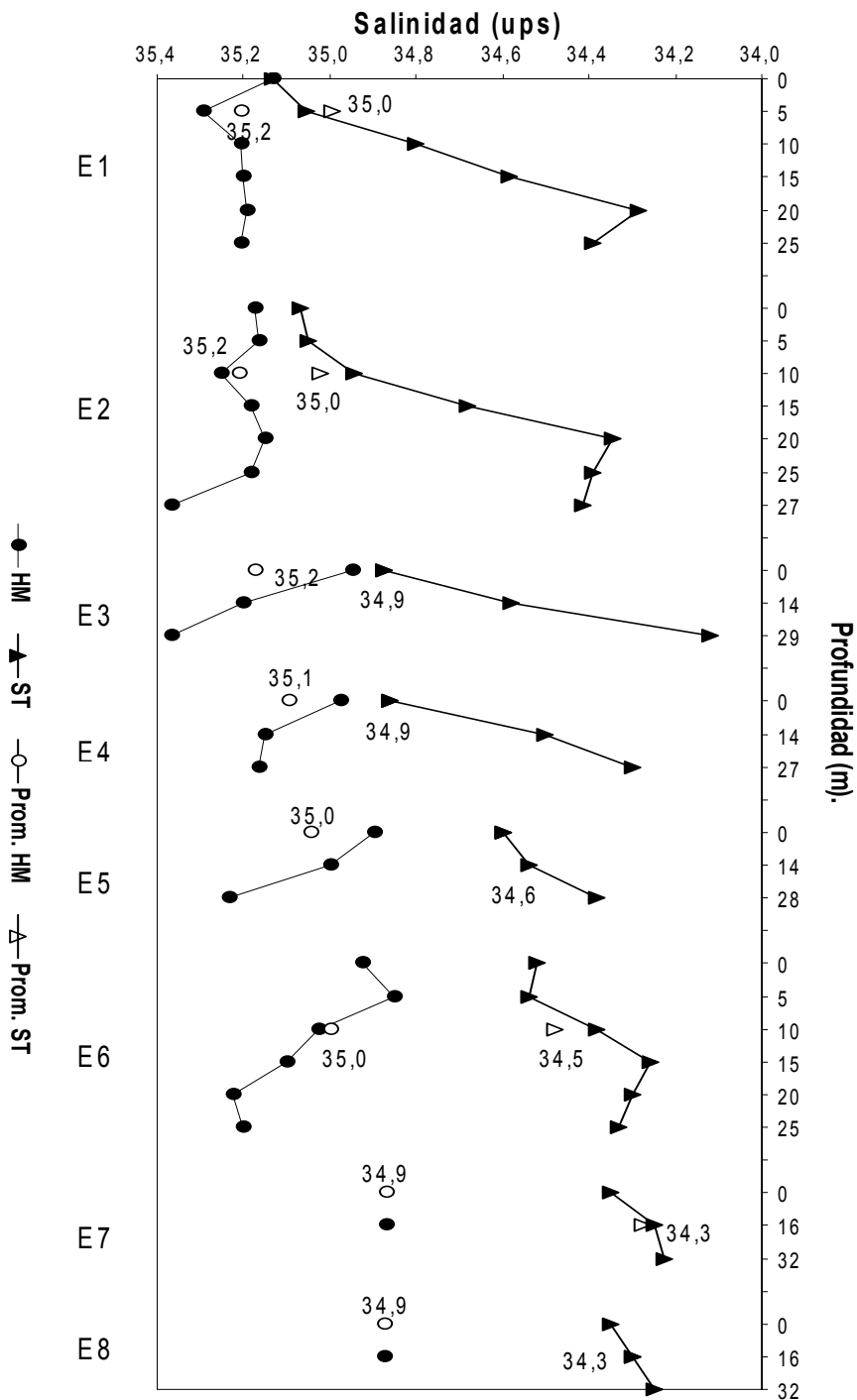


Fig. 4. Perfiles verticales y salinidad promedio (ups) para el sistema (E1-E6) y sistema adyacente (E7 y E8) para los 2 periodos hidrográficos durante el 2001 en Bahía Concepción.



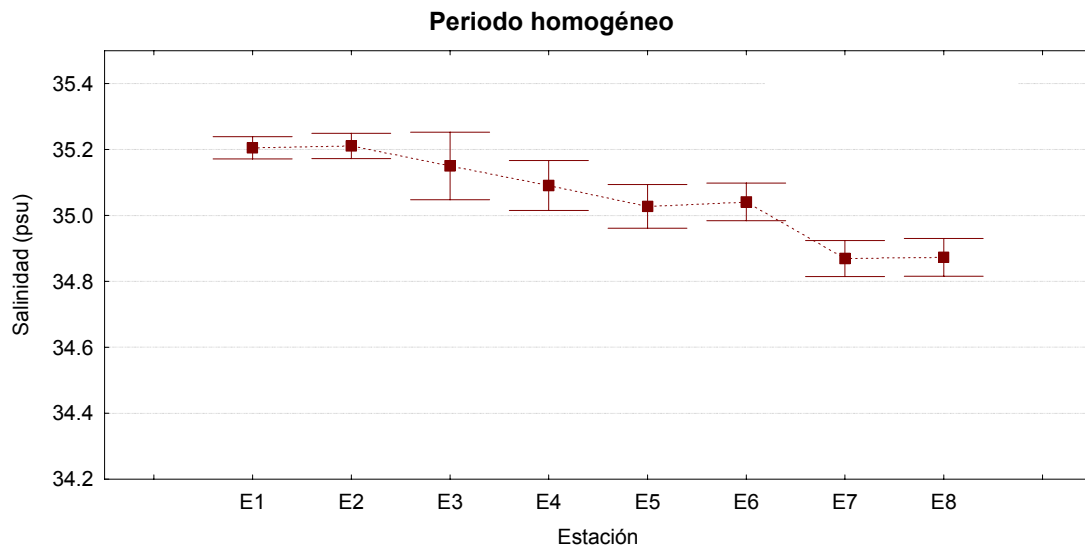


Fig. 5. Variabilidad espacial de salinidad (media y desviación estándar) durante el periodo homogéneo en el sistema (E1-E6) y sistema adyacente (E7 y E8) durante el 2001 en Bahía Concepción.

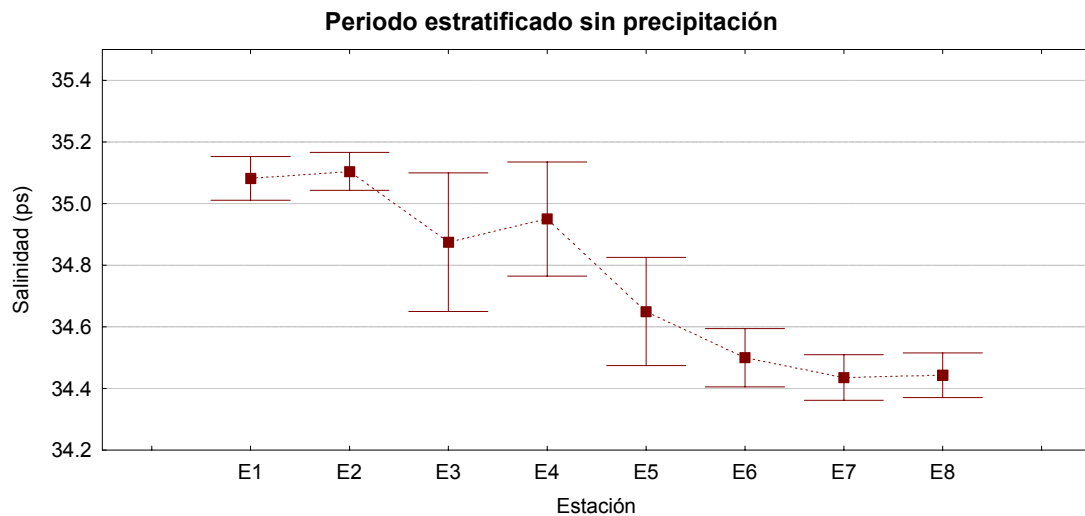


Fig. 6. Variabilidad espacial de salinidad (media y desviación estándar) durante el periodo estratificado sin precipitación en el sistema (E1-E6) y sistema adyacente (E7 y E8) durante el 2001 en Bahía Concepción.

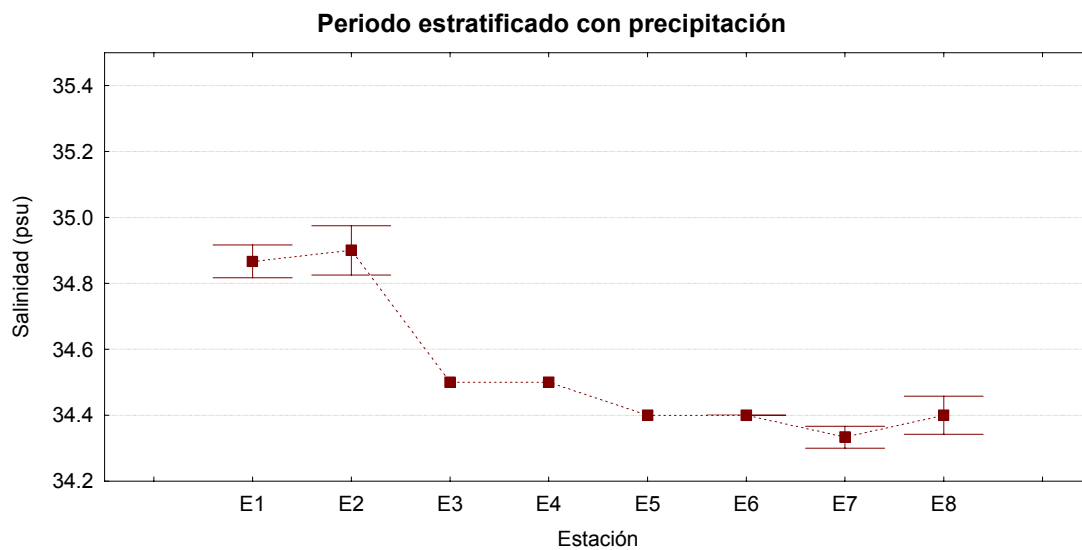


Fig. 7. Variabilidad espacial de salinidad (media y desviación estándar) durante el periodo estratificado con precipitación en el sistema (E1-E6) y sistema adyacente (E7 y E8) durante el 2001 en Bahía Concepción.

Las principales perturbaciones atmosféricas están representadas por la evaporación y la precipitación (Figura 8). Se observa que la evaporación sigue un patrón estacional relacionado al aumento de temperatura ambiental; presenta su máximo durante la temporada de mayor intensidad solar (junio-julio) y en el inicio del periodo estratificado (Mayo). Los valores de evaporación han sido extrapolados al total de agua evaporada en la superficie de la bahía  $1,530.0 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{día}$  para el periodo HM,  $2,344 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{día}$  para el periodo STSP y  $2,068 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{día}$  para el periodo STCP. La precipitación nos muestra que se presenta en forma torrencial y durante este estudio se presentó en el mes de septiembre (STCP =  $25,380 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{día}$ ) dentro del período de estratificación térmica. Para efectos de este estudio se determinó que la precipitación media del sistema se considerara nula para el periodo HM y STSP.

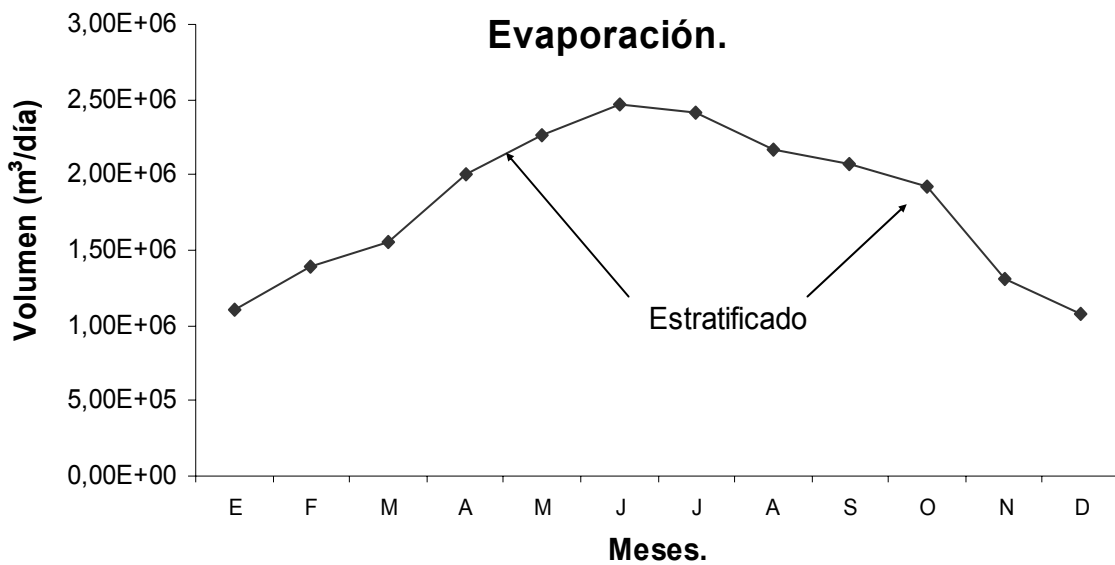
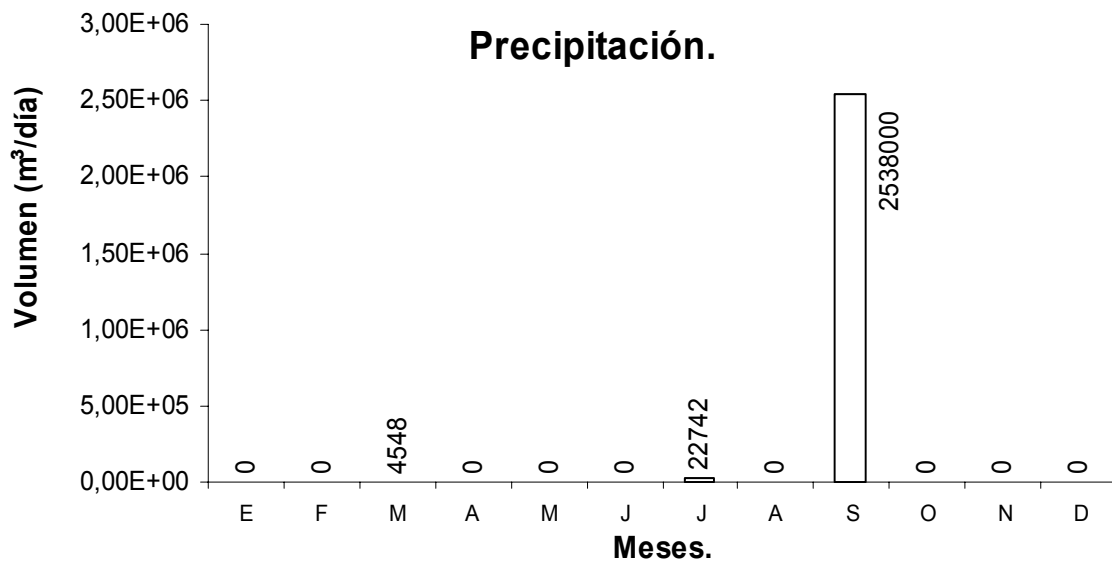


Fig. 8. Evaporación y precipitación promedio mensual en el sistema durante el 2001 en Bahía Concepción.

Respecto al nitrógeno (DIN) se observa que durante el periodo HM el DIN (suma de nitritos, nitratos y amonio) fue de 0.547 mmol/m<sup>3</sup> y 2.337 mmol/m<sup>3</sup> para el sistema y el sistema adyacente respectivamente, en el periodo STSP de 0.251 mmol/m<sup>3</sup> y

---

0.533 mmol/m<sup>3</sup> y para el periodo STCP de 0.319 mmol/m<sup>3</sup> y 0.776 mmol/m<sup>3</sup> para el sistema y el sistema adyacente respectivamente. Es importante destacar el comportamiento del DIN en el periodo HM, el ion nitrato es el mas abundante ya que contribuye con 6.398 mmol/m<sup>3</sup> (91.3% del DIN) en el sistema adyacente, en cambio en el sistema el amonio contribuye con el 45% y el nitrato con el 51% aportando 0.723 mmol/m<sup>3</sup> y 0.824 mmol/m<sup>3</sup> respectivamente, el nitrito tiene una baja contribución con el 3% con concentración de 0.058 mmol/m<sup>3</sup>. Respecto al fósforo DIP se observa que durante el periodo HM el DIP (ortofosfatos) fue de 0.674 mmol/m<sup>3</sup> y 2.276 mmol/m<sup>3</sup> para el sistema y el sistema adyacente respectivamente, en el periodo STSP de 0.469 mmol/m<sup>3</sup> y 0.942 mmol/m<sup>3</sup> y para el periodo STCP de 0.609 mmol/m<sup>3</sup> y 0.773 mmol/m<sup>3</sup> para el sistema y el sistema adyacente respectivamente (Figura 9).

Del análisis estadístico para determinar si existe diferencia significativa entre el sistema y el sistema adyacente durante los periodos hidrográficos se obtuvo lo siguiente: Tanto en el DIN como el DIP se observa que existe diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) en los periodos HM, STSP y STCP. Para el sistema adyacente los datos muestran que la concentración de DIN y DIP es mayor durante todo el año, en el periodo HM en particular estas concentraciones son mas elevadas (DIN = 2.337 mmol/m<sup>3</sup> y DIP = 2.276 mmol/m<sup>3</sup>). La variación espacial de DIN y DIP muestra que las concentraciones aumentan de la E1 a la E8 y esta es mas evidente durante en el periodo HM (Figuras 10, 11, 12, 13, 14 y 15).

En resumen, durante los dos periodos hidrográficos el sistema adyacente presenta una mayor concentración de DIN y DIP que el sistema.

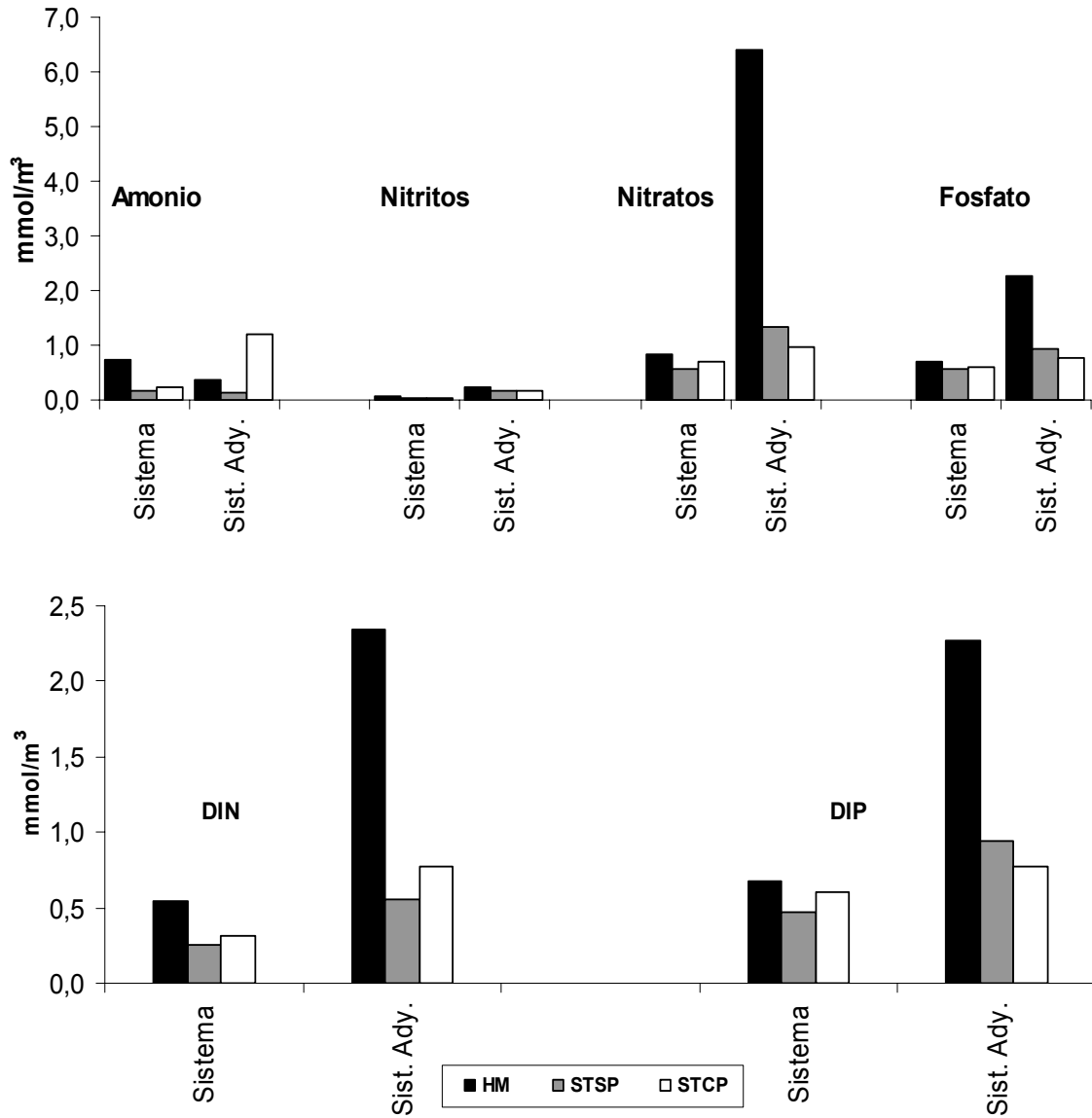


Fig. 9. Valores promedio de nitrógeno y fósforo para cada periodo hidrográfico durante el 2001 en Bahía Concepción.

Tabla 3. Valores medios y desviación estándar de nitrógeno y fósforo para cada estación de muestreo durante el 2001 en Bahía Concepción.

Periodo	Sistema						Sistema adyacente	
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
HM	DIN							
	0.356	0.582	0.341	0.781	0.296	1.226	2.769	1.826
	±0.882	±0.936	±1.103	±1.983	±0.532	±2.794	±4.140	±3.419
	DIP							
	0.607	0.637	0.688	0.807	0.893	0.914	1.457	3.243
	±0.359	±0.440	±0.286	±0.334	±0.582	±0.367	±0.393	±3.714
STSP	DIN							
	0.244	0.255	0.142	0.497	0.312	0.197	0.504	0.563
	±0.436	±0.597	±0.308	±0.992	±0.597	±0.426	±1.426	±1.531
	DIP							
	0.291	0.633	0.493	0.314	0.458	0.571	0.960	0.924
	±0.191	±1.279	±0.170	±0.274	±0.283	±0.362	±0.359	±0.393
STCP	DIN							
	0.309	0.418	0.000	0.000	0.147	0.148	0.942	0.609
	±0.378	±0.532	±0.000	±0.000	±0.041	±0.096	±0.967	±0.786
	DIP							
	0.540	0.679				0.573	0.763	0.784
	±0.232	±0.543	0.609	0.538	0.777	±0.070	±0.170	±0.223

Tabla 4. Valores medios y desviación estándar de nitrógeno y fósforo para cada periodo en el sistema y sistema adyacente durante el 2001 en Bahía Concepción.

	Periodo	DIN (mmol/m <sup>3</sup> )	DIP (mmol/m <sup>3</sup> )
Sistema	HM	0.547 ±1.688	0.674 ±0.413
	STSP	0.251 ±0.532	0.469 ±0.833
	STCP	0.319 ±0.432	0.609 ±0.378
Sistema adyacente	HM	2.337 ±3.830	2.276 ±2.628
	STSP	0.533 ±1.471	0.942 ±0.370
	STCP	0.776 ±0.876	0.773 ±0.178

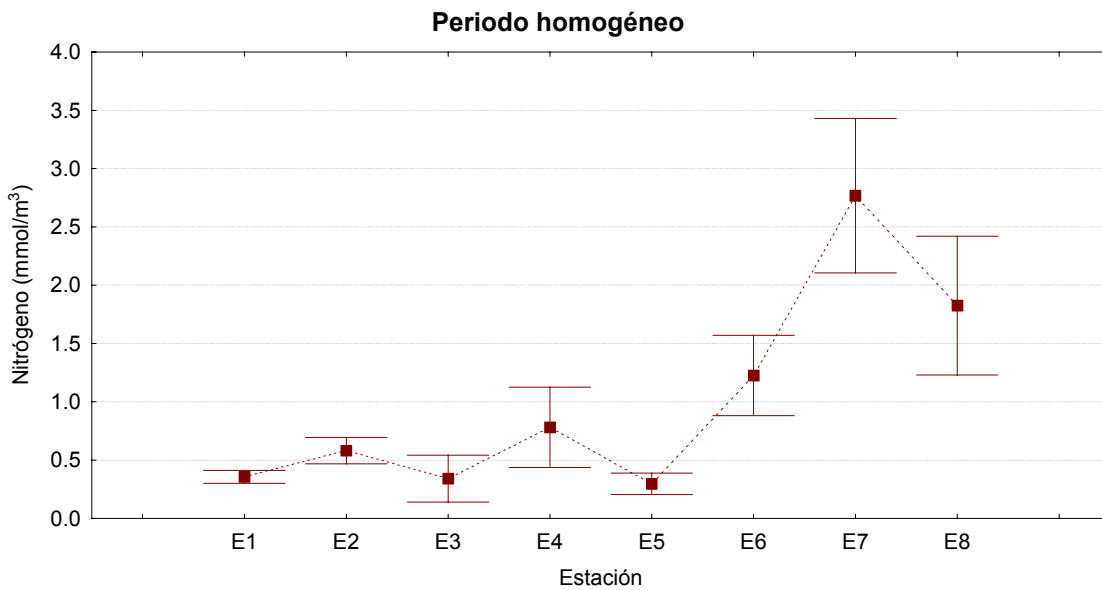


Fig. 10. Variabilidad espacial del nitrógeno (media y desviación estándar) durante el periodo homogéneo en el sistema (E1-E6) y sistema adyacente (E7 y E8) durante el 2001 en Bahía Concepción.

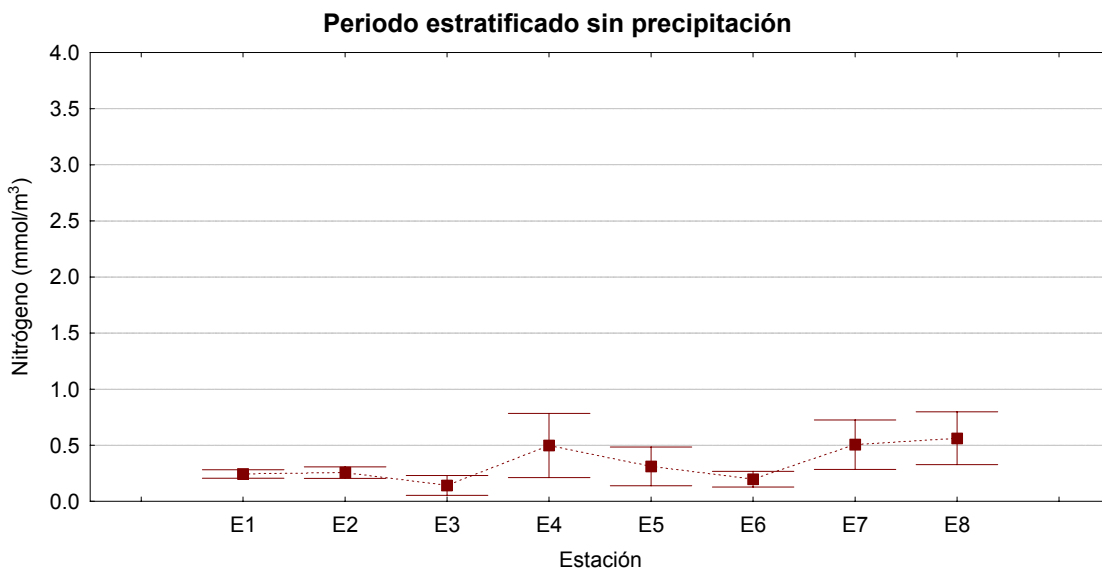


Fig. 11. Variabilidad espacial del nitrógeno (media y desviación estándar) durante el periodo estratificado sin precipitación en el sistema (E1-E6) y sistema adyacente (E7 y E8) durante el 2001 en Bahía Concepción.



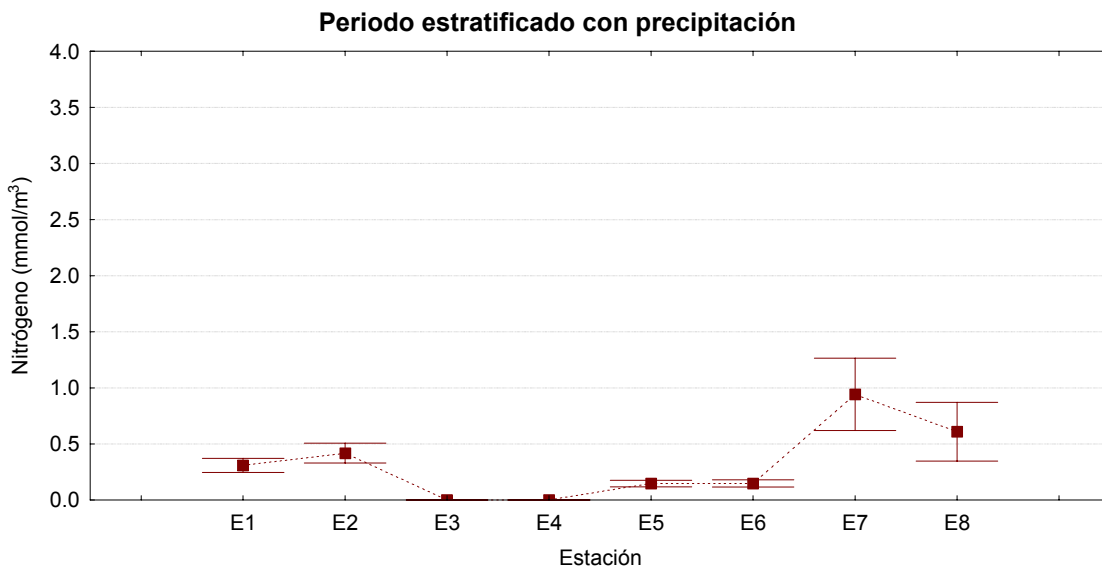


Fig. 12. Variabilidad espacial del nitrógeno (media y desviación estándar) durante el periodo estratificado con precipitación en el sistema (E1-E6) y sistema adyacente (E7 y E8) durante el 2001 en Bahía Concepción.

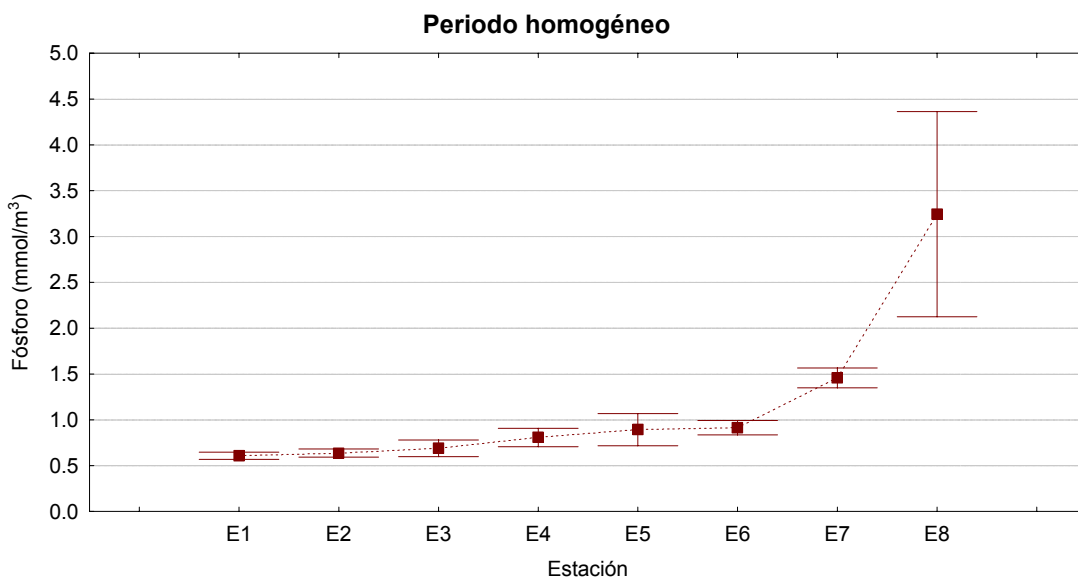


Fig. 13. Variabilidad espacial de fósforo (media y desviación estándar) durante el periodo homogéneo en el sistema (E1-E6) y sistema adyacente (E7 y E8) durante el 2001 en Bahía Concepción.

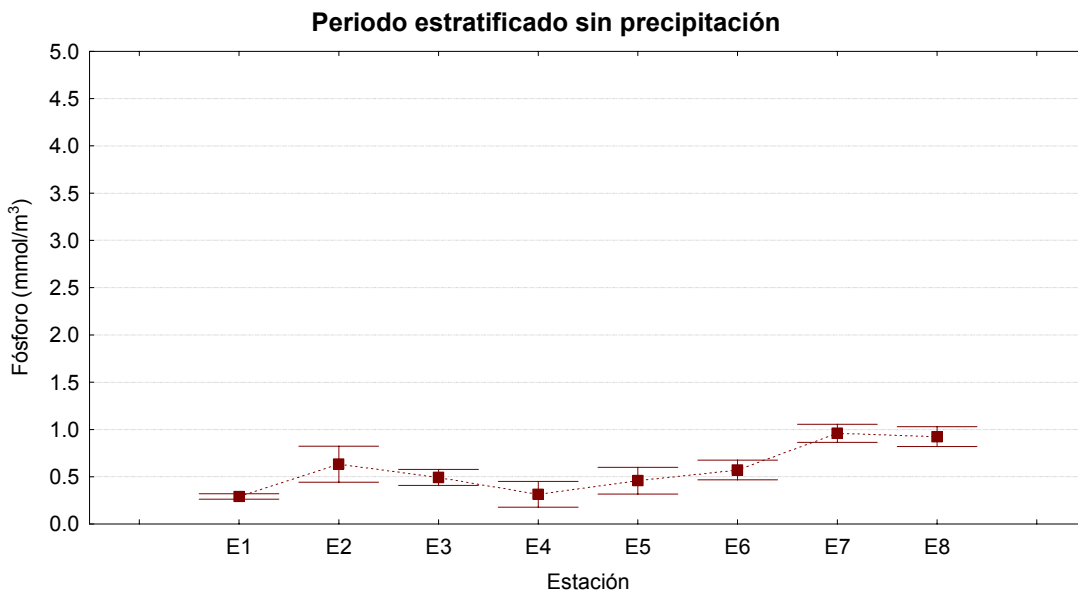


Fig. 14. Variabilidad espacial de fósforo (media y desviación estándar) durante el periodo estratificado sin precipitación en el sistema (E1-E6) y sistema adyacente (E7 y E8) durante el 2001 en Bahía Concepción.

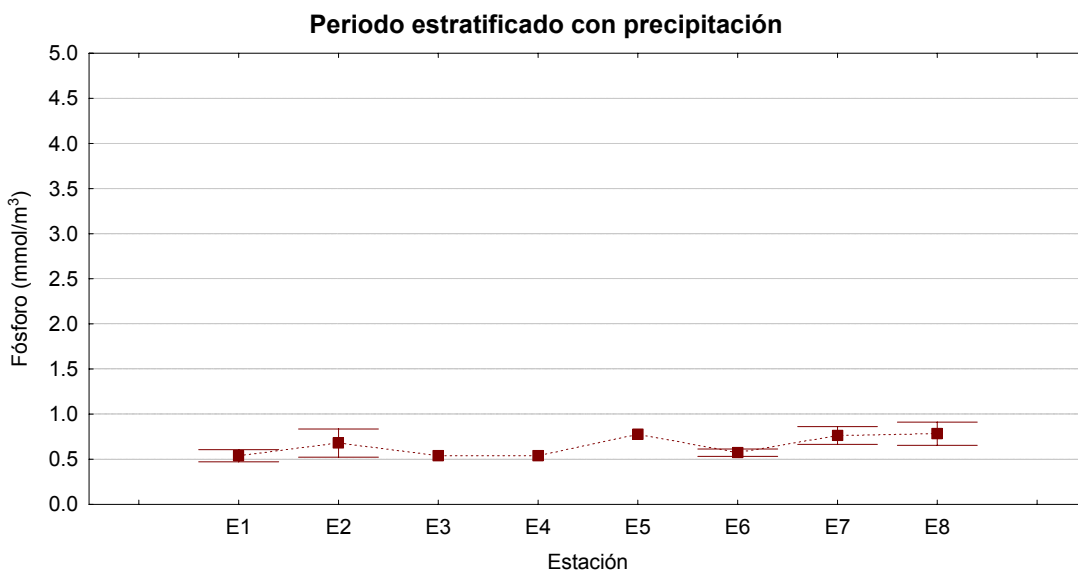


Fig. 15. Variabilidad espacial de fósforo (media y desviación estándar) durante el periodo estratificado con precipitación en el sistema (E1-E6) y sistema adyacente (E7 y E8) durante el 2001 en Bahía Concepción.

---

## 1. Evaluación mediante el modelo de balance de masa

En las figuras 16, 17 y 18 se muestra la batimetría del sistema y los datos que alimentan el modelo de balance de masa. En las figuras del periodo STSP y STCP se representa con un tono más fuerte la estratificación de sistema. El volumen del sistema durante el periodo homogéneo es  $V$  (HM) =  $4,553 \times 10^6 \text{ m}^3$ , en el caso del periodo STSP y STCP el volumen del sistema se calculó en base al área del sistema  $A_{\text{sist.}} = 282 \times 10^6 \text{ m}^2$  y la profundidad definida para la termoclina en el sistema de 10 m de profundidad (ver Figura 1), por lo tanto el volumen es  $V$  (ST) =  $2,820 \times 10^6 \text{ m}^3$ .

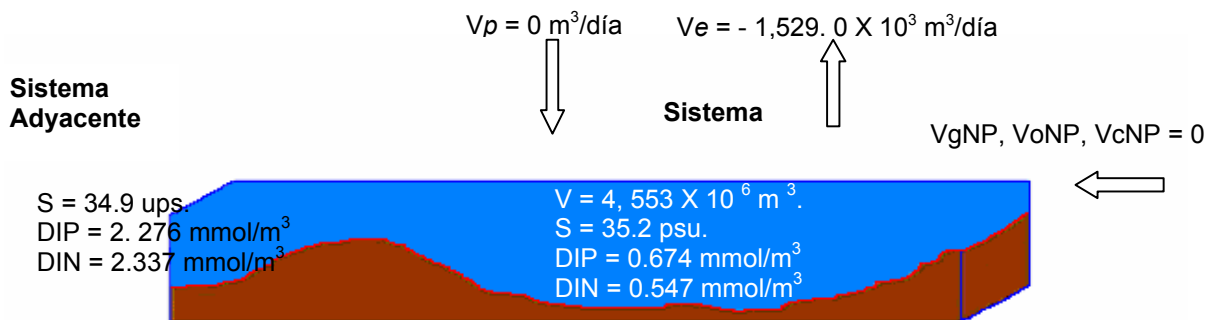


Fig. 16. Datos utilizados para alimentar el modelo, periodo homogéneo.

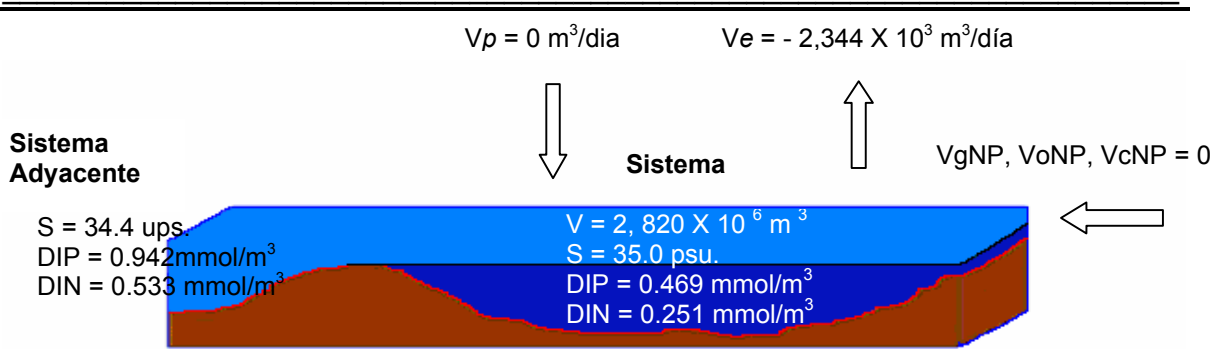


Fig. 17. Datos utilizados para alimentar el modelo, periodo estratificado sin precipitación.

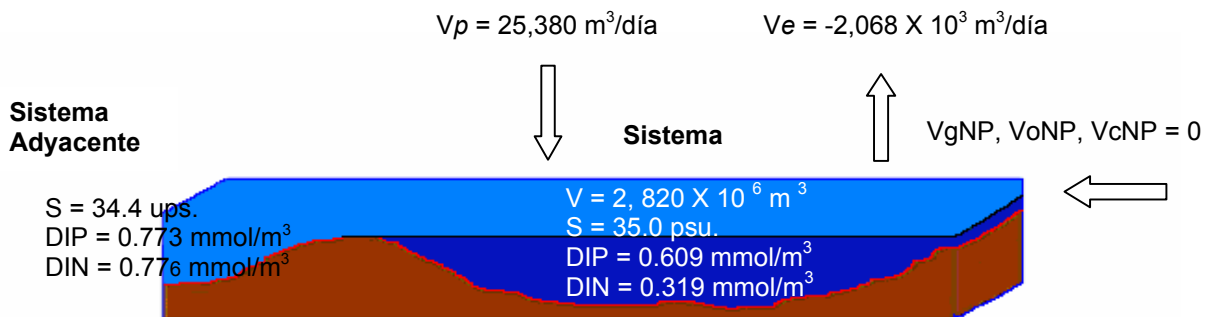


Fig. 18. Datos utilizados para alimentar el modelo, periodo estratificado con precipitación.

---

El balance de los elementos no conservativos  $\Delta$ DIN y  $\Delta$ DIP se resume en las figuras 5, 6 y 7. Para los periodos HM y STSP el balance de  $\Delta$ DIN y  $\Delta$ DIP es negativo siendo mayor durante el periodo HM (-1.142 mmolm<sup>2</sup>/día y -1.023 mmolm<sup>2</sup>/día respectivamente), por el contrario en el periodo STCP las condiciones son inversas ya que el balance de  $\Delta$ DIN y  $\Delta$ DIP (1.230 mmolm<sup>2</sup>/día y 3.313 mmolm<sup>2</sup>/día respectivamente) es positivo.

El enlace estequiométrico entre los elementos no conservativos muestra que durante el periodo HM y STSP la diferencia entre el nitrógeno fijado y el liberado (Nfix-denit) es positivo, es decir que el sistema fija nitrógeno atmosférico y durante el periodo STCP es negativo indicando que el sistema libera nitrógeno a la atmósfera (Tabla 5).

El metabolismo del ecosistema (p-r) mostró que durante los periodos HM y STSP domina el metabolismo autótrofo  $p = 108.4$  mmolC/m<sup>2</sup>/día y  $p = 24.72$  mmolC/m<sup>2</sup>/día respectivamente, esto debido a que la fotosíntesis es mayor que la respiración (fotosíntesis > respiración). En el periodo STCP las condiciones cambian y el sistema es dominado por metabolismo heterótrofo  $p = -130.4$  mmol/m<sup>2</sup>/día ya que la respiración supera la fotosíntesis (fotosíntesis < respiración). Los resultados de la determinación de la productividad primaria en campo mediante el método de botellas claras y oscuras muestran una productividad primaria es similar a la encontrada con el balance de masa para los periodos HM y STSP, 108.4 mmol/m<sup>2</sup>/día y 18.5 mmol/m<sup>2</sup>/día respectivamente. En el STCP no se determinó en campo este parámetro y por lo tanto no hay datos para realizar comparación con el resultado del balance de masa (Tabla 6).

Tabla 5. Resumen de los resultados obtenidos del balance de masa para cada periodo durante el 2001 en Bahía Concepción.

Variable	Enero-Abril	Mayo-Agosto	Septiembre
	HM	STSP	STCP
V	4,553 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	2,820 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	2,820 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Vp	0	0	25,380 x 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
Ve	-1,529,220 m <sup>3</sup> /día	-2,343,729 m <sup>3</sup> /día	2,067,999 m <sup>3</sup> /día
Sr	35.05 ups	34.7 ups	34.6 ups
Vr	1,529,220 m <sup>3</sup> /día	2,343,792 m <sup>3</sup> /día	23,312,001 m <sup>3</sup> /día
Vx	178,663,813 m <sup>3</sup> /día	135,549,318 m <sup>3</sup> /día	-2,016,488,081 m <sup>3</sup> /día
Tr	25.3 días	33.0 días	1.4 días
ΔDIP	-1.023 mmol/m <sup>2</sup> /día	-0.233 mmol/m <sup>2</sup> /día	1.230 mmol/m <sup>2</sup> /día
ΔDIN	-1.142 mmol/m <sup>2</sup> /día	-0.139 mmol/m <sup>2</sup> /día	3.313 mmol/m <sup>2</sup> /día
Nfix-denit	15.225 mmol/m <sup>2</sup> /día	3.593 mmol/m <sup>2</sup> /día	-16.364 mmol/m <sup>2</sup> /día
(p-r)	108.4 mmol/m <sup>2</sup> /día	24.72 mmol/m <sup>2</sup> /día	130.36 mmol/m <sup>2</sup> /día

Tabla 6. Productividad primaria obtenida por el método en campo y por el balance de masa para cada periodo durante el 2001 en Bahía Concepción.

	HM (mmolC/m <sup>2</sup> /día)	STSP (mmolC/m <sup>2</sup> /día)	STSP(mmolC/m <sup>2</sup> /día)
En Campo	131.4	18.5	No se midió.
LOICZ	108.4	24.7	-130.4

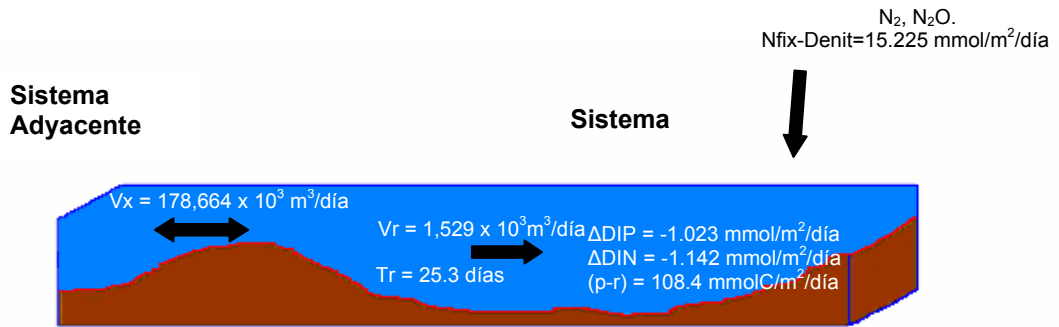


Fig. 19. Resumen del Balance de masa para el periodo homogéneo.

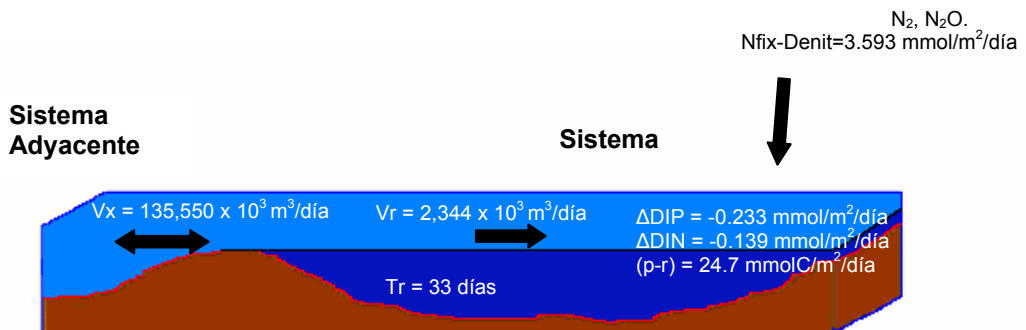


Fig. 20. Resumen del balance de masa para el periodo estratificado sin precipitación.

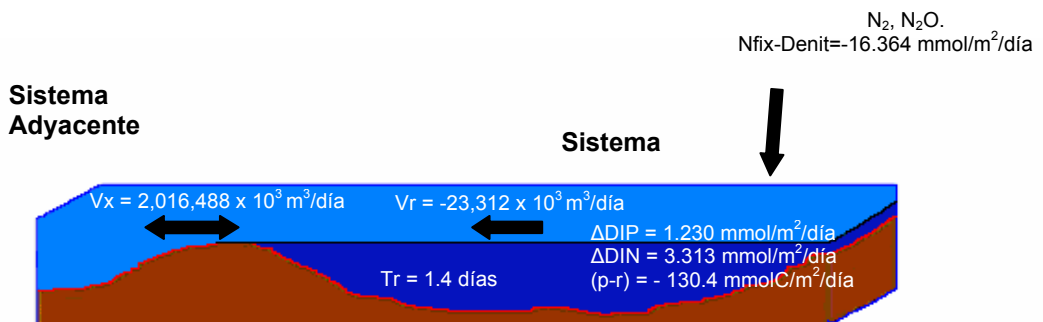


Fig. 21. Resumen del balance de masa para el periodo estratificado con precipitación.

---

## 4. DISCUSION

En Bahía Concepción el cambio vertical de la temperatura ha sido atribuida a la influencia de los vientos dominantes del noroeste-noreste durante el periodo homogéneo; durante el estratificado esta estructura térmica ha sido atribuida tanto a la disminución en la intensidad y frecuencia de los vientos del noroeste (Reyes Salinas, 1994; Lechuga-Devéze, *et al.*, 2000; Bustillos-Guzmán *et al.*, 2000), así como al calentamiento de la capa superficial debido al cambio estacional, invierno a verano (Lechuga-Devéze *et al.*, 2000; Lechuga-Devéze *et al.*, 2001, López Cortés *et al.*, 2003). La influencia del viento en las lagunas costeras juega un papel importante en la circulación del agua (Contreras, 1985).

La distribución espacial de la salinidad durante el periodo homogéneo refleja la influencia de agua que ingresa al sistema pero su efecto disminuye hacia el interior, estaciones 1 y 2 (gráfica 4), esto también está relacionado con los vientos dominantes del noroeste-noreste los cuales forzan la entrada de agua del Golfo de California hacia el interior del sistema (López-Cortés, *et al.*, 1991). La salinidad encontrada durante el periodo homogéneo (invierno) en el sistema adyacente fue de 34.9 ups y la masa de agua que tiene presencia en el sistema adyacente durante esta temporada es identificada como Agua del Golfo Central la cual es una mezcla de Agua del Golfo Norte y Agua Subsuperficial Subtropical y presenta una salinidad menor a 35.0 ups (Bray, 1988b), por otro lado (Bray y Robles, 1991) relacionan la formación de esta masa de agua con la intensa mezcla vertical debido a los vientos del norte. Durante el periodo estratificado sin y con precipitación, la distribución



---

espacial de la salinidad (gráfica 5 y 6) muestran que las estaciones 5, 6, 7 y 8 en el periodo sin lluvia tienen una salinidad alrededor de 34.4 ups y en el periodo con lluvia las estaciones 3, 4, 5, 6, 7 y 8 tienen una salinidad de 34.4 ups lo que sugiere la influencia del sistema adyacente. Se ha reportado la influencia de Agua Superficial Ecuatorial (baja salinidad <35.0 ups y baja concentración de nutrientes) la cual presenta su máxima intrusión en el Golfo de California en el verano llegando hasta la cuenca de Guaymas (Torres-Orozco, 1993 y Álvarez-Borrego y Schwartzlose, 1979) frente a Bahía Concepción. Durante el periodo estratificado la influencia del sistema adyacente está limitada solo a la capa superficial del sistema (0 a 10m) ya que la debilidad de los vientos del sureste y la baja energía de la marea, (bajo índice de flujo = 0.05, Gilmartin y Revelante, 1978) aparentemente no es capaz de romper la termoclina del sistema.

Una característica importante del comportamiento ambiental de las lagunas costeras es la heterogeneidad espacial y temporal y su dependencia de los aportes continentales, aportes marinos y del clima (Yáñez Arancibia, 1986). Los principales aportes y pérdidas de agua al sistema se deben a la precipitación y evaporación respectivamente, que mantienen un ciclo estacional típico para estas latitudes. La evaporación presenta un aumento gradual llegando a su máximo en los meses de verano (junio, julio y agosto) como consecuencia del incremento de la temperatura; esto explica en parte el gradiente de salinidad en el periodo estratificado sin lluvia (0.6 ups) muy importante para establecer el balance agua-sal entre el sistema y el sistema adyacente. Por otro lado la precipitación es muy escasa, inferior a la evaporación, y se presenta de manera torrencial (septiembre, periodo con lluvia) y de

---

corta duración; por ello el sistema se puede definir como un sistema de circulación antiestuarino (Contreras, 1993). En la laguna de Tampamachoco, Veracruz, por ejemplo, la salinidad y la temperatura explicaron el 83% de la heterogeneidad y comportamiento de este sistema aún durante la época de secas (De la Lanza-Espino, 1998). Estos factores influyen por los grandes volúmenes precipitados que conjuntamente con la marea y aportes superficiales, contribuyen a la variabilidad de la concentración salina y de nutrientes a través del cambio en las masas de agua (De la Lanza-Espino, 1998). En sistemas costeros de climas áridos, la variabilidad de la temperatura, salinidad y nutrientes, es debida casi exclusivamente al intercambio de las masas de agua marina entre ambos sistemas. Los repentinos y cortos eventos de lluvia torrencial, provocan cambios temporales que solo pueden ser observados a corta escala (Mendoza-Salgado *et al.*, sometido). Por consiguiente las modificaciones en la estructura vertical y horizontal de este sistema antiestuarino, son esencialmente producto de la magnitud del intercambio con el Golfo de California y de la batimetría particular del sistema.

La distribución espacial del DIN y DIP (Figuras 10 y 13) durante el periodo homogéneo muestra las altas concentraciones de DIN y DIP encontradas en el sistema adyacente, dos escenarios pueden ser posibles para explicar esto: a) en el periodo estratificado (verano) existe una acumulación de DIN y DIP en el estrato profundo debido a la oxidación de la materia orgánica (Lechuga-Devéze *et al.*, 2000; Lechuga-Devéze *et al.*, 2001); una vez que los vientos dominantes del NW-NE forzan agua del Golfo de California hacia el interior del sistema (López-Cortés, *et al.*, 1991) enfrían rápidamente las aguas superficiales disminuyendo la estabilidad física del

---

verano (Gilbert y Allen, 1943) dando como resultado una columna de agua totalmente homogénea, esto trae consigo la liberación y mezcla del DIN y DIP en toda la masa de agua y pueden estar siendo transportados fuera del sistema; b) en el Golfo de California el patrón estacional de vientos provoca surgencias en la costa este (Guaymas, Son.) durante el invierno Roden y Groves (1959) y Badan–Dangon *et al.* (1985), describieron la evolución en el tiempo de una surgencia (29 de Marzo al 22 de Abril) originada en el norte de Guaymas que eventualmente alcanza a cruzar hasta la costa oeste del Golfo; la evolución de la pluma es asociada con los vientos persistentes del norte a una velocidad de 10 m/seg. Por otro lado Martínez y Garate (1997), encontraron durante febrero (periodo homogéneo) la influencia de aguas del Golfo de California fluyendo hacia el interior del sistema acarreado materia orgánica particulada, mostrando una correlación entre la entrada y salida de partículas de material orgánico con las fases de marea, confirmándose así la interacción en ambos sentidos, entre el sistema y el sistema adyacente. A partir de esta investigación se desprende que el sistema adyacente es la fuente externa principal de DIN y DIP al sistema, ya que no existen otros aportes significativos. Los aportes internos son la producción misma del sistema y los sedimentos, lo cual no fue evaluado ya que su influencia se expresa probablemente y exclusivamente en el estrato profundo durante el periodo estratificado.

Durante el periodo estratificado sin y con lluvia, las concentraciones de DIN y DIP disminuyen tanto en el estrato superficial del sistema (0-10m) como del sistema adyacente (figuras 11, 12, 14 y 15); este empobrecimiento del estrato superficial y el enriquecimiento del estrato inferior en el sistema en donde ocurren fuertes procesos

---

de oxidación de materia orgánica que causan una generación de DIN y DIP, seguida de frecuentes periodos de hipoxia o anoxia ha sido reportado por Lechuga-Devéze *et al.*, (2000, 2001). Richards, *et al.*, (1971) reporta un comportamiento igual en el Golfo Dulce (Costa Rica) con una cuenca anóxica con la sistemática oxidación de materia orgánica. En el sistema adyacente la disminución en la concentración de DIN y DIP puede estar asociada a la influencia de agua superficial ecuatorial (baja en nutrientes) la cual presenta su máxima intrusión hasta el norte de la cuenca Guaymas durante el verano, Álvarez-Borrego y Schwartzlose (1979).

Para establecer la magnitud y la dirección de los intercambios de elementos conservativos y no conservativos entre el sistema y el sistema adyacente a través del balance agua-sal, los flujos residual y de mezcla son fundamentales. Así, las corrientes residuales generadas por el balance hidráulico son las responsables del transporte neto de sustancias, mientras que las de flujo de mezcla por mareas, aunque más fuertes tienen efecto de vaivén (Lavin *et al.*, 1997) y participan activamente en la renovación de las aguas. (Gilmartin y Revelante, 1978) determinó durante el verano un volumen de marea de  $221 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{día}$  y un tiempo de residencia de 20.6 días, en esta investigación se obtuvo para el periodo STSP  $135.5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{día}$  y un tiempo de residencia de 33.0 días. La diferencia en los volúmenes, se debe a que Gilmartin y Revelante (1978), lo calculan a través del prisma de marea, mientras que con el modelo biogeoquímico, se calcula el volumen total de recambio del sistema. Sin embargo, durante la estratificación, en este estudio se ha considerado que la termoclina es de suficiente fortaleza para actuar como una barrera efectiva que limita el movimiento vertical del agua. Aunado a esto, la

---

estructura de cuenca de la bahía, solo permite que el estrato superficial (0-10 m) sea el que presenta la mayor influencia al viento y marea. Por lo tanto, el sistema, durante este periodo estratificado, el volumen total excluye el estrato comprendido entre los 11 y 30 m de profundidad.

En ambos periodos, el tiempo de recambio es muy semejante, sin embargo la dinámica del sistema es mayor durante el período homogéneo puesto que desplaza un volumen de agua mucho mayor que durante el periodo estratificado.

Respecto al enlace entre los elementos no conservativos, los valores positivos de  $n_{fix-denit}$  denota que el sistema esta enriqueciéndose en nitrógeno vía fijación de nitrógeno atmosférico durante el periodo homogéneo y sin lluvia, y durante el periodo con lluvia libera nitrógeno vía denitrificación. En el primer caso es sumidero y en el segundo es fuente de nitrógeno. El metabolismo neto del sistema es la diferencia entre el metabolismo total del sistema menos la respiración ( $MNS = MTS - R$ ), es decir el balance existente entre los procesos que producen oxígeno y los que lo consumen. Este balance finalmente es el que se usa para entender el ciclo global del carbón y definir explícitamente el papel de un ecosistema como fuente o sumidero de carbón atmosférico.

El resultado del modelo y las estimaciones directas también indican una mayor producción primaria durante el periodo homogéneo ( $108.4 \text{ mmolC/m}^2/\text{día}$ ) disminuyendo a  $24.72 \text{ mmolC/m}^2/\text{día}$  en el periodo estratificado sin lluvia y pasando a ser heterotrófico en el periodo estratificado con lluvia ( $-130.36 \text{ mmolC/m}^2/\text{día}$ ), es decir la respiración es mayor que la producción de oxígeno por fotosíntesis. Cuando

---

el aporte de nutrientes es interrumpido por una modificación importante en la energía del sistema (establecimiento de una fuerte termoclina), aún cuando Bahía Santa Inés mantiene mayores concentraciones de nutrientes que el interior de la Bahía Concepción, la limitación de nutrientes provoca un descenso significativo de la producción primaria en el estrato superficial pero aun manteniendo un ligero metabolismo autotrófico. Los valores negativos en los flujos de nitrógeno y fósforo, en ambos periodos, indican que existe un consumo constante de estos nutrientes que están siendo incorporados a la cadena trófica. Esta variabilidad es concordante con la información existente de productividad primaria en Bahía Concepción. Martínez López y Garate Lizárraga (1997), mencionan que durante el invierno (febrero), existe la mayor concentración de clorofila a ( $1.93\text{-}2.53\text{ mg/m}^3$ ), disminuyendo en forma acusada en los meses de mayo y octubre.

En Bahía Concepción el proceso que desencadena un fuerte metabolismo autótrofo (domina la producción de oxígeno) empieza durante el otoño (inicio del periodo homogéneo) cuando los vientos del norte son intensos que permiten la incorporación de nutrientes a la columna de agua por el rompimiento de la termoclina. Este mecanismo dispara la productividad del sistema como lo muestran los valores de productividad encontrados  $108.3\text{ mmolC/m}^2/\text{día}$  los cuales son mantenidos posteriormente por el intenso flujo de mezcla capaz de mantener toda la masa de agua con temperatura y salinidad muy homogéneas. Así, viento y mareas aseguran un continuo aporte de nutrientes, tanto del exterior como por la remoción de sedimentos del interior de la Bahía.

---

Este mecanismo durante el periodo estratificado, aplica solo para la masa de agua que se encuentra sobre la termoclina. Como ha sido descrito en otras investigaciones, el estrato aislado bajo la termoclina presenta otro mecanismo cuya influencia al estrato superficial no ha sido evaluado, pero que sin embargo, parece contribuir significativamente a los procesos que se establecen durante el periodo homogéneo.

---

## 5. CONCLUSIONES

Los resultados de esta investigación indican que en Bahía Concepción domina un metabolismo autótrofo durante el otoño-invierno mantenido por aportes de nutrientes liberados del estrato profundo del sistema debido al rompimiento de la termoclina y a los aportes del exterior (Bahía de Santa Inés).

Una vez que la termoclina se instala, el metabolismo continúa ligeramente autótrofo, solo en la masa de agua superficial (0-10 m); Bahía Santa Inés continúa siendo la fuente de nitrógeno a bajas tasas que mantienen una limitación por nitrógeno.

Respecto al objetivo de programa LOICZ de evaluar si la zona costera es fuente o sumidero de carbón podemos decir en base a los resultados obtenidos por el modelo que el sistema se comporta como un sumidero de carbón.

Las magnitudes de los volúmenes y flujos de cada componente y elemento de este modelo permitirán definir los excesos en nitrógeno y fósforo, la capacidad del sistema para recibir y procesar un mayor volumen de ellos.



---

## 6. LITERATURA

Aldredge, A.L., y Silver, M.W. 1988. Characteristics, Dynamics and significance of marine snow, Prog. Oceanogr. 20:41-50.

Álvarez-Borrego, S. y Schwartzlose, R.A. 1979. Masas de Agua del Golfo de California. Cienc. Mar. 6(2), 43-63.

Baqueiro, C.E., Masso, J.A. y Vélez, A. 1983. Crecimiento y reproducción de una población de caracol chino, *Hexaplex erythristomus*, (Swainson, 1831) de Bahía Concepción, B.C.S. Cienc. Pesq. (4): 19-31.

Bendschneider and Robinson, 1952. Determination of nitrite in sea water. J. of Mar. Res. 11:87.

Billen. G. 1984. Heterotrophic utilization and regeneration of nitrogen. In: Heterotrophic activity in the sea. Hobbie, J.E. and Le B Williams P.J. (eds.), Plenum press, New York. p.

Bustillos-Guzmán, J., Claustre, H. y Marty, J.C. 1995. Specific phytoplankton signatures and their relationship to hydrographic conditions in the coastal northwestern Mediterranean Sea. Mar. Ecol. Prog. Ser. 124: 247-258.

Bustillos-Guzmán, J., López-Cortés, D., Hernández, F. y Murillo, I. 2000. Pigments signatures associated with an anoxic coastal zone: Bahía Concepción, Gulf of California. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 249: 77-88.

---

Bray, N.A. Thermohaline Circulation in the Gulf of California. 1988. J. of Geo. Res. 93:4993-5020.

Bray, N.A. y Robles, J. M. 1991. Physical Oceanography of the Gulf of California., Gulf and Peninsular Province of the Californias. Amer. Assoc. of Petrol. Geol. Edited by J. P. Douphin and B. R. Simoneit. Tulsa. Oklahoma. Part. V, Chapter 25, 511-533.

Castañeda, L.O. y Contreras, E.F. 1993. Bibliografía comentada sobre ecosistemas costeros mexicanos. Vol. 1: Baja California Norte y Sur. CONABIO/UAM-I. CDLEM. 489 pp.

Contreras, E. F. 1985. Las lagunas Costeras Mexicanas (Primera parte). Centro de Ecodesarrollo. Secretaría de pesca. p. 14-55.

Contreras, E. F. 1993. Ecosistemas Costeros Mexicanos 1ª. Ed. CONABIO/UAM-IZTAPALAPA, 415 p.

De la Lanza-Espino, G., Sánchez-Santillán, N. y Esquivel-Herrera, A., 1998. Análisis temporal y espacial fisicoquímico de una laguna tropical a través de análisis multivariado. Hidrobiol. 8(2): 89-96.

Dressler, R. 1981. Preliminary knowledge of hidrostatic summer conditions within Bahía Concepción, Baja California. Sammlung. Tech. Rep. CICESE. Pp. 1-13.

Félix-Pico, E.F. y Sánchez, R.S. 1976. Tercer informe final del programa de orientación técnica para el aprovechamiento de los recursos naturales existentes y

---

prácticas de maricultivo en Bahía Concepción y Ensenada de La Paz. Sec. de Asent. Rec. Hidraul. Pp.20.

Gilmartin, M. y Revelante, N., 1978. The phytoplankton characteristics of the barrier island lagoons of the Gulf of California. *Estuar. Coast. Mar. Sci.* 7: 29-47.

Gordon, D.C., Boudreau, P.R., Mann, K.H., Ong, J.E., Silvert, W.L., Smith, S.V., Wattayakorn, G., Wulff, F. y Yanagi, T. 1996. T. LOICZ BIOGEOCHEMICAL MODELLING GUIDELINES, LOICZ reports & studies No.5.

Kempe, S. 1995. Coastal seas: a net source or sink of atmospheric carbón dioxide?. LOICZ/R&S/95-1, vi + 27 pp. LOICZ, Texel, The Netherlands.

Lavin, M.F., Beier, E. y Badan, A., 1997. Estructura hidrográfica y circulación del Golfo de California: Variación estacional e interanual. Cap. 7. Contribuciones a la oceanografía en México. Monografía No. 3, Unión Geofísica Mexicana, pp. 141-171.

Lechuga-Devéze, C.H. y Morquecho-Escamilla, M.L. 1998. Early spring potentially harmful phytoplankton in Bahía Concepción, Gulf of California. *Bull. Mar. Sci.* 63(3): 503-512.

Lechuga-Devéze, C.H., Morquecho-Escamilla, M.L., Reyes-Salinas, A. y Hernández-Alfonso, J.R. 2000. Environmental natural disturbances at Bahía Concepción, Gulf of California. In: *Aquatic Ecosystems of Mexico: Status and Scope.* pp. 245-255.

Lechuga-Devéze, C.H., Reyes-Salinas, A. y Morquecho-Escamilla, M.L. 2001. Anoxia in a coastal bay: case study of a seasonal event. *Rev. Biol. Trop.* 49(2): 525-534.

---

López-Cortés, D., Lechuga-Devéze, C.H. y Bustillos-Guzmán, J. 1991. Influencia hidrográfica en la distribución de la materia orgánica particulada en la zona central del Golfo de California (otoño, 1987). *Revista Latinoamericana de Microbiología*. 33: 305-312.

López-Cortés, D., Bustillos-Guzmán, J.J., Garate-Lizárraga, I., Hernández-Sandoval, F.E. y Murillo-Murillo, I. 2003. Phytoplankton biomasses and hydrographic conditions during El Niño 1997-1998 in Bahía Concepción, Gulf of California, Mexico. *Geof. Inter.* (2003). 42 (3): 495-504.

López-Cortés, D., Garate-Lizárraga I., Bustillos-Guzmán, J.J., Alonso-Rodríguez, R. y Murillo-Murillo, I. 2003. Variabilidad del estado trófico y la biomasa del fitoplancton de bahía Concepción, Golfo de California (1997-1999). *Hidrobiol.* 195-206.

Martínez-López y Garate-Lizarraga, 1994. Cantidad y calidad de la materia orgánica particulada en Bahía Concepción, en la temporada de reproducción de la almeja catarina *Argopecten circularis* (sowerby, 1835). *Cienc. Mar.* 20(3): 301-320.

Mateo-Cid, L.E., Sánchez-Rodríguez, I., Rodríguez-Montesinos, Y.E. y Casas-Valdez, M. 1993. Estudio florístico de las algas marinas bentónicas de Bahía Concepción, B.C.S., México. *Cienc. Mar.* 19(1): 41:60.

Mendoza-Salgado, R.A., Lechuga-Devéze, C.H. y Ortega-Rubio, A. (aceptado). Identifying effects of rainfall, as a disturbance pulse, on arid coastal systems. *J. Arid Environm.*

---

Morquecho Escamilla , M.L. 1996. Fitoplancton tóxico y actividad de ficotoxinas en la almeja catarina *Argopecten circularis* (Sowerby, 1835) en Bahía Concepción, Golfo de California. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. 55 p.

Morris and Riley, J.P. 1963. Determination of reactive nitrate. Anal. Chim. Acta, 29: 272.

Murphy, J. and Riley, J.P. 1962. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. Anal. Chem. Acta.27: 31-36.

Obeso, N.M., Alatorre-Mendieta, M.A. y Jiménez-Illescas, A.R. 1996. Modelación de la marea en Bahía Concepción, B.C.S., México. Ocean. 11: 1-8.

Ramírez-Guillen, P.A. (1983). Sistemática, ecología y biogeografía de los crustáceos anomuros de Bahía Concepción, B.C.S. Tesis profesional, UANL, 78 pp.

Redfield, A.C., 1958. The biological control and chemical factors in the environment. Amer. Sci. 46:206-226.

Richards, A.F., Anderson, J.J. and Cline, J.D. 1971. Chemical and physical observations in Golfo Dulce, an anoxic basin on the pacific coast de Costa Rica. Limnol. Oceanog. 16(1).

Reyes-Salinas, A. 1994. Relación entre la estructura hidrográfica y la abundancia, distribución y origen de diferentes expresiones de biomasa del seston orgánico en Bahía Concepción, Golfo de California. Tesis de Licenciatura, UNAM, Unidad Ixtacala. 45 p.

---

Solórzano L, 1969. Determination of ammonium in sea water. *Limnol. Oceanogr.* 14: 799.

Shumilin, E., Godinez-Orta, L., Cruz-Orozco, R., Sapozhnikov, D., Solis-Núñez, S. y Sapozhnikov, Y. 1996. Características litológico-geoquímicas de los sedimentos superficiales de Bahía Concepción, B.C.S. *Actas INAGEQ*, 2: 79-84.

Strickland, J.D.H. y Parsons, T.R. 1972. A practical handbook of seawater analysis. *Fish. Res. Bd. Canada Bulletin* 167 (second edition). p. 71-80, 49-52 and 263-266.

Smith, S.V. and Mackenzie, F.T. 1987. The ocean as a net heterotrophic system: implications from the carbon biogeochemical cycle. *Global Biogeochem. Cycles* 1(3):187-199.

Smith, S.V. and Hollibaugh, J.T. 1993. Coastal metabolism and the oceanic carbon balance. *Rev. Geophy.* 31:75-89.

Torres-Orozco, E, 1993. Análisis Volumétrico de las masas de agua del Golfo de California. Tesis de Maestría, CICECE, 80p.

Walsh, J.J. 1980. Concluding remarks: Marine photosynthesis and the global carbon cycles. En: Falkowski, P.G. (ed.). *Primary productivity in the sea*. Plenum Press, New York. p. 497-506.

Wattayakorn., F. Wulff y T. Yanagi. 1996. LOICZ Biogeochemical Modelling Guidelines. LOICZ/R&S/95-5, vi +96 pp. LOICZ Texel, The Netherlands.

---

Yáñez-Arancibia, A. 1986. Lagunas costeras y estuarios como ecosistemas. Ecología de la zona costera, Capítulo 2. Análisis de siete tópicos. AGT Editor, S.A. México DF. 190 p.