

**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**CENTRO INTERDISCIPLINARIO**  
**DE CIENCIAS MARINAS**



**Departamento de Pesquerías y**  
**Biología Marina**

**DINÁMICA DE NUTRIMENTOS EN BAHÍA**  
**MAGDALENA, B. C. S., MÉXICO.**

**Tesis que como requisito para**  
**obtener el grado de:**

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**Con especialidad en Ciencias Pesqueras**

**Presenta:**

**Biol. Mar. Alida Rosina Rosales Villa**

La Paz, B. C. S., México, marzo de 2004



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 10:00 horas del día 03 del mes de Febrero 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:

"DINÁMICA DE NUTRIMENTOS EN BAHÍA MAGDALENA, B.C.S., MÉXICO"

Presentada por el alumno:

ROSALES

Apellido paterno

VILLA

materno

ALIDA ROSINA

nombre(s)

Con registro: 9 1 0 3 1 1

Aspirante al grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN CIENCIAS PESQUERAS

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. RAFAEL CERVANTES DUARTE

PRESIDENTE

[Signature]

DR. OLEG ZAITSEV VIKTOROVICH

SECRETARIO

[Signature]

DR. ROGELIO GONZÁLEZ ARMAS

SEGUNDO VOCAL

[Signature]

DR. VICTOR MANUEL GOMEZ MUÑOZ

TERCER VOCAL

[Signature]

MC. GUSTAVO DE LA CRUZ AGÜERO

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

[Signature]

DR. FRANCISCO ARREGUÍN SANCHEZ



CICIMAR
DIRECCION

<b>CONTENIDO</b>	<b>Pág.</b>
LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABLAS.....	vi
GLOSARIO.....	viii
RESUMEN .....	x
ABSTRACT.....	xi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Generalidades.....	1
1.2. Antecedentes.....	5
1.3. Justificación.....	11
1.4. Objetivos.....	13
1.5. Área de estudio .....	14
2. MATERIAL Y MÉTODOS.....	18
3. RESULTADOS.....	27
3.1. Análisis de la fase de la marea con respecto a la variación espacial de la concentración de los nutrientes.....	27
3.2. Nutrientes.. .....	31
3.2.1. Nitrato.....	31
3.2.2. Nitrito.....	34
3.2.3. Fosfato.....	37
3.2.4. Silicato.....	40
3.3. Clorofila <i>a</i> .....	43
3.4. Temperatura.....	46

	<b>Pág.</b>
Continuación.....	
3.5. Salinidad.....	49
3.6. Oxígeno.....	52
3.7. pH.....	55
3.8. Transparencia.....	58
3.9. Patrones de distribución espacial.....	61
4. DISCUSIÓN.....	72
4.1. Fase de la marea y variación espacial de la concentración de los nutrimentos	72
4.2. Variabilidad de los nutrimentos.....	73
4.2.1. Nitrato y nitrito.....	74
4.2.2. Fosfato.....	77
4.2.3. Silicato.....	78
4.3. Distribución espacial y temporal de la clorofila <i>a</i> .....	80
4.4. Variación espacio-temporal de la temperatura y salinidad.....	82
4.5. Distribución y variación del oxígeno disuelto.....	86
4.6. Distribución y variación del pH.....	87
4.7. Distribución y variación de la transparencia.....	88
4.8.- Fuentes de nutrimentos.....	90
5. CONCLUSIONES.....	95
6. RECOMENDACIONES.....	97
7. LITERATURA CITADA.....	98

**LISTA DE FIGURAS****Pág.**

<b>Figura 1.</b> Área de estudio. Los símbolos indican las localidades muestreadas y los números el número que se le asignó a cada estación.....	15
<b>Figura 2.</b> Batimetría de la laguna de Bahía Magdalena. La profundidad se indica en metros.....	16
<b>Figura 3.</b> Ubicación geográfica de las estaciones en la campaña de noviembre de 2001 (a). Los círculos claros indican marea en reflujo y los círculos oscuros marea en flujo. Variación de la onda de marea registrada en Bahía Magdalena durante los días en los que se tomó la muestra (b). Los números indican la estación y las líneas ubican la hora y la fase de la marea en la que se tomó la muestra.....	19
<b>Figura 4.</b> Ubicación geográfica de las estaciones en la campaña de febrero de 2002 (a). Los círculos claros indican marea en reflujo y los círculos oscuros marea en flujo. Variación de la onda de marea registrada en Bahía Magdalena durante los días en los que se tomó la muestra (b). Los números indican la estación y las líneas ubican la hora y la fase de la marea en la que se tomó la muestra.....	20
<b>Figura 5.</b> Ubicación geográfica de las estaciones en la campaña de mayo de 2002 (a). Los círculos claros indican marea en reflujo y los círculos oscuros marea en flujo. Variación de la onda de marea registrada en Bahía Magdalena durante los días en los que se tomó la muestra (b). Los números indican la estación y las líneas ubican la hora y la fase de la marea en la que se tomó la muestra.....	21
<b>Figura 6.</b> Ubicación geográfica de las estaciones en la campaña de julio de 2002 (a). Los círculos claros indican marea en reflujo y los círculos oscuros marea en flujo. Variación de la onda de marea registrada en Bahía Magdalena durante los días en los que se tomó la muestra (b). Los números indican la estación y las líneas ubican la hora y la fase de la marea en la que se tomó la muestra.....	22
<b>Figura 7.</b> Ubicación geográfica de las estaciones en la campaña de octubre de 2002 (a). Los círculos claros indican marea en reflujo y los círculos oscuros marea en flujo. Variación de la onda de marea registrada en Bahía Magdalena durante los días en los que se tomó la muestra (b). Los números indican la estación y las líneas ubican la hora y la fase de la marea en la que se tomó la muestra.....	23

Continuación.....	Pág.
<b>Figura 8.</b> Concentración de los $\text{NO}_2^-$ , $\text{NO}_3^-$ , $\text{PO}_4^{3-}$ y $\text{SiO}_2$ durante el flujo (f) y reflujo (r) de la marea en el mes de noviembre.....	27
<b>Figura 9.</b> Concentración de los $\text{NO}_2^-$ , $\text{NO}_3^-$ , $\text{PO}_4^{3-}$ y $\text{SiO}_2$ durante el flujo (f) y reflujo (r) de la marea en el mes de febrero .....	28
<b>Figura 10.</b> Concentración de los $\text{NO}_2^-$ , $\text{NO}_3^-$ , $\text{PO}_4^{3-}$ y $\text{SiO}_2$ durante el flujo (f) y reflujo (r) de la marea en el mes de mayo.....	28
<b>Figura 11.</b> Concentración de los $\text{NO}_2^-$ , $\text{NO}_3^-$ , $\text{PO}_4^{3-}$ y $\text{SiO}_2$ durante el flujo (f) y reflujo (r) de la marea en el mes de julio.....	29
<b>Figura 12.</b> Concentración de los $\text{NO}_2^-$ , $\text{NO}_3^-$ , $\text{PO}_4^{3-}$ y $\text{SiO}_2$ durante el flujo (f) y reflujo (r) de la marea en el mes de octubre.....	29
<b>Figura 13.</b> Distribución espacial y temporal de los nitratos en Bahía Magdalena.....	32
<b>Figura 14.</b> Distribución espacial y temporal de la concentración de nitratos ( $\mu\text{M}$ ) en noviembre de 2001, febrero, mayo, julio y octubre de 2002. La gráfica inferior derecha muestra el valor de la concentración promedio mensual el intervalo de variación y la desviación estándar.....	33
<b>Figura 15.</b> Distribución espacial y temporal de los nitritos en Bahía Magdalena.....	35
<b>Figura 16.</b> Distribución espacial y temporal de la concentración de nitritos ( $\mu\text{M}$ ) en noviembre de 2001, febrero, mayo, julio y octubre de 2002. La gráfica inferior derecha muestra el valor de la concentración promedio mensual el intervalo de variación y la desviación estándar.....	36
<b>Figura 17.</b> Distribución espacial y temporal de los fosfatos en Bahía Magdalena .....	38
<b>Figura 18.</b> Distribución espacial y temporal de la concentración de fosfatos ( $\mu\text{M}$ ) en noviembre de 2001, febrero, mayo, julio y octubre de 2002. La gráfica inferior derecha muestra el valor de la concentración promedio mensual el intervalo de variación y la desviación estándar .....	39

	<b>Pág.</b>
Continuación.....	
<b>Figura 19.</b> Distribución espacial y temporal de los silicatos en Bahía Magdalena.....	41
<b>Figura 20.</b> Distribución espacial y temporal de la concentración de silicatos ( $\mu\text{M}$ ) en noviembre de 2001, febrero, mayo, julio y octubre de 2002. La gráfica inferior derecha muestra el valor de la concentración promedio mensual el intervalo de variación y la desviación estándar .....	42
<b>Figura 21.</b> Distribución espacial y temporal de la clorofila <i>a</i> en Bahía Magdalena.....	44
<b>Figura 22.</b> Distribución espacial y temporal de la concentración de clorofila <i>a</i> ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) en noviembre de 2001, febrero, mayo, julio y octubre de 2002. La gráfica inferior derecha muestra el valor de la concentración promedio mensual, el intervalo de variación y la desviación estándar.....	45
<b>Figura 23.</b> Distribución espacial y temporal de los valores de temperatura en Bahía Magdalena.....	47
<b>Figura 24.</b> Distribución espacial y temporal de la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) en noviembre de 2001, febrero, mayo, julio y octubre de 2002. La gráfica inferior derecha muestra el valor promedio mensual, el intervalo de variación y la desviación estándar.....	48
<b>Figura 25.</b> Distribución espacial y temporal de los valores de salinidad en Bahía Magdalena.....	50
<b>Figura 26.</b> Distribución espacial y temporal de la salinidad (ups) en noviembre de 2001, febrero, julio y octubre de 2002. La gráfica inferior derecha muestra el valor promedio mensual, el intervalo de variación y la desviación estándar.....	51
<b>Figura 27.</b> Distribución espacial y temporal de los valores de oxígeno disuelto ( $\text{ml l}^{-1}$ ) (mapas de la izquierda) durante las campañas de los meses de mayo, julio y octubre y porcentaje de saturación de oxígeno (mapas de la derecha) durante los meses de julio y octubre. La gráfica superior derecha muestra el valor de la concentración promedio mensual, el intervalo de variación y la desviación estándar de los valores de oxígeno.....	54
<b>Figura 28.</b> Distribución espacial y temporal de los valores del pH en Bahía Magdalena.....	56

Continuación.....	Pág.
<b>Figura 29.</b> Distribución espacial y temporal de los valores de pH durante las campañas realizadas en Bahía Magdalena en mayo, julio y octubre de 2002. La gráfica superior derecha muestra el valor promedio mensual, el intervalo de variación y la desviación estándar.....	57
<b>Figura 30.</b> Distribución espacial y temporal de los valores de la transparencia en Bahía Magdalena.....	59
<b>Figura 31.</b> Distribución espacial y temporal de los valores de la transparencia (tr) durante las campañas realizadas en Bahía Magdalena en noviembre de 2001, mayo, febrero, julio y octubre de 2002. La gráfica inferior derecha muestra el valor promedio mensual, el intervalo de variación y la desviación estándar.....	60
<b>Figura 32.</b> Coordenadas de los factores 1 y 2 del mes de noviembre. El factor 1 esta correlacionado positivamente con la transparencia y la profundidad, pero negativamente con la temperatura. El factor 2 esta positivamente correlacionado con el nitrato, pero negativamente con el nitrito y el silicato.....	63
<b>Figura 33.</b> Coordenadas de los de los factores 1 y 2 del mes de febrero. El factor 1 esta correlacionado positivamente con el nitrito, nitrato y silicatos. El factor 2 esta correlacionado positivamente con la transparencia y la profundidad .....	65
<b>Figura 34.</b> Coordenadas de los factores 1 y 2 del mes de mayo. El factor 1 esta correlacionado positivamente con el nitrito, nitrato, fosfatos y silicatos. El factor 2 esta correlacionado positivamente con la clorofila a y la profundidad, pero negativamente con la temperatura.....	67
<b>Figura 35.</b> Coordenadas de los factores 1 y 2 del mes de julio. El factor 1 esta correlacionado positivamente con los nitritos, nitratos, fosfatos y clorofila a. El factor 2 esta correlacionado positivamente con la temperatura, pero negativamente con la transparencia y la profundidad.....	69
<b>Figura 36.</b> Coordenadas de los factores 1 y 2 del mes de octubre. El factor 1 esta correlacionado positivamente con el fosfato, silicato y clorofila a, pero negativamente con la transparencia y la profundidad. El factor 2 esta correlacionado positivamente con el nitrito y nitrato. ....	71

---

---

Continuación.....	Pág.
<b>Figura 37.</b> Mapa topográfico de la región de Bahía Magdalena.....	91
<b>Figura 38.</b> Representación de los índices de surgencia (CUI) de 2001 y 2002. Los valores de los índices de surgencia se reportaron en metros cúbicos por segundo por cien metros de línea de costa. La posición geográfica a la cual se registraron es 113° W y 24 248 N. Datos tomados del NOAA/PFEL PRET (Ver. 5.50) .....	94

**LISTA DE TABLAS**

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Valor promedio mensual de la concentración de nutrimentos tomados durante el flujo (f) y reflujo (r) de la marea.....	30
<b>Tabla 2.</b> Valores promedio de la concentración de nutrimentos tomados durante el flujo (f) y reflujo (r) de la marea y nivel de significancia.....	30
<b>Tabla 3.</b> Concentración de nitratos en $\mu\text{M}$ , tamaño de muestra (N), media aritmética, valores límite y desviación estándar de los valores de nitratos correspondientes a cada uno de los meses en los que se tomaron datos.....	32
<b>Tabla 4.</b> Concentración de nitritos en $\mu\text{M}$ , tamaño de muestra (N), media aritmética, valores límite y desviación estándar de los valores de nitritos correspondientes a cada uno de los meses en los que se tomaron datos.....	35
<b>Tabla 5.</b> Concentración de fosfatos en $\mu\text{M}$ , tamaño de muestra (N), media aritmética, valores límite y desviación estándar de los valores de fosfatos correspondientes a cada uno de los meses en los que se tomaron datos.....	38
<b>Tabla 6.</b> Concentración de silicatos en $\mu\text{M}$ tamaño de muestra (N), media aritmética, valores límite y desviación estándar de los valores de silicatos correspondientes a cada uno de los meses en los que se tomaron datos.....	41
<b>Tabla 7.</b> Concentración de clorofila <i>a</i> en $\text{mg m}^{-3}$ , tamaño de muestra (N), media aritmética, valores límite y desviación estándar de los valores de clorofila correspondientes a cada uno de los meses en los que se tomaron datos.....	44
<b>Tabla 8.</b> Valores de temperatura en $^{\circ}\text{C}$ , tamaño de muestra (N), media aritmética, valores límite y desviación estándar de los valores de la temperatura correspondientes a cada uno de los meses en los que se tomaron datos.....	47
<b>Tabla 9.</b> Tamaño de muestra (N), media aritmética, valores límite y desviación estándar de los valores de la salinidad (ups) correspondientes a cada uno de los meses en los que se tomaron datos.....	50

Continuación.....	Pág.
<b>Tabla 10.</b> Tamaño de muestra (N), media aritmética, valores límite y desviación estándar de los valores de oxígeno correspondientes a cada uno de los meses en los que se tomaron datos.....	53
<b>Tabla 11.</b> Tamaño de muestra (N), media aritmética, valores límite y desviación estándar del porcentaje de saturación de oxígeno correspondientes a cada uno de los meses en los que se tomaron datos.....	53
<b>Tabla 12.</b> Tamaño de muestra (N), media aritmética, valores límite y desviación estándar de los valores de pH correspondientes a cada uno de los meses en los que se tomaron datos.....	56
<b>Tabla 13.</b> Tamaño de muestra (N), media aritmética, valores límite y desviación estándar de los valores de la transparencia correspondientes a cada uno de los meses en los que se tomaron datos.....	59
<b>Tabla 14.</b> Coeficientes de los factores principales del mes de noviembre. Los valores en negritas indican las variables con mayor peso en cada factor.....	62
<b>Tabla 15.</b> Coeficientes de los factores principales del mes de febrero. Los valores en negritas indican las variables con mayor peso en cada factor .....	64
<b>Tabla 16.</b> Coeficientes de los factores principales del mes de mayo. Los valores en negritas indican las variables con mayor peso en cada factor.....	66
<b>Tabla 17.</b> Coeficientes de los factores principales del mes de julio. Los valores en negritas indican las variables con mayor peso en cada factor.....	68
<b>Tabla 18.</b> Coeficientes de los factores principales del mes de octubre. Los valores en negritas indican las variables con mayor peso en cada factor.....	70
<b>Tabla 19.</b> Variación explicada por los dos primeros factores en cada mes.....	73

## GLOSARIO

**Afloramiento:** Crecimiento repentino de fitoplancton por encima del valor promedio, que ocurre en un periodo de tiempo corto y permanece en una parte definida de la columna de agua.

**Batimetría:** Medida de la profundidad de un cuerpo de agua.

**Biomasa:** Es la cantidad en peso de organismos vivos presentes por unidad de volumen o de área.

**Boca:** Estrecha faja de agua que conecta a una bahía, laguna o cuerpo de agua con otro de mayor tamaño.

**Fotosíntesis:** Se refiere a la utilización de la energía de la luz para la síntesis de materia orgánica por las plantas y algunas bacterias.

**Giro:** Se usa para referirse a un movimiento circular del agua en cada una de las principales cuencas oceánicas. Se refiere a un sistema cerrado de circulación de la corriente.

**Gradiente:** Tasa de aumento o disminución de una magnitud con relación a una unidad de cambio o por unidad de distancia.

**Hidrografía:** Se refiere a la descripción del arreglo y movimiento de los cuerpos de agua tales como corrientes y masas de agua.

**Laguna costera:** Se llama así a los cuerpos de agua costeros, generalmente someros, separados del océano por barreras que se conectan al océano por una o más bocas y que generalmente se orientan de manera paralela a la costa.

**Materia particulada suspendida:** Se llama así a la materia suspendida en el agua que es retenida por un filtro con un tamaño de poro de aproximadamente 0.2  $\mu\text{m}$ .

**Nutrientos:** Son elementos que intervienen en los procesos de crecimiento de las plantas y generalmente se usa ese término para referirse al nitrógeno, fósforo y silicio.

**pH:** Notación empleada para indicar la acidez o basicidad del agua, la cual se da en términos del logaritmo base 10 de la concentración de iones hidrógeno en una solución.

**Surgencia:** Se llama así al proceso por el cual aguas profundas, frías y ricas en nutrientes son traídas a la superficie.

**Transparencia:** Es el promedio de la profundidad a la cual el disco de Secchi desaparece durante el descenso y aparece durante el ascenso.

**UPS:** Unidades prácticas de salinidad. Esta basada en la medida de la conductividad que tiene el  $K_{15}$  a una temperatura de  $15^{\circ}\text{C}$  y a una atmósfera de presión una vez que se diluyó una fracción de masa del KCl de  $32.4356 \times 10^{-3}$  en un kilogramo de agua destilada.

Las definiciones se tomaron de Thurman (1975), Levinton (2001) y Lewis (1981).

## RESUMEN

Con el propósito de conocer la dinámica espacial y temporal de los nutrimentos, la clorofila *a* y algunas variables hidrológicas del área de la laguna de Bahía Magdalena, B. C. S., México; se realizaron cinco muestreos en los meses de noviembre de 2001, febrero, mayo, julio y octubre de 2002. Los datos se tomaron en 22 estaciones. Los resultados mostraron variaciones en la distribución temporal y espacial. Se observaron 3 patrones en la distribución temporal de los nutrimentos y la clorofila *a*, uno caracterizado por la presencia de altas concentraciones de los nutrimentos: nitritos, nitratos y silicatos, durante los meses de noviembre y mayo. Otro, que se presentó en Febrero, se caracterizó por presentar una tendencia a mantener condiciones homogéneas de los valores de nutrimentos clorofila *a* y temperatura, así como concentraciones más bajas respecto a las registradas en los demás meses y por último; en julio y octubre se observó un patrón que mostró características intermedias entre los dos anteriores. De acuerdo con la distribución espacial de la concentración de las variables, se encontró una influencia clara de aguas oceánicas, la cual se manifestó con temperaturas más frías de la boca hacia el resto de la bahía en los meses de noviembre mayo y julio, así como sobre la clorofila *a* en el mes de mayo con gradientes de altas concentraciones de la boca hacia el interior de la laguna. También se observó un aporte de fosfato, silicato y clorofila *a* desde la boca del canal San Gil hacia la parte NW de la laguna y núcleos de mayor concentración en la boca del estero El Chisguete, Punta Cove y en Punta Delgada, por lo que se ponen en evidencia condiciones para la generación de nutrimentos dentro de la bahía.

**ABSTRACT**

On November 2001, February, May, July and October 2002 were carried out five surveys inside Magdalena Bay. In order to know the spatial and temporal nutrients dynamic, as well as chlorophyll and other oceanographic variables. The data set shows variation on time and space scales. Some patterns has been observed: one of this, consists on high concentrations of nitrate, nitrite and silicate on November and May. Other one from February had homogeneous conditions on nutrients, but the lowest concentrations respect the other months and the last one observed on july and october showed intermediate characteristics between the first and the second one. According with the spatial distribution, we found an influence of oceanic waters, observed through colder temperatures from the inlet to the shallow points of the bay during November, May and July. Chlorophyll *a* has the highest gradients from the inlet to the inside of the bay. An influence of phosphate, silicate and Chlorophyll *a* was observed from the San Gil channel trough the North-Western portion of the bay and hight concentration about the El Chisquete inlet, Punta Cove and Punta Delgada, this indicated us probably conditions to regeneration of nutrients inside the bay.

## I.- INTRODUCCIÓN

### 1.1. Generalidades

Las lagunas costeras son cuerpos de agua someros, separados del océano por barreras. Están conectados al océano por una o más bocas y generalmente se orientan de manera paralela a la costa (Kjerfve, 1994). Tienen interacciones con los continentes, el océano y la atmósfera, y experimentan el forzamiento por el viento, el balance entre la precipitación y la evaporación, el balance de calor en la superficie (Kjerfve, 1994) y en algunos casos particulares se ha observado el efecto de las surgencias (Zaytsev, 2003). Los diferentes efectos que estos factores tienen sobre las lagunas costeras se relacionan con fuertes gradientes espaciales relacionados con las características químicas del agua y las poblaciones biológicas presentes (Pritchard y Shubel, 1981). Se ha observado en sus características químicas que los principales procesos que influyen en las concentraciones de los nutrientes son geofísicos y geoquímicos los cuales además de ser responsables de controlar los aportes tienen un efecto sobre su dispersión y remoción (Spencer, 1975). Los sitios de remoción y de fuentes de nutrientes junto con los procesos de advección y de mezcla forman gradientes de concentración que causan patrones de distribución espacial particulares (Spencer, 1975), tales como las fuertes variaciones de nutrientes asociadas con movimientos de masas de agua desde ríos o debidas al transporte por mareas (Caffrey y Day, 1986). Además, las actividades humanas locales también contribuyen con esta variación, al aportar un exceso de nutrientes provenientes

de la industria, de las actividades agrícolas o de las aguas residuales (Seitzinger, 1988).

Los nutrimentos son elementos que intervienen en los procesos de crecimiento de las plantas y generalmente se usa ese término para referirse al nitrógeno, fósforo y silicio. Aunque este último no se considera propiamente un nutrimento, muchos organismos tienen una necesidad absoluta de este compuesto (Pilson, 1998). La variabilidad de los nutrimentos se puede medir en dimensiones de espacio (forma y tamaño), tiempo y complejidad de su variación (vías de reciclamiento de nutrimentos) (Seitzinger, 1988).

Los sistemas lagunares son complejos debido a la acción de las mareas, corrientes, vientos y descargas continentales que ponen en movimiento el agua y generan mezcla turbulenta; tales condiciones controlan ciertos procesos que finalmente repercuten en características distintivas de cada sistema lagunar (Ibarra-Obando, 1990). De los procesos físicos antes mencionados se considera que las mareas son una fuente importante de energía para las lagunas costeras, por la erosión, el transporte de sedimentos, los procesos de mezcla (Lankford, 1977) y como transportadoras de nutrimentos cuando están acopladas a procesos de surgencias que se presentan cerca de la boca de las lagunas (Zaytsev *et al.* 2003).

Por otro lado, la concentración de los nutrimentos cambia constantemente debido a la asimilación, regeneración y a las entradas y salidas del cuerpo de agua a través de los ríos (Day *et al.*, 1989). El nitrógeno llega a las zonas costeras por diferentes fuentes: difusión atmosférica, surgencias de aguas profundas y fijación

biológica. El amonio ( $\text{NH}_4$ ) entra al ecosistema vía la fijación biológica del nitrógeno atmosférico mientras que grandes cantidades provienen del sedimento vía la denitrificación. El nitrato llega a través de escurrimientos y es producido en el agua y en la capa superior del sedimento por denitrificación. Otras fuentes de nutrimentos como las derivadas de las actividades humanas tienen gran influencia en el ciclo global de los mismos. Las aguas de deshecho que llegan al océano tienen un efecto sobre los flujos globales del fósforo, mientras que en algunas regiones, el arrastre pluvial de fertilizantes generados por las actividades de la agricultura y los desechos de las plantas de tratamiento llegan a ser la fuente principal de los nitratos (Rabalais y Nixon, 2002).

El silicato es el constituyente principal de la tierra, esta siempre combinado con el oxígeno (Pilson, 1998) y llega a la zona costera a través de los ríos (Millero, 1996).

↘ Bahía Magdalena es una laguna costera ubicada en la parte sur de la costa suroccidental de la Península de Baja California. Es considerada una zona de alta productividad, donde la dinámica de las mareas influye significativamente en la variación de la salinidad, la concentración de la clorofila *a* y el fosfato (Acosta-Ruiz y Lara-Lara, 1978). Bahía Magdalena está sujeta a numerosos factores externos que constantemente están cambiando las concentraciones de sus componentes.

La mayoría de los trabajos realizados en Bahía Magdalena han estado encaminados a estudiar su potencial pesquero y sólo el trabajo de Alvarez-Borrego *et al.* (1975) incluyó de manera sistemática algunas variables fisicoquímicas; sin embargo, a la fecha no hay trabajos en los que se presente la distribución espacial y temporal de los nutrimentos. Por ello, en el presente trabajo se analizaron nitratos, nitritos, fosfatos, silicatos, clorofila *a* y otras

variables hidrológicas como: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH, turbidez; con el fin de establecer patrones de gradientes espaciales y temporales y definir algunas características distintivas para el área de Bahía Magdalena.

## 1.2.- Antecedentes

Aún cuando es indudable la importancia que tienen las variaciones de los nutrimentos y sus fuentes en los ecosistemas costeros, en México son pocos los trabajos en los que se ha planteado un estudio sistemático con el fin de observar las tendencias en las variaciones de los mismos. En México hay alrededor de 130 lagunas costeras (Contreras-Espinosa, 1993), las cuales de acuerdo con el régimen hidrológico que predomina en las costas mexicanas se han dividido en: lagunas de la región árida del Pacífico y Golfo de California, lagunas de la región húmeda del Pacífico y lagunas del Golfo de México. Entre los trabajos realizados en estas últimas se pueden citar los de Herrera-Silveira (1994) quién caracterizó la laguna de Celestún con base en la distribución espacial de los nutrimentos y considerando algunas características hidrológicas; además, sugirió que los componentes de variabilidad estaban asociados con descargas subterráneas de agua y procesos de mineralización. Herrera-Silveira (1996), también describió la dinámica de los nutrimentos y algunas variables fisicoquímicas y encontró que la variabilidad del silicato y del nitrato estuvieron influenciadas por los efluentes subterráneos, mientras que la variabilidad del fósforo reactivo soluble y la del amonio estuvieron influenciadas por la actividad biológica. Herrera-Silveira (1998) estableció las relaciones entre la producción del fitoplancton y los nutrimentos y encontró que su acoplamiento está relacionado con descargas de aguas subterráneas y cambios climáticos. Además de que la relación N:P varió de 70:1 durante la época lluviosa a menos de 5:1 durante los nortes.

Contreras-Espinosa *et al.* (1995) hicieron una revisión bibliográfica de los trabajos realizados en 39 lagunas comprendidas desde la Laguna Madre en Tamaulipas hasta la Laguna Campon en Chiapas y determinaron que los nutrimentos no son limitantes para la producción primaria de esas lagunas, aunque consideraron que la relación N:P juega un papel más importante que la concentración de cada nutrimento. Además con base en los intervalos de variación del amonio (5 y 10  $\mu\text{M}$ ), de nitritos más nitratos (0.01 a 5  $\mu\text{M}$ ), del nitrógeno total (10 y 15  $\mu\text{M}$ ), ortofosfatos (0.01 y 5  $\mu\text{M}$ ) y fósforo total (5 y 10  $\mu\text{M}$ ) sugieren que estos sistemas tienen tendencia a la eutrofia.

De las lagunas de la Península de Baja California se pueden mencionar los trabajos de Zertuche-González y Álvarez-Borrego (1978) quienes hicieron un estudio de las variaciones de salinidad, oxígeno, porcentaje de saturación de oxígeno, temperatura y fosfato en las bocas de Bahía San Quintín y el Estero de Punta Banda. En el primero encontraron una variación amplia en las variables medidas: el fosfato osciló entre 0.7 y 4.4  $\mu\text{M}$ ; el oxígeno disuelto entre 3.6 y 6.8  $\text{ml l}^{-1}$ ; la temperatura entre 11.65 y 22.93°C, la salinidad entre 34 y 35.8 ups; y una correlación negativa entre el fosfato y la salinidad con respecto a la temperatura y una correlación positiva entre la temperatura y el oxígeno. Suponen que la variación en Bahía San Quintín se debe en parte a que los datos fueron tomados en verano, así como a las surgencias, las cuales llevaron a la boca de Bahía San Quintín aguas frías con la marea alta. Asimismo sugieren que el agua rica en oxígeno se debe al proceso fotosintético y fue transportada hacia la boca donde la registraron durante la marea baja. En el Estero de Punta Banda el intervalo de

variación fue menor; el fosfato osciló entre 0.03 y 0.8  $\mu\text{M}$ , el oxígeno disuelto entre 5.2 y 5.9  $\text{ml l}^{-1}$ , la temperatura entre 15.32 y 16.9°C, la salinidad entre 33.8 y 34.25 ups.

Millán-Nuñez *et al.* (1981) también estudiaron la variabilidad espacial y temporal de los nutrimentos y el fitoplancton en el Estero de Punta Banda y encontraron que hay diferentes factores que causan su variación. Suponen que los movimientos de la marea transportaron agua de surgencias provenientes de Punta Banda y que fueron responsables de que la temperatura y la salinidad disminuyeran de la boca hacia el interior del estero, así como de que el fitoplancton, la clorofila *a* y la productividad aumentaran en la boca los últimos días del muestreo. Por otro lado, asociaron la remineralización y el acarreo de los nutrimentos a la superficie por resuspensión de los sedimentos con altas concentraciones de fosfatos y silicatos en el interior del estero.

Millán-Nuñez y Rivas-Lozano (1988) hicieron un estudio en la Bahía de Todos Santos, B. C., en el que describieron las variaciones espaciales de clorofila, nitrógeno, fosfato y silicato durante el mes de mayo. Las variables no mostraron un patrón común, pero en general destacaron que la temperatura disminuyó desde lugares cercanos a la costa hacia el centro de la bahía ( de aproximadamente 22 a 17.8° C), los nitratos y el fosfato tendieron a estar por debajo del límite de detección al sur de la bahía y presentaron concentraciones mayores hacia la parte norte (alrededor de 9  $\mu\text{M}$  para la suma de nitritos y nitratos y alrededor de 1.8  $\mu\text{M}$  para el fosfato). El silicato en cambio presentó un patrón heterogéneo y su concentración osciló entre 0.1 y 0.7  $\mu\text{M}$ . Respecto a los valores de silicato

suponen que fueron bajos debido a una previa presencia de diatomeas. En cuanto a la clorofila *a* encontraron que el intervalo de variación osciló entre 0.3 y 0.6 mg m<sup>-3</sup> y presentó las concentraciones más altas en la parte sureste de la bahía. No encontraron correlación entre los máximos de clorofila *a* y los máximos de la biomasa fitoplanctónica.

Smith *et al.* (1997) compararon algunas lagunas del Pacífico y llegaron a la conclusión de que los sistemas costeros del norte y la parte media de la península de Baja California tienen una tendencia a liberar fosfato y a la denitrificación de nitrógeno.

De los trabajos realizados en Bahía Magdalena predominan los relacionados con el zooplancton y la actividad pesquera; sin embargo, son pocos los que se refieren a las características hidrológicas, hidroquímicas o los que relacionan las variaciones de los nutrientes con la productividad primaria. Álvarez-Borrego (1975) describe algunas características hidrológicas del área. Menciona que durante octubre, marzo y junio, en la parte occidental se presentaron condiciones de surgencia con altas concentraciones de nutrientes (el intervalo de los máximos osciló entre 0.9 y 2.5  $\mu\text{M}$  para el fosfato, entre 1.5 y 10  $\mu\text{M}$  para la suma de nitritos y nitratos y entre 5 y 10  $\mu\text{M}$  para el silicato) y baja temperatura (el intervalo mínimo osciló entre 16 y 19 °C), salinidad (34 y 34.5 ups), oxígeno (3 y 5 ml l<sup>-1</sup>) y pH (8.1 y 8.2); mientras que para julio-agosto observaron valores más bajos en esa área. Respecto a las características hidroquímicas Acosta-Ruíz y Lara-Lara (1978) llevaron a cabo un muestreo en la boca principal de Bahía Magdalena durante un ciclo diurno donde midieron temperatura, salinidad, clorofila

a, fosfato inorgánico y la velocidad de la corriente. Encontraron que las variaciones de las variables estuvieron asociadas con diferentes factores. La dinámica de las mareas influyó significativamente en la variación de la salinidad y en la concentración de la clorofila a; mientras que la batimetría irregular, el calentamiento y la evaporación contribuyeron en los cambios de la composición fisicoquímica de las masas de agua. Los máximos de la salinidad (34.5 ups) y la clorofila a ( $5.11 \text{ mg m}^{-3}$ ) los registraron durante el reflujó y los mínimos (34.35 ups de salinidad y  $1.5 \text{ mg m}^{-3}$  de clorofila a) durante el flujo. El fosfato presentó una tendencia irregular de variación, sin una relación aparente con el ciclo semidiurno de las mareas. El mínimo y máximo del fosfato fueron 1 y  $1.8 \mu\text{M}$  respectivamente.

↙ Nienhuis y Guerrero-Caballero (1985) suponen que las altas concentraciones de nutrimentos provienen de la mineralización de material orgánico que se lleva a cabo en áreas cercanas al manglar, en los canales y en la parte oriental de Bahía Magdalena y que pueden ser una posible fuente de nutrimentos; mientras que Álvarez- Borrego *et al.* (1975), Guerrero Godínez *et al.* (1988) y Zaytsev *et al.* (2003) suponen que los nutrimentos provienen de surgencias que se forman cerca de la boca de la bahía y que entran a la laguna con las mareas.

↙ Respecto al fitoplancton, Nienhuis y Guerrero-Caballero (1985) y Gárate *et al.* (2000) encontraron dos patrones de abundancia: uno que abarca de noviembre a mayo (temporada fría) y en el que se presentan altas concentraciones de células ( $0.5$  a  $1.5 \times 10^6$  células  $\text{l}^{-1}$ ) en gran parte del área; el otro patrón comprende desde finales de la primavera a finales de otoño (temporada cálida) y se caracteriza porque la densidad de las células es baja (oscila entre 5 y  $250 \times 10^3$  células  $\text{l}^{-1}$ ).

✓ Ambos autores sugieren que estos picos están asociados a surgencias de aguas ricas en nutrimentos cercanas a la boca principal de Bahía Magdalena.

Zaytsev *et al.* (2003) analizaron algunas variables hidrológicas en Bahía Magdalena y encontraron que los perfiles de temperatura, salinidad y densidad presentan una estratificación vertical en la boca principal de Bahía Magdalena y frente a ésta. La temperatura osciló entre 17°C, y 20° y la salinidad entre 34 y 36 ups. Ambas variables presentaron los valores más bajos alrededor de la boca, y paulatinamente aumentaron hacia la costa y en las partes someras.

Sabiendo que en principio las lagunas se ven afectadas por un sin número de factores externos que afectan las concentraciones de sus componentes (De la Lanza-Espino, 1994) y considerando algunas características de Bahía Magdalena (batimetría, estacionalidad muy marcada, temperatura, etc.) se espera encontrar una fuerte variación tanto temporal como espacial en las variables medidas.

### 1.3.- Justificación

En los últimos años los efectos del crecimiento poblacional junto con las actividades humanas y los de los cambios globales se han incrementado en las zonas costeras (Seitzinger, 1988) de tal manera que ha habido un notable interés en abordar los temas acerca del enriquecimiento de nutrimentos en términos de las fuentes, vías de transporte e impactos ecológicos (Rabalais y Nixon, 2002). El conocimiento de las variaciones de los nutrimentos es esencial para comprender las variaciones de la productividad primaria, para inferir el papel que juegan los estuarios y lagunas costeras como sumideros o fuentes de nutrimentos o bien para manejar los problemas de sobre enriquecimiento.

En la Península de Baja California existen alrededor de 25 lagunas las cuales han estado expuestas a actividades humanas que incluyen extracción de sal, extracción de fosfato de las rocas, un alto tráfico de embarcaciones, desechos de descargas industriales y domésticas y explotación pesquera (Ibarra-Obando *et al.*, 1997). Sin embargo no ha existido una investigación sistemática sobre los problemas del enriquecimiento de nutrimentos, sus variaciones y los efectos que tienen en los ecosistemas costeros.

Bahía Magdalena es un sitio de gran importancia biológica que mantiene varias pesquerías importantes para la región (Lluch-Belda *et al.*, 2000, Funes-Rodríguez *et al.*, 2001). Debido a su alta productividad biológica y pesquera ha sido el foco de numerosas investigaciones encaminadas a conocer mejor los procesos y las variaciones relacionados con su productividad, principalmente pesquera. Sin embargo, aún cuando se conoce el papel de los nutrimentos en los ecosistemas,

en Bahía Magdalena solo existen trabajos aislados respecto a este tema. Por ello, en el presente trabajo se estudia la distribución espacial y temporal de los nutrientes y clorofila *a* en un ciclo anual con el fin de que el conocimiento de las tendencias de la variación de los nutrientes nos permita entender los procesos asociados con las respuestas de los ecosistemas.

## 1.4.- Objetivos

### Objetivo General

Conocer la distribución espacial y temporal de los nutrimentos: nitratos, nitritos, fosfatos y silicatos; de la clorofila *a* y de otras variables hidrológicas como la salinidad, temperatura, pH, oxígeno disuelto y la turbidez en Bahía Magdalena.

### Objetivos Particulares

- ◆ Identificar patrones de variación espacial y temporal en las variables: nitratos, nitritos, fosfatos y silicatos; de la clorofila *a* y de otras variables hidrológicas como la salinidad, temperatura, pH, oxígeno disuelto y la turbidez analizadas.
- ◆ Identificar patrones de variación espacial comunes de las variables mencionadas a través del análisis simultáneo de éstas.

## 1.5. Área de estudio

Bahía Magdalena forma parte del complejo lagunar Bahía Magdalena- Almejas el cual se ubica en la costa oeste de la Península de Baja California, entre los 24°15' N y 25°20' N y 111°30' W y 112°15' (Fig. 1). La bahía se encuentra en el centro de la cuenca La Purísima-Iray Magdalena y se caracteriza por amplias llanuras en las cuales destacan aisladamente algunas sierras y mesetas formadas por rocas volcánicas y volcanso clásticas. Se encuentra separada del océano adyacente por barreras arenosas y montañosas, las cuales están conformadas por rocas sedimentarias tectónicas metamórficas y graníticas (Murillo, 1994). La costa está formada por roca sedimentaria, manglares y playas locales con dunas bien desarrolladas. Los sedimentos de la plataforma continental y las descargas intermitentes de ríos son la fuente de los sedimentos (Murillo *et al.*, 1994).

La zona noroeste de Bahía Magdalena está compuesta por esteros, lagunas y canales cuya profundidad promedio es de alrededor de 3.5 m (Álvarez-Borrego *et al.*, 1975). En el resto de la bahía se observan profundidades que oscilan entre 6 y 12 m cerca de la costa y entre 12 y 30 m en la parte central de la costa oeste (Fig. 2). Se comunica con el océano adyacente a través de una boca que mide aproximadamente 5.8 km y en la parte sureste con Bahía Almejas a través de una boca de unos 2.8 km de ancho. La boca principal de la bahía tiene un papel importante en los patrones hidrodinámicos y en el transporte de masas de agua. Tanto en la boca principal de la bahía como en el estrecho entre ambas bahías la velocidad de la corriente durante el flujo y reflujos son similares, es uniforme verticalmente y oscila entre 0.5 m/s y 1.3 m/s (Zaytsev *et al.*, 2003).

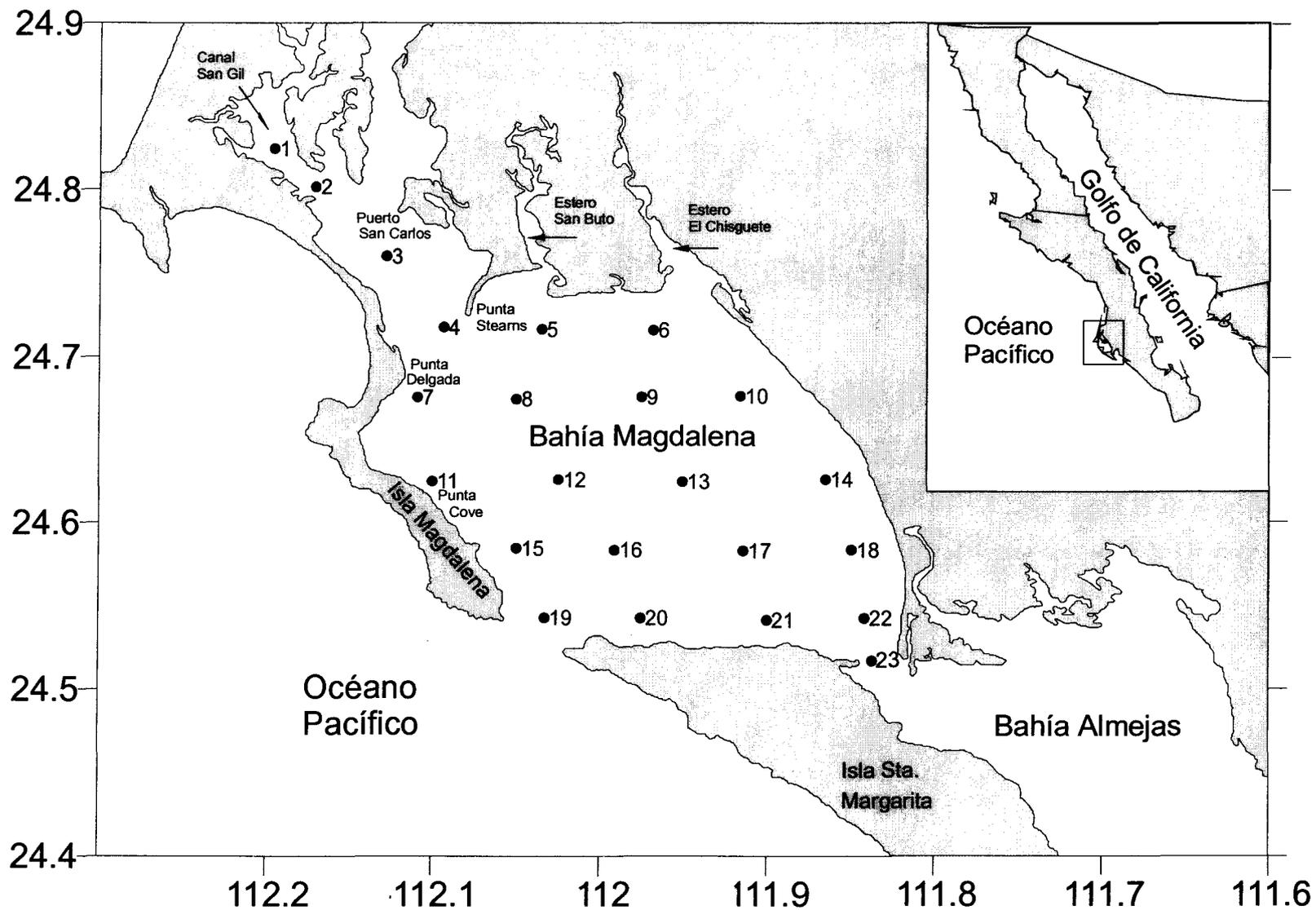


Figura 1. Área de estudio. Los símbolos indican la localidad muestreada y los números, el número que se le asignó a cada estación.

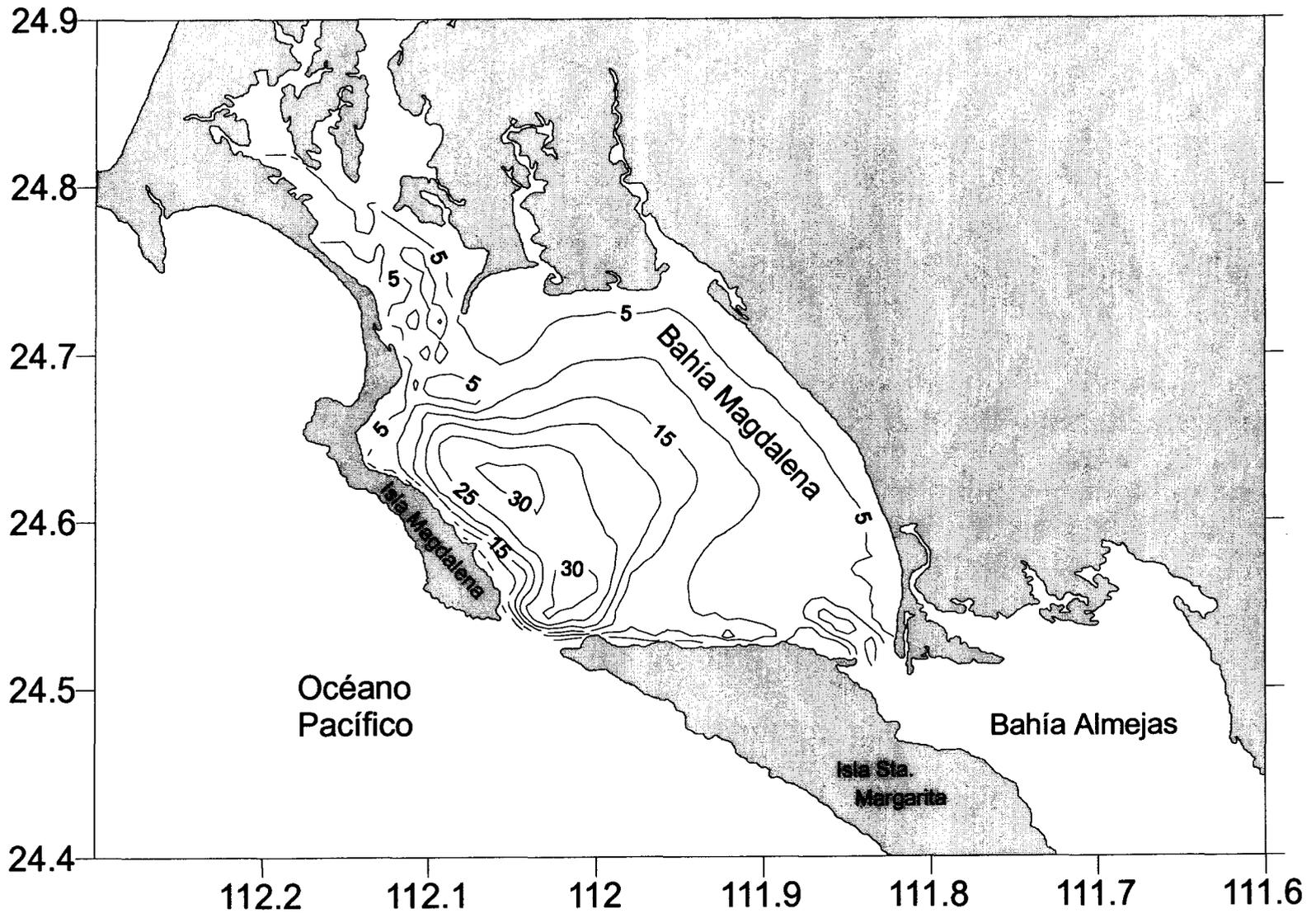


Fig. 2. Batimetría de la laguna de Bahía Magdalena. La profundidad se indica en metros.

El clima de la región es seco, semidesértico, con un promedio anual de temperatura que oscila entre los 22°C y 24°C. Durante el verano, el promedio anual de lluvias es de menos de 200 mm, hay un sistema de brisas que causa cambios diarios en el viento. De diciembre a mayo o junio soplan los vientos del noroeste; como consecuencia, se observa una surgencia en la boca principal de Bahía Magdalena con una temperatura entre 2 y 2.5°C más baja que la del agua de los alrededores. Por el contrario, de julio a septiembre dominan los vientos del sur, pero las surgencias no existen (Zaytsev *et al.* 2003).

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. Trabajo de campo

Se realizaron cinco salidas a Bahía Magdalena durante noviembre de 2001, febrero, mayo, julio y octubre de 2002 con el fin de obtener muestras de agua para determinación de nutrimentos y de algunas variables físicas. Todos los recorridos por la laguna se llevaron a cabo a bordo de una embarcación con motor fuera de borda de 70 hp. Las muestras fueron obtenidas de 23 estaciones previamente establecidas y se tomaron aproximadamente a 1 m de profundidad. La fase en la que se encontraba la marea al momento de tomar la muestra se indica de la Figura 3 a la Figura 7.

Las muestras para el análisis de nutrimentos (nitratos, nitritos, fosfato y silicato) se colectaron en botellas de plástico de aproximadamente 250 ml, las cuales fueron colocadas inmediatamente en hieleras para mantenerlas frías durante su transporte. En el laboratorio las muestras se congelaron a  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta el momento en el que fueron analizadas. La muestra de agua para clorofilas se tomó en garrafones de plástico de aproximadamente dos litros, posteriormente se filtró con filtros GF/F de fibra de vidrio de 25 mm de diámetro y se mantuvieron congeladas mediante nitrógeno líquido hasta el momento en el que fueron analizadas. Las muestras para determinar concentraciones de oxígeno disuelto, se obtuvieron usando una botella Niskin provista con una manguera para vaciar la muestra a las botellas para demanda biológica de oxígeno (DBO). Una vez que la muestra estaba en las botellas para DBO se agregó 1 ml de yoduro alcalino y 1 ml de sulfato manganoso. Posteriormente las muestras se analizaron con el método modificado de Winkler (Strickland y Parsons, 1972). Por último, para estimar la

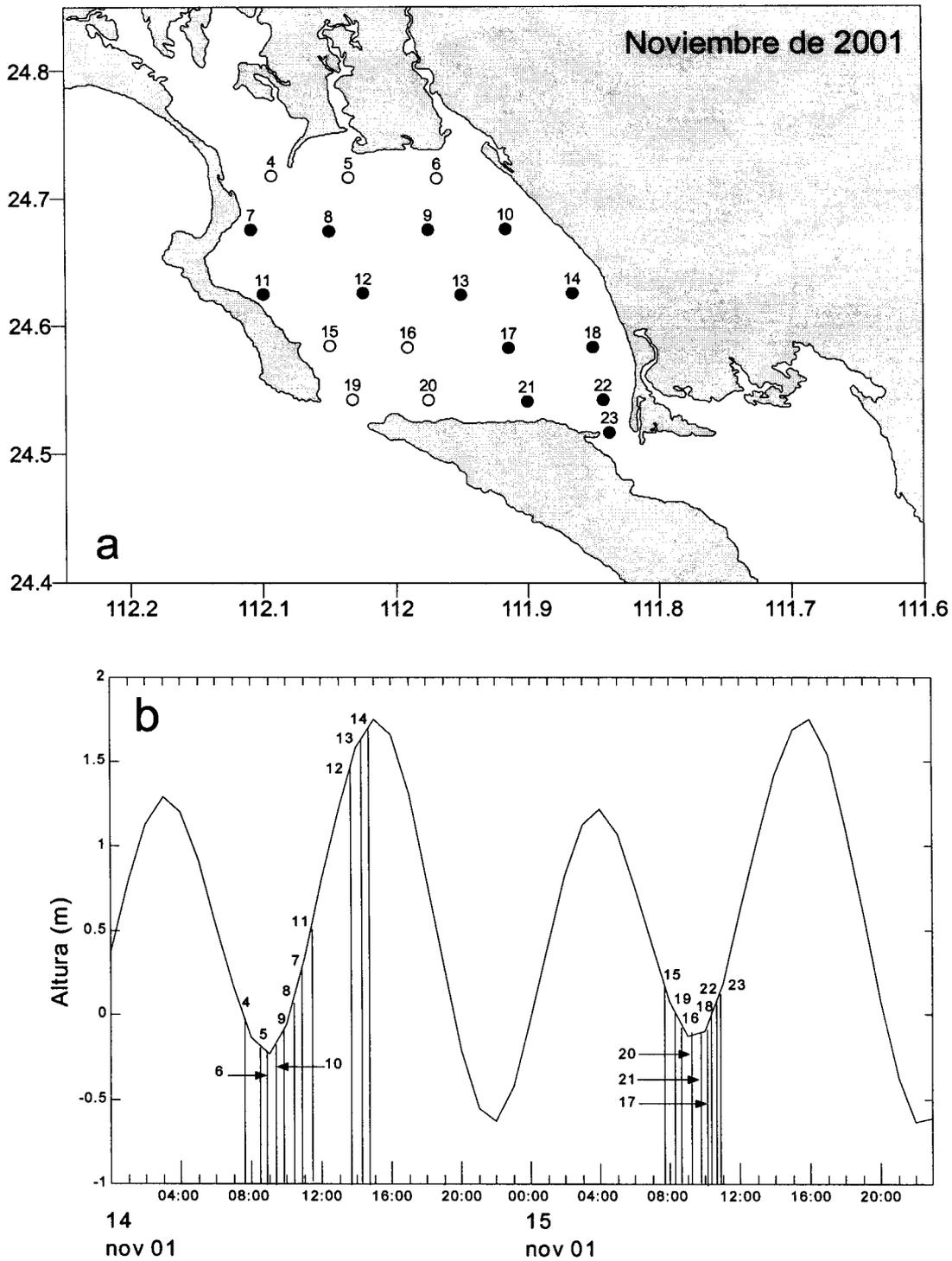


Fig. 3. Ubicación geográfica de las estaciones en la campaña de noviembre de 2001 (a). Los círculos claros indican marea en reflujo y los círculos oscuros marea en flujo. Variación de la onda de marea registrada en Bahía Magdalena durante los días en los que se tomó la muestra (b). Los números indican la estación y las líneas ubican la hora y la fase de la marea en la que se tomó la muestra.

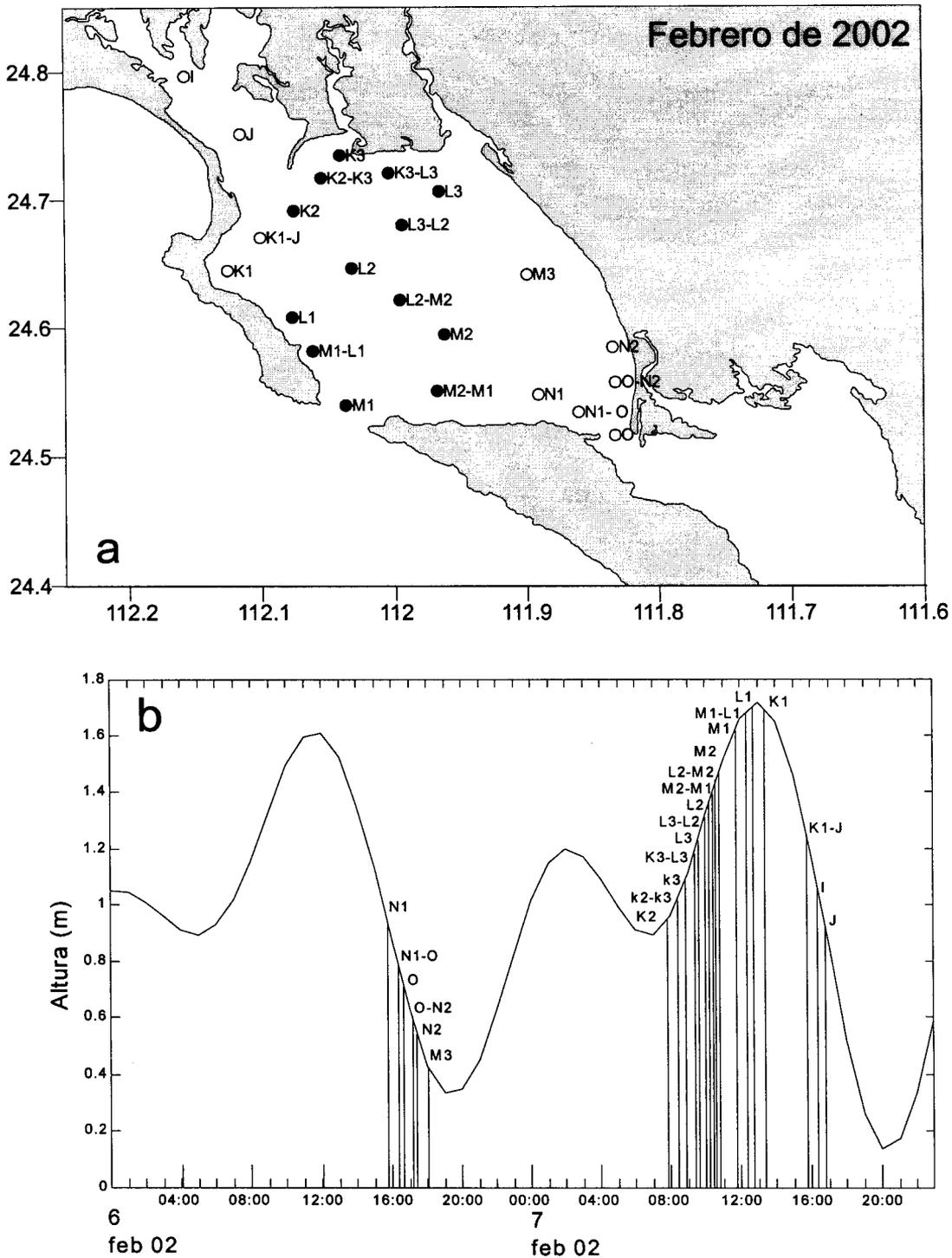


Fig. 4. Ubicación geográfica de las estaciones en la campaña de febrero de 2002 (a). Los círculos claros indican marea en reflujo y los círculos oscuros marea en flujo. Variación de la onda de marea registrada en Bahía Magdalena durante los días en los que se tomó la muestra (b). Los números indican la estación y las líneas ubican la hora y la fase de la marea en la que se tomó la muestra.

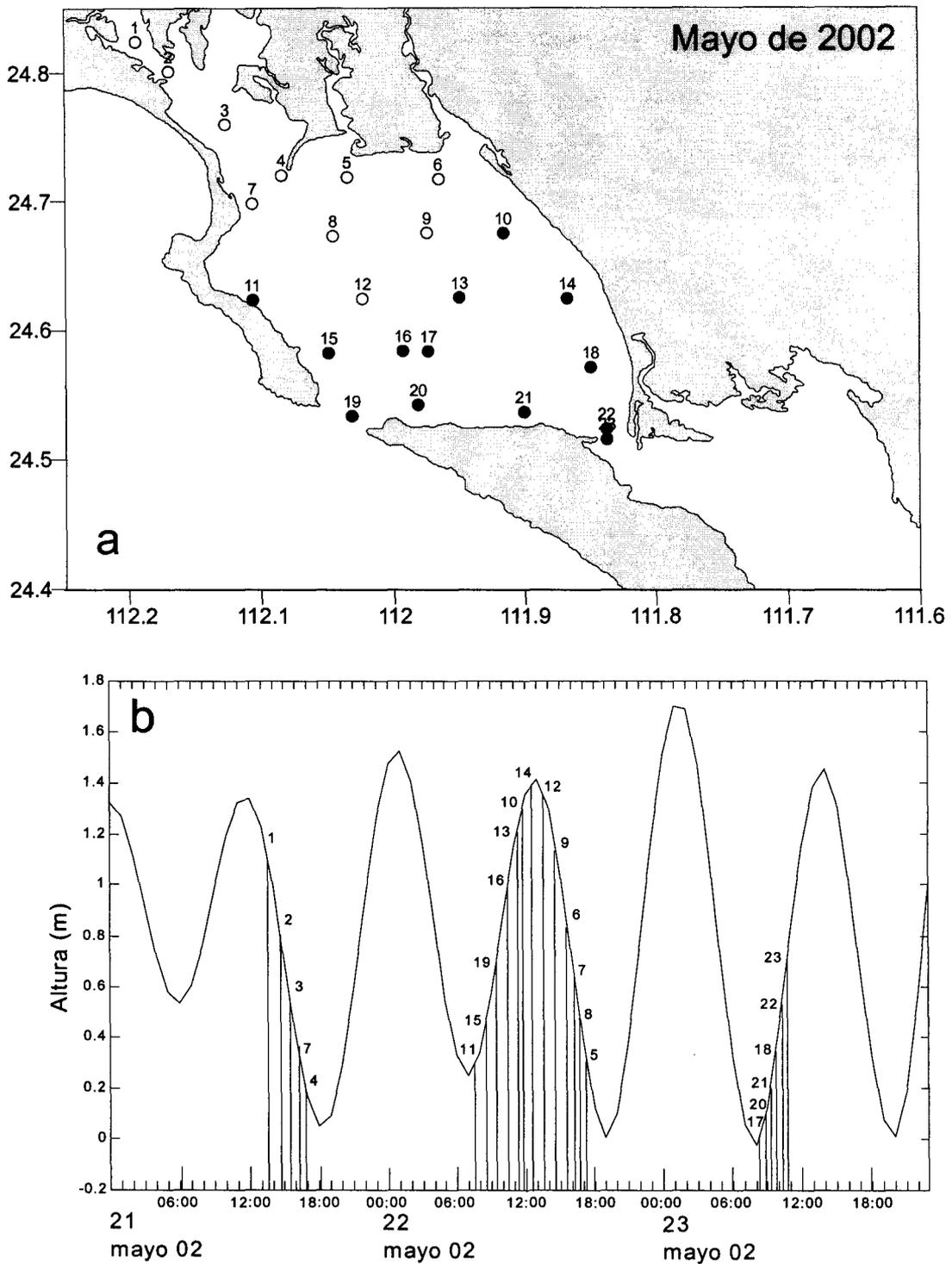


Fig. 5. Ubicación geográfica de las estaciones en la campaña de mayo de 2002 (a). Los círculos claros indican marea en reflujó y los círculos oscuros marea en flujó. Variación de la onda de marea registrada en Bahía Magdalena durante los días en los que se tomó la muestra (b). Los números indican la estación y las líneas ubican la hora y la fase de la marea en la que se tomó la muestra.

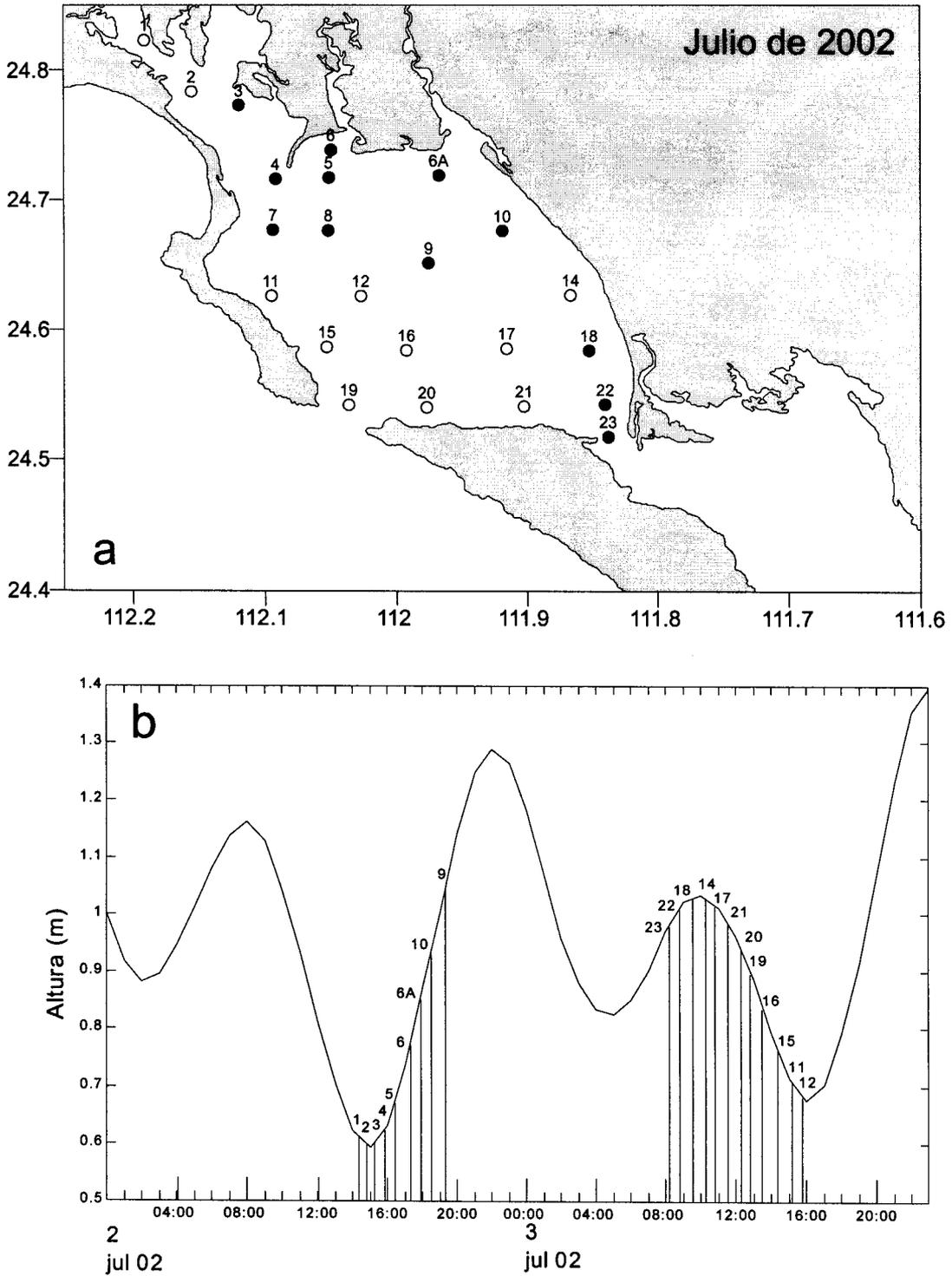


Fig. 6. Ubicación geográfica de las estaciones en la campaña de julio de 2002 (a). Los círculos claros indican marea en reflujo y los círculos oscuros marea en flujo. Variación de la onda de marea registrada en Bahía Magdalena durante los días en los que se tomó la muestra (b). Los números indican la estación y las líneas ubican la hora y la fase de la marea en la que se tomó la muestra.

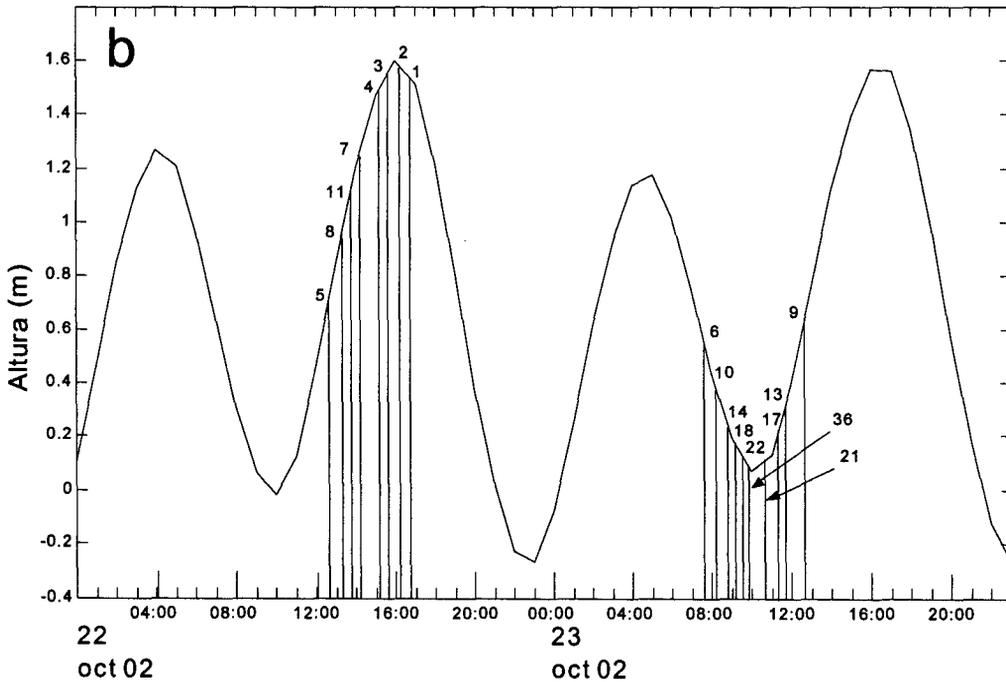
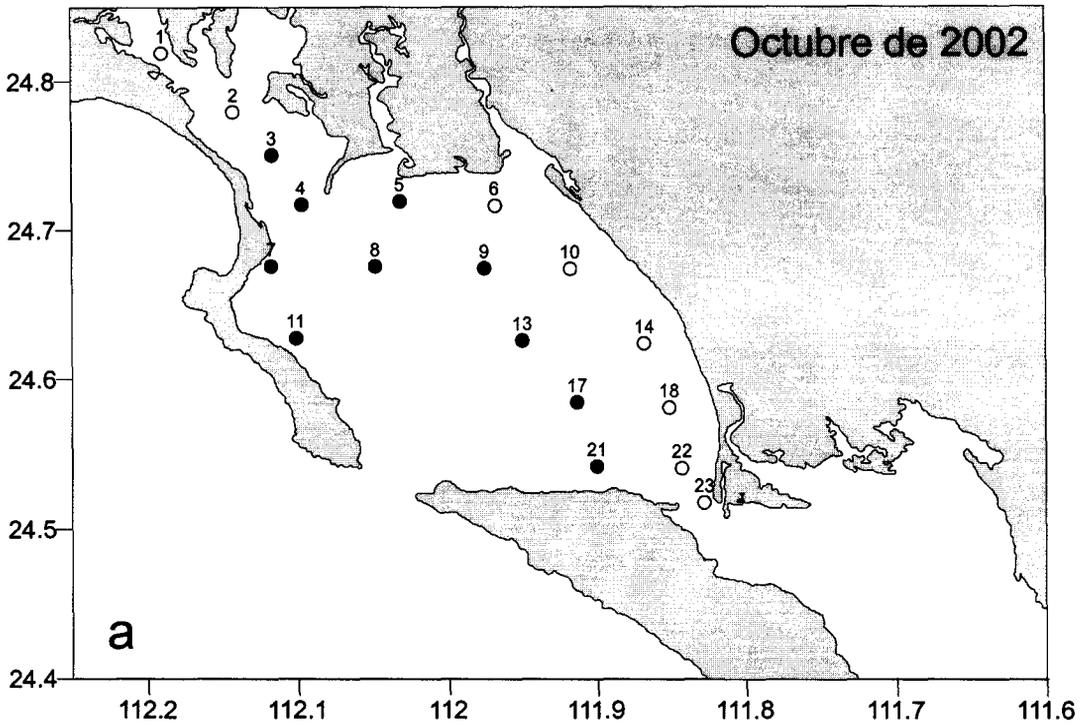


Fig. 7. Ubicación geográfica de las estaciones en la campaña de octubre de 2002 (a). Los círculos claros indican marea en reflujó y los círculos oscuros marea en flujo. Variación de la onda de marea registrada en Bahía Magdalena durante los días en los que se tomó la muestra (b). Los números indican la estación y las líneas ubican la hora y la fase de la marea en la que se tomó la muestra.

salinidad se tomaron alrededor de 200 ml de agua en botellas de plástico, las cuales fueron cerradas perfectamente para evitar evaporación. La salinidad de los meses de noviembre de 2001 y febrero de 2002 se obtuvieron mediante un MINI CTD InterOcean, mientras que para el resto de los meses se estimó en el laboratorio con un salinómetro de inducción Guildline, modelo 841A (precisión  $\pm 0.003$  ups).

La temperatura superficial de noviembre y de febrero también fue obtenida a través del MINI CTD y en el resto de los meses se usó un termómetro de cubeta (precisión de  $\pm 0.1$  °C). Las lecturas de pH se hicieron *in situ* con un potenciómetro marca Orion, cuya precisión es de  $\pm 0.01$ . La transparencia del agua se midió con un disco de Secchi. Se registró la profundidad a la cual desapareció el disco con una precisión de  $\pm 0.5$  m.

## 2.2. Trabajo de laboratorio

Para el análisis de los nutrimentos se usaron diferentes técnicas; todas ellas se llevaron a cabo siguiendo las recomendaciones de Strickland y Parsons (1972). Para los nitratos se usó el método de Morris y Riley (1963. En: Strickland y Parsons, 1972), el cual tiene un intervalo de detección que va de 0.05 a 45  $\mu\text{M}$  y una precisión de  $\pm 0.05$   $\mu\text{M}$ . Los nitritos se determinaron por el método de Bendschneider y Robinson (1952. En: Strickland y Parsons, 1972), cuyo intervalo de detección está entre 0.01 y 2.5 y la precisión es de  $\pm 0.005$   $\mu\text{M}$ . En el caso de los fosfatos se usó el método de Murphy y Riley (1962. En: Strickland y Parsons, 1972.), con un intervalo de detección que va de 0.03 a 5  $\mu\text{M}$  y una precisión de

$\pm 0.03 \mu\text{M}$ . Los silicatos se determinaron por el método de Mullin y Riley (1955. En: Strickland y Parsons, 1972), con un intervalo de detección de 0.1 a 140  $\mu\text{M}$  y una precisión de  $\pm 0.025 \mu\text{M}$ . La clorofila *a* se determinó por el método de Jeffrey y Humphrey (1975. En: Parsons *et al.*, 1984) cuya precisión es de  $\pm 0.01 \text{ mg}$ . El oxígeno se determinó por el método de Winkler cuyo intervalo de detección está entre 0.005 y 8 mM y con una precisión de  $\pm 0.003 \text{ mM}$ .

La lectura espectrofotométrica de los nutrientes y de la clorofila se hizo con un espectrofotómetro Milton Roy 1201.

El material que se usó para el análisis y colecta de las muestras fue lavado con detergente Micro 90, el cual está libre de fosfatos. El material de plástico se enjuagó con una solución de ácido clorhídrico al 5% y el de vidrio se dejó en mezcla crómica para eliminar sales y materia orgánica. Finalmente el material se enjuagó con agua destilada.

Las lecturas de salinidad medidas en el salinómetro por inducción se tomaron previa calibración del equipo con agua de mar estándar. La deriva del aparato se corrigió leyendo un subestándar cada 10 muestras.

### **2.3. Análisis de datos**

Los cálculos de las concentraciones de las muestras fueron realizados usando el programa Excel (Microsoft, 2000).

A cada variable medida se le calcularon algunos parámetros estadísticos como la media, la desviación estándar y los valores límite. Los cálculos se hicieron en el programa STATISTICA (StatSoft, Inc. 2003, Ver 6). La información de la

estadística básica se resumió en gráficas de caja que muestran el valor promedio de cada variable a lo largo del periodo de estudio. En el programa Surfer (Golden Software, 2000) se hicieron mapas de distribución con el fin de mostrar en que fase de la marea estaban las estaciones al momento de tomar la muestra. Otro grupo de mapas se elaboró con el fin de observar la variación espacial y temporal de las variables.

Para hacer las gráficas de la fase de la marea, se diseñó un programa en MatLab Ver. 6.5

En el programa STATISTICA (StatSoft, Inc. 2003, Ver 6) se hizo un análisis de variancia de una vía con el fin de saber si la fase de la marea había tenido algún efecto sobre la concentración de los nutrimentos. Para el análisis todos los datos del periodo se agruparon en datos tomados con marea en flujo y datos con marea en reflujo. Se hicieron gráficas en las que se muestra la concentración de los nutrimentos que se tomaron en flujo y las que se tomaron en reflujo.

Por último se hizo un Análisis de Factores (AF) en el programa STATISTICA (StatSoft, Inc. 2003, Ver 6), con el fin de revisar las relaciones entre las variables, y tratar de establecer patrones de distribución espacial comunes entre ellas. Las calificaciones (scores) resultantes de los factores se graficaron en un mapa con una escala en la que, el color más oscuro representó a las variables más correlacionadas.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Análisis de la fase de la marea con respecto a la variación espacial de la concentración de los nutrimentos.

Los datos de la concentración de los nutrimentos de cada mes se agruparon de acuerdo con la fase en la que se encontraba la marea al momento de tomar la muestra y se observó que la concentración de los nutrimentos varió de manera azarosa, sin un patrón que caracterizara cada fase (Figs. 8 a la 12).

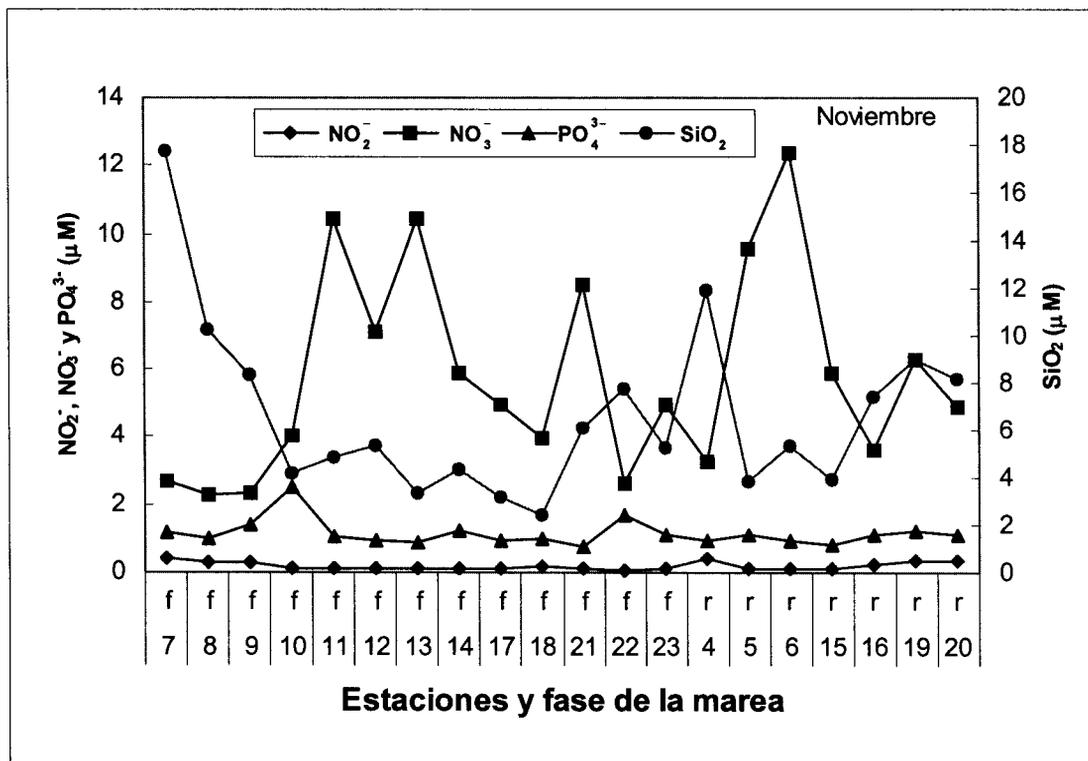


Fig. 8. Concentración de los  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  y  $\text{SiO}_2$  durante el flujo (f) y reflujó (r) de la marea en el mes de noviembre.

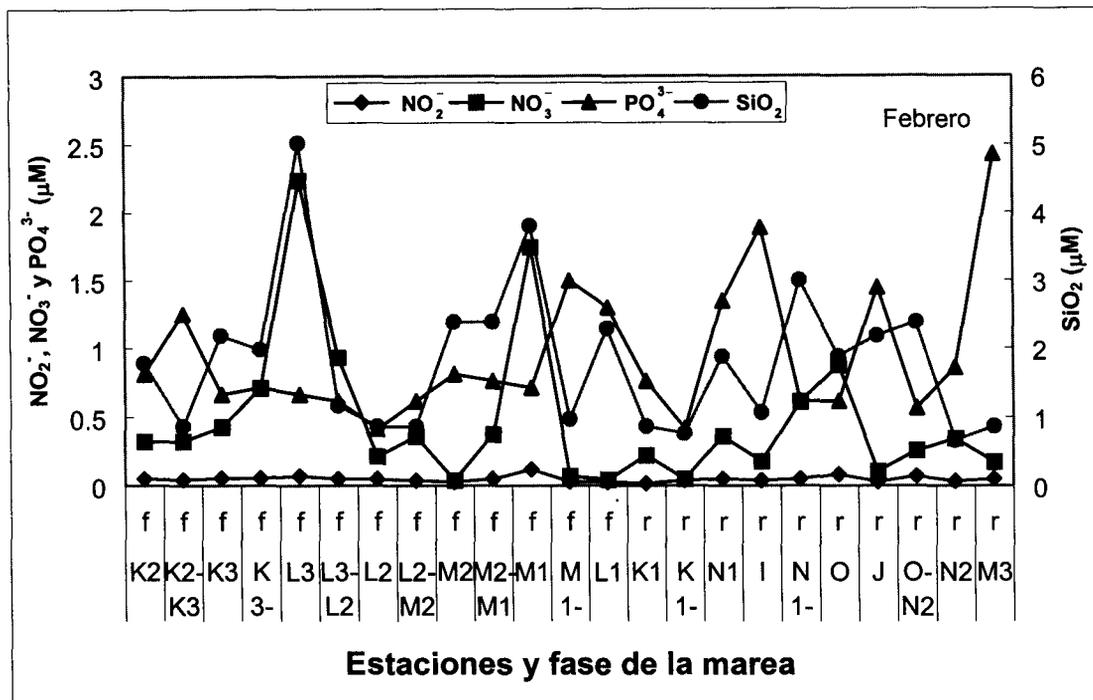


Fig. 9. Concentración de los  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  y  $\text{SiO}_2$  durante el flujo (f) y reflujó (r) de la marea en el mes de febrero.

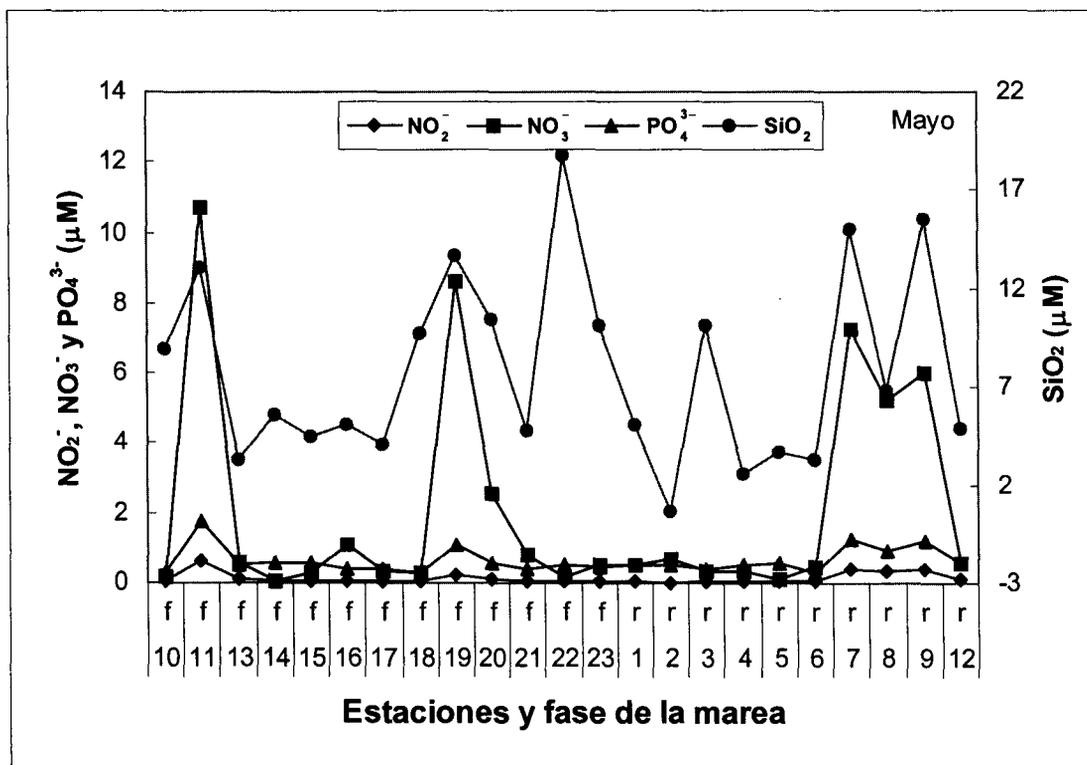


Fig. 10. Concentración de los  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  y  $\text{SiO}_2$  durante el flujo (f) y reflujó (r) de la marea en el mes de mayo.

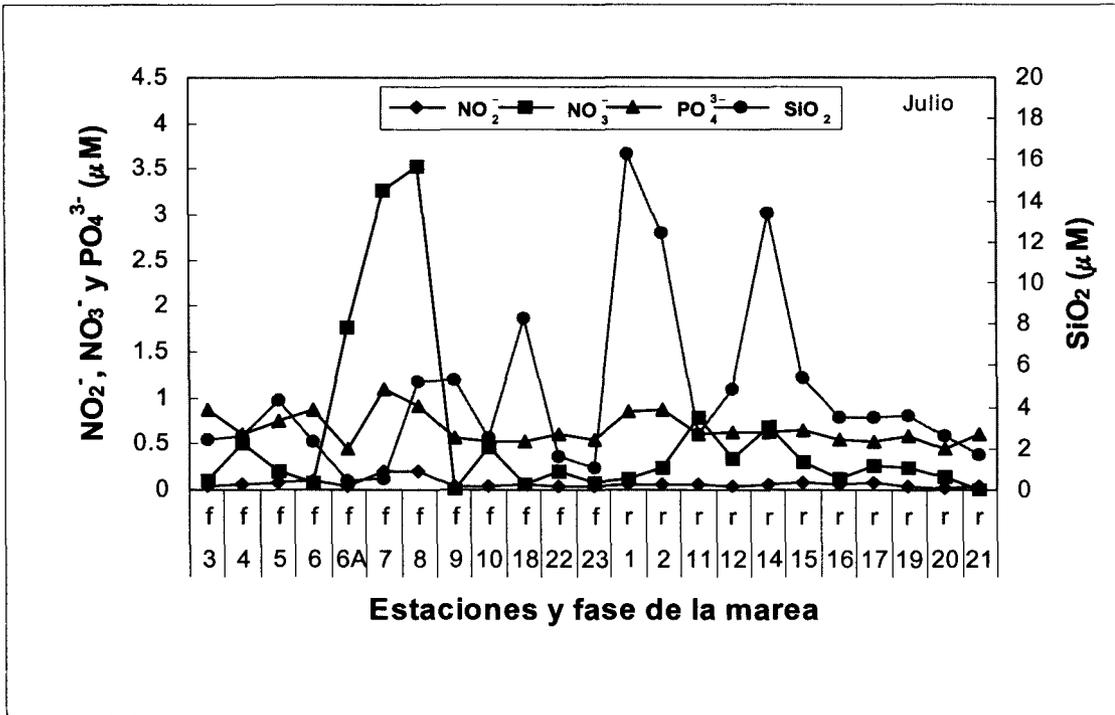


Fig. 11. Concentración de los  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  y  $\text{SiO}_2$  durante el flujo (f) y reflujó (r) de la marea en el mes de julio.

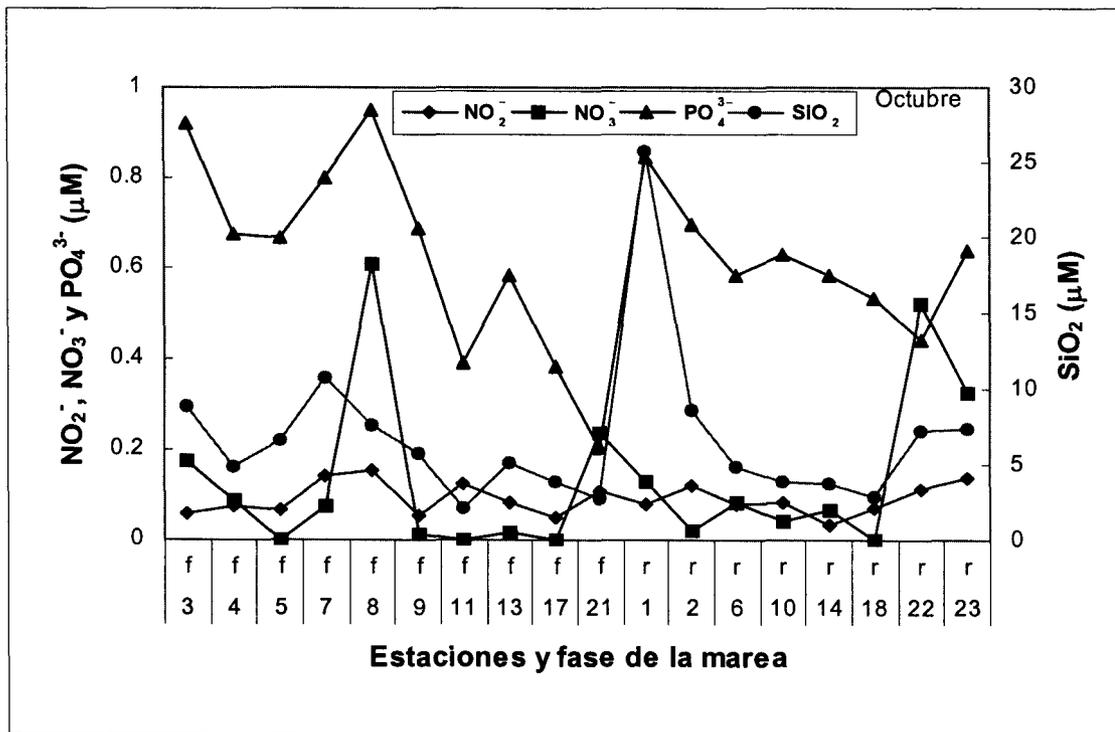


Fig. 12. Concentración de los  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  y  $\text{SiO}_2$  durante el flujo (f) y reflujó (r) de la marea en el mes de octubre.

La concentración promedio de los nutrimentos agrupados de acuerdo con la fase de la marea en cada mes se muestra en la tabla 1. Para observar si la diferencia entre las medias era significativa se hizo un análisis de variancia tomando los datos de todo el período de estudio y los resultados obtenidos mostraron que no hay diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) entre las medias de los datos tomados durante la marea en flujo y los tomados durante la marea en reflujo (Tabla 2).

Tabla 1. Valor promedio mensual de la concentración de nutrimentos tomados durante el flujo (f) y reflujo (r) de la marea.

	Noviembre		Febrero		Mayo		Julio		Octubre	
	(f)	(r)	(f)	(r)	(f)	(r)	(f)	(r)	(f)	(r)
Nitritos	0.16	0.24	0.05	0.05	0.12	0.15	0.08	0.05	0.09	0.09
Nitratos	5.40	6.56	0.60	0.32	2.01	2.15	0.85	0.30	0.12	0.15
Fosfatos	1.21	1.03	0.83	1.09	0.60	0.67	0.70	0.63	0.63	0.62
Silicatos	6.39	7.08	2.04	1.55	8.65	6.78	3.06	6.36	5.86	8.03

Tabla 2. Valores promedio del periodo de muestreo de la concentración de nutrimentos tomados durante el flujo (f) y reflujo (r) de la marea y nivel de significancia (p).

	Media (f)	Media (r)	p
Nitritos	0.10	0.11	0.78
Nitratos	1.80	1.65	0.78
Fosfatos	0.79	0.80	0.86
Silicatos	5.19	5.85	0.50

## 3.2. Nutrientes

### 3.2.1. Nitrato

Las concentraciones de nitratos oscilaron entre  $< 0.05$  y  $12.35 \mu\text{M}$  (Tabla 3). En los meses de febrero julio y octubre no fueron mayores que  $2 \mu\text{M}$  (Fig. 13); sin embargo en noviembre se observaron concentraciones mayores que  $2.27 \mu\text{M}$  y mayor variación entre las estaciones. Los valores promedio de cada mes fueron significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ), los valores promedio más bajos (Fig. 14) se presentaron en febrero ( $\bar{x} = 0.48 \mu\text{M}$ ) julio ( $\bar{x} = 0.58 \mu\text{M}$ ) y octubre ( $\bar{x} = 0.13 \mu\text{M}$ ) y el más alto se presentó en noviembre ( $\bar{x} = 5.00$ ). El patrón de distribución espacial de los valores de nitrato, mostró que en noviembre se presentaron tres núcleos con altas concentraciones: uno que abarcó desde el estero el Chisquete hasta San Buto, otro en Punta Cove, así como en el centro de la laguna (Fig. 14). En mayo las concentraciones mayores se presentaron entre Punta Delgada y Punta Cove con un patrón de distribución que fue disminuyendo hacia el Este (Fig. 14). A pesar de que los valores promedio en noviembre y mayo fueron altos respecto a los otros meses, muchas estaciones, principalmente en mayo, presentaron concentraciones bajas (menores que  $0.05 \mu\text{M}$ ) reflejando una heterogeneidad en la distribución de los valores en la laguna. No se apreció un patrón de distribución espacial en el resto de los meses.

Tabla 3. Concentración de nitratos en  $\mu\text{M}$ , tamaño de muestra (N), media aritmética, valores límite y desviación estándar de los valores de nitratos correspondientes a cada uno de los meses en los que se tomaron datos.

	N	Media	Mínimo	Máximo	Desviación Estándar
Noviembre de 2001	22	5.5	2.27	12.35	3.03
Febrero de 2002	23	0.48	< 0.05	2.24	0.54
Mayo de 2002	23	1.93	< 0.05	10.07	2.98
Julio de 2002	23	0.58	< 0.05	3.53	0.97
Octubre de 2002	18	0.13	< 0.05	0.61	0.19

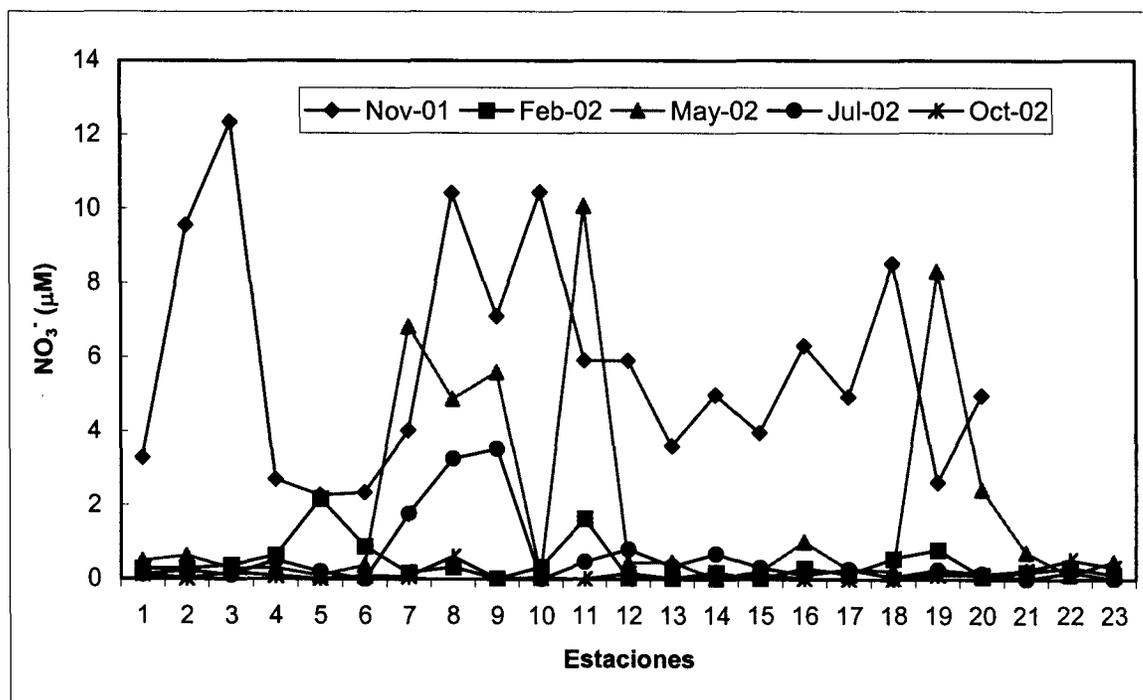


Fig. 13. Distribución espacial y temporal de los nitratos en Bahía Magdalena

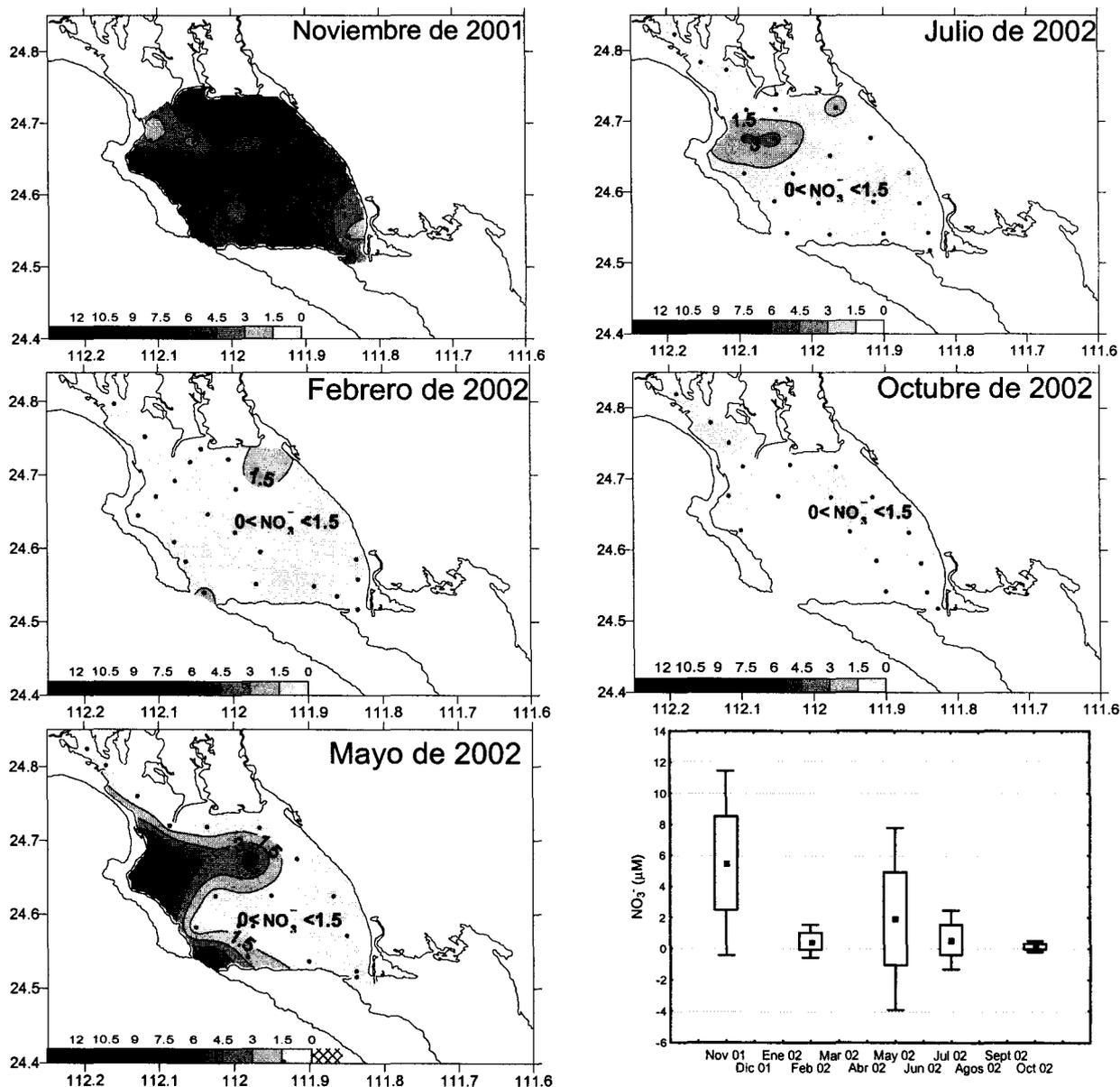


Figura 14. Distribución espacial y temporal de la concentración de nitratos ( $\mu\text{M}$ ) en noviembre de 2001, febrero, mayo, julio y octubre de 2002. La gráfica inferior derecha muestra el valor de la concentración promedio mensual, el intervalo de variación y la desviación estándar.

### 3.2.2. Nitrito

Las concentraciones de nitritos oscilaron entre valores  $< 0.010$  y  $0.623 \mu\text{M}$  (Tabla 4). En general se observó un patrón de distribución similar al patrón encontrado para los nitratos y también los meses de febrero, julio y octubre la concentración fue más baja ( $<0.209$ ) y la variación entre las estaciones más pequeña que la observada en noviembre y mayo. En estos meses se presentaron diferencias marcadas entre las estaciones, reflejando una heterogeneidad en la distribución espacial de los nitritos (Fig. 15 y Fig. 16). Cabe señalar que en el mes de mayo los valores más altos se concentraron solo en 5 de las 23 estaciones. Los valores promedio mensuales fueron significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ); los más bajos se observaron en febrero ( $0.048 \mu\text{M}$ ), julio ( $0.067 \mu\text{M}$ ) y octubre ( $0.091 \mu\text{M}$ ) (Tabla 4). Valores notoriamente más altos (Fig. 15) se encontraron en los meses de noviembre y mayo, con concentraciones promedio de  $0.185$  y  $0.133 \mu\text{M}$  respectivamente (Fig. 16). A diferencia de los nitratos, los principales núcleos de concentración registrados en noviembre, se encontraron desplazados hacia Punta Delgada y la boca principal de la laguna. Sin embargo, en mayo la distribución de los sitios con concentraciones más altas fue básicamente la misma que la de los nitratos, con los núcleos principales ubicados entre Punta Delgada y Punta Cove y en la boca principal de la laguna. Esta distribución es similar a la distribución espacial que presentaron los nitritos en el mes de noviembre.

En general la laguna de Bahía Magdalena presentó concentraciones bajas de nitritos ( $<0.075 \mu\text{M}$ ) y una distribución espacial prácticamente homogénea en los meses de febrero, julio y octubre (Fig. 16).

Tabla 4. Concentración de nitritos en  $\mu\text{M}$ , tamaño de muestra (N), media aritmética, valores límite y desviación estándar de los valores de nitritos correspondientes a cada uno de los meses en los que se tomaron datos.

	N	Media	Mínimo	Máximo	Desviación Estándar
Noviembre de 2001	22	0.185	0.070	0.437	0.113
Febrero de 2002	23	0.048	< 0.032	0.119	0.022
Mayo de 2002	23	0.133	< 0.032	0.623	0.154
Julio de 2002	23	0.067	< 0.032	0.209	0.046
Octubre de 2002	18	0.091	0.034	0.157	0.035

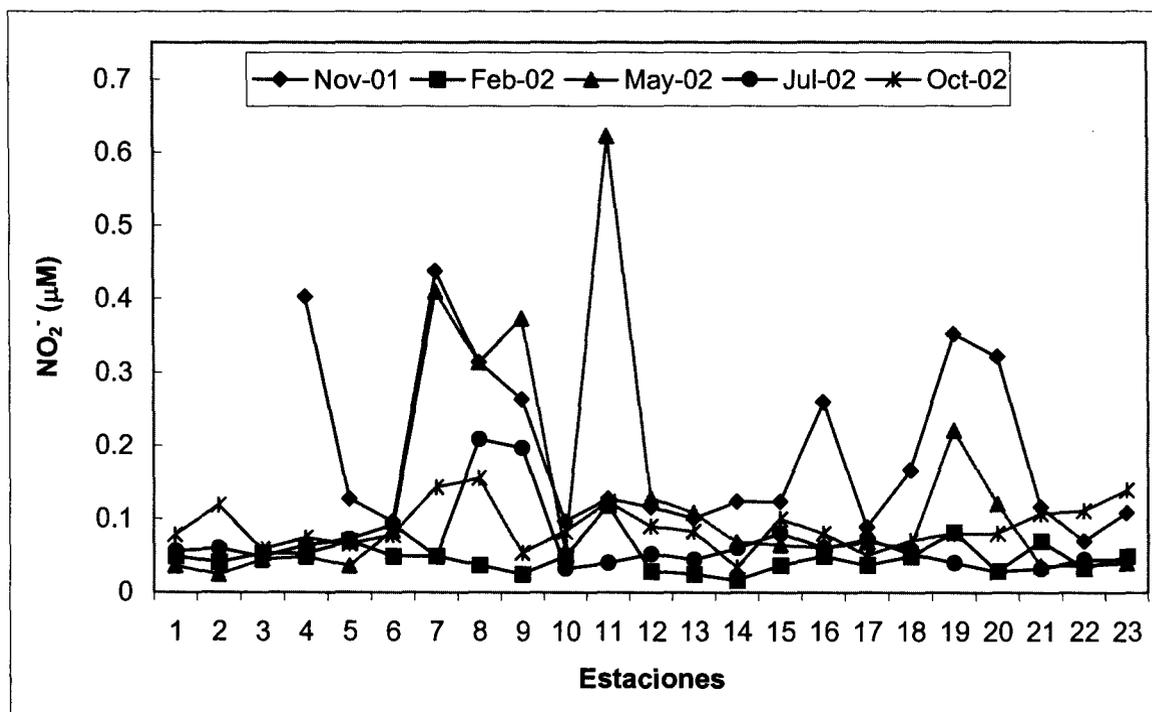


Fig. 15. Distribución espacial y temporal de los nitritos en Bahía Magdalena.

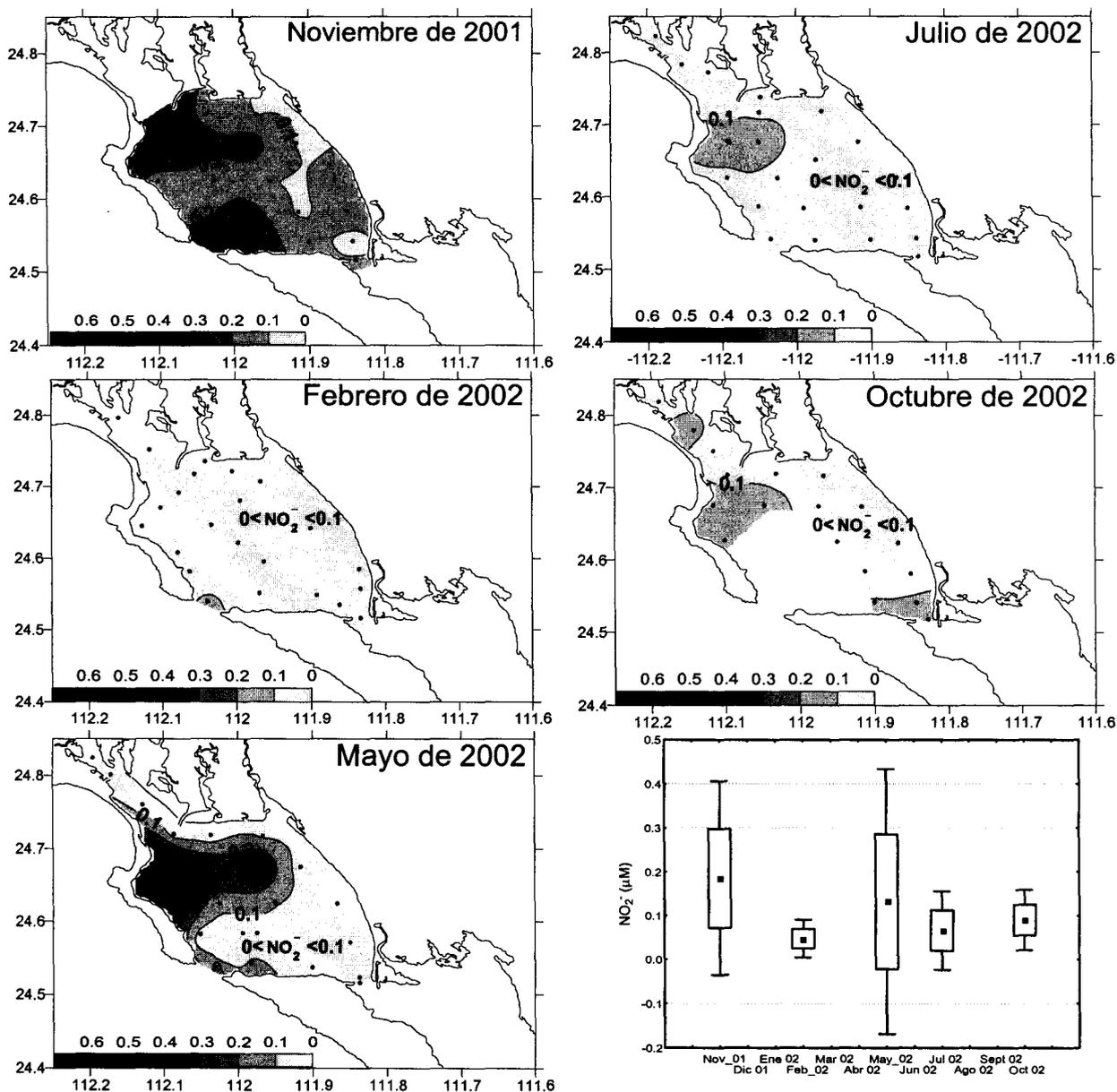


Figura 16. Distribución espacial y temporal de la concentración de nitritos ( $\mu\text{M}$ ) en noviembre de 2001, febrero, mayo, julio y octubre de 2002. La gráfica inferior derecha muestra el valor de la concentración promedio mensual, el intervalo de variación y la desviación estándar.

### 3.2.3. Fosfato

El intervalo de variación de la concentración de fosfatos osciló entre los 0.21 y 2.6  $\mu\text{M}$  (Tabla 5). Al igual que los nitratos y nitritos la tendencia hacia concentraciones bajas en los meses de julio y octubre se mantuvo; sin embargo, en febrero se observaron concentraciones tan altas como las de noviembre (Fig. 17). Las diferencias en la concentración promedio mensuales de fosfatos fueron significativas ( $p < 0.05$ ); el promedio más alto se encontró en noviembre (1.13  $\mu\text{M}$ ) y el más bajo en octubre (0.62  $\mu\text{M}$ ) (Tabla 5). En noviembre y febrero tanto los valores promedio como las variaciones de las concentraciones fueron notoriamente más altas que durante mayo, julio y octubre (Fig. 18). En noviembre los núcleos de concentraciones altas estuvieron desplazados hacia la costa Este y en febrero se encontraron en la boca del canal San Gil y en la costa Este, en la misma zona donde se presentó el núcleo de alta concentración de noviembre.

En febrero se presentó un núcleo de baja concentración hacia el centro de la laguna (Fig. 18).

En el mes de mayo los sitios de máxima concentración se ubicaron entre Punta Delgada y Punta Cove. Este sitio coincidió con los núcleos de alta concentración que presentaron los nitratos y nitritos en este mismo mes.

Desafortunadamente no fue posible obtener información de algunas estaciones en octubre; sin embargo, los datos recabados parecen reflejar un patrón de distribución espacial semejante al de julio en donde las concentraciones promedio más altas se localizaron a lo largo del canal San Carlos y en casi toda la laguna se presentaron concentraciones bajas que oscilaron entre 0.2 y 0.7  $\mu\text{M}$ . En general las concentraciones altas de fosfato se localizaron en núcleos pequeños (Fig. 18).

Tabla 5. Concentración de fosfatos en  $\mu\text{M}$ , tamaño de muestra (N), media aritmética, valores límite y desviación estándar de los valores de fosfatos correspondientes a cada uno de los meses en los que se tomaron datos.

	N	Media	Mínimo	Máximo	Desviación Estándar
Noviembre de 2001	22	1.13	0.77	2.54	0.37
Febrero de 2002	23	0.95	0.42	2.43	0.50
Mayo de 2002	23	0.63	0.30	1.77	0.36
Julio de 2002	23	0.67	0.45	1.10	0.17
Octubre de 2002	18	0.62	< 0.03	0.95	0.19

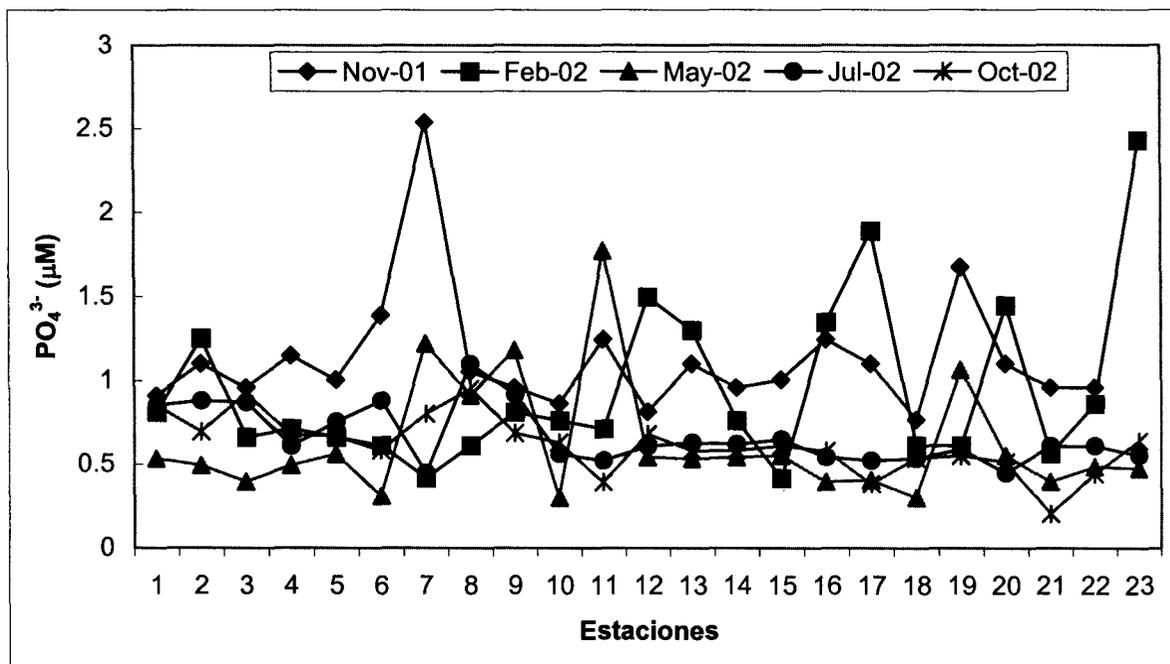


Fig. 17. Distribución espacial y temporal de los fosfatos en Bahía Magdalena.

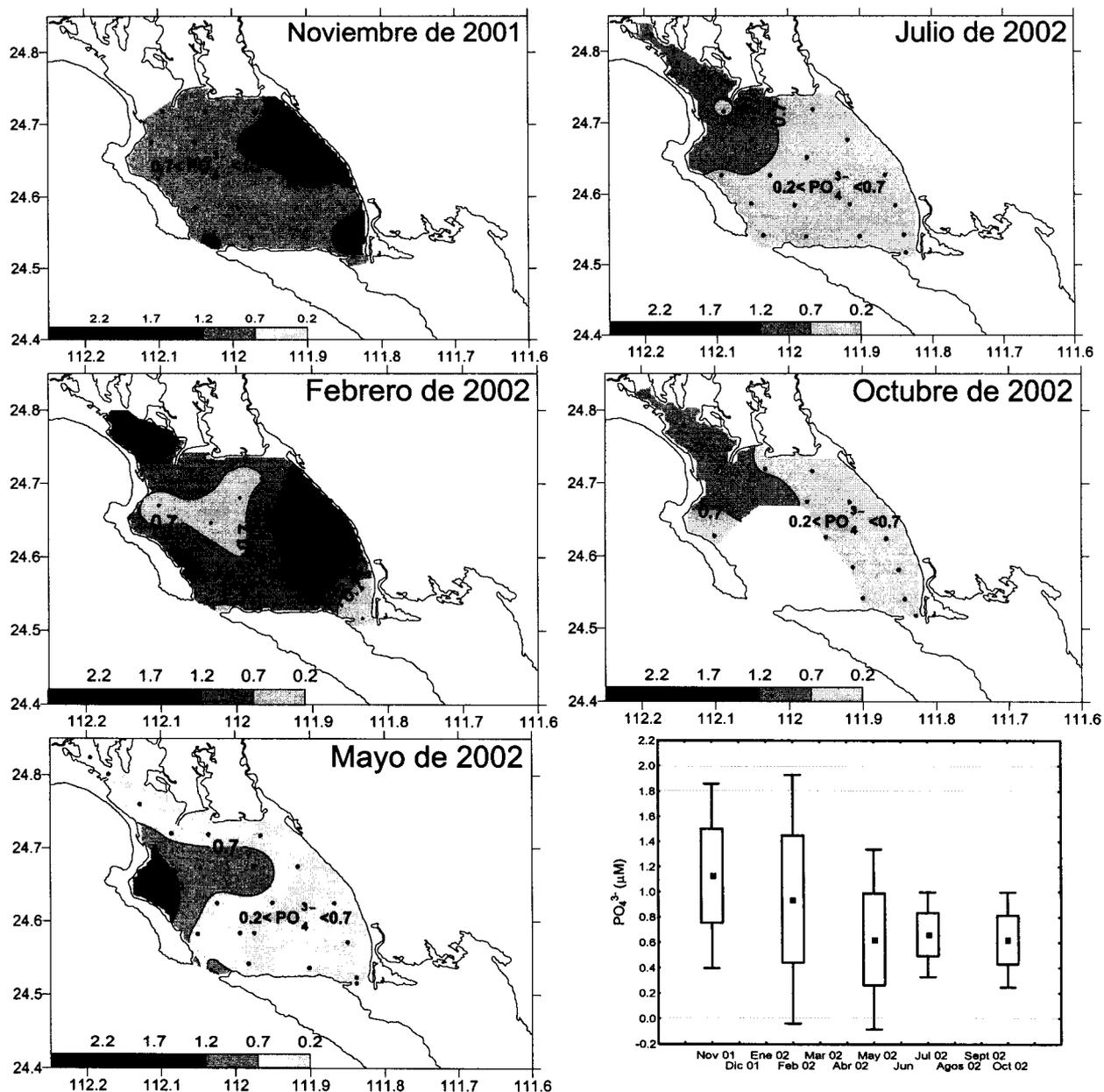


Figura 18. Distribución espacial y temporal de la concentración de fosfatos ( $\mu\text{M}$ ) en noviembre de 2001, febrero, mayo, julio y octubre de 2002. La gráfica inferior derecha muestra el valor de la concentración promedio mensual, el intervalo de variación y la desviación estándar.

### 3.2.4. Silicato

Los valores de silicato oscilaron entre  $<0.1$  y  $25.8 \mu\text{M}$  (Tabla 6). El mes de febrero presentó concentraciones bajas ( $<5.03 \mu\text{M}$ ) y poca variación entre las estaciones, en cambio en los meses de noviembre, mayo, julio y octubre se observaron concentraciones altas ( $>16 \mu\text{M}$ ) y mayor variación entre las estaciones (Fig. 19). La concentración promedio mensual presentó diferencias significativas ( $p<0.5$ ). El promedio más alto se registró en mayo ( $12.25 \mu\text{M}$ ), mientras que el más bajo ( $1.83 \mu\text{M}$ ) se registró en febrero (Tabla 6, Fig. 20). El patrón de distribución espacial a lo largo del período fue diferente en cada mes. En febrero la concentración fue casi homogénea y los valores observados fueron menores que  $4.4 \mu\text{M}$  (Fig. 19 y Fig. 20). La concentración de silicatos en mayo fue más variable que en los otros meses y se encontraron más núcleos de concentraciones altas dispersos en la laguna. Los núcleos de mayor concentración se encontraron entre Punta Delgada y Punta Cove, en las dos bocas y en la parte NE del centro de la laguna. En los meses de noviembre, mayo y octubre se presentó una tendencia en la que los valores más altos se situaron hacia la parte NW de la laguna; mientras que de manera semejante hacia la boca de Bahía Almejas en mayo y octubre. Julio presentó núcleos de alta concentración en la boca del canal San Gil y en la parte SE (Fig. 20).

Tabla 6. Concentración de silicatos en  $\mu\text{M}$ , tamaño de muestra (N), media aritmética, valores límite y desviación estándar de los valores de silicatos correspondientes a cada uno de los meses en los que se tomaron datos.

	N	Media	Mínimo	Máximo	Desviación Estándar
Noviembre de 2001	22	6.67	< 0.1	17.76	3.50
Febrero de 2002	23	1.83	< 0.1	5.03	1.08
Mayo de 2002	23	7.84	< 0.1	18.73	4.83
Julio de 2002	23	4.64	< 0.1	16.29	4.17
Octubre de 2002	18	6.82	< 0.1	25.77	5.29

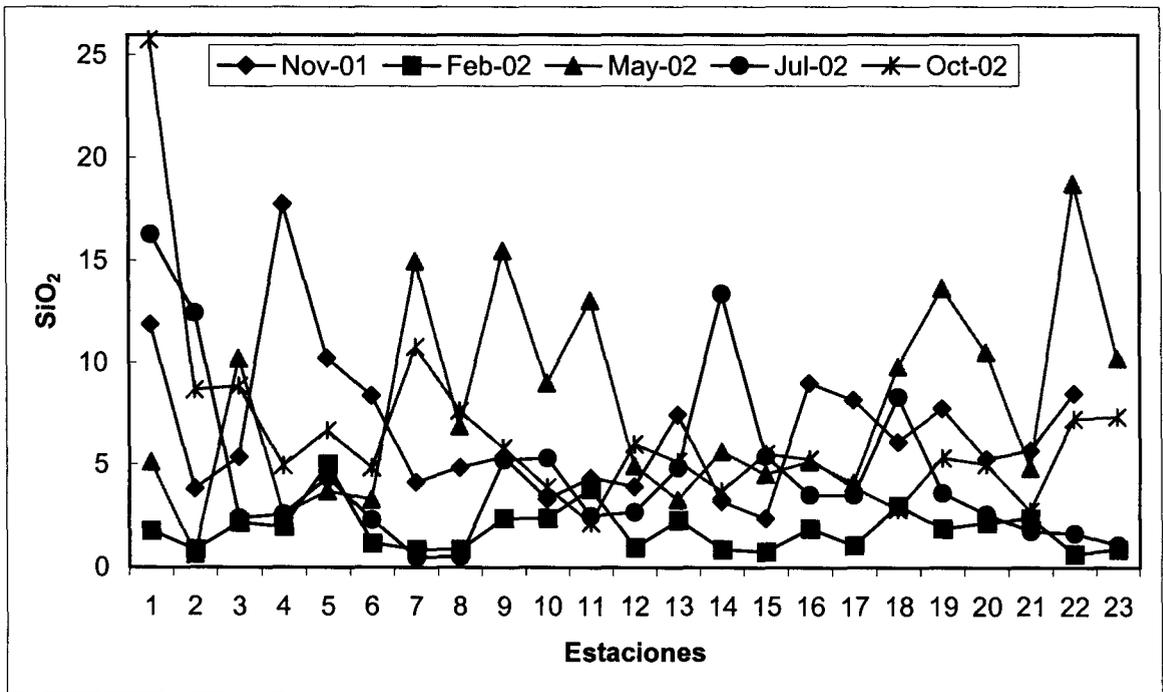


Fig. 19. Distribución espacial y temporal de los silicatos en Bahía Magdalena.

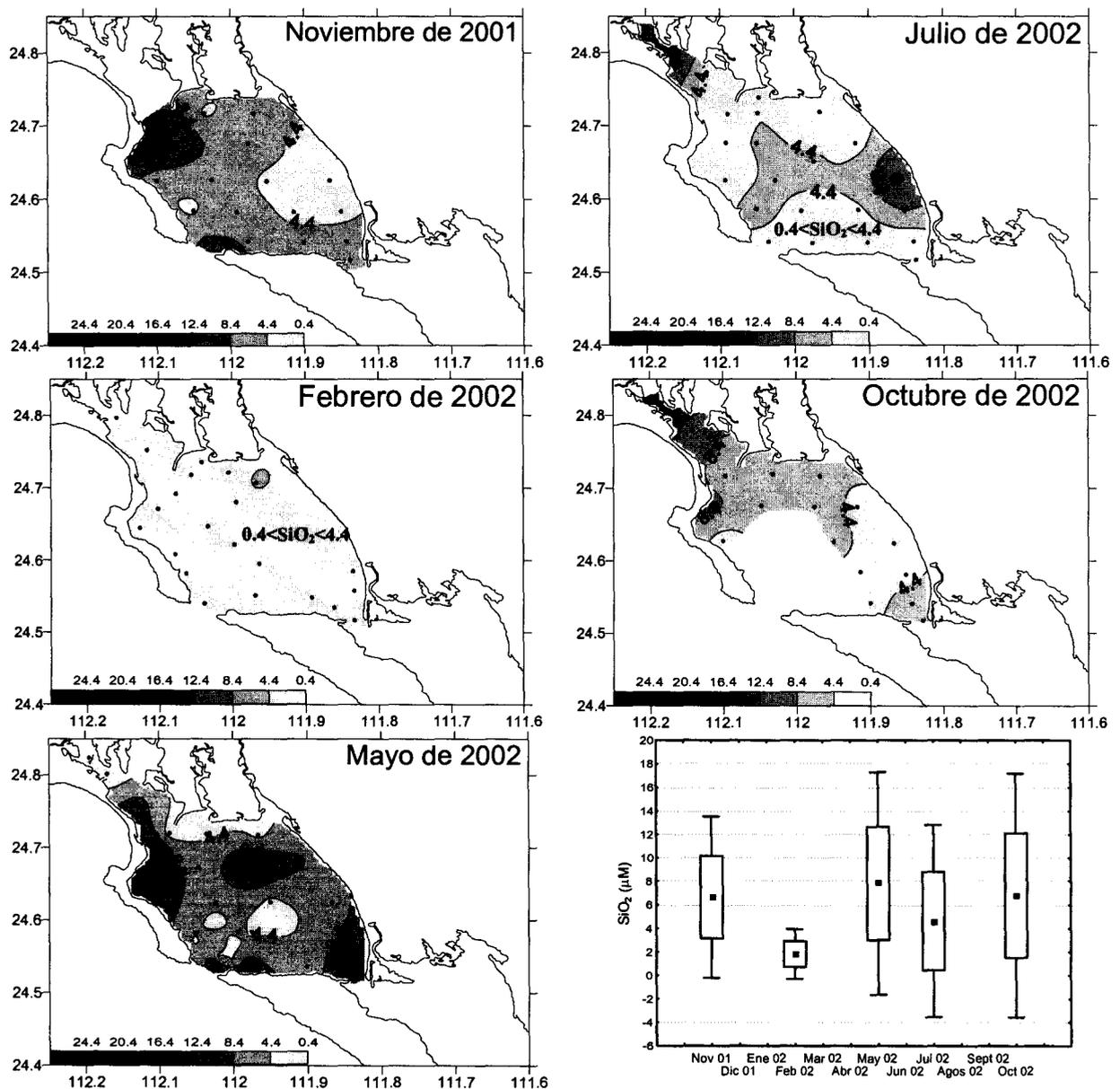


Figura 20. Distribución espacial y temporal de la concentración de silicatos ( $\mu\text{M}$ ) en noviembre de 2001, febrero, mayo, julio y octubre de 2002. La gráfica inferior derecha muestra el valor de la concentración promedio mensual, el intervalo de variación y la desviación estándar.

### 3.3. Clorofila a

✓ Los valores de clorofila a oscilaron entre 0.80 y 17.87 mg m<sup>-3</sup> (Tabla 7). Las variaciones más grandes que se registraron entre las estaciones ocurrieron en el mes de mayo (Fig. 21). La diferencia en la concentración promedio mensual fue significativa ( $p < 0.05$ ); la más baja se registró en febrero (1.40 mg m<sup>-3</sup>) y la más alta en mayo (9.17 mg m<sup>-3</sup>). En noviembre, julio y octubre se encontraron valores promedio similares y poca variación en la laguna con respecto a mayo. En febrero, las concentraciones encontradas no fueron mayores que 2.10 y las pequeñas variaciones mostraron un ambiente homogéneo. En mayo se presentó la concentración promedio más alta y a diferencia de los otros meses, se registraron grandes diferencias a través de las estaciones de muestreo. El patrón de distribución ✓ espacial de este mes se caracterizó por presentar las concentraciones más altas cerca de la boca principal con una tendencia a disminuir de manera más o menos concéntrica hacia las zonas NW y SE ( Fig. 22).

En noviembre y julio el patrón registrado se caracterizó por una ligera tendencia a presentar concentraciones altas hacia la zona NW con un gradiente que disminuyó hacia la zona de la boca de Bahía Almejas. Un patrón similar parece haber ocurrido en octubre; sin embargo, la falta de datos alrededor de la boca no nos permiten confirmarlo.

Tabla 7. Concentración de clorofila a en  $\text{mg m}^{-3}$ , tamaño de muestra (N), media aritmética, valores límite y desviación estándar de los valores de clorofila correspondientes a cada uno de los meses en los que se tomaron datos.

	N	Media	Mínimo	Máximo	Desviación Estándar
Noviembre de 2001	22	3.91	0.80	7.38	2.17
Febrero de 2002	23	1.40	0.49	2.04	0.43
Mayo de 2002	23	9.17	1.26	17.87	4.43
Julio de 2002	23	3.74	1.16	7.26	1.82
Octubre de 2002	18	4.68	2.06	7.84	1.65

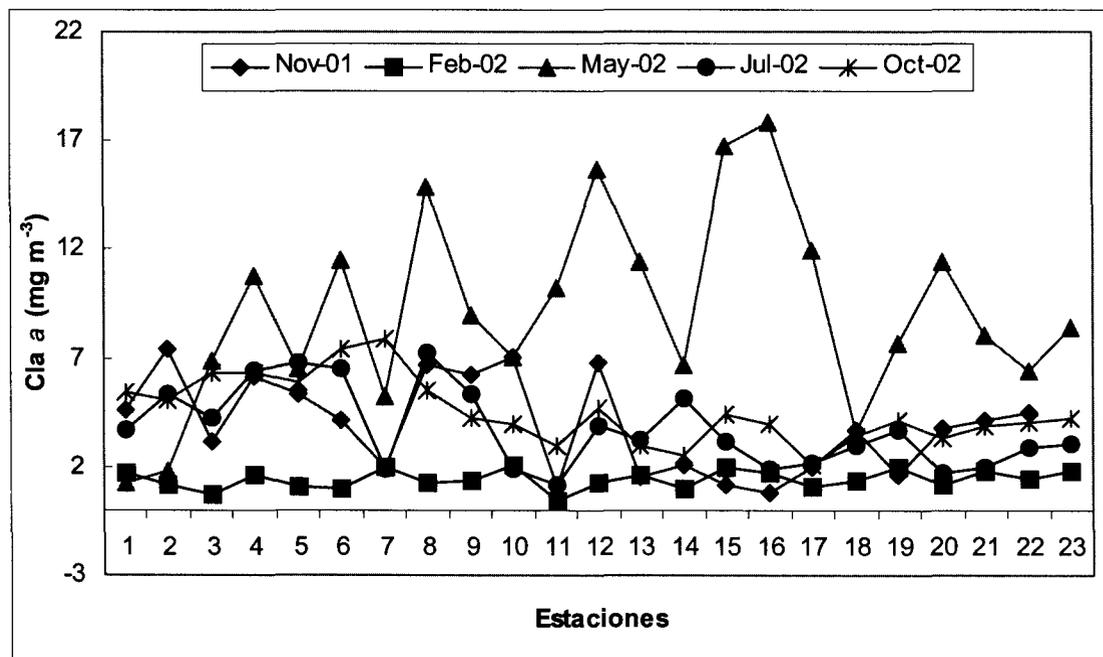


Fig. 21. Distribución espacial y temporal de los valores de clorofila a en Bahía Magdalena.

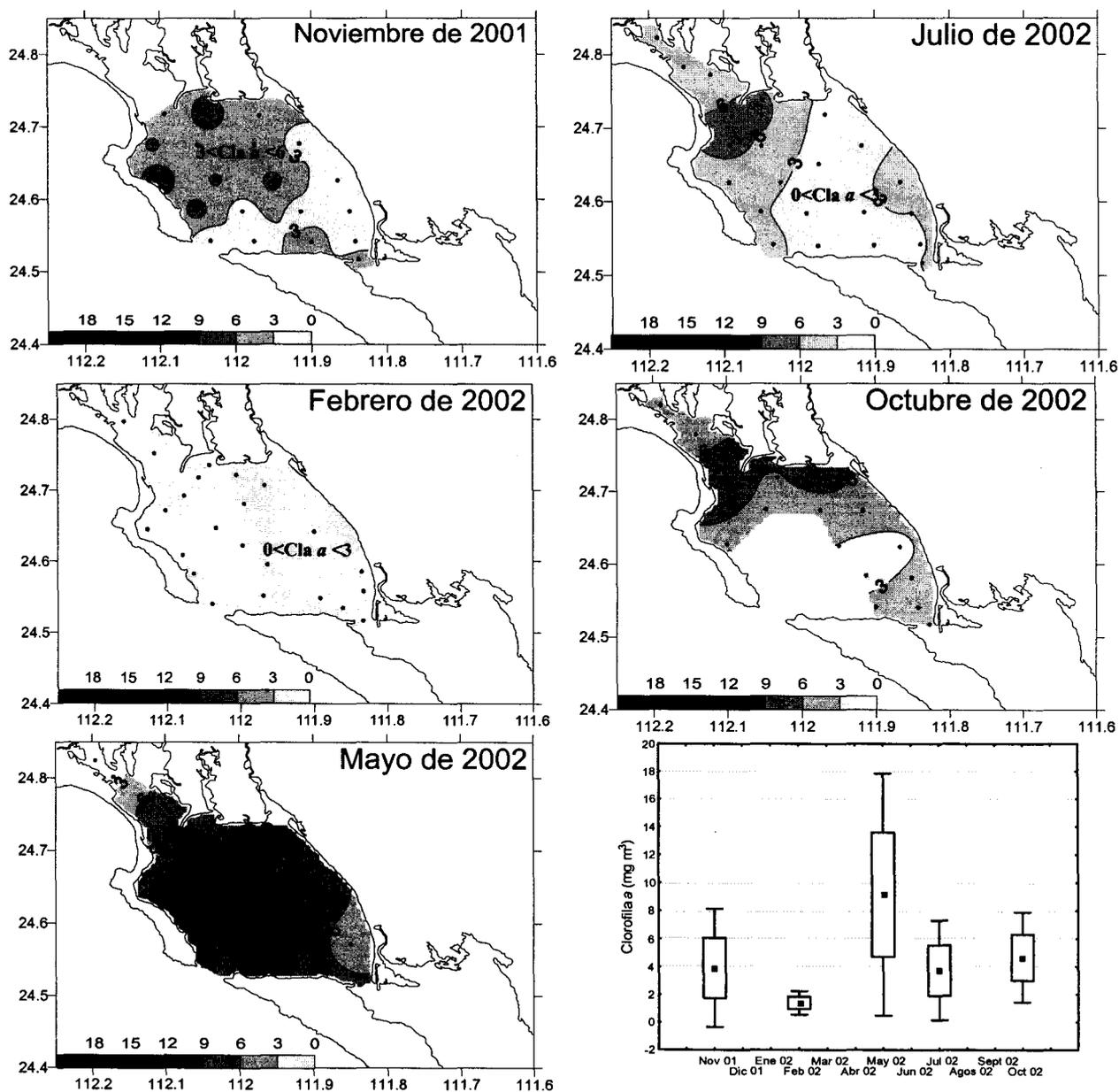


Figura 22. Distribución espacial y temporal de la clorofila a ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) en noviembre de 2001, febrero, mayo, julio y octubre de 2002. La gráfica inferior derecha muestra el valor de la concentración promedio mensual, el intervalo de variación y la desviación estándar.

### 3.4. Temperatura

La temperatura registrada en Bahía Magdalena varió de 16.8 a 25°C (Tabla 8); los valores más bajos de temperatura se encontraron en febrero y presentaron poca variación entre las estaciones de muestreo. En cambio noviembre y octubre presentaron las temperaturas más altas, aunque también poca variación entre las estaciones (Tabla 8, Fig. 23). En mayo y julio el intervalo de variación fue muy amplio registrándose temperaturas tan bajas (18 y 19° C) como las de febrero y tan altas (24° C) como las de noviembre y octubre (Fig. 23).

Los valores promedio mensuales fueron significativamente diferentes, los cuales fueron más bajos en febrero (18.2 °C) y más altos en noviembre (23.18°C) y octubre (23.51°C) (Tabla 8, Fig. 24). En general se observó un patrón de distribución espacial similar entre los meses de noviembre, mayo y julio presentando un gradiente con una tendencia a aumentar desde la boca principal hacia la costa Este, SE y hacia el NW de la laguna (Fig. 24). En febrero la distribución espacial de la temperatura mostró un gradiente que tiende a aumentar del centro de la laguna hacia el NW y SE.

A pesar de que en el mes de octubre no fue posible obtener datos en toda la bahía los registros disponibles indican que predominaron las temperaturas altas (entre 23 y 24 °C) con poca variación espacial, similar a lo ocurrido en noviembre.

Tabla 8. Valores de temperatura en °C, tamaño de muestra (N), media aritmética, valores límite y desviación estándar de los valores de la temperatura correspondientes a cada uno de los meses en los que se tomaron datos.

	N	Media	Mínimo	Máximo	Desviación Estándar
Noviembre de 2001	22	23.2	20.4	24.9	0.99
Febrero de 2002	23	18.2	17.4	19.1	0.53
Mayo de 2002	23	19.5	16.8	24.1	2.25
Julio de 2002	23	21.2	17.4	25.0	1.70
Octubre de 2002	18	23.5	23.0	24.0	0.31

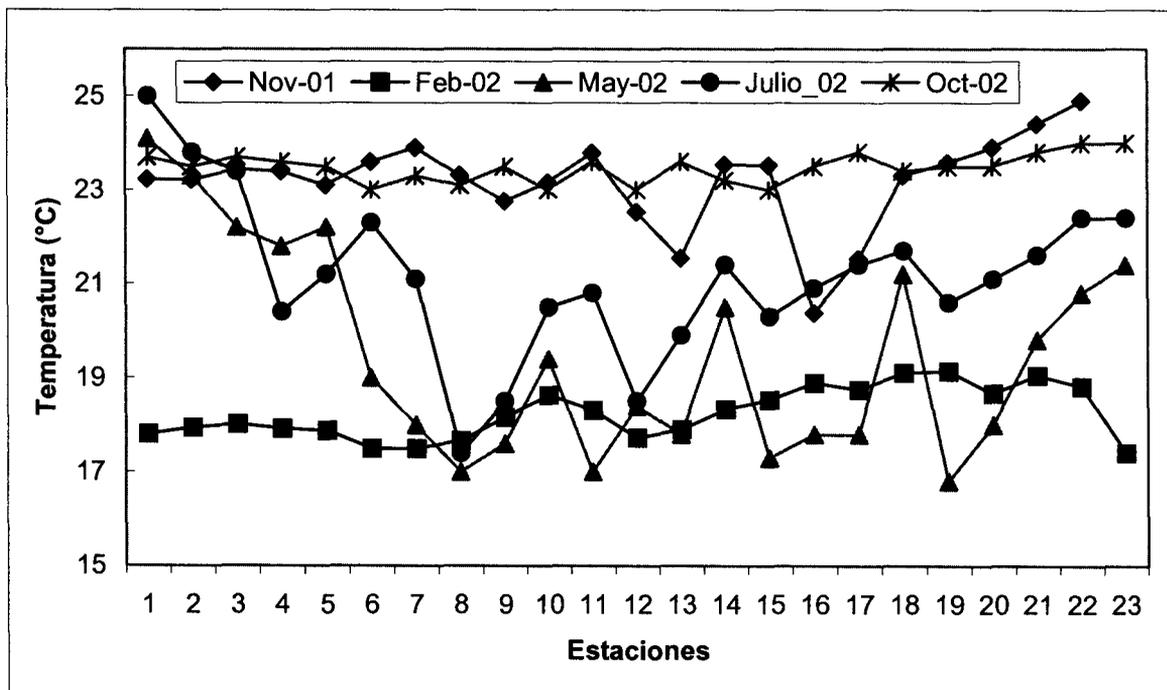


Fig. 23. Distribución espacial y temporal de los valores de temperatura en Bahía Magdalena.

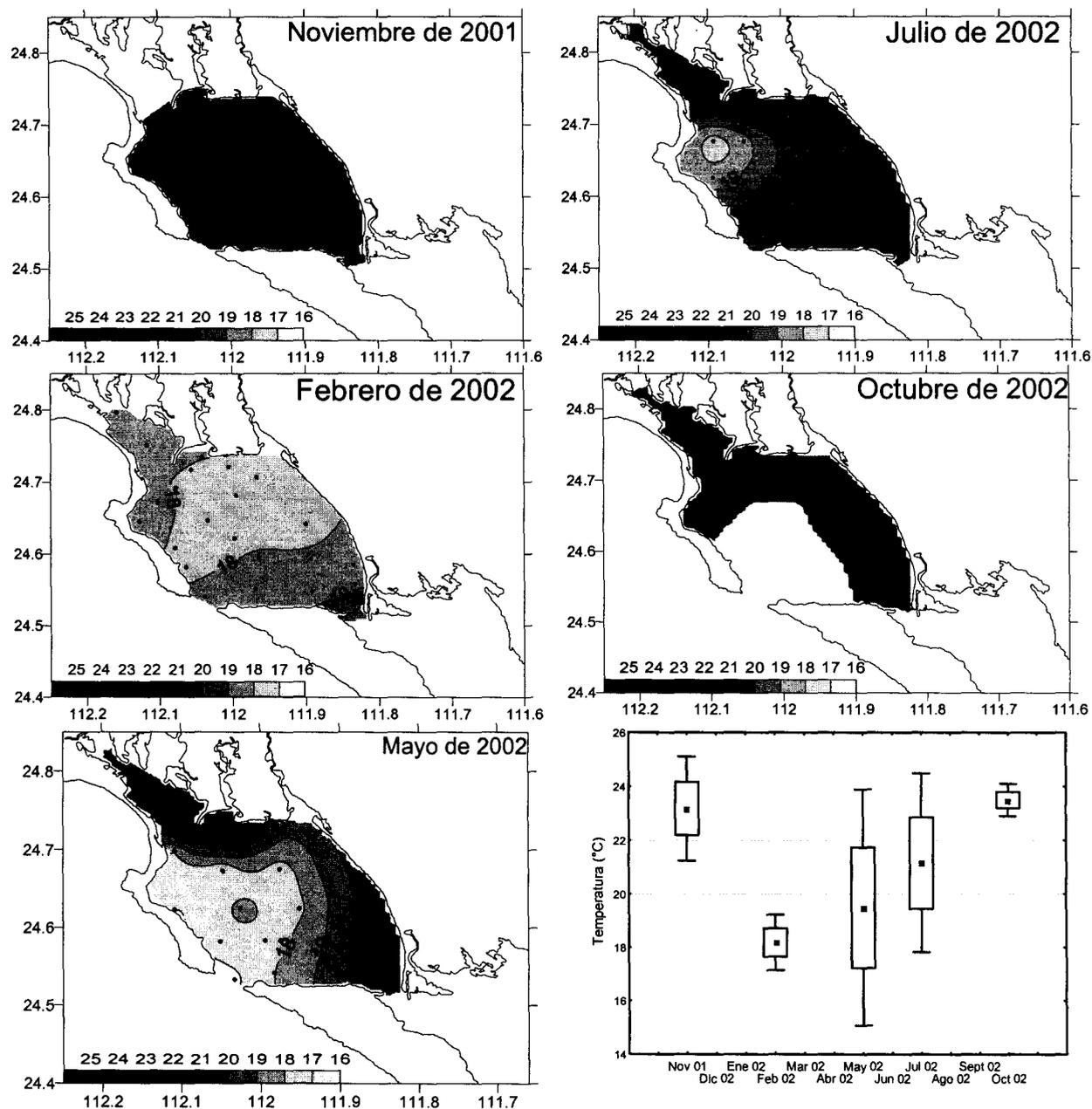


Figura 24. Distribución espacial y temporal de la temperatura (°C) en noviembre de 2001, febrero, mayo, julio y octubre de 2002. La gráfica inferior derecha muestra el valor promedio mensual, el intervalo de variación y la desviación estándar.

### 3.5. Salinidad

El valor mínimo y máximo de salinidad fueron 34.0 y 38.5 ups respectivamente (Tabla 9). La diferencia en la salinidad promedio mensual fue significativa ( $p < 0.05$ ) registrándose el promedio más bajo durante noviembre (34.6 ups) y el más alto en octubre (38.5 ups), aunque en este mes solo tres estaciones de la zona somera del canal San Carlos presentaron salinidades por arriba de 36.5 ups (Fig. 25). En todos los meses la salinidad tendió a ser mayor hacia la costa Este y hacia la boca que separa la lagunas de Bahía Magdalena y Bahía Almejas y los valores menores de salinidad se observaron en la boca principal y en gran parte del área central de la laguna.

Aún cuando en octubre no se tomaron las muestras en todas las estaciones, el patrón de distribución espacial que se aprecia es similar al de los meses de febrero y julio, en el que se observó que la salinidad es mayor hacia la zona somera de la boca del canal San Gil (Fig. 26).

Tabla 9. Tamaño de muestra (N), media aritmética, valores límite y desviación estándar de los valores de la salinidad (ups) correspondientes a cada uno de los meses en los que se tomaron datos.

	N	Media	Mínimo	Máximo	Desviación Estándar
Noviembre de 2001	16	34.60	34.33	34.94	0.20
Febrero de 2002	19	34.70	34.03	35.99	0.53
Mayo de 2002	-	-	-	-	-
Julio de 2002	20	34.89	34.60	35.32	0.17
Octubre de 2002	18	35.48	34.78	38.53	1.10

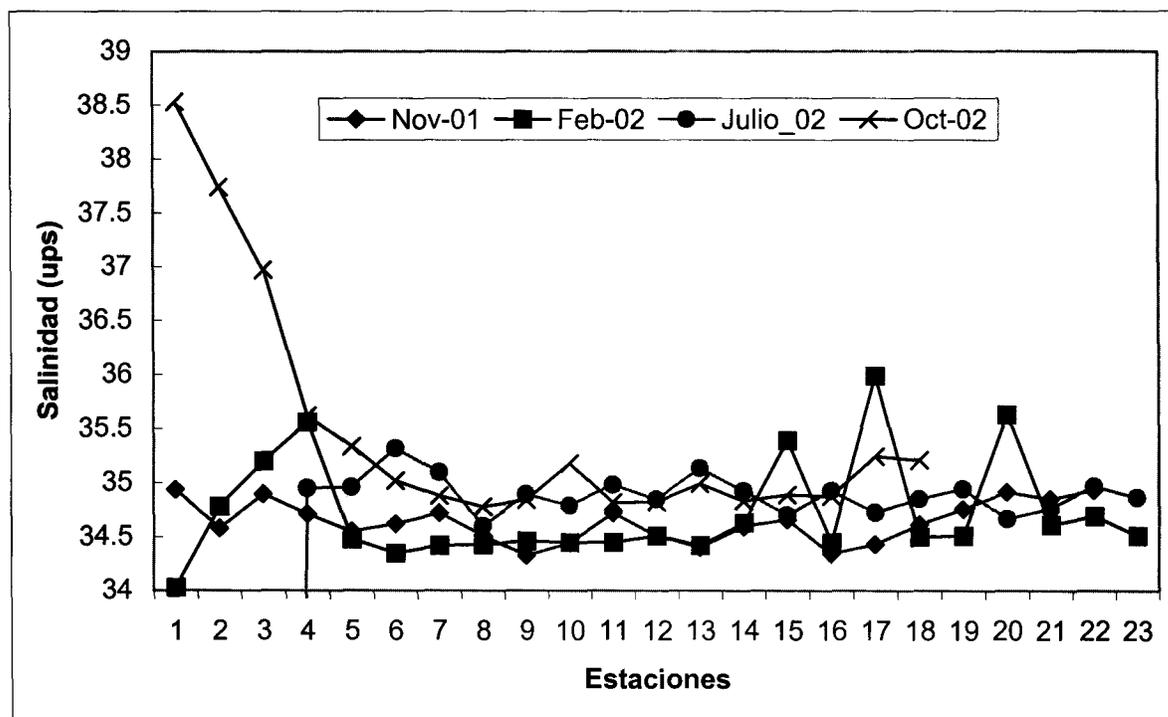


Fig. 25. Distribución espacial y temporal de los valores de salinidad en Bahía Magdalena.

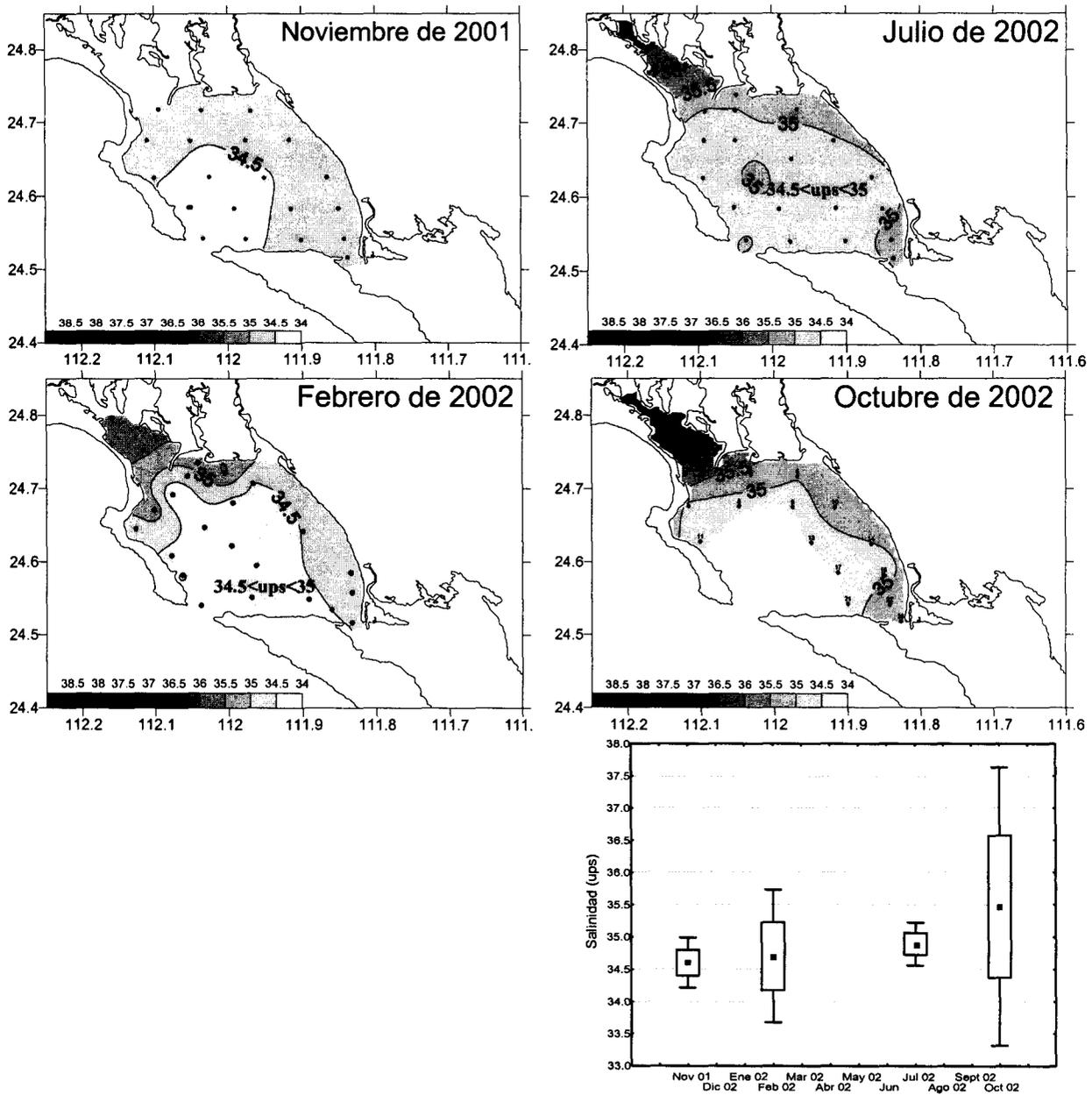


Figura 26. Distribución espacial y temporal de la salinidad (ups) en noviembre de 2001, febrero, julio y octubre de 2002. La gráfica inferior derecha muestra el valor promedio mensual, el intervalo de variación y la desviación estándar.

### 3.6. Oxígeno

Los valores máximo y mínimo de oxígeno oscilaron alrededor de 3.7 y 6.5 ml de  $O_2 l^{-1}$  respectivamente (Tabla 10), mientras que el porcentaje de saturación osciló entre 154 y 253% (Fig. 27). De acuerdo con el análisis de variancia, la concentración promedio mensual fue significativamente diferente ( $p < 0.05$ ) encontrándose el promedio más alto en mayo (5.07 ml  $l^{-1}$ ) y el más bajo en octubre (4.24 ml  $l^{-1}$ ).

Durante mayo y julio las concentraciones de oxígeno más altas tendieron a presentarse hacia punta Stearns. Los datos de oxígeno obtenidos en octubre fueron escasos (solo 10 estaciones) y básicamente correspondieron a la costa Este. Las concentraciones encontradas fueron menores y menos variables que en los otros meses.

En julio las áreas con porcentajes de saturación alto correspondieron a las mismas áreas donde se localizaron los núcleos con concentraciones altas de oxígeno. No fue posible calcular el porcentaje de saturación para el mes de mayo ya que no contamos con los datos de salinidad.

Tabla 10. Tamaño de muestra (N), media aritmética, valores límite y desviación estándar de los valores de oxígeno, correspondientes a cada uno de los meses en los que se tomaron datos.

	N	Media	Mínimo	Máximo	Desviación Estándar
Noviembre de 2001		-	-	-	-
Febrero de 2002		-	-	-	-
Mayo de 2002	17	5.07	4.49	6.49	0.50
Julio de 2002	23	4.85	3.65	6.16	0.67
Octubre de 2002	10	4.24	3.97	4.52	0.16

Tabla 11. Tamaño de muestra (N), media aritmética, valores límite y desviación estándar del porcentaje de saturación de oxígeno, correspondientes a cada uno de los meses en los que se tomaron datos.

	N	Media	Mínimo	Máximo	Desviación Estándar
Noviembre de 2001		-	-	-	-
Febrero de 2002		-	-	-	-
Mayo de 2002	-	-	-	-	-
Julio de 2002	23	190.91	154.06	243.06	25.35
Octubre de 2002	10	174.29	164.50	184.85	5.76

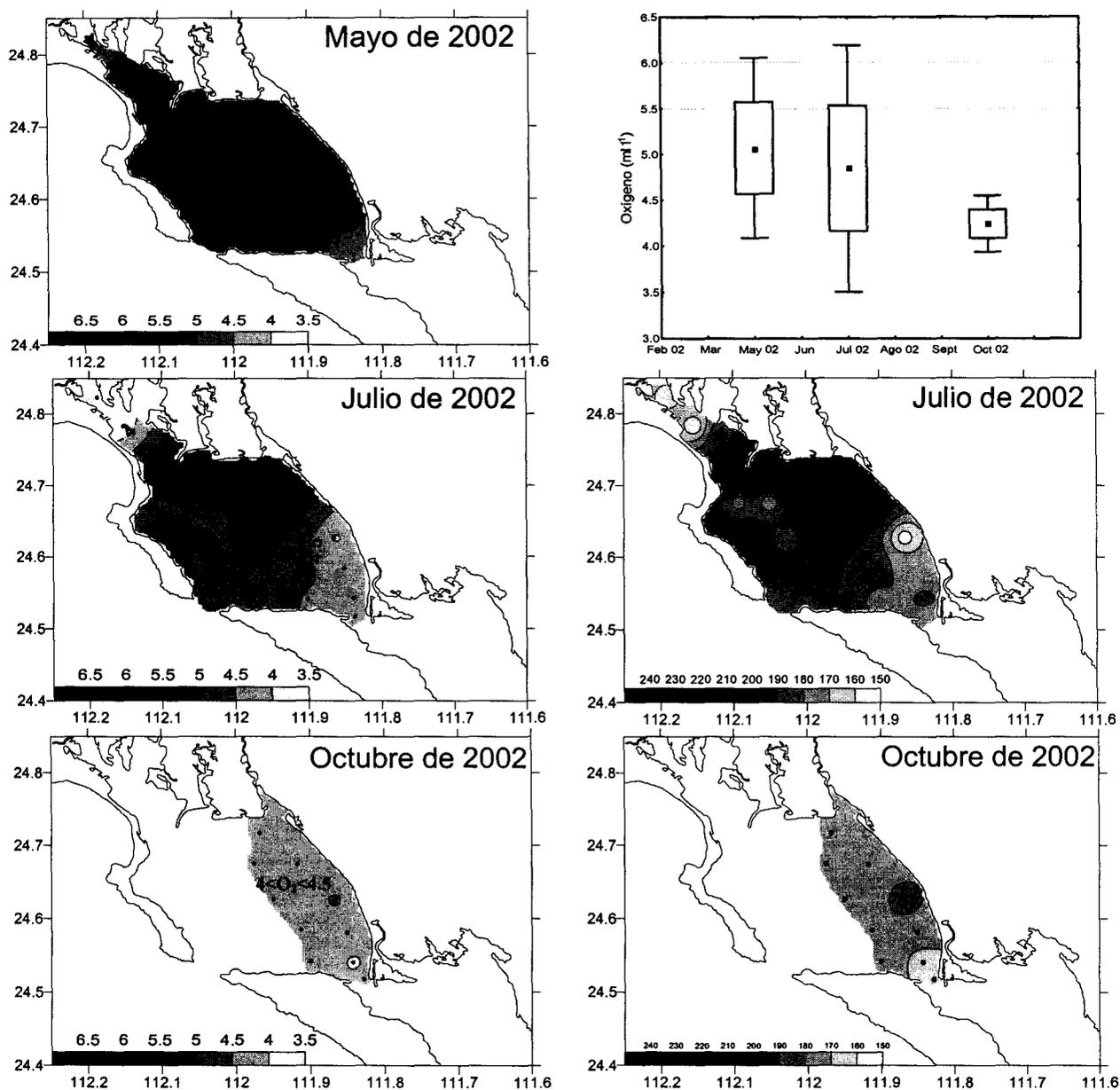


Figura 27. Distribución espacial y temporal de los valores de oxígeno disuelto ( $\text{ml l}^{-1}$ ) (mapas de la izquierda) durante las campañas de los meses de mayo, julio y octubre y porcentaje de saturación de oxígeno (gráficas de la derecha) durante los meses de julio y octubre. La gráfica superior derecha muestra el valor de la concentración promedio mensual, el intervalo de variación y la desviación estándar de los valores de oxígeno.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO  
 CIENCIAS MARINAS  
 BIBLIOTECA  
 I.P.N.  
 DONATIVO

### 3.7. pH

El pH se midió en los meses de mayo, julio y octubre. A lo largo de ese periodo los valores oscilaron entre 7.70 y 8.53; el valor más bajo correspondió al mes de mayo y el más alto al mes de julio (Tabla 12, Fig. 28). Las diferencias en el promedio mensual de pH fueron significativas. El promedio más alto se encontró durante mayo y el más bajo en julio. En estos meses la distribución espacial de los valores fue heterogénea (Fig. 29). El patrón de distribución espacial del pH en el mes de mayo se caracterizó por presentar los valores de pH más bajos en la costa oeste y los más altos (8.3), alrededor de punta Stearns, en la boca del estero San Buto y sobre la costa de la isla Margarita. En Julio se presentaron valores más altos hacia el norte y hacia el sur; los valores disminuyeron en una franja ubicada en la parte central que atraviesa la bahía de este a oeste.

En octubre los valores de pH a lo largo de la zona muestreada fueron similares (oscilaron entre 8.15 y 8.3).

Tabla 12. Tamaño de muestra (N), media aritmética, valores límite y desviación estándar de los valores de pH correspondientes a cada uno de los meses en los que se tomaron datos.

	N	Media	Mínimo	Máximo	Desviación Estándar
Noviembre de 2001	22	-	-	-	-
Febrero de 2002	23	-	-	-	-
Mayo de 2002	23	8.06	7.70	8.31	0.16
Julio de 2002	23	8.31	8.01	8.53	0.15
Octubre de 2002	18	8.22	8.01	8.35	0.087

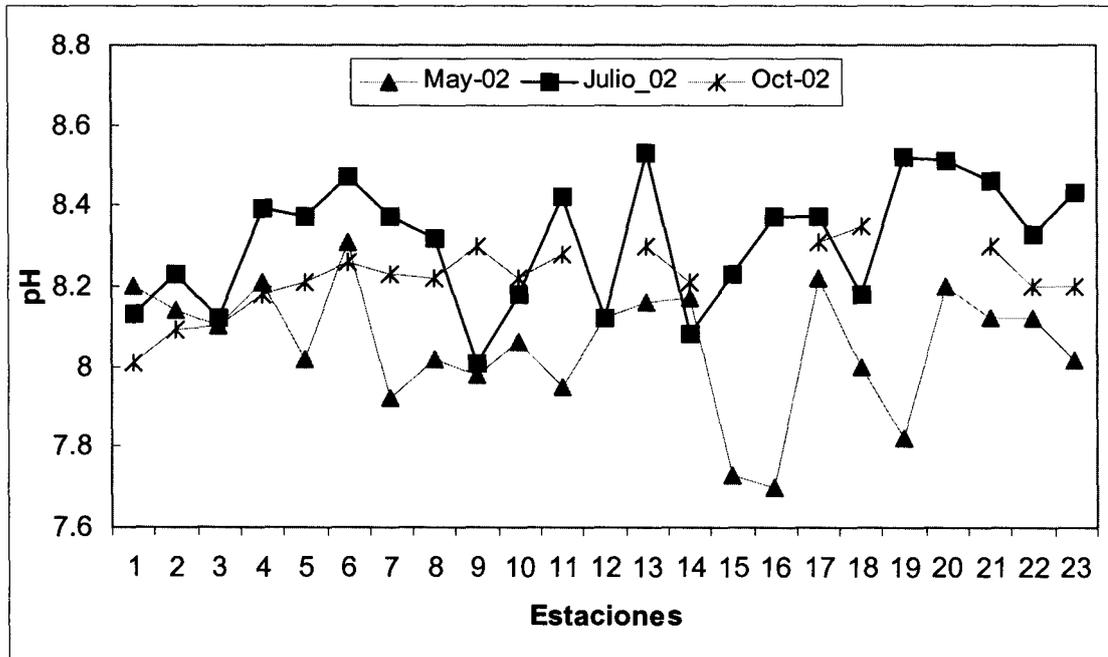


Fig. 28. Distribución espacial y temporal de los valores de pH en Bahía Magdalena.

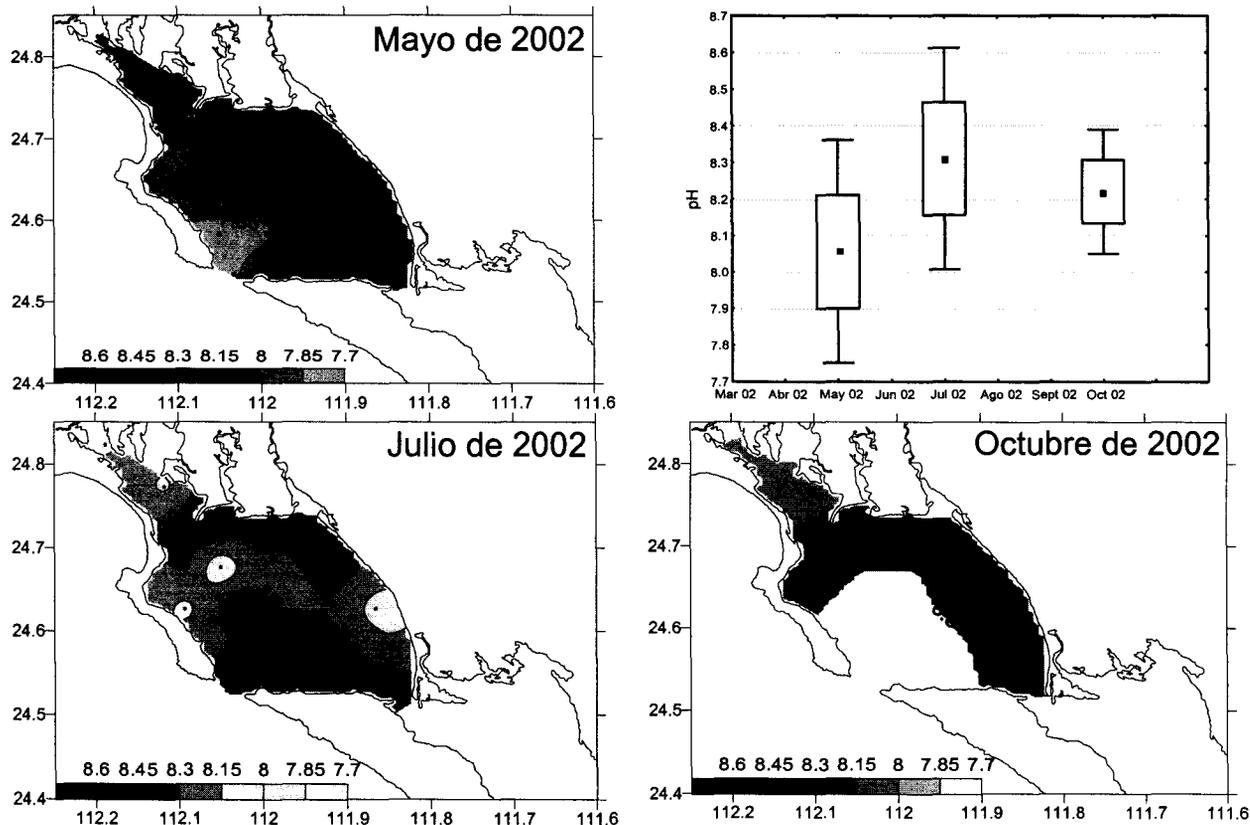


Figura 29. Distribución espacial y temporal de los valores de pH durante las campañas realizadas en Bahía Magdalena en mayo, julio y octubre de 2002. La gráfica superior derecha muestra el valor promedio mensual, el intervalo de variación y la desviación estándar.

### 3.8. Transparencia

El intervalo de la profundidad a la que desapareció el disco de Secchi osciló entre 4 m y 16 m. Los valores promedio mensuales fueron diferentes ( $p < 0.05$ ); los más bajos (4 m) se presentaron en mayo, mientras que los más altos (8 m) en febrero (Tabla 13).

En todos los meses la distribución espacial de los valores de la transparencia mostró un patrón similar que se caracterizó por presentar una mayor transparencia hacia la boca principal y una menor hacia la costa Este (Fig. 30 y 31). En noviembre y febrero la distribución espacial fue similar y se caracterizó porque fue disminuyendo de manera más o menos concéntrica desde la boca hacia la costa Este.

Los datos disponibles para octubre mostraron un patrón en el que los valores de la transparencia son menores hacia la costa Este y parecen indicar que también serían mayores en la boca principal de la laguna.

Tabla 13. Tamaño de muestra (N), media aritmética, valores límite y desviación estándar de los valores de la transparencia correspondientes a cada uno de los meses en los que se tomaron datos.

	N	Media	Mínimo	Máximo	Desviación Estándar
Noviembre de 2001	22	6.2	3.0	15.0	2.6
Febrero de 2002	23	8.0	4.0	16.0	2.7
Mayo de 2002	23	4.1	2.5	7.0	1.2
Julio de 2002	23	4.9	2.0	7.0	1.4
Octubre de 2002	18	5.2	2.0	9.0	2.2

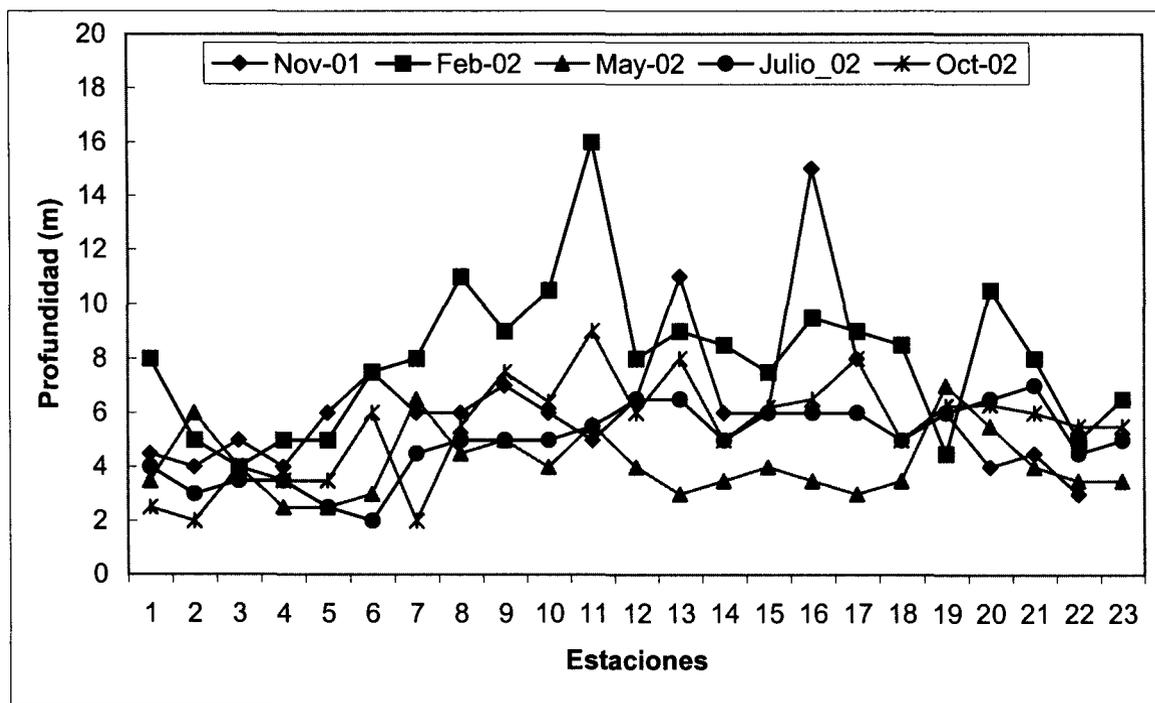


Fig. 30. Distribución espacial y temporal de los valores de la transparencia en Bahía Magdalena.

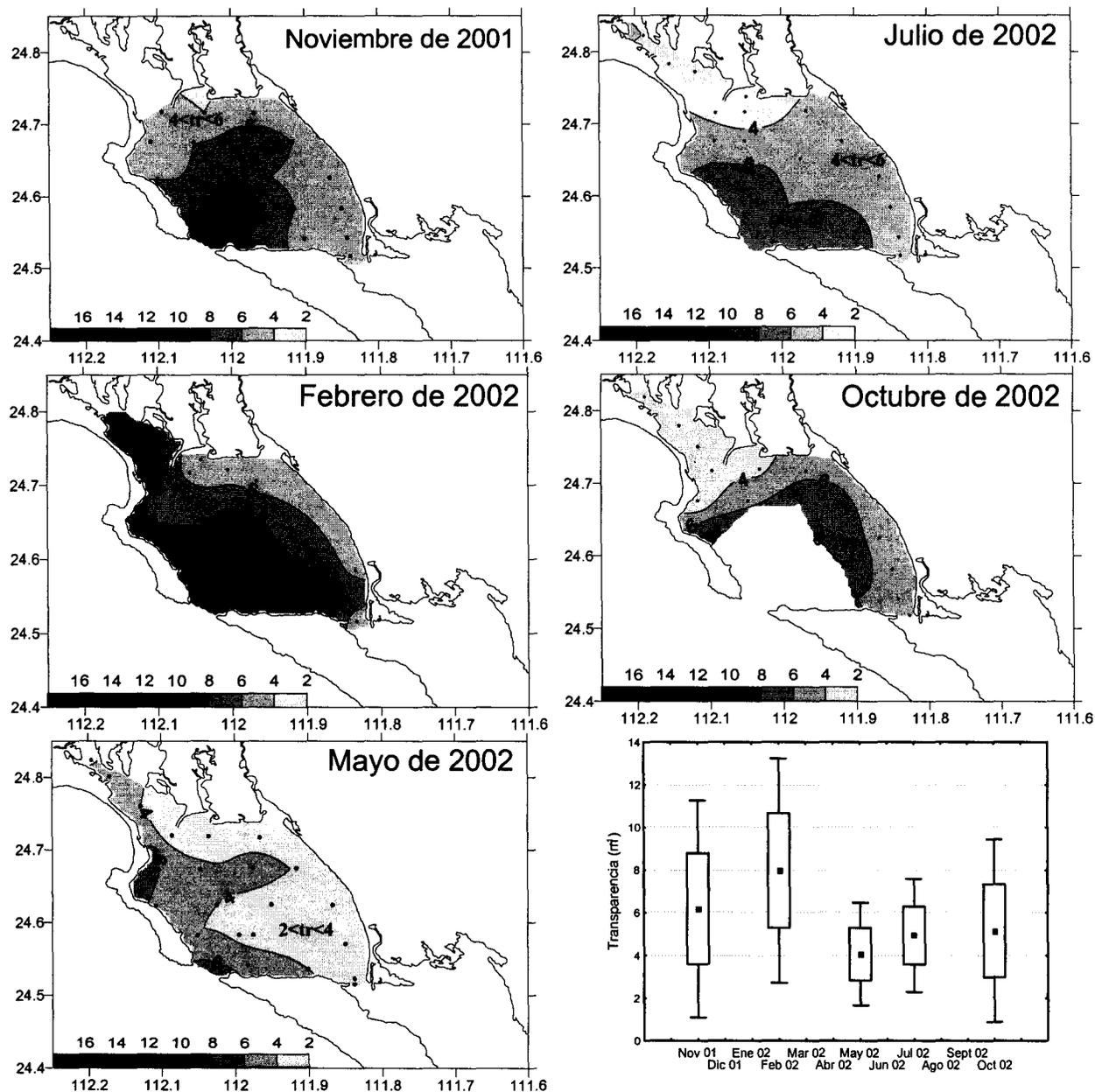


Figura 31. Distribución espacial y temporal de los valores de la transparencia ( $tr$ ) durante las campañas realizadas en Bahía Magdalena en noviembre de 2001, febrero, mayo, julio y octubre de 2002. La gráfica inferior derecha muestra el valor promedio mensual, el intervalo de variación y la desviación estándar.

### 3.9. Patrones de distribución espacial

Se hizo un análisis de factores para revisar la influencia simultánea de las variables en el cuerpo lagunar de Bahía Magdalena, con el fin de resumir los patrones de distribución espacial y distinguir las variables más importantes en la formación de estos patrones.

#### Noviembre

En noviembre los dos primeros factores explicaron el 61% de la varianza total. Las variables más correlacionadas con el componente 1 fueron: la profundidad, la temperatura y la transparencia, mientras que con el componente 2 fueron los nitritos, nitratos y el silicato (Tabla 14).

La distribución de las coordenadas generadas a partir del componente 1 (Fig. 32), indica que los valores mayores se presentaron en la boca principal, donde se encuentran la zona más profunda, más transparente (6 m) y las temperaturas más bajas (20 °C) que en el resto de la laguna. El gradiente de la temperatura mostró que ésta aumentó a medida que fue disminuyendo la profundidad con la cercanía a la costa, mientras que la transparencia disminuyó hasta alcanzar alrededor de los 3 m.

Con base en las coordenadas generadas a partir del componente 2 (Tabla 14) se identificaron sitios con mayor concentración de nitratos, pero bajos en nitritos y silicatos, los cuales se ubicaron en la costa Este de la isla Magdalena, desde San Buto hasta el estero El Chisguete y en un área formada desde el centro de la laguna hasta la costa de la isla Margarita. En cambio, en la parte NW y cerca de la boca principal el nitrito y el silicato mantuvieron concentraciones relativamente altas, pero concentraciones de nitratos bajas (Fig. 32).

Tabla 14. Coeficientes de los factores principales.  
Los valores en negritas indican las variables con mayor peso en cada factor.

	NOVIEMBRE	
	Factor 1	Factor 2
$\text{NO}_2^-$	0.419491	<b>-0.788006</b>
$\text{NO}_3^-$	0.121297	<b>0.806540</b>
$\text{PO}_4^{3-}$	-0.083813	-0.243508
$\text{SiO}_2$	0.115157	<b>-0.857715</b>
Cla a	-0.241399	0.220384
Temperatura	<b>-0.957300</b>	0.023156
Transparencia	<b>0.931490</b>	-0.046313
Profundidad	<b>0.829456</b>	0.143139
% variación	35.91097	25.08290
Variación Total		60.99387

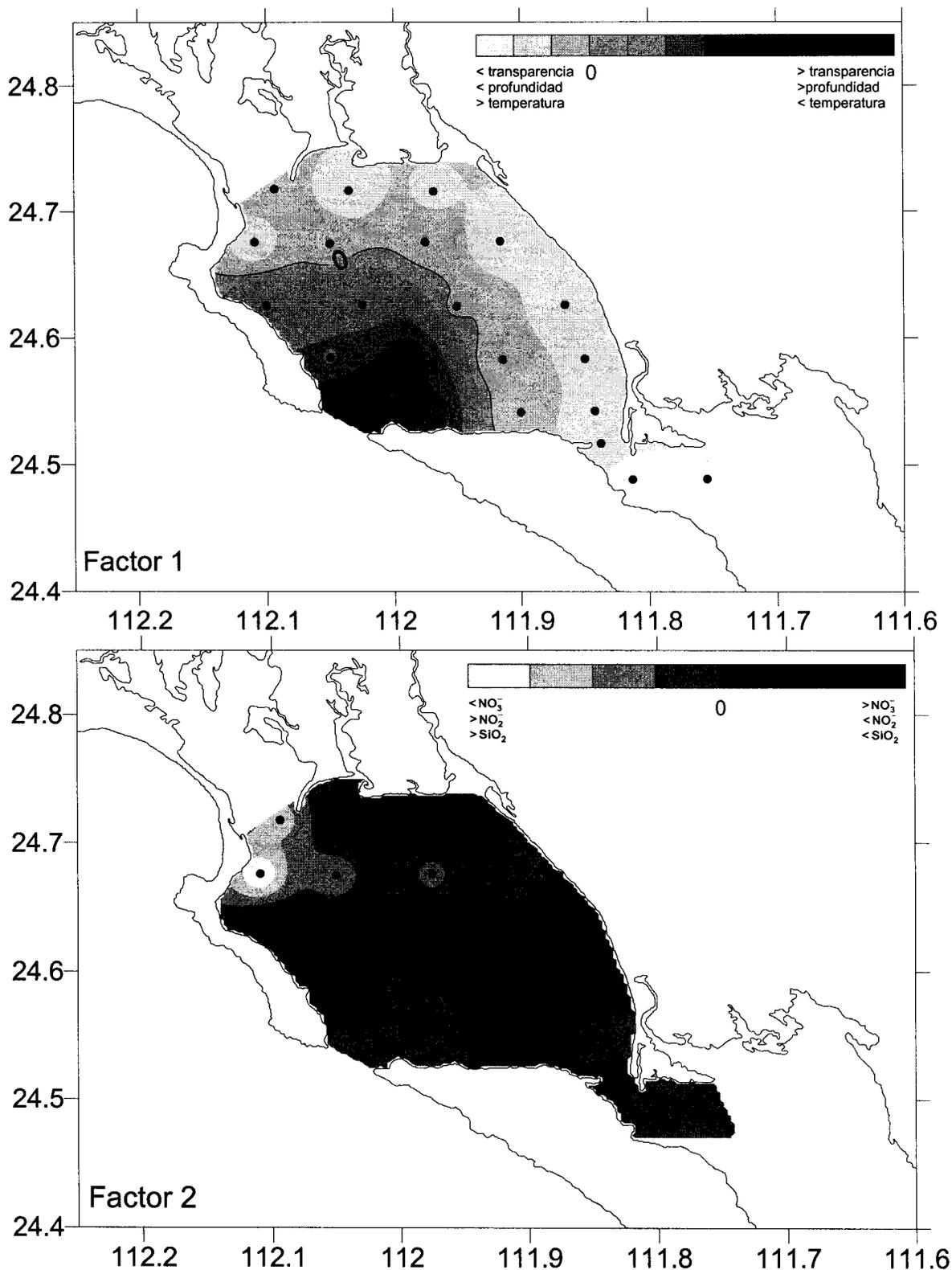


Fig. 32. Coordenadas de los factores 1 y 2 del mes de noviembre. El factor 1 esta correlacionado positivamente con la transparencia y la profundidad, pero negativamente con la temperatura. El factor 2 esta positivamente correlacionado con el nitrato, pero negativamente con el nitrito y el silicato.

## Febrero

En el mes de febrero el porcentaje de variancia explicada por los dos primeros componentes fue de 54%; el primero explicó el 34% y el segundo el 20% (Tabla 15). Las variables más correlacionadas con el factor 1 fueron: nitritos, nitratos y silicatos, mientras que con el componente 2 fueron la profundidad y la transparencia.

Los valores más altos de las coordenadas generadas a partir del factor 1 se distribuyeron en la boca del estero el Chisguete y en la boca principal de la laguna y con base en los valores mostrados en la tabla 15, en estos sitios se presentaron concentraciones más altas de nitritos, nitratos y silicatos.

La distribución de las coordenadas producidas por el factor 2 mostró valores altos en la boca principal de la laguna que estuvieron asociados con una mayor profundidad y transparencia del agua (Fig. 33).

Tabla 15. Coeficientes de los factores principales. Los valores en negritas indican las variables con mayor peso en cada factor.

FEBRERO		
	Factor 1	Factor 2
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	<b>0.807956</b>	0.170789
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<b>0.929365</b>	0.019559
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	-0.497337	0.214054
SiO <sub>2</sub>	<b>0.826109</b>	0.182889
Cl <sub>a</sub>	-0.388855	-0.211541
Temperatura	0.118675	0.158624
Transparencia	0.081976	<b>0.884888</b>
Profundidad	-0.063717	<b>0.869639</b>
% variación	34.04489	20.21032
Variación Total		54.25521

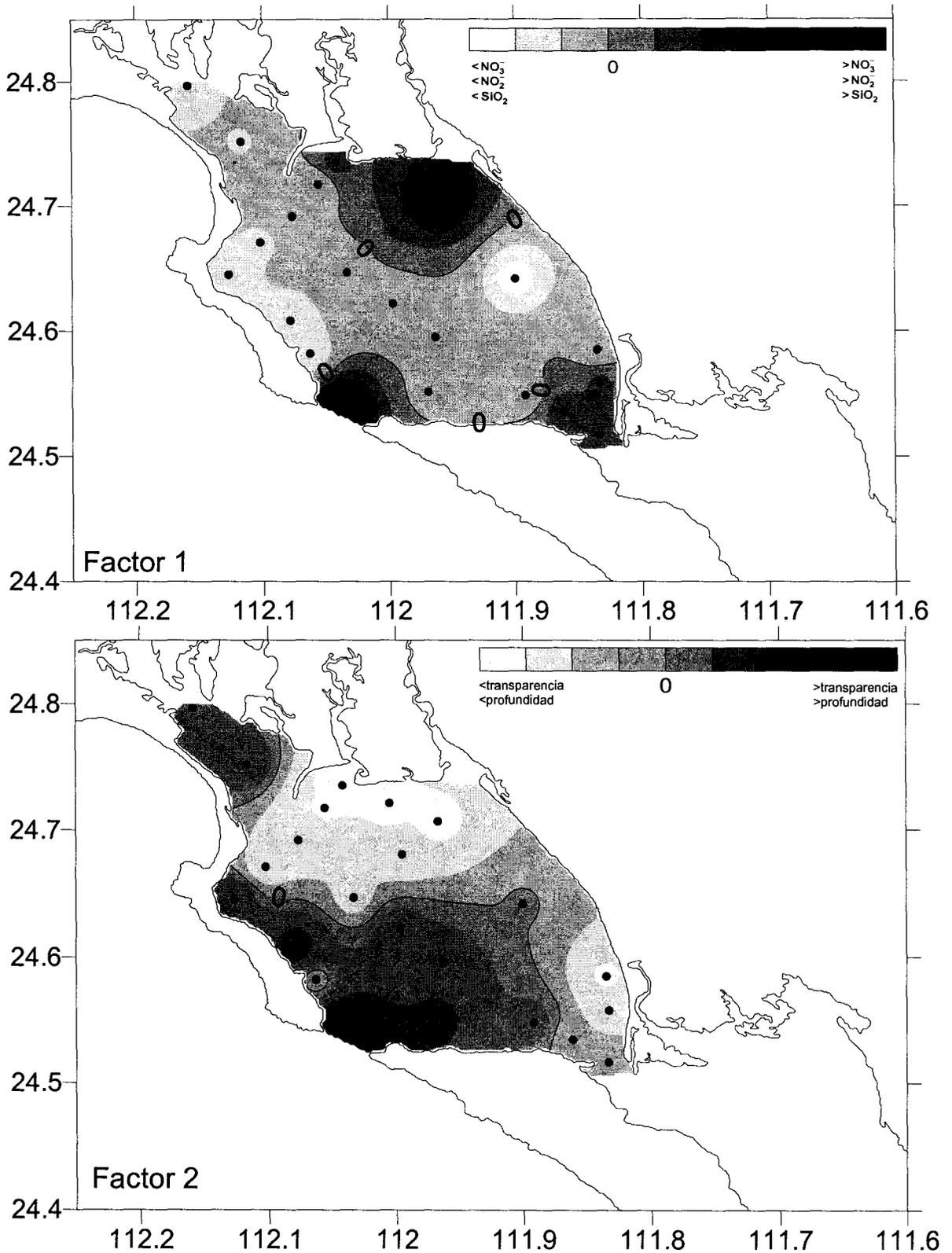


Fig. 33. Coordenadas de los factores 1 y 2 del mes de febrero. El factor 1 esta correlacionado positivamente con el nitrito, nitrato y silicatos. El factor 2 está correlacionado positivamente con la transparencia y la profundidad.

**Mayo**

En el mes de mayo el factor 1 estuvo correlacionado con los nitritos, los nitratos los fosfatos y los silicatos y el factor 2 presentó una correlación positiva con la clorofila *a* y la profundidad, pero negativa con la temperatura (Tabla 16). De acuerdo con lo anterior el patrón de distribución generado a partir del componente 1 refleja una alta concentración de nitritos, nitratos, fosfatos y silicatos ubicada entre Punta Delgada y Punta Cove. Por otro lado la distribución de los coordenadas del componente 2 mostraron que en mayo los valores de la clorofila *a* fueron altos en la boca principal, que es la parte más profunda y en donde a la vez predominaron las aguas más frías. El núcleo de este patrón de distribución disminuyó de manera concéntrica hacia las zonas someras y cálidas del canal San Carlos y hacia la boca de Bahía Almejas (Fig. 34).

Tabla 16. Coeficientes de los factores principales. . Los valores en negritas indican las variables con mayor peso en cada factor.

	MAYO	
	Factor 1	Factor 2
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	<b>0.960371</b>	0.122261
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<b>0.956810</b>	0.010960
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	<b>0.943193</b>	0.088021
SiO <sub>2</sub>	<b>0.773594</b>	-0.269021
Cla <i>a</i>	-0.125935	<b>0.846113</b>
Temperatura	-0.093896	<b>-0.935546</b>
Transparencia	0.280093	0.469302
Profundidad	-0.173520	<b>0.780451</b>
% variación	43.24393	31.44087
Variación Total		74.68480

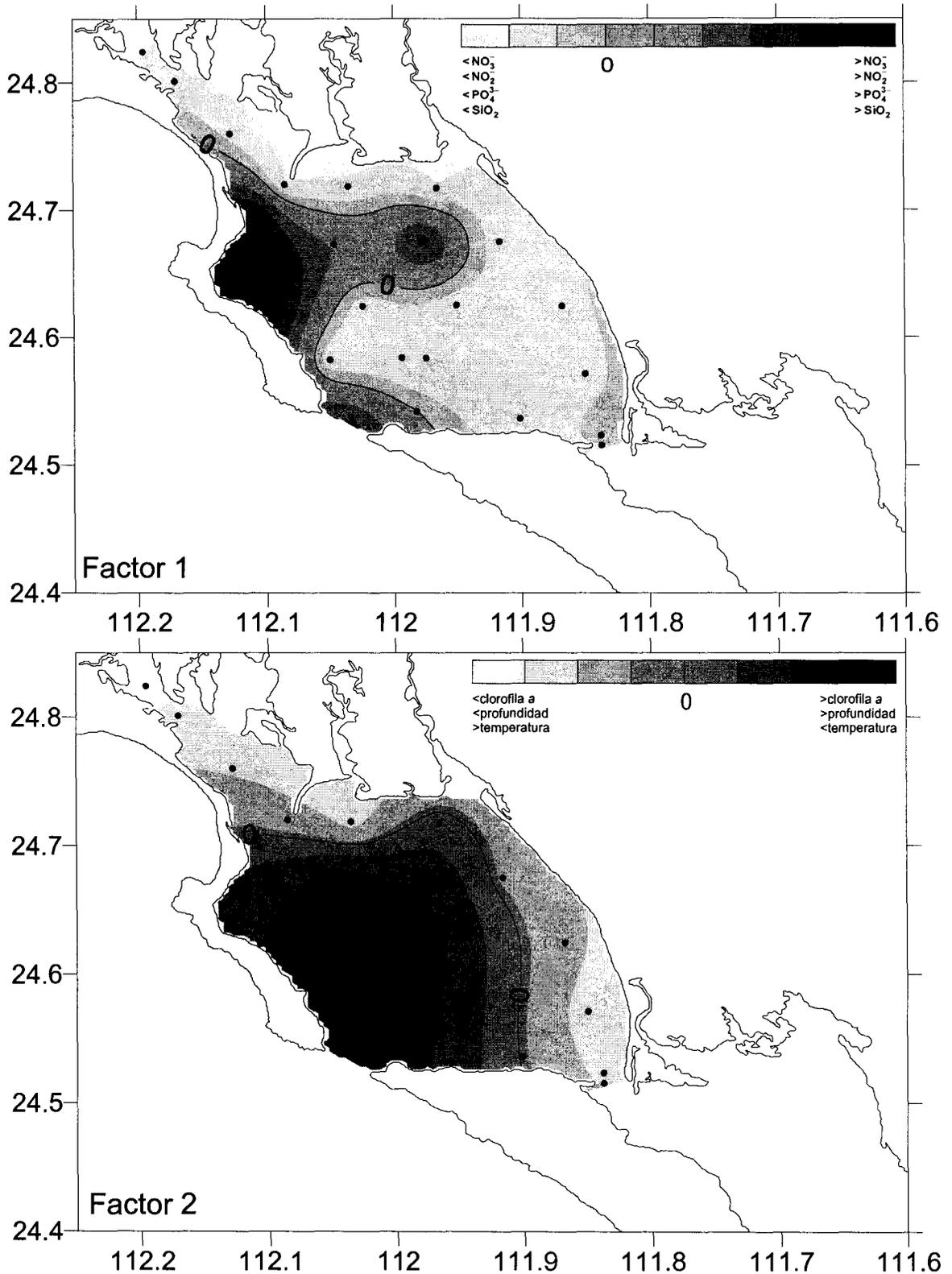


Fig. 34. Coordenadas de los factores 1 y 2 del mes de mayo. El factor 1 esta correlacionado positivamente con el nitrito, nitrato, fosfato y silicato. El factor 2 esta correlacionado positivamente con la clorofila a y la profundidad, pero negativamente con la temperatura.

## Julio

En julio las variables relacionadas con el factor 1 fueron: los nitritos, nitratos, fosfatos y la clorofila *a* y con el factor 2 la temperatura presentó una relación positiva mientras que la relación con la transparencia y la profundidad fue negativa (Tabla 17). La distribución espacial de las coordenadas del factor 1 indicaron que en la parte NW de la laguna hubo altas concentraciones de nitratos, nitritos, fosfatos y clorofila *a*. De acuerdo con la distribución de las coordenadas del componente 2, la temperatura más baja se encontró alrededor de la boca de la bahía, que es la zona más profunda y donde hubo aguas más transparentes. La temperatura más alta se localizó en las zonas someras desde San Carlos a lo largo del canal San Gil y en la parte sureste de la bahía (Fig. 35). En este mes se evidenció la gran influencia de aguas frías provenientes de la zona oceánica adyacente a la boca principal de la bahía y en menor grado, la influencia de aguas cálidas provenientes de la parte NW de la zona de canales.

Tabla 17. Coeficientes de los factores principales. Los valores en negritas indican las variables con mayor peso en cada factor.

	JULIO	
	Factor 1	Factor 2
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	<b>0.951497</b>	-0.110828
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<b>0.838979</b>	-0.320260
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	<b>0.799873</b>	0.390872
SiO <sub>2</sub>	-0.084833	0.566149
Clorofila <i>a</i>	<b>0.777684</b>	0.420905
Temperatura	-0.520570	<b>0.783073</b>
Transparencia	-0.322807	<b>-0.822512</b>
Profundidad	-0.147083	<b>-0.698814</b>
% variación	41.24930	31.26612
Variación Total		72.51543

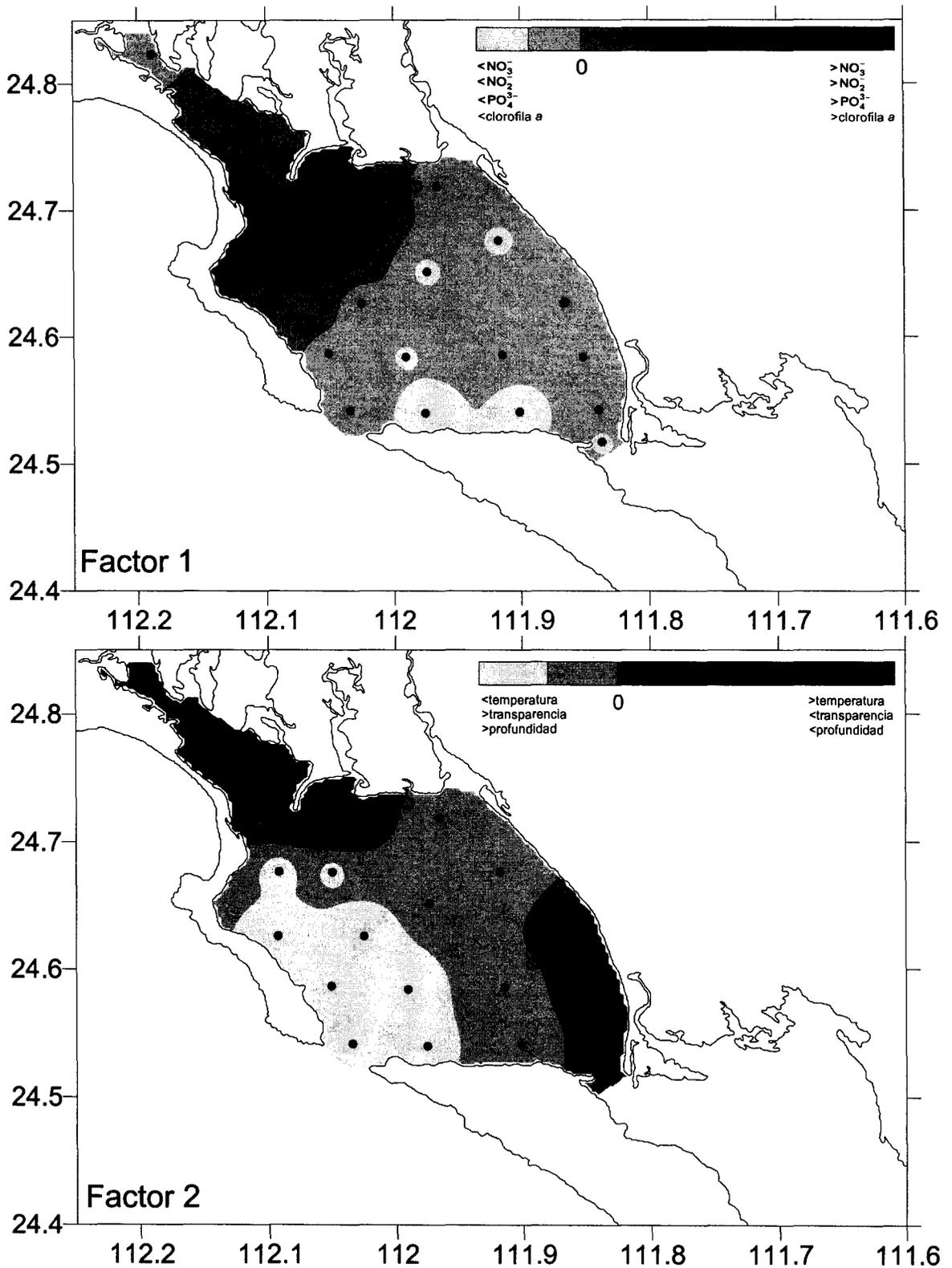


Fig. 35. Coordenadas de los factores 1 y 2 del mes de julio. El factor 1 esta correlacionado positivamente con el nitrito, nitrato, fosfato y clorofila *a*. El factor 2 esta correlacionado positivamente con la temperatura, pero negativamente con la transparencia y la profundidad.

## Octubre

En octubre el 60% de la variancia fue explicada por los dos primeros factores aunque la mayor parte de ésta fue debida al primero (41%). Las variables correlacionadas de manera positiva con el componente 1 fueron: los fosfatos silicatos, clorofila *a* y de manera negativa fue la transparencia. Con el componente 2 estuvieron correlacionados positivamente los nitritos y nitratos (Tabla 18). De acuerdo con el factor 1, en octubre destaca la importancia de los fosfatos, silicatos y clorofila *a* a lo largo del canal San Carlos. Esta distribución espacial muestra la intrusión de estos nutrimentos a Bahía Magdalena desde la boca del canal San Gil (Fig. 36). Por otro lado el factor 2 destacó la importancia de los nitritos y los nitratos sobre la parte oeste de la bahía, esta área a su vez mostró un núcleo de concentración al Norte, cerca de puerto San Carlos y al Sur, en la boca de Bahía Almejas (Fig. 36).

Tabla 18. Coeficientes de los factores principales. Los valores en negritas indican las variables con mayor peso en cada factor.

	OCTUBRE	
	Factor 1	Factor 2
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0.122561	<b>0.843297</b>
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.113916	<b>0.859039</b>
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	<b>0.796798</b>	0.058515
SiO <sub>2</sub>	<b>0.710470</b>	0.107705
Clorofila <i>a</i>	<b>0.849282</b>	0.209144
Temperatura	-0.301861	0.283815
Transparencia	<b>-0.917350</b>	0.017064
Profundidad	<b>-0.667502</b>	0.032868
% variación	41.85858	18.85305
Variación Total		60.71163
Temperatura		

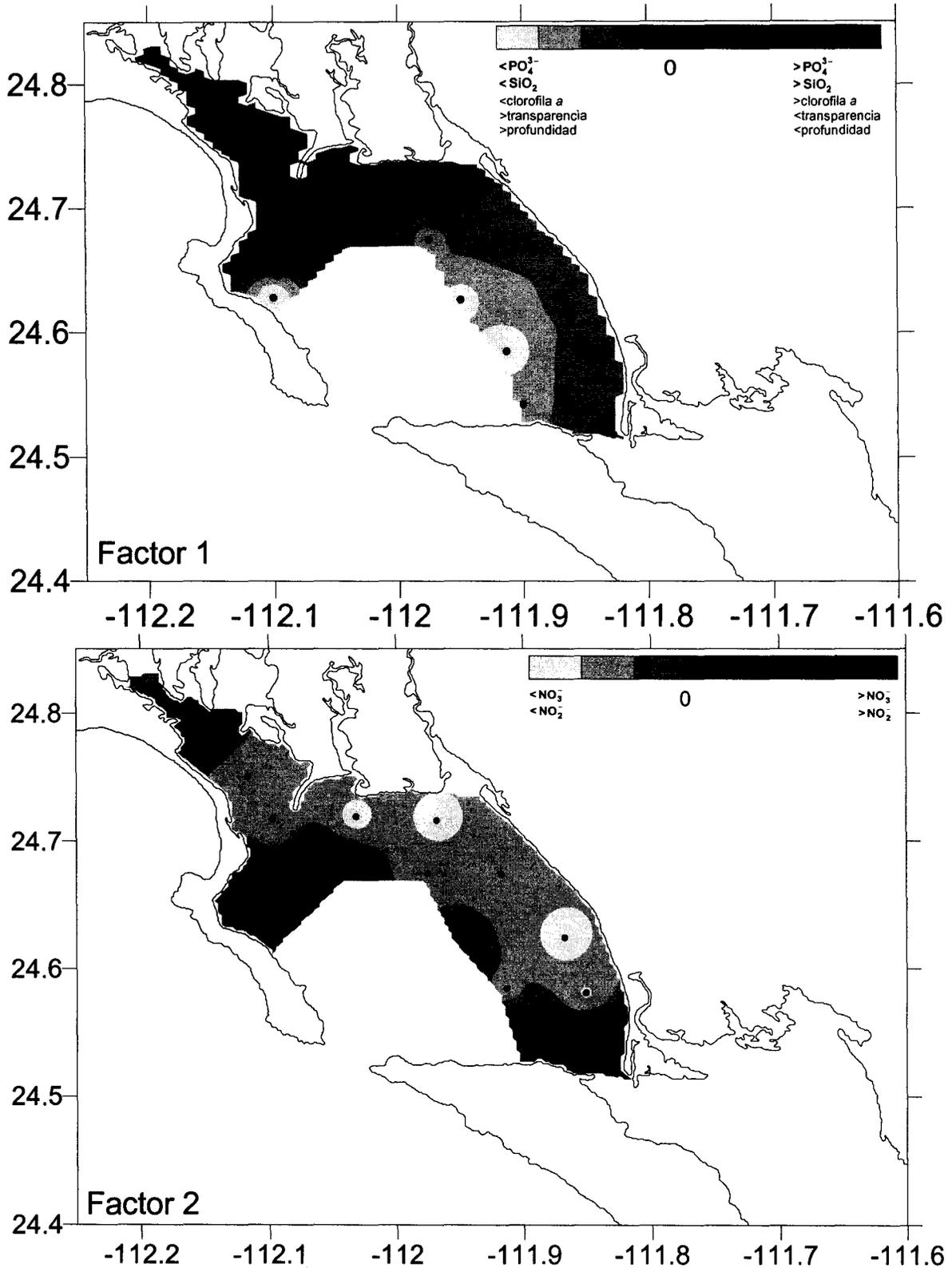


Fig. 36. Coordenadas de los factores 1 y 2 del mes de octubre. El factor 1 esta correlacionado positivamente con el fosfato, silicato y clorofila a, pero negativamente con la transparencia y la profundidad. El factor 2 esta correlacionado positivamente con el nitrito y nitrato.

## 4.- DISCUSIÓN

### 4.1 Fase de la marea y variación espacial de la concentración de los nutrimentos

Algunos procesos de advección y de mezcla (Spencer, 1975), o movimientos de masas de agua desde ríos o el transporte por mareas (Caffrey y Day, 1986) forman gradientes de concentración que causan patrones de distribución espacial particulares (Spencer, 1975). Respecto a este último proceso, Zaytsev *et al.* (2003) proponen que Bahía Magdalena se enriquece de los nutrimentos que provienen de las surgencias formadas cerca de la boca de la laguna y que entran con las mareas. Acosta-Ruíz y Lara-Lara (1978) encontraron que la dinámica de las mareas influyó significativamente en la variación de la salinidad y en la concentración de la clorofila *a* en un punto cercano a la boca principal de la laguna. No obstante que existe alguna influencia de la marea sobre la variación espacial de los nutrimentos en la entrada de la laguna, dentro de ella no pudimos observar su efecto sobre la distribución espacial de la concentración de los nutrimentos. Quizás la razón de esto sea que la influencia de la marea no llega a todos los sitios debido a la gran extensión de la laguna, o bien que la logística disponible y los alcances del muestreo no nos permitieron evaluar este efecto. Posiblemente, el trabajo simultáneo de varios equipos en diferentes puntos del sistema durante ciclos de 24 horas podría ayudar a evidenciar dicha influencia.

## 4.2. Variabilidad de los nutrimentos

Los resultados encontrados en este trabajo muestran que a lo largo del periodo de estudio existió una variación tanto espacial como temporal en la distribución de las variables analizadas.

Los patrones de la distribución de las variables, mostraron que cada mes presentó dos grupos principales de variables que estuvieron correlacionadas y representadas en los factores 1 y 2 y explicaron un porcentaje importante de la variación total en Bahía Magdalena (Tabla 19).

Tabla 19. Variación explicada por los dos primeros factores en cada mes.

	NOV		FEB		MAY		JUL		OCT	
	Factor 1	Factor 2								
% variación	35.9	25.1	34.1	20.2	43.2	31.4	41.3	31.3	41.9	18.9
Variación Total	61		54.3		74.7		72.5		60.7	

Respecto a lo encontrado por otros autores, el análisis de las variables indicó similitudes y también ciertas diferencias que pudieron ser atribuidas a los diferentes tipos de muestreo con los que se colectaron los datos o a la variación implícita en la estacionalidad del ambiente.

#### 4.2.1. Nitrato y Nitrito

Los valores de la suma de nitritos y nitratos fueron menores de  $3.74 \mu\text{M}$  para el mes de julio. Estos valores fueron inferiores a los reportados para fechas similares (julio-agosto) por Hernández Trujillo *et al.* (1997) quienes encontraron valores menores de  $12 \mu\text{M}$ . Es probable que las diferencias se deban a que el estudio de éstos autores fue diseñado para ciclos lagrangeanos y eulerianos, los cuales fueron realizados en sitios particulares y a lo largo de la columna de agua.

En febrero los sitios con las concentraciones más altas ( $0.119 \mu\text{M}$ ) de nitritos, localizados en la boca principal de la laguna, coincidieron con los sitios de alta concentración ( $0.20 \mu\text{M}$ ) registrados por Zaytsev *et al.* (en preparación). En cambio, los núcleos de alta concentración de nitratos tuvieron una ubicación diferente. En este trabajo se localizaron en la boca del estero El Chisquete, mientras que Zaytsev *et al.* (en preparación) los registraron en la parte central de la laguna y la concentración de estos núcleos fue de alrededor de  $8 \mu\text{M}$ , mientras que la concentración observada en este trabajo no fue mayor de  $2.24 \mu\text{M}$  (Tabla 3 y Tabla 4).

✓ Por otra parte Álvarez-Borrego *et al.* (1975) reportaron que los nitratos y nitritos presentaron concentraciones máximas en octubre y mayo y bajas en marzo y julio-agosto. En este trabajo la distribución temporal de éstas variables mostró resultados similares, es decir concentraciones altas durante noviembre y mayo y bajas en febrero y julio.

En la costa occidental de Baja California con escasos o nulos aportes fluviales (De la Lanza-Espino y Cáceres-Martínez, 1994), el reciclamiento local de la materia

orgánica llega a ser la fuente principal de liberación de nutrimentos a la columna de agua (Suess *et al.*, 1980).

En las lagunas del Pacífico la variación de nitrógeno esta influenciada por la marcada estacionalidad prevaleciente, por el reciclamiento local favorecido por la circulación antiestuarina y por las surgencias que se presentan en el océano adyacente durante primavera y verano (De la Lanza-Espino y Cáceres-Martínez, 1994), pero en sistemas costeros someros aeróbicos la oxidación del amonio (producto de la degradación de la materia orgánica) juega un papel importante en la producción de nitritos y nitratos (Suess *et al.*, 1980). Así, a través de estos procesos los sedimentos pueden llegar a liberar hasta un 30% o 100% de los requerimientos del fitoplancton (Zeitzschel, 1980).

Las concentraciones de nitrógeno total en los sistemas costeros tienen una amplia variación que oscila entre valores no detectables y 50  $\mu\text{M}$  (De la Lanza-Espino y Cáceres-Martínez, 1994). La mayor parte de la fijación la lleva a cabo la cianobacteria *Trichodesmium* y al parecer constituye un pequeño porcentaje de la entrada de nitrógeno a estos sistemas. Las tasas de fijación de nitrógeno en el océano son más bajas (oscilan entre 2-90  $\text{mg N m}^{-2} \text{año}^{-1}$ ) que la de denitrificación (Howarts *et al.*, 1988). Este proceso puede disminuir hasta en un 40% la cantidad de nitrógeno de los océanos y afecta las razones N:P en la superficie (Seitzinger, 1988; Pilson, 1998). De las diferentes formas de nitrógeno disuelto, el nitrato es la principal (Liss, 1976); en la mayoría de los estuarios las fuentes son el viento, el oleaje, los desechos humanos y principalmente el aporte de los ríos.

En Bahía Magdalena el aporte por ríos o arroyos se puede considerar nulo y por otro lado, los desechos humanos generalmente tienen efectos locales (Zeitzschel, 1980; Padilla-Gamiño, 2001). En esta laguna se ha observado el crecimiento explosivo del alga *Ulva lactuca* después de que son vertidos los desechos de la enlatadora localizada en el puerto de San Carlos (Chafee, 1998). Al final de dos semanas el alga muere dejando desechos con un espesor de aproximadamente 10 cm (Chafee, 1998) que podrían estar siendo llevados al interior de la laguna y junto con otras especies de macroalgas, el fitoplancton, el manglar y el zooplancton podrían estar contribuyendo en buena medida con la materia orgánica para la liberación de los nutrientes. A este respecto Aguirre-Baena *et al.* (2002) durante el mes de julio registró valores de 14 mg/l de material particulado suspendido, del cual la materia orgánica representa hasta el 80%.

En Bahía Magdalena la cantidad de materia orgánica disponible para la liberación de nitratos es abundante de manera que la causa de los núcleos de alta concentración registrados en este estudio podría estar relacionada con la descomposición de la materia orgánica.

- ✓ Otra fuente importante puede ser aguas ricas en nutrientes provenientes de las surgencias formadas en la cercanía de la boca principal. Sánchez-Montante (en preparación) menciona que Bahía Magdalena presenta un giro anticiclónico en la parte NW. Este resuspende material del fondo que puede quedar atrapado de manera permanente dándole a esa área la particularidad de ser uno de los núcleos más ricos en nutrientes.

Los patrones de distribución temporal están aparentemente relacionados con la presencia de surgencias durante los meses de noviembre y mayo y con el

reciclamiento local de la materia orgánica; sin embargo debido a los pocos trabajos realizados sobre flujos de nutrimentos y de transporte de agua desde las zonas de surgencias es difícil dar argumentos sólidos para entender las causas de la distribución espacial y la formación de los núcleos de altas concentraciones de nutrimentos.

#### 4.2.2. Fosfato

El intervalo de variación de los fosfatos dentro de la laguna osciló entre 0.03  $\mu\text{M}$  y 2.6  $\mu\text{M}$ . Usualmente en las lagunas costeras se presenta un máximo de  $\text{PO}_4$  durante el verano, el cual se atribuye a la remineralización del fosfato, la cual a su vez se favorece con el incremento de la temperatura. En lugares someros (2 m a 20 m), como Bahía Magdalena, también se puede deber a que la materia orgánica que resulta de la excreción y muerte de organismos vivientes sea descompuesta por la acción microbiana principalmente en los sedimentos (Nixon *et al.*, 1980). En algunos lugares la presencia de  $\text{PO}_4$  también se ha asociado con la presencia de aguas estratificadas que mantienen a los sedimentos anóxicos y propician la liberación de fosfato hacia la columna de agua (Taft y Taylor, 1976). Esto se debe a que el fosfato regenerado reacciona rápidamente con óxidos de Fe y Mn formando precipitados insolubles, pero cuando los sedimentos son reducidos y llegan a ser anóxicos el fosfato es liberado (Sundby *et al.*, 1992). Es posible que las concentraciones menores de fosfatos en el canal adyacente en la isla Margarita y Magdalena se deban en parte a este mecanismo, ya que la predominancia del Fe y el Mn en estos sitios (Rodríguez-Meza, 2003) y la posible

presencia de sedimentos oxigenados (debido a las fuertes corrientes que se registran en la boca) probablemente estén disminuyendo la liberación de fosfatos. Acosta-Ruíz y Lara-Lara (1978) y Hernández Trujillo *et al.* (1997) encontraron intervalos de variación similares en la concentración de  $\text{PO}_4$  (1.0 y 1.82  $\mu\text{M}$  y 0.45 y 1.1  $\mu\text{M}$  respectivamente) y atribuyeron su variación a oscilaciones diurnas y a periodos de  $\frac{1}{4}$  de marea que reflejan la dinámica de parches dentro de la laguna.

✓ La distribución espacial de los fosfatos a lo largo del período de estudio coincidió en parte con la registrada por Álvarez-Borrego *et al.* (1975). Ambos trabajos se caracterizaron por presentar condiciones homogéneas en gran parte de la laguna la mayor parte del periodo. Los datos de marzo de Álvarez-Borrego *et al.* (1975) al igual que los de febrero de este trabajo resultaron ser los de mayor heterogeneidad espacial. ✓

#### 4.2.3. Silicato

El patrón de distribución temporal del silicato, fue semejante al de los nitritos y nitratos; es decir, se presentaron concentraciones altas durante noviembre, mayo y octubre y bajas en febrero y julio. Álvarez-Borrego *et al.* (1975) reportaron las concentraciones más altas en octubre, marzo y junio y destacaron que en marzo mantuvieron concentraciones que oscilaron entre 3 y 8  $\mu\text{M}$  en gran parte del área de la laguna, mientras que en este trabajo lo que se registró para el mes de febrero fueron concentraciones menores que 3.4  $\mu\text{M}$  en casi toda el área.

El silicato forma todas las arenas minerales y se encuentra principalmente en forma de ácido salicílico; sin embargo, la forma que utilizan los organismos llega

principalmente a través de escurrimientos y descargas de agua (Pilson, 1998). En Bahía Magdalena los escurrimientos son escasos o nulos debido a la baja precipitación que se registra la mayor parte del año y debido a que cuando éstas ocurren, los arrastres de sedimentos llegan a sitios alejados (sur de Bahía Almejas).

La variación espacio temporal de silicatos puede estar más asociada con las variaciones de la abundancia de fitoplancton. De acuerdo con Gárate-Lizarraga y Siqueiros-Beltrones (1998) las diatomeas son el grupo más importante dentro del fitoplancton en la laguna de Bahía Magdalena. Éstas forman estructuras llamadas frústulas (Pilson, 1998) cuya composición de Si llega a constituir del 10% al 30 % del peso seco, e incluso en algunos lugares el Si es tan utilizado que llega a reportarse como indetectable debido al crecimiento de las diatomeas (Pratt, 1965). El mes de febrero presentó las concentraciones más bajas de silicato de todo el periodo de estudio y una posible causa de la disminución de noviembre a febrero podría ser un afloramiento previo de diatomeas; sin embargo, tomando a la clorofila *a* como índice de la biomasa del fitoplancton no se detectó un florecimiento importante en noviembre. Por otro lado Gárate-Lizarraga y Siqueiros-Beltrones (1998) encontraron que en la laguna de Bahía Magdalena los picos de máxima abundancia del fitoplancton se presentaron en primavera (abril-mayo) y otoño (octubre-noviembre) por lo que es poco probable que haya habido un afloramiento en los meses diciembre y enero, donde no tenemos registros.

### 4.3. Distribución espacial y temporal de la clorofila *a*

✓ La clorofila *a* esta presente en todas las algas y a menudo se usa como indicador de la biomasa. La concentración promedio en la superficie del mar es de  $0.28 \text{ mg m}^{-3}$  (Falkowski y Raven, 1997), pero en lagunas de las costas Mexicanas (laguna de Alvarado, Veracruz) se han llegado a registrar valores de hasta  $76.6 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$  durante los florecimientos de microalgas (Santoyo-Reyes, 1994). En Bahía Magdalena, Acosta-Ruíz y Lara-Lara (1978); Gómez-Gutiérrez *et al.* (1999) y Zaytsev *et al.* (en preparación) registraron valores que oscilaron entre los no detectables y  $6.8 \text{ mg m}^{-3}$ . Los resultados obtenidos por Acosta-Ruíz y Lara-Lara (1978) a partir de un ciclo diurno desarrollado en abril de 1976 mostraron que las variaciones superficiales de la clorofila *a* estuvieron relacionadas con los ciclos de marea y fueron más bajas durante el flujo que durante el reflujó. Gómez-Gutiérrez *et al.* (1999) tomaron muestras diariamente a lo largo de casi un mes (7 de febrero al 5 de marzo de 1998) y encontraron que en la columna de agua las concentraciones de clorofila *a* variaron de homogéneas a heterogéneas en un periodo de 2 a 3 días y que la variación registrada no estaba relacionada con la transparencia. Además, de manera general las condiciones que predominaron correspondieron a condiciones mesotróficas ( $15\text{-}40 \text{ mg m}^{-2}$ ). En este trabajo para el mes de febrero se registraron concentraciones de clorofila *a* que estuvieron por debajo ( $0.48\text{-}2.0 \text{ mg m}^{-3}$ ) de las concentraciones máximas registradas por los autores antes mencionados. Aunque cabe aclarar que en este caso los datos estuvieron distribuidos en una red de estaciones que cubrió la laguna y que fueron tomados a menos de un metro de profundidad, mientras que los de Acosta-Ruíz y

Lara-Lara (1978) y los de Gómez-Gutiérrez *et al.* (1999) representaron datos a lo largo de la columna de agua, pero solo de una estación.

✓ Usando la misma red de estaciones que se usó en este trabajo, Zaytsev *et al.* (en preparación) registraron en febrero las concentraciones superficiales máximas de clorofila *a* (2.5 - 5.0 mg m<sup>-3</sup>) en la boca de la laguna, donde encontramos las concentraciones más bajas (menores de 1.2 mg/m<sup>3</sup>).

El comportamiento de las variables depende de muchos factores, e incluso puede haber variaciones diurnas en una misma estación de muestreo (Acosta-Ruiz y Lara-Lara, 1978; y Gómez-Gutiérrez *et al.*, 1999). No resulta sorprendente entonces que la distribución espacial de un año a otro sea diferente; sin embargo, temporalmente la bahía mantiene concentraciones similares a las que se reportan en el trabajo de Zaitsev *et al.* (en preparación).

↘ Las condiciones de mayo caracterizadas por la presencia de surgencias en zonas aledañas a la boca principal de la laguna (Zaitsev *et al.*, 2003) y por el enriquecimiento con nutrimentos parecen haber favorecido el desarrollo de afloramientos del fitoplancton. Estas condiciones también pudieron causar el agotamiento de los nutrimentos y por tanto disminuir la abundancia del fitoplancton durante los meses de julio y octubre. En este sentido no se descarta que la disminución de la biomasa fitoplanctónica también se haya debido al consumo por parte del zooplancton, quien al menos en Bahía Magdalena, es un factor regulador importante de la comunidad fitoplanctónica (Martínez-López *et al.* 1998).

#### 4.4. Variación espacio-temporal de la temperatura y salinidad

El intenso intercambio de agua oceánica a través de la boca principal tiene un gran efecto sobre la laguna (Álvarez-Borrego et al., 1975; Zaytsev *et al.*, 2003), lo cual se manifestó a través de los patrones de distribución espacial de la temperatura y de la salinidad.

Lluch-Belda *et al.* (2000), analizaron la variación de la temperatura superficial en Bahía Magdalena y a lo largo de un ciclo anual observaron un aumento paulatino de enero a junio. A partir de éste último la temperatura se incrementa de manera conspicua, llegando a alcanzar hasta los 29 °C durante el mes de septiembre. Posteriormente la temperatura comienza a disminuir. Junto con el aumento de la temperatura observaron un aumento en la variabilidad dentro del cuerpo lagunar. De manera general el comportamiento que se observó con nuestros datos es similar, es decir, bajas temperaturas y poca variación en febrero; temperaturas promedio más altas y una variación grande entre las estaciones en los meses de mayo y julio y variaciones pequeñas en noviembre de 2001 y octubre de 2002.

Como ya se mencionó hay un gran intercambio de agua oceánica a través de la boca de la laguna, por lo que, el cambio en el patrón de vientos dominantes y por consiguiente de la circulación oceánica (Wyrki, 1966; En: Martínez-López, 1993) adyacente a la laguna, puede estar jugando un papel importante en la variación de la temperatura a lo largo del año. La Contra Corriente de California transporta agua tropical superficial, caracterizada por presentar temperaturas mayores de 25 °C (Wyrki, 1967), ésta se presenta en las costas de Baja California alrededor de julio, cuando la Corriente de California se retira de la costa (Wyrki, 1965). El

establecimiento de este contraflujo podría ser una de las causas de las altas temperaturas (Tabla 8) registradas en el mes de julio en el área de Bahía Magdalena (Luch-Belda *et al.*, 2000). En cambio, de febrero a abril se intensifica la Corriente de California a lo largo de la Península de Baja California (Badan, 1997), llevando agua cuya temperatura oscila entre 15 y 20 °C (Wyrski, 1967), la cual concuerda con el intervalo de temperaturas (Tabla 8) que registramos en febrero. Los fuertes vientos que por lo general se registran durante febrero (Zaytsev *et al.* 2003) pueden haber ocasionado que durante este mes el agua se mezclara a tal grado que la temperatura haya sido casi homogénea y que no se observara el gradiente de agua fría desde la boca hacia el interior de la bahía. Por otro lado frente a la boca principal de Bahía Magdalena se han registrado surgencias, cuya máxima intensidad se presenta de abril a junio y hay evidencia de que el agua fría entra a través de la boca principal (Zaytsev *et al.*, 2003). De acuerdo con Zaytsev *et al.* (2003), cuando las aguas profundas del océano chocan con la pendiente de la plataforma continental emergen a la superficie llevando aguas más frías frente a la boca de Bahía Magdalena, las cuales por el efecto de las mareas son transportadas al interior de la laguna. Durante este periodo la corriente de California aún permanece bien desarrollada (Badan, 1997), de manera que el agua oceánica fría (16 a 18 °C) registrada durante mayo en la boca de la laguna puede estar evidenciando la influencia tanto de la Corriente de California como de las surgencias. Sin embargo, la irradiación solar comienza a aumentar y con la poca profundidad de la laguna de Bahía Magdalena, también se registran grandes variaciones de la temperatura durante los meses de mayo y julio, las cuales alcanzaron entre 24 y 25 °C en las zonas someras.

En noviembre y julio, cuando la entrada de agua fría es menor, también se observaron temperaturas altas (Tabla 8) y la influencia de agua fría en el interior de la laguna se redujo. Particularmente en julio se registró un núcleo con aguas frías (19 °C) en una pequeña ensenada que se forma entre Punta Delgada y Punta Cove. En esta región se alcanzan profundidades de hasta 30 m y Sánchez-Montante (en preparación) observó la presencia de un giro anticiclónico por lo que es probable que el agua más profunda haya estado más fría y emergiera debido al efecto del giro. Álvarez-Borrego *et al.* (1975) también observó que en la región occidental de la zona central se producen condiciones semejantes a las de las surgencias.

En el mes de octubre la falta de datos alrededor de la boca principal no nos permitió establecer el patrón de distribución completo ni detectar la influencia de aguas del océano, solo quedó de manifiesto que las zonas que están a lo largo del canal San Carlos tuvieron temperaturas altas (Tabla 8).

Aunque hacen falta más estudios con escalas más finas, tanto espacial como temporalmente y realizar mediciones a diferentes niveles de profundidad que nos permitan explicar de manera más certera los cambios observados, no podemos descartar que la variación de la temperatura superficial en la laguna esta influenciada por el océano, cuya variación a su vez, esta influenciada por el patrón de vientos que modifica la circulación y consecuentemente la variabilidad espacial y temporal (Zaytsev *et al.*, 2003). De acuerdo con Lluch-Belda *et al.* (2000), alrededor del 61% de la variación esta relacionada con la zona de canales que es la que tiene mayor influencia con el exterior. El resto como ya se ha mencionado,

puede ser el resultado de la batimetría irregular del fondo y la irradiación solar (Acosta-Ruíz y Lara-Lara, 1978) que varían con la época del año.

Acosta-Ruíz y Lara-Lara (1978) también menciona que la batimetría irregular del fondo sumada al calentamiento y la evaporación no uniforme en el sistema influyen fuertemente en los cambios de la composición fisicoquímica. En el caso de la salinidad, las zonas someras cercanas a la costa y a lo largo del canal San Carlos son las que mostraron salinidades más altas (alrededor de 35 ups) que el resto de la bahía (alrededor de 34 ups); aunque en febrero y julio las máximas estuvieron alrededor de 35.5 ups; mientras que las de octubre alcanzaron hasta 38.5 en las zona de la boca del Canal San Gil. Es probable que en esas zonas el efecto del intercambio de agua que se da en la boca principal se haya visto disminuido de manera que el agua haya estado más tiempo expuesta al calentamiento y a la evaporación lo cual pudo incrementar la salinidad; en tanto que en una gran área de la laguna, por el fuerte intercambio de agua oceánica a través de la boca, predominen salinidades más bajas características de aguas oceánicas. Durante el mes de noviembre no se tomaron las muestras del canal, pero el gradiente de salinidad que mantiene concentraciones más altas en la zona NW del Canal San Carlos se observó en todos los meses del estudio que llevó a cabo Álvarez-Borrego *et al.* (1975).

#### 4.5. Distribución y variación del oxígeno disuelto

El oxígeno se encuentra disuelto en el agua y su concentración y distribución depende de la temperatura, la salinidad y la presión. Además, las concentraciones varían dependiendo de la hora del día, de los florecimientos estacionales del fitoplancton, de la profundidad del agua o del grado de mezcla vertical (Garrison, 1995). En sistemas lagunares y estuarios la respiración y la fotosíntesis juegan un papel muy importante a nivel local provocando variaciones diurnas que son el resultado de las diferencias en las tasas fotosintéticas y respiratorias (De la Lanza-Espino, 1994). De acuerdo con nuestros resultados la concentración de oxígeno varió de 3.5 a 6.5 ml l<sup>-1</sup>; mientras que el porcentaje de saturación osciló entre 154 y 253. En otros estudios realizados en la costa occidental de la península de Baja California ha habido registros que van de 4.5 a 6.5 en Bahía San Quintín (Zertuche-González y Álvarez-Borrego, 1978); de 4.4 a 7 ml l<sup>-1</sup> en Punta Banda (Millán-Nuñez *et al.*, 1981), y de 2.74 a 6.0 ml l<sup>-1</sup> para Bahía Magdalena (Álvarez-Borrego *et al.*, 1975). Por otro lado en un estudio de ciclos diurnos llevado a cabo sobre el canal de San Carlos a la altura de Punta Belcher, Hernández-Trujillo *et al.* (1997) encontraron que el oxígeno osciló entre 1.8 y 5.6 ml l<sup>-1</sup> en los meses de julio y agosto. En los datos que ellos reportaron el intervalo de variación es mayor y el valor mínimo está por debajo del que se registró en este trabajo. Es importante mencionar que el valor mínimo probablemente pudo haber sido registrado durante la noche, cuando no hay fotosíntesis, además de que aumenta la tasa de respiración, lo cual tiende a bajar los valores de oxígeno. Bahía Magdalena es un lugar somero con densas poblaciones de algas

bentónicas y plantas vasculares en donde la biomasa de una sola especie de macroalga (*Sargassum sinicola*) se ha reportado entre 1.2 y 6.5 Kg m<sup>-2</sup> (Sánchez-Rodríguez y Cervantes-Duarte, 1999). Por tanto, es probable que altas tasas de fotosíntesis de la comunidad de algas bentónicas sumada con el intercambio de oxígeno con la atmósfera estén siendo responsables de los altos porcentajes de saturación encontrados.

#### **4.6.- Distribución y variación del pH**

En el mar el pH es de alrededor de  $8.2 \pm 0.1$  (Millero, 1996). El agua de mar tiene una capacidad amortiguadora alta; sin embargo, el pH varía de acuerdo con la acción del sistema del dióxido de carbono quién es responsable del 95% de la capacidad amortiguadora del intervalo normal de pH (Pilson, 1998). La variación del pH depende de la presión parcial del CO<sub>2</sub> (pCO<sub>2</sub>) en el agua, a mayor pCO<sub>2</sub> más bajo pH y viceversa (Millero, 1996). Usualmente los valores de pH más bajos se registran en aguas de surgencias, pero en cuerpos pequeños o semi cerrados el pH puede oscilar entre 8.2 y 8.9. En Bahía Magdalena durante el mes de mayo los valores de pH más bajos estuvieron alrededor de 7.7 y 7.85 y se encontraron en áreas cercanas a la boca. En cambio, durante julio el pH en la boca de la laguna, mayor de 8.25, puede estar asociado con altas tasas de actividad fotosintética. Sánchez-Rodríguez *et al.* (1989) reportan que en la isla Margarita, aproximadamente desde Punta Redonda hasta puerto Alcatraz se inicia el desarrollo de *Sargassum*. Esta área coincide con un núcleo de pH mayor de 8.45 el cual se podría deber a la remoción del CO<sub>2</sub> por parte de las macroalgas.

La variación de pH también depende de otros factores tales como la temperatura, salinidad, remoción del CO<sub>2</sub> por la actividad fotosintética, la formación de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>), el calentamiento solar o bien la adición de CO<sub>2</sub> por un aumento en la atmósfera debido a la quema de combustible (Millero, 1996). Sabemos que en Bahía Magdalena se desarrollan alrededor de 130 especies de algas (Sánchez-Rodríguez *et al.*, 1989) y abundan los sedimentos carbonatados (Rodríguez, en prensa); sin embargo, esto no es suficiente para explicar las variaciones observadas en el pH.

#### **4.7. Distribución y variación de la Transparencia**

Asociada con la transparencia está la turbidez que se define como el grado de opacidad del agua producido por la materia particulada suspendida (Reid y Wood, 1976). Los tipos de materiales que crean turbidez son muy variados, pueden ser desde sedimentos terrígenos arrastrados por los ríos o sedimentos resuspendidos del mismo sistema lagunar, humus, detritus orgánico, material coloidal, fito y zooplancton (Reid y Wood, 1976). Ya se ha mencionado que el aporte de los ríos es nulo en Bahía Magdalena; sin embargo, es una laguna somera en donde el simple movimiento del agua por influencia de la marea puede resuspender los materiales del sedimento. A partir de los datos obtenidos en este trabajo se observó que los meses de mayo, julio y octubre la profundidad promedio con el disco de Secchi osciló alrededor de 4 y 5 m y las máximas fueron de 7 y 9 m; mientras que en noviembre y febrero la profundidad promedio osciló alrededor de 6 y 8 m respectivamente y las profundidades máximas de 15 y 16 m. Estas se

alcanzaron en la zona de la boca principal, que es la parte más profunda (30 m) de la laguna. De manera general nuestros datos indican que el material particulado suspendido se encuentra en menor cantidad durante noviembre y febrero y aumenta en los meses de mayo, julio y octubre. Esto concuerda con lo observado por Aguirre-Bahena (2002) quien encontró que en la laguna el material particulado suspendido osciló entre 0.45 y 14.35 mg l<sup>-1</sup>, con el promedio más bajo en noviembre y un aumento paulatino hacia el mes de julio. Sin embargo, llama la atención que los meses de noviembre y febrero, en los que predominan los vientos del noroeste, se hayan presentado profundidades del Secchi más grandes y menor concentración de material particulado. En esos meses se esperaba que los sedimentos del fondo se pusieran en suspensión.

Por otro lado cabe hacer notar que la transparencia esta en función de la absorción diferencial de la luz que tiene cada tipo de partícula que se encuentra suspendida (Reid y Wood, 1976) por tanto no necesariamente donde haya mayor cantidad de partículas suspendidas habrá más turbidez. Esta característica que tienen las partículas se observó en la boca principal de la bahía. Allí, durante mayo y julio Aguirre-Bahena (2002) registró valores menores de 1 y 5.1 mg l<sup>-1</sup> respectivamente, pero la transparencia fue más grande el mes en el que se registró mayor cantidad de partículas.

#### 4.8.- Fuentes de nutrimentos ✓

La concentración de los nutrimentos cambia constantemente en los cuerpos de agua costeros debido a las entradas a través de los escurrimientos durante la época de lluvias, de los ríos o de los desechos de aguas residuales.

✓ La época de lluvias en la región de Bahía Magdalena comprende de julio a agosto, por tanto en esta época se esperaría encontrar concentraciones de nutrimentos altas en las desembocaduras de los arroyos y por efecto de las mareas, que esta concentración se reflejara en el resto de la bahía; sin embargo, la región en la que se ubica la laguna de Bahía Magdalena está caracterizada por amplias llanuras en las que de manera aislada se encuentran algunas sierras y mesetas (De La Lanza y Cáceres, 1994). El paisaje montañoso solo se observa en las islas Margarita y Magdalena donde alcanzan alturas de alrededor de 500 m. Las cuencas de drenaje de la región son pequeñas y solo una de ellas drena a través del arroyo Salado hacia la parte sur en Bahía Almejas (Fig. 37). Además el clima de la región es muy seco, semi cálido a cálido con bajas precipitaciones a lo largo del año. Así que prácticamente no hay arroyos que desemboquen en la laguna y las escasas lluvias no sobrepasan los 200 mm a lo largo del año (Alvarez-Borrego *et al.*, 1975), por lo que el aporte de sedimentos desde las cuencas de drenaje a través de los ríos y arroyos no debe ser significativo. Los resultados muestran que durante el periodo de julio las concentraciones de los nutrimentos y las clorofilas son bajas. Por otro lado el arroyo a través del cual podría haber arrastre de sedimentos se encuentra al sur de Bahía Almejas y ahí las corrientes residuales

son casi nulas (Sánchez-Montante, en preparación) de manera que el transporte de nutrientes hacia el cuerpo de agua de Bahía Magdalena sería nulo.

- ↙ Las fuentes de nutrientes derivadas de las actividades humanas tienen gran influencia en el ciclo global de los nutrientes. Las aguas de deshecho hacia el océano tienen un efecto sobre los flujos globales del fósforo, mientras que el arrastre pluvial de fertilizantes generados por las actividades de agricultura y los desechos de las plantas de tratamiento llegan a ser la fuente principal de los nitratos (Howarth *et al.*, 2002).

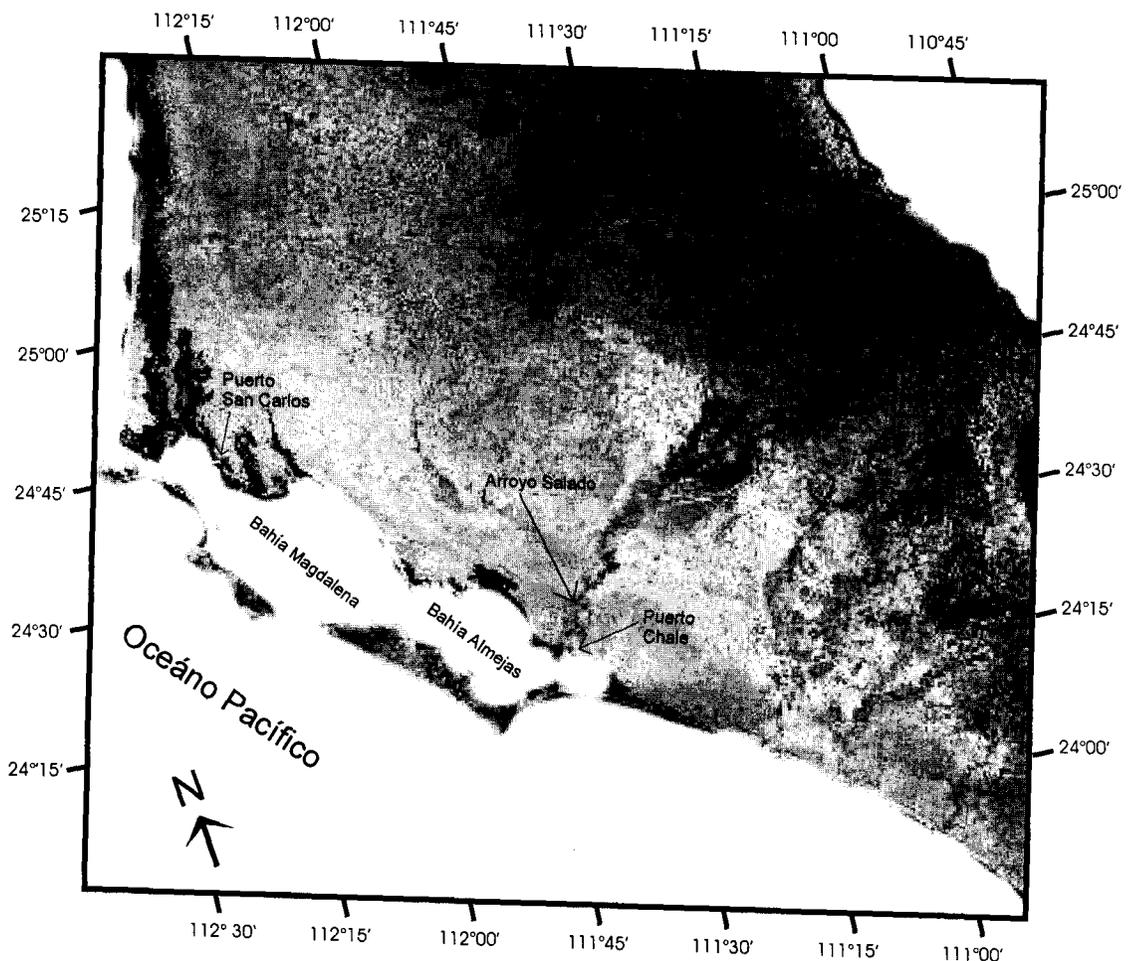


Fig. 37. Mapa topográfico de la región de Bahía Magdalena.

✓ En la parte NE de Bahía Magdalena se encuentra el poblado de San Carlos cuyo sector industrial consiste de una termo eléctrica y dos enlatadoras: San Carlos e Industrial 78. La primera es una enlatadora de atún y sardina cuyos efluentes son principalmente desechos orgánicos e inorgánicos, aceites y altos niveles de sólidos suspendidos y descargas de agua caliente. Además de los desechos vertidos por las enlatadoras en el área de la Bahía, también se vierten las aguas negras del poblado de San Carlos. Los desechos de estos efluentes causan alta DBO, eutroficación, cambios físicos y químicos (Vega *et al.*, 1994). El aumento en la temperatura de agua disminuye la capacidad de disolución del oxígeno, aumenta las tasas de respiración y puede incrementar los niveles de CO<sub>2</sub> (Laws, 1993). Por otro lado la temperatura y los efluentes de la enlatadora favorece las tasas de crecimiento del alga *Ulva*, la cual en dos semanas cubre grandes áreas, pero después que se han agotado los nutrientes muere dejando una capa con un grosor de aproximadamente 10 cm (Chafee, 1998). De acuerdo con Chapman (1996) la degradación de la materia orgánica estaría tendiendo a bajar la concentración de oxígeno, de la misma manera puede haber altos niveles en la producción de fosfatos y nitrógeno. Además de que la carga de materia orgánica aumenta la descomposición de la materia orgánica, el exceso de nutrientes aumenta la producción de bacterias las cuales liberan al medio componentes ácidos durante el proceso de descomposición que podría repercutir en una disminución del pH (Omori y Takeoka , 1994; Chafee, 1998). Con los datos de fosfatos, nitritos, nitratos y silicatos no es posible evaluar el aporte ni el impacto de nutrientes de los efluentes vertidos a Bahía Magdalena ya sea por la enlatadora o por aguas residuales generadas en el pueblo de San Carlos. Sin embargo las ↵

concentraciones de fosfato registradas en la zona aledaña a la enlatadora son altas (alrededor de  $4.8 \mu\text{M}$ ); aunque otras variables como la DO tuvieron una amplia variación a lo largo del día; por la noche los valores llegaron a ser tan bajos como  $0.18 \text{ ml l}^{-1}$ , pero durante el día aumentó hasta llegar alrededor de  $7.7 \text{ ml l}^{-1}$  (Chafee, 1998). Si bien las descargas vertidas al puerto de San Carlos tienen algunas repercusiones, no se ha visto un impacto a gran escala sobre la bahía, los efectos de estos desechos están influenciando áreas específicas cercanas a los efluentes (Wells, 2000; Padilla-Gamiño, 2001).

✓ Frente a la boca principal de Bahía Magdalena se han registrado surgencias de enero a junio y hay evidencia de que el agua fría entra a través de la boca principal (Zaytsev *et al.* en preparación). Las surgencias traen a la superficie aguas ricas en nutrimentos que pueden entrar a la laguna a través de un sistema de bombeo por efecto de las mareas (Zaytsev *et al.*, en preparación). Durante el periodo de muestreo que comprendió de noviembre de 2001 a octubre de 2002 los índices de surgencias más altos a la altura de los  $24^\circ \text{ N}$  y  $113^\circ \text{ W}$  se presentaron en los meses de noviembre y mayo (Fig. 38). De noviembre a mayo el índice de surgencia promedio fue más alto que de mayo a octubre; sin embargo solo la distribución espacial de los fosfatos se mantuvo alta durante este periodo y disminuyó notoriamente cuando los índices de surgencias bajaron. En cuanto a los nitritos, nitratos, silicatos y clorofila *a*, presentaron sus concentraciones promedio más altas en noviembre, se agotaron en febrero y volvieron a aumentar en mayo.

Las variaciones temporales registradas, así como los registros de concentraciones más altas coinciden con la época de surgencias; sin embargo, esto no es un argumento suficiente para pensar que son la única o la fuente principal de los nutrimentos pues existen otros procesos (que no fueron analizados en este trabajo) que pueden favorecer el reciclamiento local de los nutrimentos.

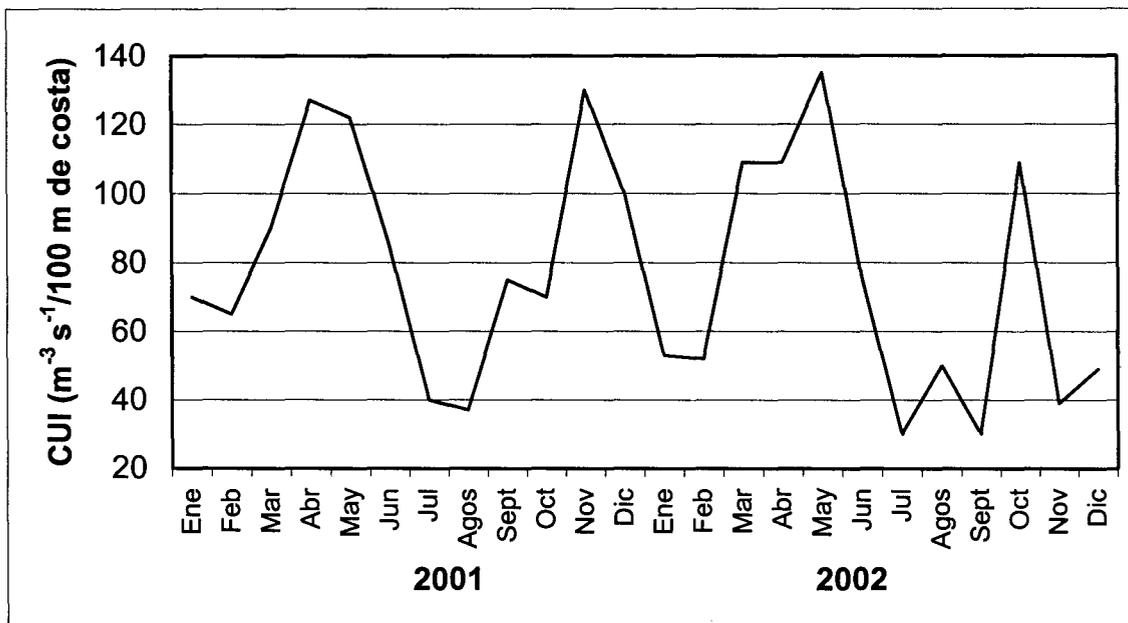


Fig. 38. Representación de los índices de surgencia costera (CUI) de 2001 y 2002. Los valores de los índices de surgencia se reportaron en metros cúbicos por segundo por 100 metros de línea de costa. La posición geográfica a la cual se registraron es  $113^{\circ}\text{W}$  y  $24^{\circ}\text{N}$ . Datos tomados del NOAA/PFEL PRET (Ver 5.50).

## 5. CONCLUSIONES

- Los patrones de distribución de las variables mostraron una variación temporal y espacial en la laguna de Bahía Magdalena durante el período de noviembre de 2001 a octubre de 2002. De manera general el patrón de distribución de febrero se caracterizó por presentar una tendencia a mantener condiciones homogéneas de los valores de la mayoría de las variables (exceptuando el fosfato) y valores más bajos respecto a los registrados en los demás meses. Los meses de noviembre y mayo se caracterizaron porque los nitritos, nitratos y silicatos presentaron las mayores variaciones y concentraciones más altas en núcleos pequeños bien definidos. En julio y octubre se observó un patrón que mostró características intermedias entre los dos anteriores. En este patrón al igual que el de febrero, la bahía presentó grandes áreas con valores bajos y distribuidos de manera casi homogénea, pero a diferencia de febrero, en éste patrón se localizaron pequeños núcleos donde se registraron concentraciones altas.
- ✓ Se encontró una influencia clara de aguas oceánicas que presentaron un gradiente de distribución espacial que varió en intensidad desde la boca hacia el resto de la bahía. Esta influencia se manifestó con temperaturas más frías de la boca hacia el resto de la bahía en los meses de noviembre, mayo y julio; y sobre la clorofila en el mes de mayo con gradientes de altas concentraciones de la boca hacia el interior de la bahía. Durante el mes de febrero también se observó la influencia del océano, pero en una escala menor que solo afectó áreas cercanas a la boca y se evidenció a través del gradiente de distribución que presentaron los nitritos, nitratos y silicatos.
- ✓ Hubo un aporte claro de fosfato, silicato y clorofila *a* desde la boca del canal San Gil hacia la parte NW de la bahía y núcleos en la boca del estero El Chisquete, en Punta Cove y en Punta Delgada, lo que hace suponer que aparte de la influencia de las aguas oceánicas, dentro de la bahía debe haber condiciones para la regeneración de nutrimentos.

- La salinidad mostró un patrón de distribución espacial en el que se mostró la influencia del océano a través de la boca principal, manteniendo salinidades más bajas en la boca las cuales se incrementaron hacia la zonas costeras someras en el interior de la bahía.
- ✓ La sobresaturación de oxígeno registrada en Bahía Magdalena pueden ser el resultado del proceso fotosintético de algas bentónicas y fitoplancton aunado con la influencia del viento y del intercambio de agua con el océano.
- No se encontró un patrón de variación definido en la distribución espacial de pH y falta complementar con datos de alcalinidad por carbonatos, bicarbonatos y  $\text{CO}_2$  para entender con certeza la causa de su variación.
- ✓ Las zonas más transparentes se localizaron en las zonas más profundas de la bahía, que se encuentran alrededor de la boca principal de la laguna. donde es menos probable que por efecto del viento o mareas los sedimentos se resuspendan.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO  
DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN RECURSOS ACUÍCOLAS  
M. P. M. DOMATICO

## 6. RECOMENDACIONES

- Debido al papel que juega la marea en las lagunas costeras se recomienda diseñar un muestreo en el que haya un registro simultáneo de varios equipos en diferentes puntos del sistema durante ciclos de 24 horas, con el fin de ayudar a evidenciar dicha influencia sobre la concentración y los patrones de distribución espacial de las variables que se analizaron.
- Es conveniente tomar muestras cada mes y aumentar el número de estaciones de manera que se pudiera ver en una escala más fina de tiempo y espacio la influencia de algunos eventos tales como las surgencias, los vientos, las lluvias o las corrientes; sobre la respuesta de las variables.
- Se recomienda hacer una evaluación de la contribución de los flujos de nutrimentos desde los sedimentos a la columna de agua dentro de la laguna de Bahía Magdalena. De la misma manera el registro de las variables en la boca principal de la laguna confirmaría los aportes oceánicos, de manera que se evaluara la importancia de cada uno de los aportes.
- Conocer la concentración del oxígeno disuelto, del pH y del  $\text{CO}_2$ , en aguas cercanas al fondo ayudaría a entender los procesos de remineralización de los nutrimentos.
- Es necesario determinar la alcalinidad por carbonatos, bicarbonatos y  $\text{CO}_2$  para entender con certeza la causa de la variación de pH.

## 7. LITERATURA CITADA

- ✓ Acosta-Ruíz, M. J. y J. R. Lara-Lara. 1978. Resultados fisicoquímicos en un estudio de variación diurna en el área central de bahía Magdalena, B. C. S. *Ciencias Marinas* 5(1):37-46.
- Aguirre-Baena, F., R. Cervantes-Duarte y F. Barrera-González. 2002. Variación espacio-temporal de materia particulada suspendida en el complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas, B. C. S., México. XIII Congreso Nacional de Oceanografía. Puerto Vallarta, Jalisco, México.
- ✓ Alvarez-Borrego, S., L. A. Galindo-Bect, A. Chee-Barragán. 1975. Características hidroquímicas de Bahía Magdalena. *Ciencias Marinas* 2(2):94-109.
- Badan, A. 1997. La Corriente Costera de Costa Rica en el Pacífico Mexicano. Contribuciones a la Oceanografía Física en México. Monografía No. 3. Unión Geofísica Mexicana. 99-112 p.
- Cafrey, J. M. y J. W. Day Jr. 1986. Control of the variability of nutrients and suspended sediments in a gulf coast Estuary by climatic forcing and spring discharge of the Atchafalaya River. *Estuaries*, 9(4A) , 295-300.
- Chaffee, C. 1998. Analysis of Dissolved Oxygen and Turbidity Levels in the Intertidal zones of Puerto San Carlos, B. C. S., México. School For Field Studies. Center For Wetland Studies. Reporte DR-20.0. San Carlos, México. 15 p.
- Contreras-Espinoza, F. 1993. Ecosistemas costeros mexicanos. CONABIO-UAMI, México. 415 p.
- Day, J. W. Jr., Ch. A. S. Hall, W. M. Kemp y A. Yáñez-Arancibia. 1989. *Estuarine Ecology*. Wiley Interscience. New York, 1-558 p.
- De la Lanza-Espino, G. 1994. Química de las lagunas costeras y el litoral Mexicano. 127-198. En: *Lagunas Costeras y el Litoral Mexicano*. De la Lanza-Espino, G. y C. Cáceres-Martínez (Eds.). UABCS. 525 p.

- Falkowski, P. G. y J. A. Raven. 1997. *Aquatic Photosynthesis*. Balckwell Science. 375 p.
- Funes-Rodríguez, R., A. Hinojosa-Medina, R. Avendaño-Ibarra, M. Hernández-Rivas, R. Saldierna-Martínez y W. Watson. 2001. Spawning of small pelagic fishes in Bahía Magdalena, Baja California Sur, México, at the beginning of the 1997-1998 el Niño event. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. 53, 653-664 p.
- Gárate-Lizárraga I. y D. A. Siqueiros-Beltrones. 1998. Time variation in phytoplankton assemblages in a subtropical lagoon system after the 1982-1983 "EL NIÑO" event (1984 to 1986). *Pacific Science* 52 (1):79-97.
- Gárate-Lizárraga I., D. A. Siqueiros-Beltrones, G. Verdugo-Díaz y R. Guerrero-Caballero. 2000. Dinámica del fitoplancton en el sistema lagunar Magdalena-Almejas. 10:143-155. En: Lluch-Belda, D., J. F. Elorduy-Garay, S. E: Lluch-Cota y G. Ponce-Díaz (Eds.) Centros DE Actividad Biológica del Pacífico Mexicano. CIB-Nor-CICIMAR-CONACYT, México.
- Garrison, T. 1996. *Oceanography: an invitation to marine sciences*. Wdsworth publishing co. New York.
- Gómez-Gutierrez, J., R. Palomares-García, R. De Silva-Dávila, M.A. Carballido-Carranza and A. Martínez-López. 1999. Copepod daily egg production and growth rates in Bahía Magdalena, México. *J. Plankton Res.* 21 (12): 2227-2244.
- Guerrero Godínez., R., R. Cervantes Duarte y A. Jiménez Illescas. 1988. Nutrient variation during a tidal cycle at the mouth of a costal lagoon in the Northwest of México. *Indian Journal of Marine Science*, 17: 235-237.
- Hernández-Trujillo, S., R. Cervantes-Duarte y S. Aguiñiga-García. 1997. Variación espacial y temporal de algunas variables físicas, químicas y biológicas en bahía Magdalena, Baja California Sur. (julio-agosto, 1988). *Rev. Inv. Cient. Ser. Cienc. Mar. UABCS*, 8 (1-2):1-13.
- Herrera-Silveira, 1994. Spatial Heterogeneity and Seasonal Patterns in a Tropical Coastal Lagoon. *Jouranl of Coastal Research*. Vol. 10. No. 3. 738-746.
- Herrera-Silveira, 1996. Salinity and nutrients in a tropical coastal lagoon with groundwater discharges to the Gulf of Mexico. *Hidrobiología* 321:165-176.

- Herrera-Silveira, 1998. Nutrient-phytoplankton production relationships in a groundwater-influenced tropical coastal water. *Aquatic Ecosystem Health and Management* 1:373-385.
- Howarts, R. W., A. Sharpley y D. Walker. 2002. Sources of nutrients pollution to Coastal Waters in the United States: Implication for Achieving Coastal Water Quality Goal. *Estuaries* Vol. 25, No. 4b, 656-676.
- Ibarra-Obando, S. E. y A. Escofet. 1987. Industrial Development on the Ecology of a Pacific Mexican Coastal Lagoon. *Environmental Conservation* 14(2):135-141.
- Ibarra Obando, S. E. 1990. Lagunas Costeras Mexicanas de Baja California. *Ciencia y Desarrollo*. XV(92, mayo/junio):39:49
- Ibarra-Obando, S., S. V. Smith y F. Contreras-Espinoza. 1997. Mexican Coastal Lagoons Overview. En: Smith, S. V., S. Ibarra-Obando, P. R. Boudreau y V. F. Camacho-Ibar (compiladores). 1997. Comparison of Carbon, Nitrogen and Phosphorus fluxes in Mexicans Coastal Lagoons. LOICZ reports and Studies No. 10, ii+84 p. LOICZ Core Project. Netherlands. 89 p.
- Kjerfve, B. 1994. Coastal Lagoons. 1-7 En: *Coastal Lagoons Proceses*. Kjerfve, B. (Ed.). Elsevier Ocenography Series. Amsterdam. 577 p.
- Lankford, R. R. 1977. Coastal Lagoons of México: Their origin and Classification En: Martin Wiley (Ed.). *Circulation Sediments, and Transfer of Material in the Estuary Estuarine Processes*. Vol. II:. Academic Press. New York, E. U. A. 428 p.
- Laws, E. 1993 *Aquatic Pollution*. Jhon Wiley and Sons. New York 312-315 p.
- Levinton, J. S. 2001. *Marine Biology* function, biodiversity, ecology Oxford New York 515 p.
- Lewis, E. L. 1981. The practical salinity scale 1978 and its antecedents.13-18 Background papers and supporting data on the practical salinity scales 1978. UNESCO. Technical paper in marine science No. 37. 145 p.
- Lluch Belda, D., M. E. Hernández-Rivas, R. Saldierna-Martínez y R. Guerrero-Caballero. 2000. Variabilidad de la temperatura superficial del mar en Bahía Magdalena, B. C. S. *Oceánides*. Vol. 15(1). 1-23 p.

- Martínez-López, A. 1993. Distribución espacial del fitoplancton asociada con frentes en la costa occidental de Baja California Sur. *Inv. Mar. CICIMAR*. Vol. 8(2). 71-86 p.
- Martínez-López, A. J. R. Hernández-Alfonso, C. Band-Schmidt y R. Palomares-García. 1998. Cambios de corto plazo de la comunidad del fitoplancton en Bahía Magdalena durante el verano de 1998. pág. 67-68. En: Ríos-Jara, E., E. Juárez-Carrillo, M. Pérez-Peña, E. López-Uriarte, E. G. Hernández-Becerril, M. Silva-Briano (Eds.). *Estudios sobre plancton en México y el Caribe*. SOMPAC y Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco. 147 p.
- Millán-Nuñez, R., F. J. Ortiz-Cortéz y S. Álvarez-Borrego. 1981. Variabilidad espacial y temporal de nutrientes y fitoplancton en una laguna costera, a finales del verano. *Ciencias Marinas* 7(1):103-129.
- Millán-Nuñez, R. y A. M. Rivas-Lozano. 1988. Nutrientes y clorofilas en las Bahía de Todos Santos (mayo 1983). *Ciencias Marinas* 14(4):23-42.
- Millero, F. J. 1996. *Chemical Oceanography*. 2<sup>nd</sup> ed. Ed. CRC. 469 p.
- Murillo Jiménez, J. M. 1997. Sedimentary characteristics and chronology of holocene aeolian deposits of the central portions of the Purísima-Iray-Magdalena Basin, Baja California Sur, México. Tesis de Doctorado. University of Southern California, LA. USA. 347 p.
- Nienhuis, H. y R. Guerrero C. 1985. A quantitative analysis of the annual phytoplankton cycle of Magdalena lagoon complex (México). *Journal of Plankton Research*. 7 (4): 427-441.
- Nixon, S. W., K. J. Kelly, B. R. Furnas y C. A. Oviata. 1980. Phosphorus regeneration and the metabolism of coastal marine bottom communities. En: Tenore, K. R. y B. Coull (Eds.). *Marine Benthic Dynamics*. University of South of California Press. Columbia, S. C. 219-242 p.
- Omori, K., T. Hirano y H. Takeoka. 1994. The limitation to organic loading on a bottom of a coastal ecosystem. *Marine Pollution Bulletin*. Vol. 28, no. 2 73-80.

- Padilla-Gamiño, J. L. Water quality monitoring in Bahía Magdalena, spring 2001. School for Fiel Studies. Center For Wetland Studies. Reporte DR-30.1. San Carlos, México. 13 p.
- Parsons, T. R., Y. Maita y C. M. Lalli. 1984. A manual of chemical and biological methods for sea water analisis. Pergamon Press. Oxford. 173 p.
- Pilson, M. E. Q. 1998. An Introduction to the Chemistry of the Sea. Prentice Hall. 431 p.
- Pratt, 1965. The winter-spring diatom flowering in Narragansett Bay. *Limnol. Oceanogr.* 15, 113-30.
- Pritchard, D. W. y J. R. Shubel. 1981. Physical and geological processes controlling nutrient levels in estuaries. En: Neilsen, B. J. y L. E. (eds.), *Estuaries and nutrients*. Clifton: Humana Press, pp. 47-69.
- Rabalais, N. N. y S. W. Nixon. 2002. Nutrient Over-enrichment of the Coastal Zone. *Estuaries*. Vol. 25, No. 4b, 639.
- Redfiel, A. C. 1934. On the proportions of organics derivativesin sea water and their relation to the composition of plankton. James Johnstone. Memorial Volume (Liverpool) 176 p.
- Reid G. K. y R. D. Wood. 1976. *Ecology of inland water and estuaries*. D. Van Nostrand Company. New York. 485 p.
- Rodríguez Meza, G. D. (En prensa) Caracterización geoquímica por componentes mayores y traza en los sedimentos de ambientes marinos costeros adyacentes a la Península de Baja California.
- Sánchez-Montante, O. (En preparación). Hidrodinámica y transporte de masa en el sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas, B. C. S., México. Modelación y experimentación. Tesis Doctoral. CICIMAR-IPN.
- Sánchez-Rodríguez, I, C. Fajardo León y C. Olivero Pantoja. 1989. Estudio florístico estacional de las algas en Bahía Magdalena, B. C. S., México. *Inv. Mar. CICIMAR*. 4(1):34-48.

- Sánchez-Rodríguez, I. y R. Cervantes-Duarte. 1999. Longitud y biomasa de *Sargassum sinicola* Setchell et Gardner (Phaeophyta) en Bahía Magdalena, B. C. S., México. *Hidrobiológica* 9(2): 117.124.
- Santoyo-Reyes, H. 1994. Fitoplancton y Productividad. 221-245 pp. En: De la Lanza-Espino, G. y C. Cáceres-Martínez (Eds.) *Lagunas Costeras y el Litoral Mexicano*. UABCS. La Paz, B.C.S. 525 p.
- Seitzinger, S. P., 1988. Denitrification in freshwater and coastal marine ecosystems: Ecological and geochemical significance. *Limnol. Oceanogr.* 33(4 parte 2):702-724.
- Spencer, C. P. 1975. The micronutrient elements. 245-300. En: Riley, J. P. y G. Skirrow (Eds.). *Chemical Oceanography*. Academic Press. London.
- Strickland, J. D. H. y T. R. Parsons. 1972. *A practical handbook of seawater analysis*. 2da. Ed. Boletín 167. Fisheries Research Board of Canada. 310 p.
- Suess, E., P. J. Muller, H.S. Powell y C. E. Reimers. 1980. A closer look at nitrification in pelagics sediments. *Geochemistry Journal*, 14:129-136.
- Sundby, B., Ch. Gobeil, N. Silverberg y A. Mucci. 1992. The phosphorus cycle in coastal marine sediments. *Limnology Oceanography* 37(6):1129-1145.
- Taft, J. L. y W. R. Taylor. 1976. Phosphorus dynamics in some coastal plain estuaries. En: Wiley, M. (Ed.). *Estuarine Proceses*. Academic Press, New York. 1:79-89 p.
- Thurman, H. V., 1975. *Introductory Oceanography*. Merril. Columbus. 441 p.
- Vega, M. M; A. Castaño, T. Blázquez y J. V. Tarazona. 1994. Assesing Organic Toxic Pollutants in fish-Canning Factory Effluents Using Cultured Fish Cell. *Ecotoxicology*, Vol. 13, 79-88.
- Wells, A. 2000. Antropogenic effects on eutrophication in Bahía Magdalena, B. C. S., México. School for Field Studies. Center For Wetland Studies. Reporte DR-29.0. San Carlos, México. 17 p.
- Wyrtki, K. 1967. Circulation and water masses in the Eastern Equatorial Pacific Ocean. *J. Oceanol. and Limnol.* Vol. 1(2). 117-147 p.

- Zaytsev, O., F. Salinas-González y C. Turrent-Thompson. (En preparación). Coastal dynamics influence on nutrient transport at the area of Magdalena-Almejas lagoon system, Baja California, México.
- Zaytsev, O., R. Cervantes-Duarte, O. Montante y A. Gallegos-García. 2003. Coastal Upwelling Activity on the Pacific Shelf of the Baja California Peninsula. *Journal of Oceanography*, Vol. 59, 489-502.
- Zeitzschel, B. 1980. Sediment-Water Interactions in Nutrient Dynamic. En: Tenore, K. R. y B. C. Coull. *Marine Benthic Dynamics*. 195-218. University of South Carolina Press.
- Zertuche-González, J. A. y A. Álvarez-Borrego. 1978. Series de tiempo de variables fisicoquímicas en las bocas de dos antiestuarios de Baja California. *Ciencias Marinas* 5(1): 91-103.