



*Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología*  
*Universidad Nacional Autónoma de México*



“DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y ESTACIONAL DE LAS PRINCIPALES  
ESPECIES QUÍMICAS DEL NITRÓGENO EN AGUAS DE LAS LAGUNAS  
COSTERAS DE SINALOA”

**T E S I S**

para optar por el grado de  
**Maestro en Ciencias**  
**(Química Acuática)**

presenta:

**Lluvia Korynthia López Aguiar**

Director de Tesis: **Dr. Federico Páez Osuna**

Comité Tutorial: **Dr. Jorge Ricardo Ruelas Inzunza**  
**Dra. Ana Carolina Ruiz Fernández**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Comité Asesor de Tesis:

Dr. Jorge Ricardo Ruelas Inzunza

Dra. Ana Carolina Ruiz Fernández

Tesis desarrollada en el Laboratorio de Geoquímica y Contaminación Costera del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Unidad Académica Mazatlán, bajo la dirección del Dr. Federico Páez Osuna con apoyo del Proyecto CONACYT-SEMARNAT titulado " Dinámica de los nutrientes en las lagunas costeras de Sinaloa: transporte, interacciones con sedimentos y organismos", con clave de registro SEMARNAT-2002-C01-0161.

El Jurado de Tesis:

Dr. Francisco J. Flores Verdugo	Presidente
Dr. Federico Páez Osuna	Secretario
Dra. Ana Carolina Ruiz Fernández	1er. Vocal
Dr. Martín F. Soto Jiménez	Suplente
Dr. Jorge R. Ruelas Inzunza	Suplente

## *DEDICATORIA*

*A mis padres con amor y respeto, espero vean en la presente un pequeño fruto de sus esfuerzos invertidos en mí,*

*A Luis, por apoyarme en todo momento*

*y a nuestro futuro hijo....*

## **AGRADECIMIENTOS**

Deseo expresar mi sincero agradecimiento a quienes colaboraron para la realización de este logro:

Al Dr. Federico Páez Osuna, director de tesis, por darme la oportunidad de trabajar con él, por confiar en mi, por sus enseñanzas y por el apoyo brindado durante la realización del presente trabajo.

Al comité tutorial: Dr. Jorge Ruelas Inzunza, Dra. Ana Carolina Ruiz, Dr. Martín Soto Jiménez y Dr. Francisco Flores Verdugo, por sus valiosas observaciones, sugerencias y correcciones para mejorar el manuscrito.

Al B.P. Alejandro del Río Chuljak, con quien compartí muestreos, datos y parte de esta tesis. También al Dr. Federico Páez Osuna, M. en C. Julia Ochoa Izaguirre, M. en C. Alejandra Piñón y los casi B. P. Jesús Ibarguén Zamudio y Omar Hernández Tovalín que juntos compartimos tantos buenos momentos, los cuales hicieron tan divertidas las salidas a campo.

Al Q. Humberto Bojórquez Leyva, por su colaboración y ayuda en aplicación de técnicas de laboratorio.

Al Mat. Germán Ramírez Reséndiz, por su desinteresada ayuda y asesoría en la realización de mapas y gráficos, así como también en el análisis de datos, edición de texto y figuras, etc.

Al Dr. Juan Madrid Vera por su asesoría en el análisis estadístico de los datos.

A la Dra. Rosalba Alonso Rodríguez, por compartir su tiempo y conocimientos conmigo, así como también por la información proporcionada sobre las abundancias de fitoplancton. De igual forma a la Ing. Pesq. Elizabeth Frausto Sotelo y B.P. Jesús Ibarguén Zamudio por la identificación y cuantificación de fitoplancton.

Al Dr. David Serrano, por su apoyo para la realización de imágenes en el programa MATLAB.

A la Sra. Ma. Clara Ramírez Jáuregui, por su excelente disposición en la adquisición de material bibliográfico.

A la Sra. Margarita Cordero Ruiz, por su eficiencia y buena disposición en los tramites escolares.

A todo el personal académico, profesores y trabajadores que me apoyaron en mis actividades dentro de esta institución.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y a la Universidad Nacional Autónoma de México, por proporcionarme el apoyo para mi superación profesional.

Y a todas aquellas personas que no están en esta lista pero que contribuyeron con su granito de arena para la realización de este trabajo, mil gracias.

# INDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Nutrientes.....	2
1.2. Eutrofización.....	3
2.1. A nivel internacional.....	6
2.2. En México.....	7
2.3. En Sinaloa.....	8
<b>3. JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>10</b>
<b>4. HIPOTESIS</b> .....	<b>11</b>
<b>5. OBJETIVOS</b> .....	<b>11</b>
5.1. Objetivo General.....	11
5.2. Objetivos específicos.....	11
<b>6. AREA DE ESTUDIO</b> .....	<b>12</b>
6.1. Laguna Ohuira-Topolobampo-Santa María (OHU).....	12
6.2. Laguna Navachiste-San Ignacio-Macapule (NSI).....	13
6.3. Laguna Santa María- La Reforma (SMR).....	13
6.4. Laguna Altata-Ensenada del Pabellón (AEP).....	14
6.5. Laguna Ceuta (CEU).....	15
6.6. Laguna Teacapán-Agua Brava (TEA).....	15
<b>7. METODOLOGÍA</b> .....	<b>24</b>
7.1. Trabajo de Campo.....	24
7.2. Técnicas analíticas.....	24
Determinación de sólidos suspendidos totales.....	25
Determinación de Nitrógeno amoniacal.....	25
Determinación de nitritos.....	25
Determinación de nitratos.....	25
Determinación de nitrógeno total.....	25
Determinación de clorofila a y feopigmentos.....	25
7.3. Tratamiento de los datos.....	26
<b>8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>27</b>
8.1. Laguna Ohuira-Topolobampo-Santa María.....	27
8.1.1. Variables físico-químicas.....	27
8.1.2. Especies nitrogenadas.....	31
8.2. Navachiste-San Ignacio-Macapule.....	38
8.2.1. Variables físico-químicas.....	38
8.2.2. Especies nitrogenadas.....	41
8.3. Laguna Santa María-La Reforma.....	48
8.3.1. Variables físico-químicas.....	48
8.3.2. Especies nitrogenadas.....	52
8.4. Altata-Ensenada del Pabellón.....	58
8.4.1. Variables físico-químicas.....	58
8.4.2. Especies nitrogenadas.....	61
8.5. Ceuta.....	68
8.5.1. Variables físico-químicas.....	68
8.5.2. Especies nitrogenadas.....	71
8.6. Teacapán-Agua Brava.....	77

8.6.1. Variables fisico-químicas .....	77
8.6.2. Especies nitrogenadas.....	80
<b>9. COMPARATIVO ENTRE LAGUNAS DE LAS VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS, CLOROFILA A Y ESPECIES NITROGENADAS .....</b>	<b>86</b>
9.1. Variables fisico-químicas .....	86
Temperatura .....	86
Salinidad .....	87
Oxígeno disuelto en las aguas del fondo .....	89
Clorofila <i>a</i> en aguas superficiales.....	90
Sólidos suspendidos totales .....	93
Profundidad Secchi .....	94
9.2 Especies nitrogenadas.....	95
Amonio .....	95
Nitrito .....	97
Nitrato .....	98
Nitrógeno inorgánico disuelto.....	100
Nitrógeno total .....	101
9.3. Relación estequiométrica de nutrientes.....	103
<b>10. CONCLUSIONES .....</b>	<b>104</b>
<b>11. LITERATURA CITADA .....</b>	<b>107</b>
<b>12. ANEXOS</b>	



## INDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Localización geográfica del área de estudio. ....	17
Fig. 2. Estaciones de muestreo en la Laguna Ohuira-Topolobampo-Santa María .....	18
Fig. 3. Estaciones de muestreo en la laguna Navachiste-San Ignacio-Macapule .....	19
Fig. 4. Estaciones de muestreo en la laguna Santa María-La Reforma.....	20
Fig. 5. Estaciones de muestreo en la laguna Altata-Ensenada del Pabellón.....	21
Fig. 6. Estaciones de muestreo en la laguna Ceuta. ....	22
Fig. 7. Estaciones de muestreo en la laguna Teacapán-Agua Brava.....	23
Fig. 8-ab. Variación estacional y anual de la temperatura promedio en cada una de las lagunas costeras .....	86
Fig. 9-ab. Variación estacional y anual de la salinidad promedio en cada una de las lagunas costeras. ....	87
Fig. 10-ab. Variación estacional y anual de oxígeno disuelto promedio en cada una de las lagunas costeras).....	90
Fig. 11-ab. Variación estacional y anual de la concentración de clorofila <i>a</i> promedio en cada una de las lagunas costeras .....	91
Fig. 12-ab. Variación estacional y anual de la concentración de sólidos suspendidos totales promedio en cada una de las lagunas costeras.....	93
Fig. 13-ab. Variación estacional y anual de la profundidad secchi promedio en cada una de las lagunas costeras .....	95
Fig. 14. Proporción de amonio, nitrito y nitrato en las lagunas costeras. ....	96
Fig. 15-ab. Variación estacional y anual de la concentración promedio de amonio (como N) en cada una de las lagunas costeras .....	96
Fig. 16-ab. Variación estacional y anual de la concentración promedio de nitritos (como N) en cada una de las lagunas costeras .....	98
Fig. 17-ab. Variación estacional y anual de la concentración promedio de nitratos (como N) en cada una de las lagunas costeras .....	99
Fig. 18-ab. Variación estacional y anual de la concentración promedio de nitrógeno inorgánico disuelto (NID) en cada una de las lagunas costeras .....	100
Fig. 19-ab. Variación estacional y anual de la concentración promedio de nitrógeno total en cada una de las lagunas costeras .....	101

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Programa de muestreos.....	24
Tabla 2. Parámetros físicos y de calidad de agua analizados en el presente estudio.....	26
Tabla 3. Resultados de la ANOVA no paramétrica de Mann-Whitney ( $P<0.05$ ) para la laguna de Ohuira-Topolobampo-Santa María.....	35
Tabla 3a. Resumen estadístico para las diferentes variables estudiadas en la laguna de Ohuira-Topolobampo-Santa María durante tres periodos de muestreo.....	36
Tabla 3b. Resumen estadístico para los diferentes nutrientes estudiados en la laguna de Ohuira-Topolobampo-Santa María durante tres periodos de muestreo.....	37
Tabla 4. Resultados de la ANOVA no paramétrica de Mann-Whitney ( $P<0.05$ ) para la laguna de Navachiste-San Ignacio-Macapule.....	45
Tabla 4a. Resumen estadístico para las diferentes variables estudiadas en la laguna de Navachiste-San Ignacio-Macapule durante tres periodos de muestreo.....	46
Tabla 4b. Resumen estadístico para los diferentes nutrientes estudiados en la laguna de Navachiste-San Ignacio-Macapule durante tres periodos de muestreo.....	47
Tabla 5. Resultados de la ANOVA no paramétrica de Mann-Whitney ( $P<0.05$ ) para la laguna de Santa María- La Reforma.....	55
Tabla 5a. Resumen estadístico para las diferentes variables estudiadas en la laguna de Santa María-La Reforma durante tres periodos de muestreo.....	56
Tabla 5b. Resumen estadístico para los diferentes nutrientes estudiados en la laguna de Santa María-La Reforma durante tres periodos de muestreo.....	57
Tabla 6. Resultados de la ANOVA no paramétrica de Mann-Whitney ( $P<0.05$ ) para la laguna de Altata-Ensenada del Pabellón.....	65
Tabla 6a. Resumen estadístico para las diferentes variables estudiadas en la laguna de Altata-Ensenada del Pabellón durante tres periodos de muestreo.....	66
Tabla 6b. Resumen estadístico para los diferentes nutrientes estudiados en la laguna de Altata-Ensenada del Pabellón durante tres periodos de muestreo.....	67
Tabla 7. Resultados de la ANOVA no paramétrica de Mann-Whitney ( $P <0.05$ ) para la laguna de Ceuta.....	74
Tabla 7a. Resumen estadístico para las diferentes variables estudiadas en la laguna de Ceuta durante tres periodos de muestreo.....	75
Tabla 7b. Resumen estadístico para los diferentes nutrientes estudiados en la laguna de Ceuta durante tres periodos de muestreo.....	76
Tabla 8. Resultados de la ANOVA no paramétrica de Mann-Whitney ( $P<0.05$ ) para la laguna de Teacapán-Agua Brava.....	83
Tabla 8a. Resumen estadístico para las diferentes variables estudiadas en la laguna de Teacapán-Agua Brava durante tres periodos de muestreo.....	84
Tabla 8b. Resumen estadístico para los diferentes nutrientes estudiados en la laguna de Teacapán-Agua Brava durante tres periodos de muestreo.....	85
Tabla 9. Categorización de las lagunas costeras de acuerdo al régimen halino al que pertenecen según su $\Delta S$ .....	88
Tabla 10. Clasificación trófica para aguas marinas costeras (Smith <i>et al.</i> , 1999).....	91
Tabla 11. Factores que limitan la producción primaria en las lagunas costeras por periodo de muestreo.....	92
Tabla 12. Comparación del flujo estimado de nitrógeno que reciben las lagunas costeras de Sinaloa.....	99
Tabla 13. Comparación de las concentraciones de nitrógeno total encontradas en las aguas de las lagunas de Sinaloa.....	102
Tabla 14. Comparación de las variables fisicoquímicas y especies nitrogenadas por periodo de muestreo en las lagunas costeras estudiadas.....	122

Tabla 15. Comparación de las variables fisicoquímicas y especies nitrogenadas en las lagunas costeras estudiadas.....	123
Tabla 16. Intervalos de concentración de variables hidrológicas y especies nitrogenadas en lagunas costeras mexicanas.....	124
Tabla 17. Intervalos de concentración de clorofila <i>a</i> en las aguas de lagunas costeras mexicanas...	126

## RESUMEN

Se realizó un estudio en aguas de seis lagunas costeras del estado de Sinaloa (Topolobampo-Ohuira-Santa María, Navachiste-San Ignacio-Macapule, Santa María-La Reforma, Altata-Ensenada del Pabellón, Ceuta y Teacapán-Agua Brava) con el objeto de establecer la variabilidad espacial y temporal de la concentración de nitrógeno y sus principales especies químicas. Se tomaron muestras de agua en una red de 9 a 23 estaciones, dependiendo del tamaño de la laguna en pleamar y bajamar, durante sicigia. Para esto se llevaron a cabo 18 muestreos en tres épocas climáticas diferentes: secas cálidas (mayo-junio 2004), lluvias (agosto-octubre 2004) y secas frías (febrero-abril 2005). En cada estación se midió la profundidad, temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, clorofila *a* y sólidos suspendidos totales. Los resultados no mostraron diferencias significativas entre las medias de las variables medidas en las seis lagunas costeras estudiadas cuando estas se comparan entre sí, sin embargo, sí se encontraron diferencias significativas entre las medias de las variables medidas dentro de cada una de las lagunas costeras, tanto espacial como estacionalmente. Las variaciones de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, clorofila *a* y sólidos suspendidos totales presentaron un comportamiento climático típico en las seis lagunas, mientras que las concentraciones de nutrientes se encontraron dentro de los intervalos considerados como normales para lagunas costeras. A demás se identificaron en las diferentes lagunas sitios críticos que evidencian el impacto de las descargas de las aguas residuales, ya que las mayores concentraciones de nitrógeno (amonio, nitrito y nitrato) se encontraron en áreas que reciben efluentes de drenes agrícolas, municipales y granjas camaronícolas.

## 1. INTRODUCCIÓN

El litoral mexicano posee alrededor de 11,593 km de costas y en él se encuentran aproximadamente 125 lagunas costeras, las cuales abarcan una superficie de 12,600 km<sup>2</sup> (Lankford, 1977).

Una laguna costera se define como una depresión de la zona costera por debajo del nivel medio de marea más alta, que tiene comunicación permanente o efímera con el mar, y protegida de éste por algún tipo de barrera (Lankford, 1977). En general las lagunas costeras son someras y poseen un eje paralelo a la costa.

Lankford, (1977) diseñó una clasificación básicamente geomorfológica para las lagunas costeras de México conforme al origen, los patrones de desarrollo y los procesos o condiciones que forman la barrera que las protege e incluye 5 diferentes tipos:

- I. Erosión diferencial (valles usualmente hundidos incluyendo depresiones);
- II. Sedimentación diferencial terrígena (asociada a sistemas fluviales/deltaicos);
- III. Plataforma interna de barrera (barrera alejada de la línea de costa o sobre la plataforma continental);
- IV. Orgánica (usualmente de composición coralina o algal, incluyendo manglares y otros organismos); y
- V. Tectónico-Volcánica (asociado directamente con fallamientos, plegamientos o vulcanismo).

Las lagunas costeras son zonas de alta productividad que sirven como zonas de reproducción y crianza para diferentes recursos pesqueros tanto costeros como marinos (Alonso-Rodríguez y Páez-Osuna, 2001). La calidad de las aguas costeras en muchas regiones del mundo se ha deteriorado en los últimos años debido al incremento de la población y las actividades humanas a lo largo de las regiones costeras (NRC, 2000). Los aportes de materia orgánica y nutrientes como nitrógeno y fósforo hacia estos sistemas se han incrementado debido a los aportes industriales, comerciales o drenes domésticos de las comunidades y a la influencia de las granjas camaronícolas (Páez-Osuna *et al.*, 1997).

A través de los arroyos y ríos se transportan diversos materiales orgánicos a los sistemas lagunares que dan origen a las sustancias nitrogenadas; algunos son el producto de una lenta transformación entre la fase sedimentaria como las sustancias húmicas, algunos otros son de naturaleza vegetal

ricos en celulosa y lignina, y otros más de origen animal compuestos principalmente por productos de excreción ricos en urea y ácido úrico (De la Lanza-Espino y Arenas-Fuentes, 1986).

### 1.1. Nutrientes

Un nutriente es aquel elemento que está involucrado en el funcionamiento de un organismo vivo. En oceanografía química este término se aplica exclusivamente al silicio, fósforo y nitrógeno inorgánicos, aunque también algunos constituyentes del agua de mar y metales como el Fe, Cu, Zn, Mn, V, Mo son considerados nutrientes (Riley y Skirrow, 1975).

El nitrógeno, fósforo y silicio se encuentran en mayor concentración en aguas fluviales. El fósforo puede ser un elemento limitante para el crecimiento del fitoplancton durante algunas temporadas en algunos estuarios; sin embargo, el nitrógeno es el elemento que limita la producción primaria en estuarios y aguas marinas (Ryther y Dunstan, 1971; Carpenter y Capone, 1983).

El nitrógeno se encuentra en ambientes marinos en tres formas distintas de sales inorgánicas disueltas ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$  y  $\text{NO}_3^-$ ) y 2 formas gaseosas ( $\text{N}_2$  y  $\text{N}_2\text{O}$ ) que se utilizan y originan por procesos metabólicos. También se encuentra formando parte de sustancias orgánicas como la urea, el ácido úrico y los amino ácidos. Las sales disueltas tanto orgánicas como inorgánicas son asimiladas por el fitoplancton, que toman preferentemente el  $\text{NH}_4^+$ , el cual entra en pequeñas cantidades al ecosistema vía fijación del nitrógeno y es transportado en grandes cantidades a los sedimentos vía desnitrificación. El  $\text{NO}_3^-$  entra a través de escurrimientos y también es producido en el agua y sedimento por nitrificación. El nitrógeno es regenerado, en gran parte como  $\text{NH}_4^+$  por bacterias y metazoos (Day *et al.*, 1989).

La presencia de nutrientes determina en primera instancia la cantidad de productividad primaria en un sistema; aunque diversos factores pueden incrementar la productividad de los ecosistemas costeros, el factor más común es un incremento en la cantidad de nitrógeno y fósforo que estos reciben (NRC, 2000).

La distribución de los nutrientes en una laguna costera está controlada por las características químicas, físicas, sedimentológicas y biológicas. Algunos ejemplos de estas características son: la topografía, las corrientes, las reacciones químicas que se llevan a cabo, la producción biológica, el mezclado y la circulación (Olausson y Cato, 1980).

## 1.2. Eutrofización

Al enriquecimiento de las aguas con nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo, se le llama eutrofización. Existen diferentes definiciones y todas ellas coinciden en que éste enriquecimiento aumenta la producción primaria en los sistemas. Aunque éste fue reconocido primero como un problema de las aguas dulces, el término se puede aplicar tanto a aguas dulces como marinas.

Vollenweider (1992) define eutrofización como el enriquecimiento de las aguas con nutrientes (principalmente nitrógeno y fósforo), lo cual estimula la producción acuática primaria produciendo florecimientos algales, aumento en la tasas de crecimiento algal béntico y a veces crecimiento masivo de macrófitas.

Libes (1992) define la eutrofización como el sobrecrecimiento de algas en aguas dulces o marinas provocado por una sobreabundancia de nutrientes. Nixon (1995) menciona que cuando la producción primaria de un estuario o bahía se incrementa, está sufriendo eutrofización, lo cual no es un estado trófico, sino más bien un proceso y que la causa puede ser un incremento en el aporte de nutrientes, aumento de la turbidez del agua, cambios en el tiempo de residencia del agua y/o disminución en la presión del pastoreo.

La principal causa de eutrofización se debe a descargas de microorganismos y nutrientes que provienen de efluentes industriales, municipales y agrícolas. A escala mundial se ha observado que solamente estos últimos constituyen la mayor parte de la carga de nitrógeno hacia las lagunas costeras (Cole *et al.*, 1993).

Otras fuentes de nitrógeno incluyen los desechos animales, plantas de tratamiento de aguas residuales, la quema de combustibles fósiles y granjas camaronícolas (Paerl *et al.*, 2002; Alongi, 1998; Páez-Osuna *et al.*, 1997). El incremento de la población humana y residuos domésticos es también una fuente importante de nutrientes hacia los sistemas costeros.

La producción global de fertilizantes agrícolas ha aumentado aproximadamente de 10 a 80 millones de toneladas métricas de N en cuatro décadas, y algunos autores predicen que para el año 2030 excederá los 135 millones. Los aportes antropogénicos agregan casi la misma cantidad de nitrógeno fijado a los ecosistemas terrestres como lo hacen las fuentes naturales combinadas, y los seres humanos movilizan más de 50 millones de toneladas métricas de N vía transformaciones (Galloway *et al.*, 1995, Vitousek *et al.*, 1997a, b).

El nitrógeno inorgánico disuelto transportado por los ríos hacia los estuarios ha aumentado unas 1000 veces aproximadamente y los aportes que contribuyen principalmente a este aumento son los fertilizantes (58%), la depositación atmosférica (24%) y los desechos urbanos (8%) (Seitzinger y Kroeze, 1998).

La costa del noroeste mexicano se caracteriza por la presencia de una extensa zona de agricultura que se ha incrementado considerablemente en las últimas 3 décadas (Anónimo, 1994), y son los estados de Sonora y Sinaloa los que más contribuyen al incremento de la carga de nutrientes (Páez-Osuna *et al.*, 1999).

Los efluentes provenientes de los estanques camaronícolas también son considerados de riesgo para las aguas que los reciben, debido a que por lo general tienen un alto contenido de nutrientes (N y P) y biomasa fitoplanctónica que le confiere a su vez, un elevada demanda bioquímica de oxígeno (Páez-Osuna y Ruiz-Fernández, 2001), aunque la carga total de nutrientes provenientes de esta fuente es pequeño en comparación con otras fuentes (Páez-Osuna *et al.*, 1999).

Muchas bahías, estuarios y algunos mares semicerrados están empezando a sufrir los efectos de la eutrofización debido a incrementos progresivos en la concentración y alteraciones en la proporción de nutrientes (Justic *et al.*, 1987; Wu, 1988; Gomoui, 1992; Gabric y Bell, 1993), mareas rojas y florecimientos macroalgales (Valiela *et al.*, 1997). Estos síntomas pueden causar graves riesgos a la salud humana, incluyendo enfermedades y hasta la muerte que se deriva del consumo de mariscos contaminados con toxinas algales o de la exposición directa a las toxinas flotantes o aerotransportadas (Bricker *et al.*, 1999). Se han reportado pérdidas de pesquerías comerciales en distintas regiones (Shumway, 1990; Valiela *et al.*, 1997). Los problemas más severos están presentándose en Europa, Norteamérica y Japón, donde los aportes antropogénicos de nutrientes son mayores (Boesch, 2002).

Se ha mencionado que los aportes de nutrientes traen como consecuencia la eutrofización, sin embargo la susceptibilidad de los cuerpos de agua a la carga de nutrientes depende de varios factores. Existen algunas características primordiales de las lagunas que determinan su capacidad de respuesta a estas cargas de nutrientes (NRC, 2000):

- 1) Factores fisiográficos,
- 2) Producción primaria base,
- 3) Carga de nutrientes, Dilución,
- 4) Tiempo de residencia del agua,
- 5) Estratificación,



- 6) Hipsografía,
- 7) Pastoreo del fitoplancton,
- 8) Carga de materiales suspendidos y extinción de la luz,
- 9) Denitrificación,
- 10) Distribución espacial y temporal de los aportes de nitrógeno, y
- 11) Aportes alóctonos de materia orgánica.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1. A nivel internacional

En Norteamérica se han realizado varios estudios para determinar las condiciones ecológicas de los estuarios. Summers *et al.* (1995), determinaron en 1990 el estado, área y cambios que sufren algunos estuarios del Atlántico medio y Golfo de México de Estados Unidos. Kiddon *et al.* (2003), llevaron a cabo un estudio semejante al anterior en el verano de 1997 y 1998 para determinar las condiciones ecológicas de sistemas estuarinos de la región Atlántico Norte. Los resultados mostraron que el 20 - 50% de la región mostraban signos de eutrofización, 30% tenía sedimentos contaminados y 37% sufría degradación béntica.

Bricker *et al.* (1999) evaluaron las condiciones eutróficas y los problemas de calidad de agua asociados con los nutrientes en 138 estuarios de EUA encontrando que el 65% del área estuarina estudiada (82 estuarios) presenta signos de eutrofización así como disminución del oxígeno disuelto, pérdida de la vegetación subacuática y florecimientos algales tóxicos. También encontraron altas condiciones eutróficas en 44 estuarios, más frecuentemente en el Golfo de México y costas del Atlántico medio. También se encontró un alto nivel de influencia antropogénica en 36 de 44 estuarios (82%); de estos, 25 mostraron susceptibilidad a la retención de nutrientes y solo 6 tuvieron un alto nivel de aporte de nitrógeno.

Justic *et al.* (1995) encontraron que la relación de Redfield (Si:N:P = 16:16:1) en ríos con descargas de origen antropogénico, así como también las aguas de la zona costera influenciadas por estos ríos, ha cambiado con el tiempo de manera que se ha favorecido el incremento en la productividad primaria, lo cual ha estado acompañado por incremento en la incidencia de florecimientos fitoplanctónicos nocivos e hipoxia.

En un estudio realizado por Seitzinger y Kroeze (1998), se adoptó un modelo para determinar la cantidad de nitrógeno inorgánico disuelto (NID) en los 35 ríos principales alrededor del mundo. El transporte de NID se describió en función a los aportes provenientes de desechos urbanos, uso de fertilizantes y depositación atmosférica de N. Los resultados indicaron que las tasas de transporte de los ríos hacia sus cuencas ha aumentado unas 1000 veces aproximadamente.

En Europa también se han hecho numerosos trabajos sobre nutrientes, dentro de los cuales se encuentran los realizados por De Casabianca *et al.* (1997), quienes llevaron a cabo un estudio de nutrientes en agua y sedimento en una laguna con influencia de acuicultura en el Mediterráneo (Francia) para determinar su variabilidad. Uncles *et al.* (1998), determinaron la variabilidad estacional de nutrientes entre 1994 y 1996 en un estuario de Reino Unido. En las costas de España y Portugal también se ha estudiado la distribución espacial de los nutrientes (Sierra *et al.*, 2002; Bode *et al.*, 2005 y Newton *et al.*, 2003).

En el Mediterráneo también se han realizado algunos trabajos como el de Kontas *et al.* (2003), en la Bahía de Izmir (Turquía), para conocer la distribución de los nutrientes, clorofila *a* y la relación N/P, antes y después de la instalación de una planta de tratamiento de aguas de desecho. La capacidad de la planta de tratamiento es suficiente para remover el nitrógeno pero inadecuada para remover el fósforo de los desechos.

Se han hecho estudios sobre nutrientes en Costa Rica (Kress *et al.*, 2002), y en Brasil (Souza-Marcelo *et al.*, 2003 y Braga *et al.*, 2000), en la Bahía Baixada Santista, reconocida ésta última por su alto nivel de contaminación debido a actividades industriales, urbanas y portuarias. Se encontraron concentraciones entre 25 y 41  $\mu\text{M}$  de  $\text{N-NO}_3^-$  y entre 26.6 y 60.5  $\mu\text{M}$  de  $\text{N-NH}_4^+$  en las partes internas de la bahía. También ocurre un gradiente de dilución muy claro desde la cabeza del estuario hasta la boca, pero sin llegar a bajas concentraciones, también se encontraron bajos promedios de salinidad (1.33 ups) y oxígeno ( $\sim 2.0$  ml/L) en los canales del estuario.

## 2.2. En México

En México los primeros estudios realizados sobre nutrientes comenzaron a principios de 1970 y desde entonces se han realizado numerosos trabajos. En el noroeste de México se han realizado trabajos para caracterizar la concentración de nutrientes en las lagunas costeras de Baja California desde 1975 (Gilmartin y Revelante, 1978). Ortega-Salas y Stephenson (1976) encontraron en la laguna de Yavaros concentraciones donde el amonio va desde 3.0 a 84.0  $\mu\text{M}$  de  $\text{NH}_4^+$  y de 49.6 a 90.0  $\mu\text{M}$  de nitrato y nitrito. Éste incremento lo atribuyen al uso de fertilizantes agrícolas en áreas circundantes.

Vázquez-Botello (1977), realizó un estudio para determinar la variación de los parámetros hidrológicos en las épocas de sequías (mayo) y lluvias (noviembre) en la laguna de Términos, Campeche, encontrando que las concentraciones de nutrientes presentan variaciones estacionales. Los valores para amonio en sequía fueron muy variables presentándose desde 0.01 hasta 23.50  $\mu\text{M}$ , con un promedio de 4.48  $\mu\text{M}$  y en lluvias, valores que van de 0.22 a 3.35  $\mu\text{M}$ , con promedio de 1.26  $\mu\text{M}$ , para los nitritos y nitratos en sequías fueron de 0.01 hasta 1.55  $\mu\text{M}$ , con promedio de 0.28  $\mu\text{M}$  y en lluvias, variaron de 0.01 hasta 1.55  $\mu\text{M}$ , con promedio de 0.28  $\mu\text{M}$ .

En el estero Punta Banda localizado en la bahía Todos Santos, las concentraciones de nitratos tuvieron una distribución con intervalos temporales y espaciales bien marcados; Álvarez-Borrego *et al.* (1977) determinaron concentraciones de nitrógeno de 0.1 a 1.0  $\mu\text{M}$  en el período de surgencias (mayo a Agosto). Soto-Balderas y Álvarez-Borrego (1991), encontraron en el estero de Punta Banda en verano (agosto) concentraciones que van de 4.9 a 10  $\mu\text{M}$  de nitrato-nitrito y de 24 a 27  $\mu\text{M}$  de amonio.

Contreras-Espinoza y Zabalegui-Medina (1991) hicieron estudios en la Laguna La Joya-Buenavista, Chiapas con el fin de conocer el estado trófico y sus efectos sobre el proceso productivo primario. Cuantificaron algunos parámetros abióticos, nutrientes y productividad primaria, a lo largo de un ciclo anual. La concentración del N total osciló entre 5.55 y 10.83  $\mu\text{M}$ . El compuesto dominante fue el amonio, que representa del 63 al 89% de los compuestos nitrogenados. Debido a la elevada concentración de nutrientes y al aislamiento de algunas áreas lagunares, se presentaron eventos ocasionales de eutrofización.

Herrera-Silveira (1994), estudió los patrones temporales de nutrientes, clorofila y productividad primaria en la Laguna Celestum, Yucatán. Él encontró que el nitrato presentó concentraciones mayores de 40  $\mu\text{M}$  en la zona interna durante la época de lluvias y <1  $\mu\text{M}$  en las estaciones mas externas en las épocas de secas y lluvias. Este patrón espacial se conserva durante casi todo el año. El nitrito presentó bajas concentraciones (<2  $\mu\text{M}$ ) durante todo el ciclo de observaciones. En la época de secas la zona interna presentó las mayores concentraciones del ciclo (1.5  $\mu\text{M}$ ). Las concentraciones de amonio fueron mayores en julio (15  $\mu\text{M}$ ) y febrero (11  $\mu\text{M}$ ) en la zona media de la laguna.

También sobresalen los trabajos realizados por Contreras-Espinoza (1984), quien hizo una recopilación de datos sobre nutrientes y productividad primaria en 18 lagunas costeras del Golfo de México. Contreras-Espinoza y Gutiérrez (1989) realizaron estudios de nutrientes y productividad primaria en lagunas del estado de Veracruz, Oaxaca y Chiapas entre 1984 y 1987. Contreras *et al.* (1994) realizaron una recopilación de datos de niveles de clorofila *a* en 33 lagunas costeras en el Golfo de México y los estados de Chiapas y Oaxaca (Tabla 17, anexo IA). En 1995, Contreras-Espinoza *et al.* (1995) efectuaron un estudio similar, pero con la concentración de nutrientes en 39 lagunas en las zonas ya mencionadas, e incluyeron para éste estudio algunas lagunas del estado de Guerrero. De igual manera sobresalen los trabajos realizados por De la Lanza-Espino y Arenas-Fuentes (1986) quienes analizaron las diversas rutas que sigue la materia orgánica en los sistemas lagunares. Y por último la recopilación hecha por De la Lanza-Espino (1994), quien hizo una recopilación sobre estudios de nutrientes hechos en nuestro país, y muestra en un cuadro comparativo las diferentes concentraciones de nutrientes entre las lagunas de la Costa Occidental de Baja California, las del Golfo de California y Pacífico y Golfo de México y Caribe Mexicano (Tabla 16, anexo IA).

### **2.3. En Sinaloa**

En el estado de Sinaloa son escasos los estudios realizados en las lagunas sobre variabilidad espacial y estacional de nutrientes. Se han llevado a cabo estudios sobre la variabilidad espacio-temporal de parámetros fisicoquímicos, así como también de clorofila *a* en Ohuira (Sigala-Morales,

1994). También se han hecho trabajos con la finalidad de determinar la calidad del agua de dicho sistema, como los realizados por Hernández-Real y Escobedo-Urias (1996); y Hernández y Fierro (1994), quienes encontraron que las bahías de Ohuira y Santa María son las más impactadas por coliformes y nutrientes, debido a la influencia de los drenes Juan José Ríos, Juárez y Buenaventura. De la Lanza-Espino y Rodríguez-Medina (1993) calcularon en la laguna de Huizache-Caimanero una exportación de 4.4 kg de amonio y 3.0 kg de nitratos en un ciclo de variación de marea diurna. Estos valores resultaron altos comparados con otros sistemas costeros de otras latitudes y se deben según los autores al relajamiento de la marea, geomorfología, estacionalidad y reacciones bioquímicas del nitrógeno involucradas. Con el fin de determinar las fluctuaciones en la concentración de variables físicas y químicas en el Sistema Lagunar de San Ignacio-Navachiste-Macapule, Sinaloa, Escobedo-Urías *et al.* (2000) efectuaron muestreos durante Septiembre y Octubre de 1998. Estos autores observaron altas concentraciones de nutrientes frente a los drenes de descarga de aguas municipales residuales y agrícolas, así mismo hicieron también la abundancia y composición del fitoplancton.

También se han realizado algunos estudios en Altata-Ensenada del Pabellón con el objeto de evaluar las condiciones hidrológicas y flujo de nutrientes hacia la laguna (Campos-Villegas, 1996; Conde-Gómez, 1991; Conde-Gómez y De la Lanza-Espino, 1993), así como también el impacto que tiene el desarrollo de la agricultura en las zonas adyacentes a dicha laguna (De la Lanza-Espino y Flores-Verdugo, 1998).

Garay-Morán (2002), realizó una estimación de flujo de nutrientes (N total y P total) procedente de la agricultura y la camaronicultura, así como de los efluentes municipales y del flujo fluvial, que se desarrollan alrededor de los sistemas lagunares del estado de Sinaloa, encontrando que las lagunas que reciben un mayor aporte de nutrientes son Topolobampo-Ohuira y Estero de Urías, Sin, respectivamente. La actividad antropogénica que presentó un mayor suministro de nutrientes hacia las lagunas costeras de Sinaloa fue la agricultura, principalmente en las lagunas del norte y centro del estado, mientras que en las lagunas del sur prevalecieron los aportes de granjas camaronícolas. Del Río-Chuljak (2003), determinó los niveles de nutrientes en el Estero de Urías, Sinaloa, en diferentes épocas del año (secas frías, secas cálidas en primavera y secas cálidas en verano y lluvias). Los valores obtenidos a lo largo de las épocas del año fueron muy heterogéneos, el valor máximo promedio encontrado para el nitrógeno inorgánico disuelto en primavera fue de 71.5  $\mu\text{M}$ , mientras que para el verano fue de 122  $\mu\text{M}$ .

### 3. JUSTIFICACIÓN

En la costa occidental de México (Océano Pacífico y Golfo de California), se localizan los cuerpos lagunares-estuarinos, lagunas costeras y manglares más extensos del país. Lankford (1977) enumeró 40 lagunas costeras solamente en el litoral del Golfo de California.

Sistemas lagunares como el Estero de Urías, Bahía de Altata-Ensenada del Pabellón, Bahía de Santa María-La Reforma, Ohuira-Topolobampo-Santa María y Navachiste-San Ignacio-Macapule de Sinaloa y Agua Brava-Marismas Nacionales de Nayarit han sido clasificadas como regiones hidrológicas prioritarias de México por la CONABIO debido a su alta biodiversidad (Arriaga-Cabrera *et al.*, 1998). A pesar a su importancia ecológica y económica, el crecimiento acelerado de la población y la agricultura han provocado que las lagunas sean utilizadas como receptáculos de desechos domésticos, industriales, agrícolas y recientemente de granjas camaronícolas. Los esteros y ciertas lagunas se caracterizan por poseer tasas de recambio de agua relativamente bajas y poca profundidad. Cuando estos efluentes se vierten en cuerpos de agua con estas características, pueden generar un aumento en la concentración de nutrientes y provocar problemas de eutrofización.

Los estudios realizados sobre la distribución y variabilidad de nutrientes en las lagunas costeras del estado de Sinaloa son sumamente escasos lo que indican la necesidad de efectuar estudios de monitoreo en cuanto a la descarga, distribución de nutrientes y su posible efecto en la productividad y la calidad de sus aguas. El presente estudio se realizó para determinar la distribución espacial y estacional de las especies químicas del nitrógeno, clorofila *a* y otros indicadores que nos permitirá presentar un diagnóstico inicial multitemporal, comparativo por laguna, para evaluar el nivel de impacto que están sufriendo estos cuerpos de agua. Los datos generados por este estudio serán útiles para desarrollar una estrategia de manejo adecuado en cada una de las principales cuencas de drenaje de Sinaloa, lo cual nos permitiría hacer predicciones sobre la respuesta en éstas y otras lagunas del país, en donde se está dando la expansión de la camaronicultura y otras actividades; además, servirán como marco de referencia para comparar los niveles de nutrientes en la laguna a través de los años.

#### **4. HIPOTESIS**

Las lagunas costeras que reciben un mayor aporte de nutrientes naturales y antropogénicos, tendrán una mayor concentración de nitrógeno, la cual, a su vez, dependerá de la dinámica y capacidad asimilativa de sus propias aguas.

#### **5. OBJETIVOS**

##### **5.1. Objetivo General**

Conocer la dinámica del nitrógeno y sus principales especies químicas en aguas de 6 lagunas costeras en Sinaloa; para determinar su distribución y variabilidad estacional a lo largo de un año.

##### **5.2. Objetivos específicos**

Conocer y establecer la variabilidad espacial y temporal de la concentración del nitrógeno y sus principales especies químicas en las aguas de las lagunas costeras considerando la época del año y las mareas; por ello se utilizarán 3 muestreos, uno en secas cálidas, uno en lluvias y uno más en secas frías.

Establecer la concentración promedio representativa del nivel de nitrógeno y sus principales formas químicas en cada una de las siguientes lagunas costeras: Ohuira-Topolobampo-Santa María, Navachiste-San Ignacio-Macapule, Santa María-La Reforma, Altata-Ensenada del Pabellón, Ceuta y Teacapán-Agua Brava.

## **6. AREA DE ESTUDIO**

El estado de Sinaloa se ubica en el noroeste del país, entre los 27° 07´ y 22° 29´ de latitud norte y los 105° 23´ y 109° 28´ de longitud oeste. Su extensión territorial es de 59 mil km<sup>2</sup>, que representa el 3% de la superficie de la República Mexicana y ocupa el número 17 respecto al área del resto de los estados (Cifuentes-Lemus y Gaxiola-López, 2003). La zona costera de Sinaloa cuenta con 608 km<sup>2</sup> de superficie insular, 17 751 km<sup>2</sup> de plataforma continental, 656 km de litoral, 221 600 hectáreas de lagunas litorales y 57 000 hectáreas de aguas continentales. Este estudio comprende 6 lagunas del estado de Sinaloa: Ohuira-Topolobampo-Santa María, Navachiste-San Ignacio-Macapule, Santa María-La Reforma, Altata-Ensenada del Pabellón, Ceuta y Teacapán-Agua Brava (Figura 1).

### **6.1. Laguna Ohuira-Topolobampo-Santa María (OHU)**

Esta laguna se localiza en la costa noroeste de Sinaloa entre los 25° 32´ 00" y 25° 36´ 00" latitud norte y 108° 54´ 00" y 109° 09´ 00" de longitud oeste, en el municipio de Ahome. La sección lagunar conocida como Topolobampo tiene una extensión de 60 km<sup>2</sup>, está conectada con el Golfo de California a través de una boca de aproximadamente 3 km de largo; mientras que Ohuira es de 125 km<sup>2</sup> y está conectada con la Bahía de Topolobampo a través de un canal (Green-Ruiz, 2000). El clima es tropical seco con lluvias en verano. La temperatura máxima varía de 29 a 43°C y la mínima oscila entre 12 y 25°C. La precipitación pluvial es del orden de 197 mm, la temperatura del agua varía de 24 a 36°C y la salinidad varía de 29 a 35 ups. En la boca del sistema lagunar se producen los efectos de mezcla y turbulencia con los efectos de flujo y reflujo, que condicionan los cambios bruscos. Es determinante la influencia de la descarga de agua caliente de la termoeléctrica; la dispersión de temperatura en la Bahía de Ohuira y con reflujos fuertes en las mareas, se distribuye en la Bahía de Topolobampo (Contreras-Espinoza y Castañeda-López, 2003). Los efluentes principales hacia esta laguna son los provenientes de tres drenes de aguas negras y de desechos industriales provenientes de la ciudad de Los Mochis, Paredones, Lázaro Cárdenas y Juan José Ríos (Green-Ruiz, 2000). En este sistema se encuentran diversas especies de importancia comercial como camarón, botete, robalo, constantino, ostión, mojarra y pargo. La principal problemática que presenta la laguna es debido al desarrollo de diferentes sectores (agrícola, pesquero y acuícola) que hacen uso del sistema y sus recursos; modificación del balance hídrico del sistema; contaminación de suelos y agua por asentamientos humanos y uso de agroquímicos en las inmediaciones del ecosistema; disminución de la superficie vegetal por presión urbana así como también por actividades agrícolas y acuícolas y erosión costera (Carta Nacional Pesquera, 2000).



## **6.2. Laguna Navachiste-San Ignacio-Macapule (NSI)**

El sistema lagunar Navachiste-San Ignacio-Macapule se encuentra localizado en la costa norte del estado entre los 25° 22' 00" y 25° 35' 00" de latitud norte y 109° 05' 00" y 108° 45' 00" de longitud oeste, entre los municipios de Ahome y Guasave. La laguna abarca 267 km<sup>2</sup> y comprende principalmente la sección conocida como Bahía de Navachiste con 214 km<sup>2</sup>, y como subsistemas la Bahía San Ignacio con 27 km<sup>2</sup> y la Bahía de Macapule con 26 km<sup>2</sup>. Tiene una profundidad media de 4 m, posee una barrera arenosa de 23 km de largo y 8 islas. Es un sistema semicerrado por la Isla de San Ignacio, tiene dos bocas de comunicación con el Golfo de California denominadas Ajoro y Vasequilla con una extensión de 2 y 1.5 km de ancho, respectivamente. Comprende dos esteros importantes, El Colorado y El Caracol, los cuales reciben los aportes de drenes agrícolas y municipales. En la Bahía Navachiste y la Bahía de San Ignacio se encuentran 124 granjas camarónicas (Contreras-Espinoza y Castañeda-López, 2003). Los principales impactos que presenta este sistema lagunar son debido al desarrollo de los sectores agrícolas, pesqueros, acuícolas y turísticos, que hacen uso del sistema y sus recursos; modificación del balance hídrico del sistema por tala del manglar debido a actividades productivas; contaminación de suelo y agua por uso de agroquímicos; disminución de la superficie vegetal por presión urbana, así como también por actividades agrícolas y acuícolas; y erosión costera. Las principales especies de importancia comercial encontradas en este sistema son camarón, ostión, almeja, lisa, mojarra, botete, pargo, mero y robalo (Carta Nacional Pesquera, 2000).

## **6.3. Laguna Santa María- La Reforma (SMR)**

Se encuentra en la parte norte del estado entre los 24° 43' 00" y 24° 25' 00" de latitud norte y 107° 56' 00" y 108° 19' 00" de longitud oeste. Comprende los municipios de Angostura y Navolato. Tiene un área de 1350 km<sup>2</sup>. La profundidad máxima encontrada es de 24 m y la profundidad media del sistema lagunar es de 7 m, se comunica con el Océano Pacífico a través de dos grandes bocas con más de 5 km de ancho cada una y de 12 a 17 m de profundidad. Es el sistema costero más grande del estado y uno de los más importantes por la gran diversidad de flora y fauna silvestre. El ingreso de la marea por sus bocas mantiene un canal de intercomunicación, siendo la porción este-central de 2 m de profundidad (Contreras-Espinoza y Castañeda-López, 2003). Tiene un clima cálido árido a cálido semiárido con lluvias en verano con temperatura media anual mayor de 18° C. Presenta marea semidiurna y oleaje medio. Posee una gran variedad de ambientes que van desde playas, lagunas, marismas, dunas, humedales, esteros, islas barrera, bajos, hasta zonas de manglar, y gran biodiversidad de especies como moluscos, poliquetos, equinodermos, crustáceos, peces, tortugas, aves residentes y migratorias, mamíferos marinos, manglares, halófitas, además es zona migratoria de patos (invierno) y de reproducción y crecimiento de peces

y crustáceos. Es considerada por la CONABIO como zona hidrológica prioritaria (Arriaga-Cabrera, *et al.*, 1998). Su principal afluente era el Río Mocorito, hasta la construcción de la Presa Eustaquio Buelna. Actualmente su aporte es reducido y la mayor afluencia de agua dulce proviene de la actividad agrícola. Los principales impactos que presenta este sistema lagunar son contaminación de la bahía por agroquímicos y subproductos de la agroindustria; modificación del balance hídrico del sistema por efecto del represamiento del Río Mocorito; intrusión de la cuña salina principalmente a tierras de uso agrícola; incremento del esfuerzo pesquero y de la extensión destinada a la camaronicultura; y disminución de la superficie vegetal con la consecuente pérdida de hábitat para especies acuáticas. Presenta diversas especies de importancia pesquera como son camarón y jaiba, además es una importante zona de anidación de aves costeras (Carta Nacional Pesquera, 2000).

#### **6.4. Laguna Altata-Ensenada del Pabellón (AEP)**

El complejo estuarino de Altata-Ensenada del Pabellón está localizado en la costa central del estado de Sinaloa entre los 24° 18' 00" y 24° 40' 00" de latitud norte y 107° 27' 00" y 108° 00' 00" de longitud Oeste, esta laguna se extiende en un área de 360 km<sup>2</sup> y está conformada por 2 cuencas: Altata y Ensenada del Pabellón las cuales tienen un área de 75 y 232 km<sup>2</sup> respectivamente y las lagunas internas de Caimanero (3 km<sup>2</sup>), Bataoto (2 km<sup>2</sup>) y Chiricahueto (23 km<sup>2</sup>) (Ruiz-Fernández, *et al.*, 2003). Interactúa por medio de una boca central con el océano Pacífico. Al este se comunica con Ensenada del Pabellón, a través de la boca de barra formada entre la Península de Lucernilla y la costa. Tiene una profundidad promedio de 5 m (Carta Nacional Pesquera, 2000). Tiene un clima cálido árido a cálido semiárido con lluvias en verano y una temperatura media anual mayor de 18° C. Posee mareas semidiurnas y oleaje bajo. En este sistema lagunar podemos encontrar diversos ambientes desde marismas, humedales, esteros, lagunas, hasta pantanos los cuales poseen alta integridad ecológica y una gran biodiversidad de especies como moluscos, poliquetos, equinodermos, crustáceos, peces, tortugas, aves residentes y migratorias, mamíferos marinos, manglares, tulares, halófitas. Además es una zona importante de migración de patos (Arriaga-Cabrera *et al.*, 1998). En la cuenca que drena hacia el sistema lagunar se encuentran los municipios de Culiacán y Navolato, donde se localiza la actividad agrícola más intensa del país. Los 2 municipios poseen un total de 270 000 Ha dedicadas al cultivo de hortalizas, soya, cártamo y arroz (CAADES, 1986). El sistema registra un gradiente bien marcado de salinidad de polihalino al centro de la laguna a oligohalino hacia los drenes, lo cual se debe principalmente a la influencia de la marea, al aporte de aguas dulces, a las aguas de retorno agrícola, de los ingenios azucareros y a la extensión de las áreas palustres adyacentes (Campos-Villegas, 1996). Los principales impactos que presenta este sistema lagunar son debidos al desarrollo de diferentes sectores (agrícola, pesquero y

acuícola) que hacen uso del sistema y sus recursos; modificación del balance hídrico del sistema; contaminación de suelos y agua por asentamientos humanos y uso de agroquímicos en las inmediaciones del ecosistema; disminución de la superficie vegetal por presión urbana, así como también por actividades agrícolas y acuícolas. Presenta diversas especies de importancia pesquera como son camarón, ostión, lisa, robalo, pargo, mero, mojarra y curvina (Carta Nacional Pesquera, 2000).

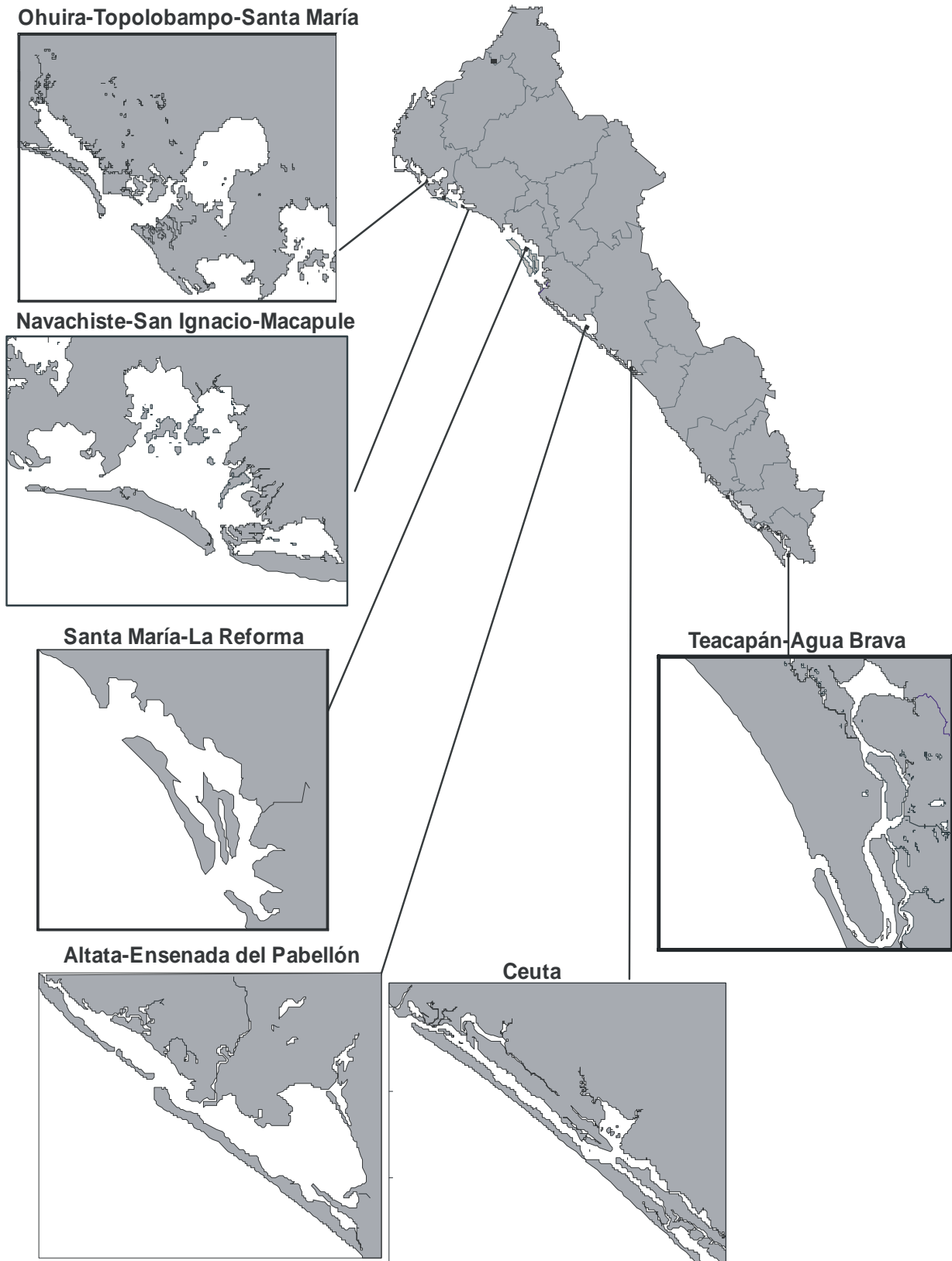
### **6.5. Laguna Ceuta (CEU)**

La laguna de Ceuta está localizada al Sur del estado en la llanura costera de Sinaloa entre los 24° 00' 00" y 24° 15' 00" de latitud norte y los 107° 05' 00" y 107° 27' 00" de longitud Oeste. Su área total aproximada es de 71.4 km<sup>2</sup> con un ancho de 1.1 km la laguna de Ceuta se comunica con el Golfo de California a través de 2 aberturas permanentes, la primera se denomina boca de Ceuta o Boca Vieja que mide aproximadamente 2 km, con una profundidad media de 13 m; la segunda es conocida como Boca Nueva o Boca de la Ensenada del Mar y tiene un ancho de 475 m (Garay-Morán, 2002). Se ubica en la región hidrológica No. 10 y tiene como afluente principal la cuenca del río San Lorenzo. La problemática de esta zona se debe principalmente al desarrollo del sector agrícola, pesquero y acuícola, los cuales hacen uso del sistema y sus recursos; modificación del balance hídrico del sistema; contaminación de suelos y agua por descargas residuales domésticas y uso de agroquímicos en las inmediaciones del sistema; disminución de la superficie vegetal por presión urbana, actividades agrícolas y acuícolas; y alteración de la biodiversidad. Las principales especies de importancia pesquera encontradas en este sistema son: camarón, lisa, curvina, mero, botete, robalo y ostión (Carta Nacional Pesquera, 2000).

### **6.6. Laguna Teacapán-Agua Brava (TEA)**

Se localiza en la planicie costera Norte del estado de Nayarit y parte Sur del estado de Sinaloa entre los paralelos 22° 04' y 22° 35' latitud norte, y los meridianos 105° 20' 00" y 105° 50' 00" de latitud oeste, tiene una extensión de 400 km<sup>2</sup>, un perímetro de 83 km y 150,000 canales de marea y manglar. Se comunica con el mar por medio de dos bocas, Boca de Teacapán y Boca de Cuautla; la Boca de Teacapán tiene comunicación natural permanente con el mar con un ancho de 1 km aproximadamente y profundidades de 3 a 9 m, de acuerdo a la época del año; la Boca de Cuautla es un canal artificial abierto permanentemente de más de 2 km de ancho y con una profundidad superior a los 30 m, que comunica la laguna con el océano (Carta Nacional Pesquera, 2000). Esta región presenta un clima cálido subhúmedo con temperatura media anual mayor a 22° C y temperatura en el mes más frío mayor a 18° C, la precipitación media anual es de 500 a 2500 mm y la precipitación en el mes más seco entre 0 y 60 mm y lluvias de verano de un 5% al 10.2%

anual. Posee masas de agua superficial tropical y subtropical, marea semidiurna y oleaje alto, tiene aporte de agua dulce por ríos y esteros. Posee ambientes diversos como playas, lagunas, litorales, estuarios, marismas, esteros, humedales, zona oceánica, archipiélagos y bajos algunos de estos con alta integridad ecológica, también se puede encontrar una gran biodiversidad de especies: moluscos, poliquetos, equinodermos, crustáceos, peces, tortugas, aves residentes y migratorias, mamíferos marinos, manglares y tulares. Es zona migratoria de crustáceos (*Portunus xantusi*) y de anidación de aves. Este complejo lagunar es considerado una zona hidrológica prioritaria por la CONABIO (Arriaga-Cabrera, *et al.*, 1998). Los ríos que descargan en el sistema son: Cañas, Rosa Morada y Bejuco (estacionales), y Acaponeta y Baluarte al Norte de la región. Pertenecen a la región hidrológica No. 11. La problemática que presenta la laguna es por severa alteración hidrodinámica interior del sistema debido principalmente a la apertura del canal de Cuautla y su acelerado crecimiento, salinizando el sistema; interrupción del flujo por el corte transversal de los canales de las barras por la construcción de carreteras y canales de navegación, riesgo de contaminación de suelo y agua por asentamientos humanos y uso de agroquímicos y disminución de la superficie vegetal por la presión de la actividad agrícola y acuícola. Las principales especies de importancia pesquera son camarón de estero, chihuil, burro, corvina, lisa, macho, mero, mojarra, pargo, robalo y constantino (Carta Nacional Pesquera, 2000).



**Fig. 1.** Localización geográfica del área de estudio.

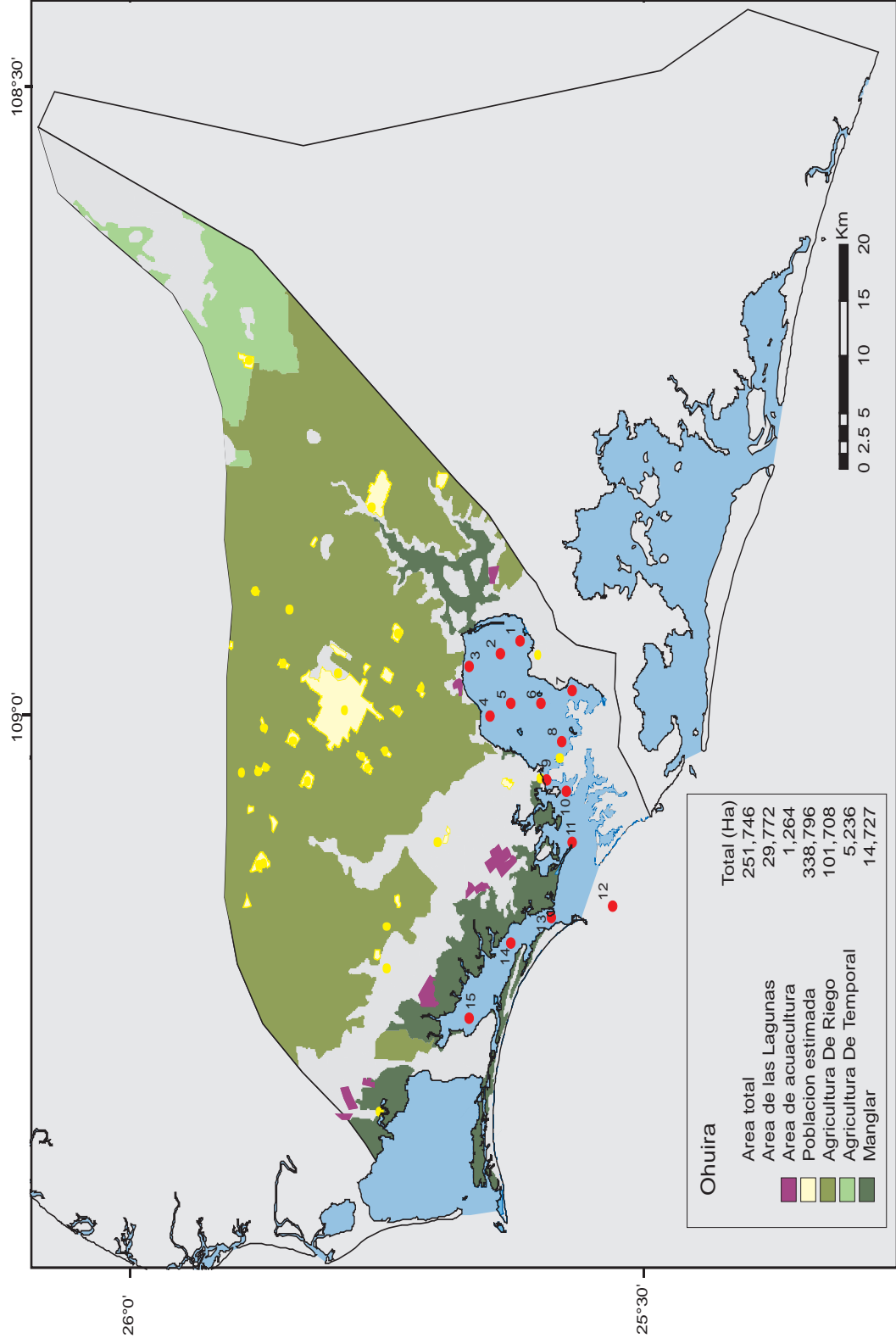


Fig. 2. Estaciones de muestreo en la laguna Ohuira-Topolobampo-Santa María.

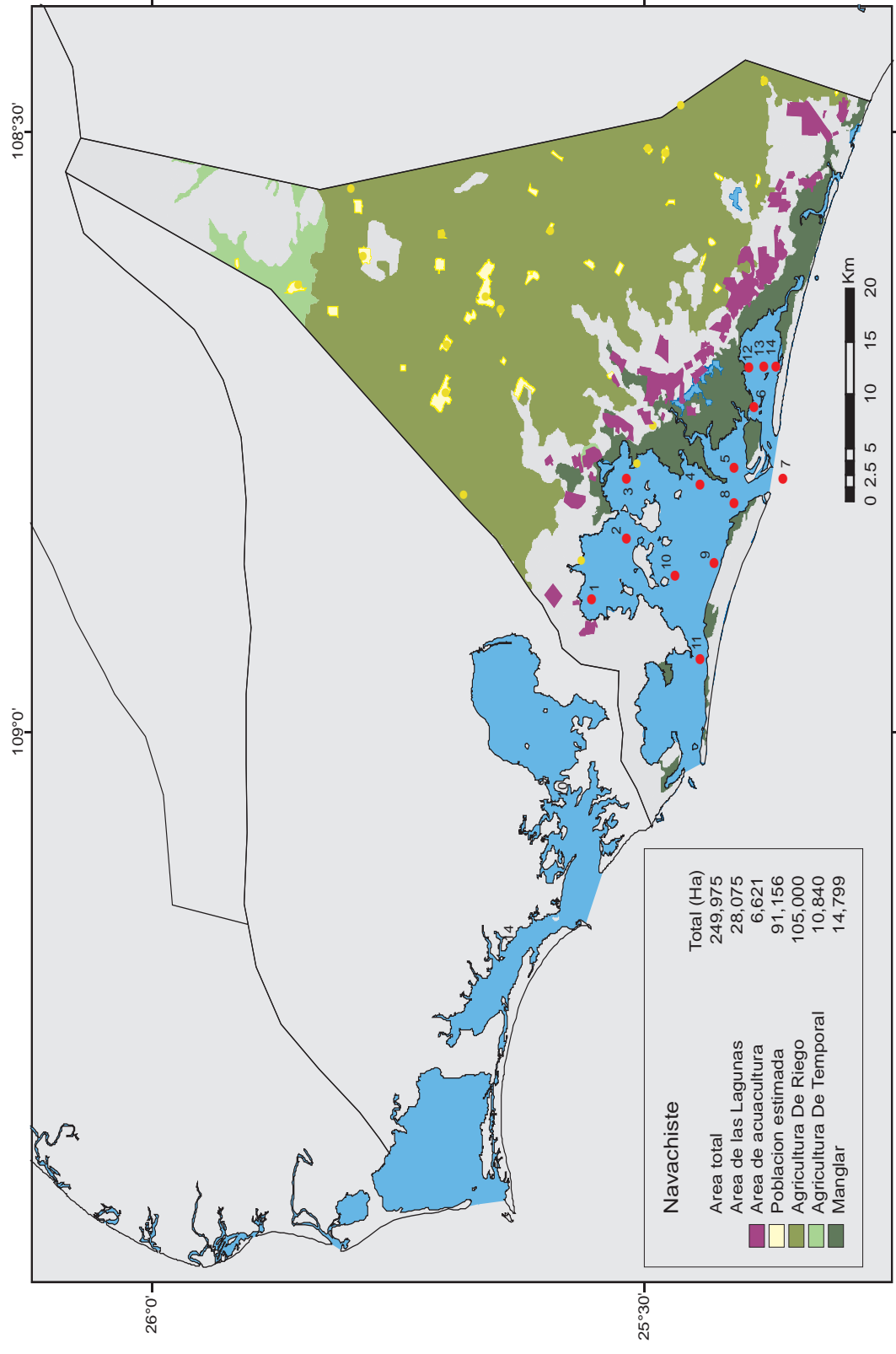


Fig. 3. Estaciones de muestreo en la laguna Navachiste-San Ignacio-Macapule.

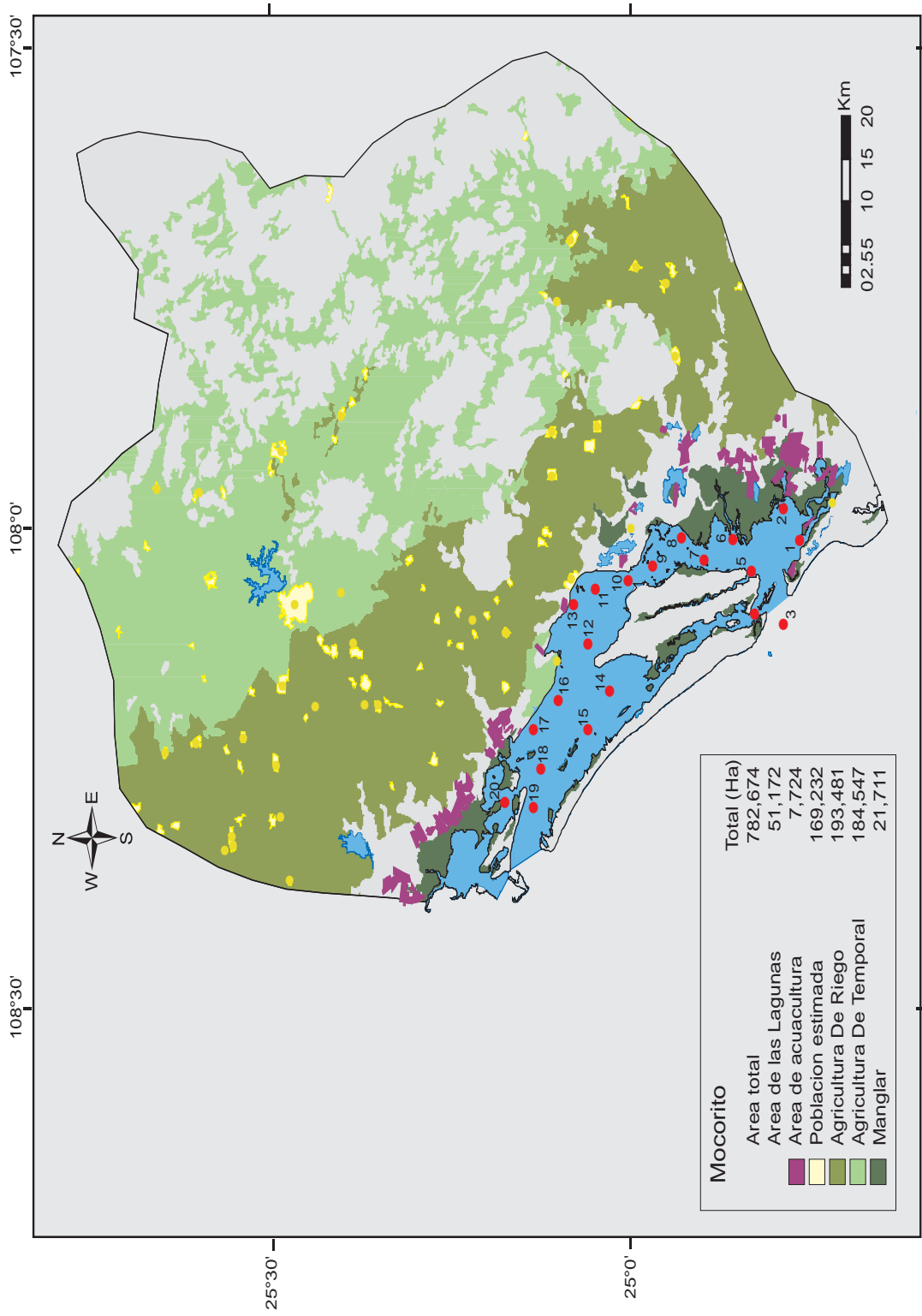


Fig. 4. Estaciones de muestreo en la laguna Santa María-La Reforma.



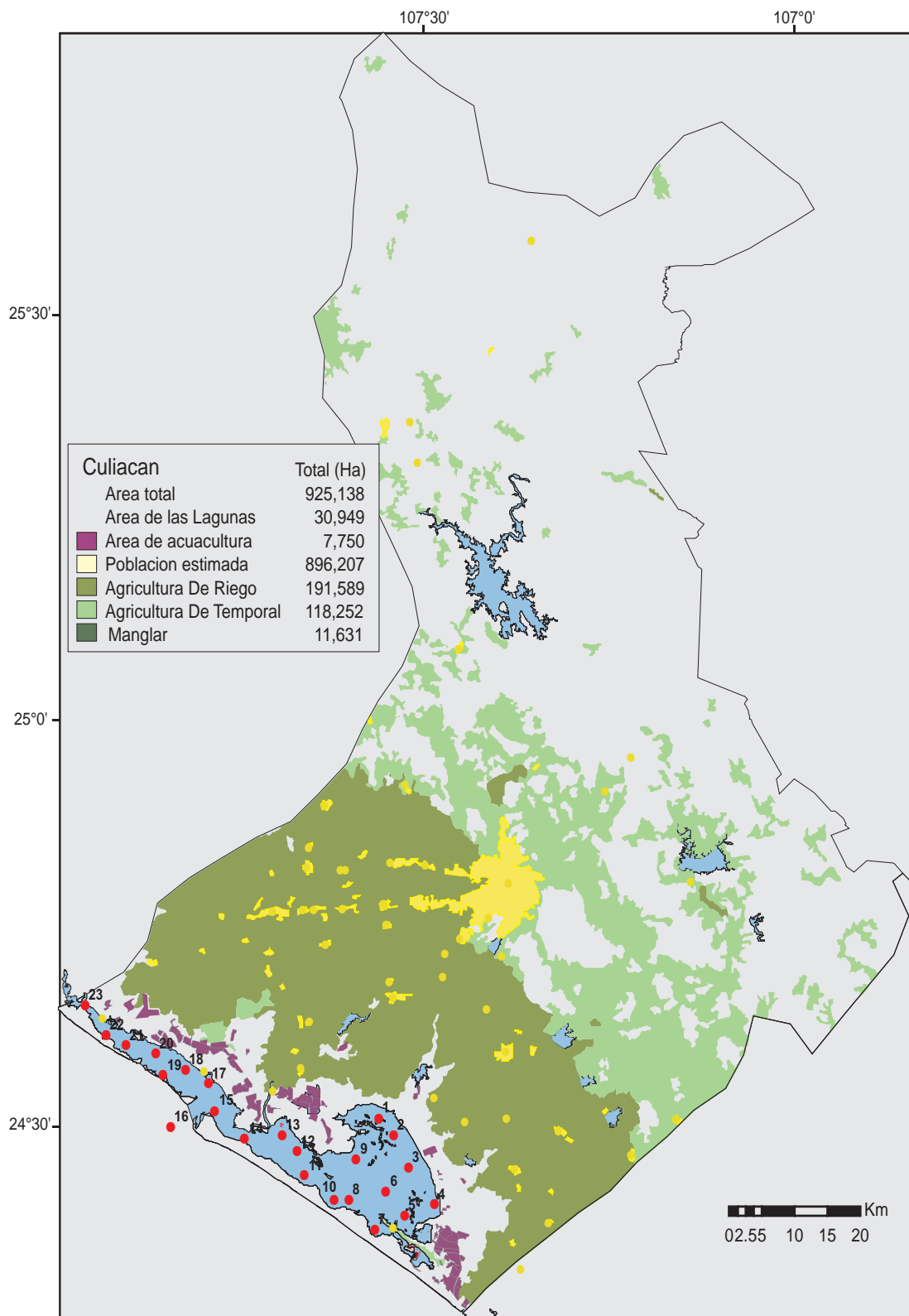


Fig. 5. Estaciones de muestreo en la laguna Altata-Ensenada del Pabellón.

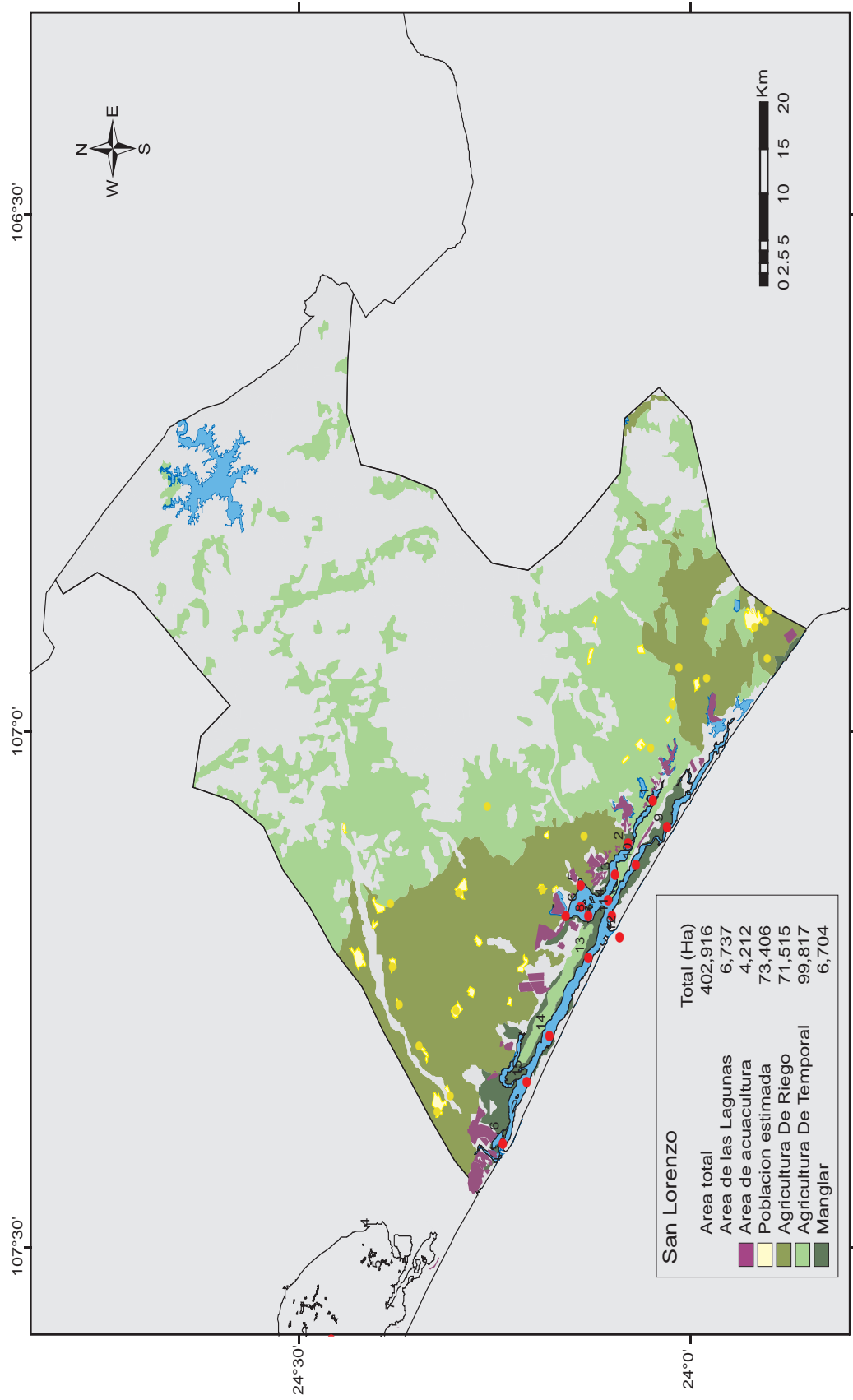


Fig. 6. Estaciones de muestreo en la laguna Ceuta.

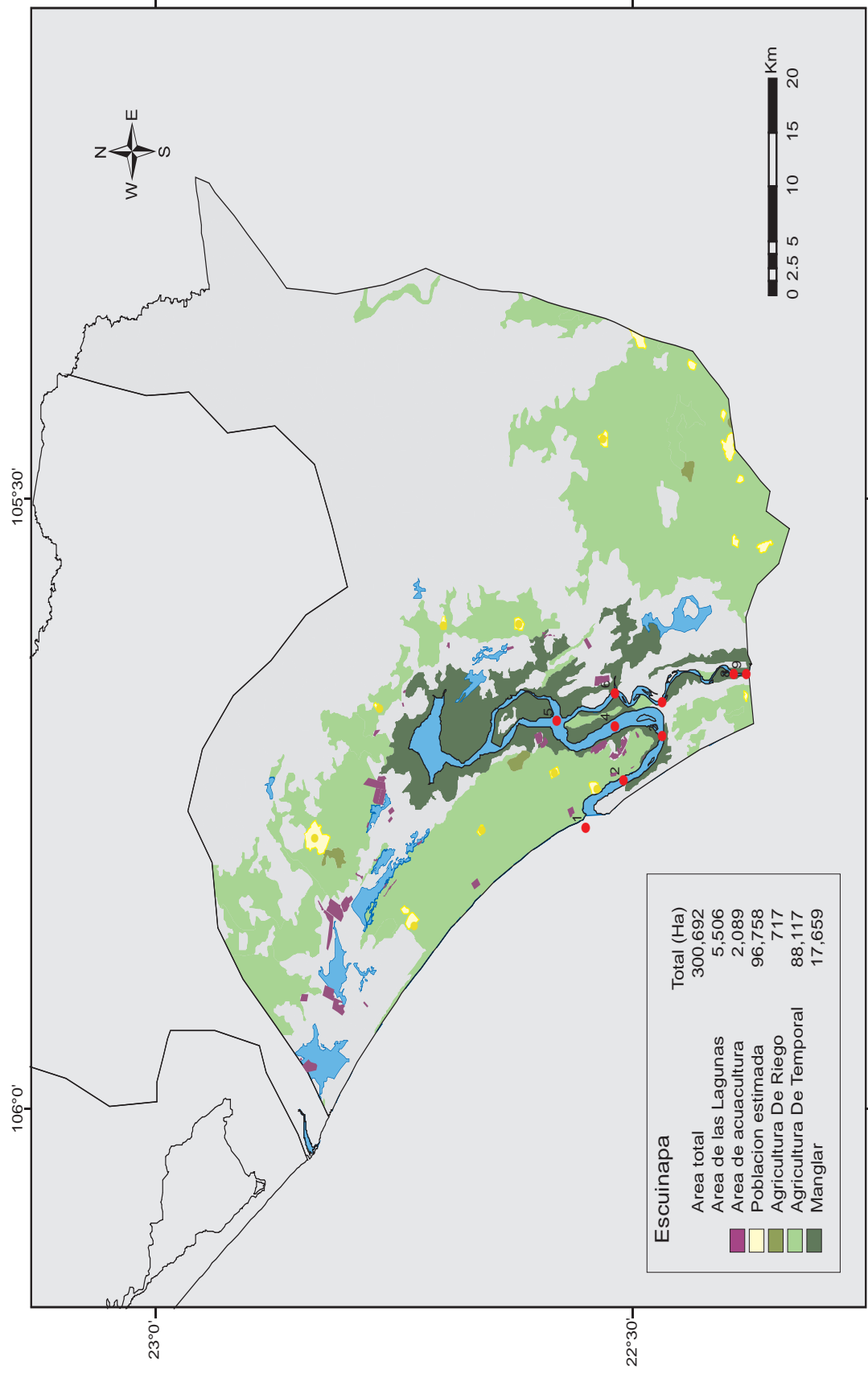


Fig. 7. Estaciones de muestreo en la laguna Teacapán-Agua Brava.

## 7. METODOLOGÍA

### 7.1. Trabajo de Campo

Se tomaron muestras de agua en una red de 10 a 23 estaciones (dependiendo el tamaño de la laguna) tanto de superficie como de fondo, en pleamar y bajamar durante sicigia durante 3 periodos estacionales:

- (1) Secas con temperaturas cálidas (SC), (mayo a junio de 2004);
- (2) Época de lluvias (LL), (agosto a octubre de 2004); y
- (3) Secas con temperaturas frías (SF), (febrero a abril de 2005).

El calendario de muestreo se presenta en la Tabla 1. En cada estación se midió la profundidad, profundidad Secchi, temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y se tomaron muestras de agua para la determinación de clorofila *a*, nutrientes y fitoplancton.

La temperatura, salinidad y oxígeno disuelto se midieron *in situ* con una sonda YSI 556 MPS. Las muestras de agua se recolectaron en la superficie con una tubo de 1.5 m de longitud (Sfriso y Marcomini, 1997) y en profundidades mayores a 2 m con una botella Niskin vertical (Tabla 2).

Una vez realizada la recolección de muestras, se tomaron las alícuotas correspondientes para la determinación de amonio, nitritos, nitratos y nitrógeno total, mismas que fueron almacenadas en hieleras para ser transportadas al laboratorio.

Tabla 1. Programa de muestreos.

LAGUNA / MUESTREO	SECAS CÁLIDAS	LLUVIAS	SECAS FRIAS
OHU	17/junio/2004	20/agosto/2004	23/febrero/2005
NSI	16/junio/2004	19/agosto/2004	22/febrero/2005
SMR	04/junio/2004	30/septiembre/2004	03/marzo/2005
AEP	18/mayo/2004	14/octubre/2005	08/abril/2005
CEU	04/mayo/2004	28/octubre/2004	21/abril/2005
TEA	29/junio/2004	15/septiembre/2004	25/febrero/2005

### 7.2. Técnicas analíticas

Los métodos utilizados para el análisis de los parámetros estudiados se enlistan en la Tabla 2, mismos que a continuación se describen brevemente.

### **Determinación de sólidos suspendidos totales**

Para este propósito se hace pasar un determinado volumen de agua a través de membranas de nitrocelulosa (0.45  $\mu\text{m}$ ) dependiendo de la estación (30-900 ml) hasta llegar a la saturación de la misma. Posteriormente se les pasa una pequeña cantidad de agua desionizada (30 ml) para eliminar sales, después se colocan en cajas Petri en una estufa 60 °C durante 72 horas, luego se pesan y por diferencia se determina la cantidad de sólidos suspendidos presentes en la muestra (APHA, 1989).

### **Determinación de Nitrógeno amoniacal**

La determinación de amonio se efectuó siguiendo el método de Solórzano (1969), donde el amonio presente en la muestra reacciona con hipoclorito de sodio en medio alcalino, en presencia de fenol y cantidades catalíticas de nitroprusiato de sodio, para formar el compuesto azul de indofenol el cual tiene su máxima absorción a los 640 nm.

### **Determinación de nitritos**

Los nitritos se analizaron con el método colorimétrico descrito por Strickland y Parsons (1972), en el cual el nitrito presente en la muestra reacciona con sulfanilamida en medio ácido, luego se le hace reaccionar con N-1-naftiletildiamina dando origen a un compuesto azo altamente colorido, con absorbancia máxima a 543 nm.

### **Determinación de nitratos**

El método para la determinación de nitratos se basa en la reducción cuantitativa (90 a 95%) de nitratos a nitritos en una columna de limaduras de cadmio cubiertas con cobre coloidal, en presencia de cloruro de amonio el cual produce un efecto buffer en la disolución y forma un complejo con el cadmio que ha sido oxidado durante la reducción del nitrato (Strickland y Parsons, 1972).

### **Determinación de nitrógeno total**

Los compuestos de nitrógeno orgánico e inorgánico se oxidan a nitratos bajo presión con persulfato de potasio en disolución alcalina, los nitratos son reducidos luego a nitritos y se determinan colorimétricamente como se describe en la determinación de nitritos (Grasshoff *et al.*, 1983).

### **Determinación de clorofila a y feopigmentos**

Para la determinación espectrofotométrica de feopigmentos, los extractos con metanol deben ser acidificados con HCl 0.003M (Holm-Hansen, 1978). Las lecturas se obtienen a 665 nm antes y después de la acidificación, corregidas por la lectura a 750 nm (blanco).

### 7.3. Tratamiento de los datos

Una vez realizados los análisis fisicoquímicos, se elaboró una base de datos que contenía todos los parámetros medidos en cada laguna por periodo de muestreo. Cada uno de los datos se calculó con el promedio entre la superficie y el fondo (la muestra de fondo se realizó solamente si la profundidad  $\geq 2$  m).

Después de probar que los datos no seguían una distribución normal, se aplicaron pruebas estadísticas no paramétricas a las variables físicas y químicas medidas: la prueba de Mann-Whitney para dos muestras independientes para estudiar las diferencias significativas entre las medias de las épocas de muestreo en cada laguna y la prueba de Wilcoxon para muestras pareadas para estudiar las diferencias entre lagunas (Zar, 1984). Cada uno de los análisis y pruebas referidas, así como las gráficas se realizaron mediante los paquetes Excel 2000 y Statistica 5.5.

Tabla 2. Parámetros físicos y de calidad de agua analizados en el presente estudio.

Parámetro	Límite de detección	Precisión	Unidades	Método	Referencia
Temperatura	0.01	$\pm 0.15$	°C	YSI 556 MPS	-
Salinidad	0.01	$\pm 0.1$	‰	YSI 556 MPS	-
Oxígeno disuelto	0.01	$\pm 0.2$	mg / L	YSI 556 MPS	-
Transparencia del agua	0.1		metros	Disco Secchi	Carlson (1995)
Amonio (a)	0.1	$\pm 0.1$	$\mu\text{M}$	Fenato/ colorimétrico	Solórzano (1969)
Nitrito	0.02	$\pm 0.03$	$\mu\text{M}$	Colorimétrico	Strickland y Parsons (1972)
Nitrato + Nitrito (b)	0.04	$\pm 0.05$	$\mu\text{M}$	Reducción con cadmio/ colorimétrico	Strickland y Parsons (1972)
NID (a+b)			$\mu\text{M}$		
Nitrógeno total (Nt)	0.2	$\pm 0.1$	$\mu\text{M}$	Digestión alcalina /colorimétrico	Grasshoff <i>et al.</i> , (1983)
Nitrógeno orgánico (Nt-NID)			$\mu\text{M}$		
Sólido Susp. Totales	0.8	$\pm 2.8$	mg / L	Gravimétrico	APHA (1989)
Clorofila <i>a</i>	0.01	$\pm 0.26$	mg / m <sup>3</sup>	Espectrofotométrico	Holm-Hansen (1978)

## **8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Se exponen los resultados del análisis de la variación tanto de los parámetros fisicoquímicos como de nutrientes en 6 lagunas costeras del estado de Sinaloa, las cuales se muestrearon en tres épocas climáticas diferentes. El primer período de muestreo se le llamó secas cálidas o estiaje, este comprendió los meses de mayo a junio de 2004; el segundo periodo se extendió desde agosto hasta octubre de 2004 y se hace referencia a él como lluvias y el tercer periodo lo llamamos secas frías comprendiendo los meses de febrero a abril de 2005.

### **8.1. Laguna Ohuira-Topolobampo-Santa María**

#### **8.1.1. Variables físico-químicas**

##### **Temperatura**

En esta laguna se encontró que durante la época de lluvia las temperaturas de las aguas se presentaron de manera muy homogénea en todo el sistema (Fig. I.1 A, Anexo Ia). Se presentó un mínimo de 30.2, un máximo de 32.5 y un promedio de 31.7 °C para pleamar, mientras que para bajamar el mínimo fue de 31.9 y el máximo de 33.0 °C, con un promedio de 32.5 °C, ligeramente más elevado que en pleamar. En secas frías se observó un descenso de la temperatura, presentándose en pleamar un mínimo de 22.0 °C, un máximo de 23.3 °C y un promedio de 22.5 °C, mientras que en bajamar se presentó un mínimo de 22.3 °C, un máximo de 26.1 °C y un promedio de 24.0 °C. La prueba de la ANOVA no paramétrica indica que existen diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) de la temperatura en la laguna con respecto a las épocas climáticas (Tabla 3). En la Tabla 14 (Anexo IA) se muestra claramente que las temperaturas más elevadas en el sistema se registraron durante el período de lluvias debido a que abarca los meses más cálidos, mientras que las más bajas del ciclo anual se obtuvieron en el período de secas frías (Tabla 3a).

La laguna Ohuira-Topolobampo-Santa María presentó un comportamiento estacional bien definido, mostrando promedios máximos en los meses de verano y mínimos en invierno. La temperatura del agua presentó relación con el comportamiento de la temperatura ambiental, mostrando los valores más altos en las horas de mayor irradiación solar y viceversa. Así como también, existió relación con el ciclo de marea, con valores elevados durante la bajamar, además se presentó un gradiente de temperaturas que fue aumentando desde la boca hacia el interior del sistema. Un comportamiento similar fue encontrado para esta misma laguna por López-Ruelas (1985); Secretaría de Marina (1990); Sigala-Morales (1994) y para otros sistemas lagunares en el noroeste de México por Álvarez-Borrego *et al.* (1975); Morales-Soto *et al.* (2000).

## Salinidad

La salinidad se comportó casi de igual forma en los tres periodos de estudio (Fig I.1 B, Anexo IA), mostrando valores por encima del típico oceánico ( $>35$  ups). Las salinidades más elevadas (41.3 ups) se presentaron en las estaciones más someras de la laguna en secas cálidas y lluvias. Durante secas cálidas se observaron salinidades ligeramente más elevadas en pleamar, el promedio fue de 38.3 ups mientras que en bajamar el promedio fue de 37.8 ups. En lluvias se alcanzaron salinidades promedio de 38.8 ups. Las salinidades registradas en secas frías se presentaron entre los 35.3 y 39.0 ups, comportándose los valores casi de igual manera en pleamar y bajamar, con excepción de la estación 3 que presentó la salinidad más baja (25.5 ups) debido a los escurrimientos presentes en la zona.

Durante el ciclo anual se puede observar como la salinidad incrementa sus valores hacia las partes más internas en las épocas de secas cálidas y lluvias, mientras que en secas frías encontramos los valores más altos hacia la boca y estos disminuyeron hacia el interior de la laguna. Esto concuerda con lo registrado por López-Ruelas (1985) para este mismo sistema. El análisis de ANOVA no Paramétrica indica que existen diferencias significativas ( $P<0.05$ ) en la laguna a lo largo del año (Tabla 3) entre SC con LL, SC con SF y LL con SF.

La distribución espacial de la salinidad presentó una tendencia a aumentar los valores desde la boca hacia el interior de la bahía de Ohuira y Santa María, a lo largo del periodo de estudio solo se observó este gradiente en las épocas de secas cálidas y lluvias. Contreras (1985) menciona que la batimetría de las lagunas costeras provoca que se formen zonas de calentamiento debido a la poca profundidad, dando lugar a una mayor evaporación y por lo tanto aumento de la salinidad. Este fenómeno se observó de manera más acentuada en la bahía de Ohuira que posee aguas más someras ( $< 2$  m), el mismo comportamiento fue registrado por la Secretaría de Marina (1990). Por otro lado en la época de secas frías el gradiente se invierte, encontrándose las menores concentraciones en la bahía de Ohuira y Santa María y aumentando hacia la boca. Este fenómeno según López-Ruelas (1985) se debe a que este sistema lagunar se ve influenciado por aportes de aguas residuales relativamente dulces que son vertidos hacia la parte de Santa María y Ohuira donde desembocan algunos drenes agrícolas. La Secretaría de Marina (1990) menciona que los aportes de aguas residuales son considerables sobre todo hacia la región de Ohuira, y particularmente en las fechas de riego.

Durante primavera y verano, debido a la influencia de la temporada de lluvias se presentan los valores más bajos de salinidad, sin embargo los resultados obtenidos en el presente estudio, nos muestran lo contrario, debido a que se encontraron los valores más bajos en secas frías (invierno), similar a lo encontrado por Álvarez-Borrego *et al.* (1975); Álvarez-Borrego *et al.* (1977),



en otros sistemas. En cuanto a la distribución vertical de temperatura y salinidad en la laguna, no se observó estratificación en ninguna de las estaciones (Fig. II.1 a y II.1 b, Anexo II).

### **Oxígeno disuelto en las aguas del fondo**

En cuanto a la concentración de oxígeno disuelto se encontró que en secas cálidas durante la pleamar se presentaron las concentraciones más bajas (4.3 mg/L) en las estaciones 1 a 4 ubicadas frente a Paredones, mientras que el máximo de 7.7 mg/L fue encontrado en esta misma sección en bajamar. Esto posiblemente se deba a la poca profundidad del área y a la acción del viento sobre la columna de agua. En lluvias, las estaciones 6 y 7 (ubicadas frente a Lázaro Cárdenas) presentaron las concentraciones máximas de oxígeno disuelto (alrededor de 7 mg/L). En bajamar las concentraciones fueron ligeramente más elevadas que en pleamar.

Durante la época de secas frías las concentraciones de oxígeno disuelto más elevadas se encontraron en bajamar en las estaciones 3, 6 y 7 donde la concentración alcanzó hasta los 14 mg/L lo cual pudo deberse a la influencia del viento y a la presencia de parches macroalgales en la zona. Al analizar los datos se encontraron diferencias significativas en la concentración de oxígeno disuelto por periodo de muestreo (ANOVA,  $P < 0.05$ ), siendo secas frías significativamente diferente de secas cálidas y lluvias como se puede apreciar en la Tabla 14 (Anexo IA), mientras que en secas cálidas y lluvias tuvieron promedios similares (5.6 y 5.3 mg/L, respectivamente).

La distribución espacial de oxígeno disuelto en el sistema presentó un comportamiento muy similar en secas cálidas y lluvias. En secas cálidas estos valores se presentaron de manera muy homogénea en toda la laguna, además mostraron una variación inversa a la temperatura superficial del agua, con valores promedio máximos durante secas frías; esto se debe principalmente a que la solubilidad de los gases es inversamente proporcional a la temperatura. Un comportamiento similar fue observado por la Secretaría de Marina (1987); Escobedo-Urías *et al.* (1999) y Morales-Soto *et al.* (2000) para lagunas costeras de la región. Además se encontraron concentraciones elevadas de oxígeno disuelto en algunas estaciones donde encontramos una extensa cama de macroalgas. Contreras-Espinoza y Gutiérrez (1989) y Morán-Silva *et al.* (2005) atribuyeron las altas concentraciones de oxígeno encontradas en sistemas lagunares del estado de Veracruz a la presencia de pastos marinos encontrados en la zona de estudio.

En este estudio los valores se incrementaron durante el reflujó de la marea contrario a lo observado por López-Ruelas (1985) y Morales-Soto *et al.* (2000); lo cual es debido a la fuerte turbulencia producida por el viento provocando un mayor oleaje y mezcla aumentando la probabilidad de que

la superficie de agua se sature o sobresature de oxígeno, sobre todo en las zonas de poca profundidad.

En cuanto a la distribución vertical de oxígeno disuelto en la laguna, como era de esperarse, se encontró mayor cantidad de oxígeno disuelto en la superficie, disminuyendo la concentración hacia el fondo, lo mismo fue observado para las 3 épocas climáticas (Fig. II.1 a y II.1 b, Anexo II).

### **Clorofila *a* en las aguas superficiales**

Durante la época de secas cálidas las concentraciones de clorofila *a* más elevadas tanto en pleamar como en bajamar se encontraron en la estación 1, donde se alcanzaron valores de hasta 5.6 mg/m<sup>3</sup>, mientras que el resto de la laguna se mantuvo por debajo de los 2 mg/m<sup>3</sup>. En lluvias se encontraron valores ligeramente mayores a los encontrados en secas cálidas, para este periodo las concentraciones más elevadas se encontraron en Ohuira, el máximo (11.3 mg/m<sup>3</sup>) se registró en la estación 2. Para la época de secas frías, las concentraciones más elevadas de clorofila *a* se encontraron en las estaciones 13 y 14 donde el máximo alcanzado fue de 8.8 mg/m<sup>3</sup>, el promedio para la laguna fue de 2.31 mg/m<sup>3</sup>.

La ANOVA no paramétrica indica que existen diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) entre las épocas climáticas lluvias con secas cálidas y lluvias con secas frías en la concentración de clorofila *a* (Tabla 3). En la Tabla 14 (Anexo IA) se observa claramente que en la época de lluvias (LL) se alcanzó la concentración promedio más elevada de las tres épocas climáticas estudiadas, 1.6 mg/m<sup>3</sup>, mientras que secas cálidas y secas frías tuvieron promedios menores, 1.2 y 0.9 mg/m<sup>3</sup>, respectivamente.

La concentración de clorofila *a* es utilizado como indicador de la biomasa fitoplanctónica. La abundancia de ese pigmento fluctúa ampliamente dependiendo de la estación climática. La variación del pigmento en este sistema mostró para todas las épocas climáticas una tendencia de incremento desde la boca hacia el interior, los máximos se registraron hacia Ohuira y Santa María en las regiones influenciadas por las descargas de los drenes, aunque estos fueron mayores en Ohuira. Sigala-Morales (1994), sugiere que esto probablemente se deba a un mayor tiempo de residencia del agua en la bahía. Millán-Núñez *et al.* (1982), en un estudio hecho en 2 lagunas de Baja California encontraron que un mayor tiempo de residencia del agua da lugar a un enriquecimiento de detritus en suspensión, lo cual a su vez aumenta la turbidez y provoca condiciones de iluminación limitantes, disminuyendo la abundancia de fitoplancton y aumentando la concentración de clorofila por célula.

## **Sólidos suspendidos totales (SST)**

En secas cálidas (Fig. I.1 E, Anexo IB) los SST tanto en pleamar como en bajamar se encontraron concentraciones más elevadas en las estaciones 1-4 debido a la acción del viento y a la poca profundidad de la zona, alcanzando hasta 95.8 mg/L. En bajamar, los valores de SST fueron siempre superiores a los de pleamar, las medias para ambos casos fueron de 28.0 y 20.3 mg/L, respectivamente. Durante la época de lluvias los SST se comportaron casi de igual forma en pleamar y bajamar, alcanzando la máxima concentración nuevamente en la estación 4 (109.1 mg/L), aunque se alcanzaron mayores concentraciones en promedio en bajamar que en pleamar. Las medias fueron de 24.5 mg/L para pleamar y 26.2 para bajamar. En el caso de secas frías la concentración de SST presentó medias más elevadas con respecto a las épocas anteriores, en el caso de pleamar una media de 26.2 mg/L y en bajamar de 35.0 mg/L.

Como puede observarse en la Tabla 14 (Anexo IA), en la época de secas frías se alcanzó la concentración media más elevada de SST y en las tres épocas se alcanzan medias superiores en bajamar que en pleamar. Por otro lado la ANOVA muestra que existen diferencias significativas entre las épocas climáticas ( $P < 0.05$ ) sobre todo en secas frías con secas cálidas y secas frías con lluvias.

Los SST en secas cálidas y lluvias mostraron un gradiente de aumento desde la boca hacia las partes internas de la laguna siendo más marcados hacia la bahía de Ohuira. Gómez-Aguirre (1965) hizo una clasificación tomando en cuenta la transparencia del agua en la laguna de Términos Campeche y las dividió en: clara (visibilidad de más de un metro), de transparencia media (visibilidad entre 0.51 y 0.99 m) y turbia (visibilidad menor a 0.5 m), basándonos en lo anterior en la mayoría de las estaciones de la laguna encontramos una visibilidad mayor a 1 m, por lo cual podemos clasificar estas aguas como claras.

### **8.1.2 Especies nitrogenadas**

#### **Amonio**

La distribución espacial de la concentración de amonio (Fig. I.1 F, Anexo IB) en la época de secas cálidas muestra durante la pleamar valores máximos de 25.7  $\mu\text{M}$  en la estación 10 ubicada frente al muelle, mientras que en bajamar las concentraciones se mantuvieron por debajo de 9.6  $\mu\text{M}$  en todas las estaciones. En la época de lluvias la concentración de amonio no mostró patrones bien definidos, se encontró la concentración más elevada durante la pleamar en la estación 3 ubicada frente a Paredones, mientras que en bajamar la concentración más elevada se encontró en la

estación 13. Los valores fueron menores durante el reflujo de la marea. En la época de secas frías la concentración promedio fue de 15.8  $\mu\text{M}$  en pleamar, encontrándose las concentraciones un poco más elevadas en bajamar que en pleamar (Tabla 3b).

El comportamiento del amonio en general presentó ligeras variaciones entre las estaciones, mientras que en lluvias se observan las variaciones más marcadas y el promedio más alto de concentración (22.8  $\mu\text{M}$ ). El análisis estadístico de los datos reveló que existen diferencias significativas entre secas cálidas-lluvias, lluvias-secas frías y secas cálidas- secas frías (ANOVA,  $P < 0.05$ ) (Tabla 3).

El amonio fue la forma predominante del nitrógeno inorgánico en todas las épocas, esto va de acuerdo a lo encontrado por Martínez-López *et al.* (2005), quien reportó concentraciones máximas de 15.7  $\mu\text{M}$  en sitios de descargas de aguas residuales en Santa María para esta misma área de estudio. Las concentraciones más elevadas se encontraron en lluvias donde el máximo fue de 45.6  $\mu\text{M}$ , mientras que las concentraciones mínimas se encontraron en el período de secas cálidas con un promedio de 9.0  $\mu\text{M}$ . Esto concuerda con lo propuesto por Contreras-Espinoza (1985) quien propone que en el período de lluvias las concentraciones son mayores debido a que se suman los aportes autóctonos y terrígenos; y además que las concentraciones mínimas se detectan después del florecimiento fitoplanctónico primaveral.

## Nitritos

En secas cálidas (Fig. 1.1 G, Anexo IB) la concentración de nitritos tanto en pleamar como en bajamar se mantuvo por debajo de 0.1  $\mu\text{M}$ , presentando el máximo en la estación 8 (frente a La Tunosa) en ambos casos. Durante la época de lluvias se presentaron fluctuaciones más amplias que en la época anterior. Se encontraron valores un poco más elevados en bajamar, aunque estas concentraciones no rebasaron el 0.20  $\mu\text{M}$ , la estación 2 presentó el máximo que fue de 0.22  $\mu\text{M}$ . En la época de secas frías la concentración más elevada se registró en la estación 1 en bajamar donde se encontraron 5.0  $\mu\text{M}$  de nitritos, además las concentraciones en bajamar se encontraron siempre por encima de las de pleamar.

El análisis estadístico de los datos éste reveló que sí existen diferencias significativas en la concentración de nitritos por periodo de muestreo entre SF-SC y SF-LL. Las concentraciones de nitritos que se registraron en este estudio fueron menores a 0.05 y 0.063  $\mu\text{M}$  en promedio en secas cálidas y lluvias, respectivamente (Tabla 14, Anexo IA), mientras que en secas frías se presentaron concentraciones promedio de 0.13  $\mu\text{M}$ , esto es semejante a lo observado por Espinoza-Carreón *et al.* (2001), quien registró concentraciones superiores a 0.2  $\mu\text{M}$  en marzo y junio en aguas costeras

del sur de California y a lo encontrado por Cano-Pérez (1991) que reporta concentraciones de nitritos de 0.7  $\mu\text{M}$  frente a las costas de Sinaloa y de 1.0  $\mu\text{M}$  para el alto Golfo.

## **Nitratos**

La distribución espacial de la concentración de nitratos en la época de secas cálidas (Fig. I.1 H, Anexo IB) muestra el máximo en la estación 2 frente a la descarga del dren Juan José Ríos, aunque en bajamar los valores se mantuvieron alrededor de 1  $\mu\text{M}$ . En lluvias, el nitrato se mantuvo casi alrededor de 1  $\mu\text{M}$  en la mayoría de las estaciones durante el flujo de la marea, con excepción de las estaciones 4 y 13 ubicadas frente a la descarga de granjas camaronícolas que presentaron valores de 1.6 y 1.3  $\mu\text{M}$ , respectivamente. Mientras que en el refluo la laguna mostró un gradiente de aumento desde la boca hacia la parte de Ohuira alcanzando el máximo en la estación 2 con una concentración de 1.5  $\mu\text{M}$ , y hacia Santa María aunque en esta parte el máximo alcanzado fue de 0.8  $\mu\text{M}$ . En secas frías se vuelve a presentar este patrón de aumento hacia la bahía de Ohuira tanto en el flujo como refluo aunque más marcado en éste último. El máximo se alcanzó en la estación 1 ubicada frente al colector de drenes agrícolas, mientras que hacia la bahía de Santa María no se mostró ningún gradiente. El análisis estadístico de los datos reveló diferencias significativas entre secas frías con secas cálidas y secas frías con lluvias (Tabla 3). Las mayores concentraciones se encontraron en la época de secas cálidas (Tabla 14, Anexo IA).

Los nitratos se presentaron en concentraciones que van de 0.27 hasta 13.3  $\mu\text{M}$ , Ochoa-Izaguirre (1999) reportó mayores concentraciones en la época de secas cálidas para el estero de Urías. En el presente estudio la concentración promedio mayor fue encontrada en secas cálidas también, sin embargo nuestros valores quedaron por debajo a los encontrados por este último autor (1.4 – 6.5  $\mu\text{M}$ ) y por Gilmartin y Revelante (1978) para este mismo sistema (0.80 – 3.62  $\mu\text{M}$ ).

## **Nitrógeno inorgánico disuelto (NID)**

En secas cálidas la concentración de NID (Fig. I.1 I, Anexo IB) no pasó de 20  $\mu\text{M}$ , con excepción de la estación 10 donde se presentó el máximo que fue de 26.4  $\mu\text{M}$  durante el flujo de la marea, mientras que en el refluo se obtuvieron concentraciones bajas, menores a 10  $\mu\text{M}$  en la mayoría de las estaciones. En la época de lluvias se encontraron las concentraciones más elevadas de NID que en la época anterior. En este caso durante el flujo se alcanzaron 47.0  $\mu\text{M}$  en la estación 3 ubicada frente a Paredones, aunque en la estación 7 también se alcanzó un valor por encima de 40.0  $\mu\text{M}$ . En el refluo los valores se encontraron fluctuando alrededor de los 20  $\mu\text{M}$ , la estación 13 registró la

mayor concentración, 36.3  $\mu\text{M}$ . En secas frías, nuevamente se encontraron concentraciones por debajo de 20  $\mu\text{M}$  en la mayoría de las estaciones, tanto en el flujo como en el reflujos de la marea, aunque en este caso la concentración más alta se encontró en la estación 1 ubicada frente a los Rieles, donde se alcanzó el máximo de 45.3  $\mu\text{M}$  y en la estación 6 ubicada frente a Lázaro Cárdenas, donde se registró una concentración de 33.0  $\mu\text{M}$ . La ANOVA no paramétrica ( $P < 0.05$ ) mostró que existen diferencias significativas entre las tres épocas climáticas para esta laguna. Las diferencias se encontraron entre secas cálidas con lluvias, secas cálidas con secas frías, y lluvias con secas frías (Tabla 3). Los valores más elevados a través del año para este sistema lagunar se encontraron en lluvias, siendo la media de  $23.7 \pm 10.0 \mu\text{M}$  (Tabla 14, Anexo IA).

Martínez-López *et al.* (2005) encontraron concentraciones de NID similares en los meses estudiados para este mismo sistema, sin embargo mostraron mayores concentraciones de amonio (máximo de 15.78  $\mu\text{M}$ ) en la laguna de Santa María debido a las descargas de aguas residuales. Escobedo-Urías *et al.* (2005) encontraron las concentraciones máximas de NID en verano en la bahía El Colorado con una concentración de 1.56  $\mu\text{M}$ , lo cual se puede atribuir al impacto de las descargas agrícolas sobre la zona.

### **Nitrógeno total**

En secas cálidas la concentración de nitrógeno total (Fig. I.1 J, Anexo IB) se mostró de manera homogénea en todo el sistema. La concentración más elevada que se encontró fue de 77.3  $\mu\text{M}$  en la estación 5, mientras que en bajamar se encontraron concentraciones de hasta 81.3  $\mu\text{M}$  hacia Santa María. En la época de lluvias las concentraciones de nitrógeno total se mantuvieron alrededor de 47  $\mu\text{M}$  tanto en pleamar como en bajamar, observándose un patrón de aumento desde la estación 10 ubicada frente al muelle de Topolobampo, hacia la parte interna de Santa María y hacia Ohuira (estación 4, frente a los drenes agrícolas) donde se alcanzó el máximo (56.7  $\mu\text{M}$ ) para luego disminuir hacia la estación 1. Durante bajamar la concentración de nitrógeno total se mantuvo en toda la laguna, alrededor de 48.0  $\mu\text{M}$ . En la época de secas frías la concentración de nitrógeno total fue muy estable en toda la laguna tanto en pleamar como en bajamar en promedio 117.1  $\mu\text{M}$  y fue casi dos veces mayor que en las épocas anteriores, el máximo se alcanzó nuevamente en la estación 1 (frente a los Rieles) donde se registraron 153.7  $\mu\text{M}$ .

El análisis estadístico de los datos mostró que existen diferencias significativas en secas frías con respecto a secas cálidas y lluvias (ANOVA,  $P < 0.05$ ). Como puede verse en la Tabla 14 (Anexo IA), la época del año que presentó las mayores concentraciones de nitrógeno total fue secas frías con un promedio de  $117.2 \pm 9.9 \mu\text{M}$ , mientras que secas cálidas y lluvias presentaron concentraciones mucho menores ( $51.0 \pm 14.6$  y  $47.7 \pm 4.6 \mu\text{M}$ , respectivamente). Estos valores son superiores a los

encontrados por Garay-Morán (2002) para esta misma laguna costera quien menciona que esta laguna recibe una gran carga de nutrientes provenientes de la agricultura.

Tabla 3. Resultados de la ANOVA no paramétrica de Mann-Whitney ( $P < 0.05$ ) para la laguna de Ohuira-Topolobampo-Santa María

Variable	T	S	OD	Cl. <i>a</i>	SST
Valor de <i>P</i>	0	0	0	0.0185	0.0167
Diferencia significativa entre épocas climáticas	sí	sí	sí	sí	sí
SC-LL		*		*	
SC-SF		*	*		*
LL-SF	*	*	*	*	*
Nutriente	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NID	Nt
Valor de <i>P</i>	0	0	0.0025	0	0
Diferencia significativa entre épocas climáticas	sí	sí	sí	sí	sí
SC-LL	*			*	
SC-SF	*	*	*	*	*
LL-SF	*	*	*	*	*

Tabla 3a. Resumen estadístico para las diferentes variables estudiadas en la laguna de Ohuira-Topolobampo-Santa María durante tres periodos de muestreo (T (°C), S (ups), OD (mg/L), Cl. *a* (mg/m<sup>3</sup>) y SST (mg/L)).

	Marea	n	Media	Desvest	Mediana	Mín.	Máx.
<b>T</b>							
secas cálidas	P	*	*	*	*	*	*
	B	*	*	*	*	*	*
lluvias	P	14	32.0	0.5	32.1	30.8	32.7
	B	14	32.9	0.3	32.8	32.2	33.3
secas frías	P	14	21.7	0.4	21.7	21.0	22.5
	B	14	23.3	1.4	23.0	22.0	26.4
Anual		56	27.4	5.1	28.6	21.0	33.3
<b>S</b>							
secas cálidas	P	14	36.4	2.4	36.3	33.2	41.8
	B	8	38.0	1.9	37.7	35.5	41.7
lluvias	P	14	37.3	1.0	37.1	36.1	39.7
	B	14	37.4	1.0	37.1	36.1	39.5
secas frías	P	14	39.6	0.5	39.5	39.1	40.3
	B	14	39.1	2.0	39.4	33.2	42.5
Anual		78	38.0	1.9	38.1	33.2	42.5
<b>OD</b>							
secas cálidas	P	14	4.7	0.7	4.9	3.0	5.5
	B	8	5.2	1.4	5.7	2.5	7.1
lluvias	P	14	5.0	0.4	5.2	4.4	5.6
	B	14	5.7	0.7	5.6	4.5	7.7
secas frías	P	14	7.8	0.3	7.9	7.0	8.1
	B	14	8.8	0.5	8.8	7.4	9.6
Anual		78	6.3	1.7	5.6	2.5	9.6
<b>Cl <i>a</i></b>							
secas cálidas	P	14	0.7	0.6	0.7	0.0	2.4
	B	8	0.6	0.4	0.5	0.2	1.6
lluvias	P	14	0.5	0.8	0.2	0.0	3.0
	B	14	0.8	0.9	0.3	0.2	3.0
secas frías	P	14	0.6	0.3	0.7	0.0	0.9
	B	14	0.9	1.0	0.5	0.1	3.3
Anual		78	0.7	0.7	0.4	0.0	3.3
<b>SST</b>							
secas cálidas	P	14	36.3	16.3	36.1	21.1	84.1
	B	8	68.7	75.0	23.9	12.9	233.6
lluvias	P	14	41.3	24.7	36.8	21.5	119.2
	B	14	68.1	100.5	28.8	17.7	400.0
secas frías	P	14	26.5	14.2	20.0	8.9	57.5
	B	14	59.9	91.5	33.1	9.4	383.3
Anual		78	48.7	66.3	30.3	8.9	400.0

\* No se hizo medición de temperatura en este periodo de muestreo



Tabla 3b. Resumen estadístico para los diferentes nutrientes estudiados en la laguna de Ohuira-Topolobampo-Santa María durante tres periodos de muestreo (unidades en  $\mu\text{M}$ ).

	Marea	n	Media	Desvest	Mediana	Mín.	Máx.
<b>N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>							
secas cálidas	P	15	12.2	5.9	9.36	5.4	25.7
	B	15	5.9	2.4	6.19	2.7	9.6
lluvias	P	14	25.8	11.6	27.16	5.6	45.6
	B	12	19.0	6.6	17.07	9.2	35.4
secas frías	P	14	14.2	4.7	13.58	9.1	26.0
	B	14	15.8	6.5	13.73	10.4	32.1
Anual		84	15.2	9.1	13.7	2.7	45.6
<b>N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>							
secas cálidas	P	15	0.05	0.02	0.05	0.03	0.10
	B	15	0.05	0.02	0.05	0.03	0.09
lluvias	P	14	0.06	0.03	0.04	0.02	0.11
	B	12	0.10	0.06	0.10	0.03	0.22
secas frías	P	14	0.12	0.08	0.10	0.03	0.35
	B	14	0.51	1.31	0.14	0.03	5.04
Anual		84	0.15	0.54	0.1	0.02	5.04
<b>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>							
secas cálidas	P	15	0.8	0.3	0.6	0.6	1.6
	B	15	1.3	0.2	1.4	0.8	1.7
lluvias	P	14	1.1	0.2	1.0	0.8	1.6
	B	12	1.0	0.2	1.0	0.7	1.5
secas frías	P	14	0.6	0.4	0.5	0.3	1.6
	B	14	1.7	3.4	0.8	0.5	13.3
Anual		84	1.1	1.4	0.9	0.3	13.3
<b>NID</b>							
secas cálidas	P	15	13.1	5.7	10.5	6.8	26.4
	B	15	7.2	2.4	7.	4.1	11.0
lluvias	P	14	26.9	11.6	28.2	6.8	47.0
	B	12	20.1	6.5	18.2	10.4	36.3
secas frías	P	14	14.9	4.7	14.2	9.5	26.8
	B	14	18.0	9.7	14.8	11.2	45.3
Anual		84	16.5	9.5	14.8	4.1	47.0
<b>Nt</b>							
secas cálidas	P	15	47.0	9.5	43.2	38.0	77.3
	B	15	56.6	17.4	53.0	34.5	81.4
lluvias	P	14	46.7	5.8	47.2	32.1	56.7
	B	12	48.1	2.7	48.7	44.1	51.4
secas frías	P	14	122.9	4.7	122.9	111.1	130.2
	B	14	115.3	12.2	112.6	102.3	153.7
Anual		84	72.8	34.6	51.4	32.1	153.7

## **8.2. Navachiste-San Ignacio-Macapule**

### **8.2.1. Variables físico-químicas**

#### **Temperatura**

La temperatura durante la época de lluvias, no presentó variaciones notables en el sistema, el promedio fue de 32.0 °C en pleamar y un poco más elevada en bajamar, donde el promedio fue de 32.9 °C. En secas frías la temperatura disminuyó en toda la laguna, aunque se observó durante bajamar una zona de temperaturas un poco más elevadas frente a la descarga de uno de los drenes agrícolas (estación 3), una de las zonas más someras de la laguna. El promedio de temperatura para pleamar fue de 21.7 °C y en bajamar de 23.3 °C. Se detectaron diferencias significativas de esta variable ( $P < 0.05$ ) al hacer el análisis estadístico de los datos (Tabla 4), mostrándose diferencias marcadas entre las épocas de lluvias y secas frías. En la Tabla 14 (Anexo IA) podemos observar el descenso de la temperatura en la época de secas frías (22.4 °C), mientras que en lluvias se mantiene alrededor de 32.4 °C.

La variación espacial de la temperatura presentó un incremento hacia el interior del sistema tanto en lluvias como en secas frías lo cual se debe principalmente a que la parte interior de la laguna es más somera y se mezcla menos con el océano adyacente, por lo cual tiende a sufrir más rápidamente los cambios ambientales que el resto de la laguna (Magaña-Álvarez, 2004). De acuerdo a los resultados obtenidos, se identifica claramente que la temperatura presentó un comportamiento estacional bien definido, 2 épocas climáticas, una cálida (verano, promedio de 32 °C) y una fría (invierno, promedio de 23°C), esto va de acuerdo a lo observado por Escobedo *et al.* (1999) y Magaña-Álvarez (2004) para esta misma laguna, así como también por Morales-Zúñiga (1977); Robles y Marinote (1987); Lluch-Belda *et al.* (2000); Morales-Soto *et al.* (2000); y Cervantes-Duarte *et al.* (2001), para otras lagunas del Pacífico Mexicano.

La variabilidad anual de temperatura se debe a que es una laguna costera somera, lo cual permite un rápido calentamiento o enfriamiento de las aguas. En ambas estaciones climáticas la temperatura fue mayor durante el reflujó y viceversa, esto se debe a que al darse el reflujó la columna de agua remanente es muy delgada y ello permite un mayor calentamiento provocado por el sol (Morales-Soto *et al.* 2000).

#### **Salinidad**

Durante secas cálidas se observaron variaciones de salinidad que van desde 33.2 ups en la estación 4 hasta 41.8 ups en la estación 6 ambas en pleamar, mientras que en bajamar se

observaron salinidades que van desde 35.5 ups en la estación 8, hasta los 41.7 ups en la estación 3. En lluvias se observa que las salinidades se comportan de manera muy similar en pleamar y bajamar, las máximas se presentaron en la estación 1 (alrededor de 39.0 ups) y fueron disminuyendo al acercarse a la boca donde se registró una salinidad de 36.1 ups, en este caso en particular se observa un gradiente que aumenta de la boca hacia el interior de la laguna tanto para pleamar como bajamar. Para la época de secas frías se presentaron salinidades alrededor de los 40 ups en toda la laguna comportándose de manera muy homogénea en pleamar y bajamar, excepto las estaciones 1 y 3 donde se presentaron el máximo (42.5 ups) y el mínimo (33.2 ups) respectivamente. Los valores promedio de salinidad encontrados en la laguna estuvieron por encima del típico oceánico ( $>35$  ups), con el valor máximo de salinidad encontrado en secas frías,  $39.4 \pm 1.4$  ups (Tabla 14, Anexo IA). El análisis estadístico no paramétrico de los datos arrojó que el promedio de secas frías fue significativamente diferente de secas cálidas y lluvias con una  $P < 0.05$ .

La salinidad siguió un patrón similar al de la temperatura en todas las estaciones climáticas, con salinidades máximas en las partes más someras de la laguna y la mínima en la estación de la boca. Se encontraron salinidades menores (33.2 ups) en las zonas someras y frente a las áreas donde descargan drenes que transporta aguas residuales de la zona agrícola aledaña a la laguna, además de aguas municipales e industriales. Lo anterior relacionado posiblemente con la ausencia de lluvias en el verano y altas tasas de evaporación, contrario a lo observado por Magaña-Álvarez (2004) y Escobedo-Urías *et al.* (1999) quienes encontraron salinidades máximas durante el verano.

### **Oxígeno disuelto en las aguas del fondo**

En este sistema lagunar la concentración de oxígeno disuelto en secas cálidas se encontró fluctuando entre los 4 y 6 mg/L, con excepción de la estación 1 donde se presentó el mínimo (2.5 mg/L) y la estación 3 que presentó el máximo (7.1 mg/L), ambos durante el reflujó de la marea. Durante la época de lluvias nuevamente el mínimo se presentó en la estación 1 (4.4 mg/L) en pleamar y el máximo (7.7 mg/L) se registró en la estación 3 durante la bajamar. Para secas frías la concentración promedio fue de 8.4 mg/L, en este caso el mínimo encontrado fue de 7.0 mg/L en la estación 3 durante la bajamar y el máximo de 9.6 mg/L en la estación 2 en pleamar (Fig. 1. 2 C, Anexo IB).

Al hacer el análisis estadístico de los datos se encontraron diferencias significativas entre las medias de las tres épocas climáticas ( $P < 0.05$ ) siendo secas frías quien presentó diferencias marcadas con respecto a secas cálidas y lluvias. En la Tabla 14 (Anexo IA) se observan estas

diferencias, las mayores concentraciones en promedio se encontraron en secas frías ( $8.4 \pm 0.6$  mg/L), mientras que las menores en secas cálidas ( $5.1 \pm 1.0$  mg/L).

De manera general no se encontraron estratificaciones verticales marcadas en la laguna por tratarse de un cuerpo somero, por lo que la acción del viento y las corrientes de marea muy probablemente mantuvieron el agua bien mezclada y permitieron una mayor aeración de la columna de agua por efecto de mezcla intensa. La concentración espacial de oxígeno disuelto en la laguna varió dependiendo de la dinámica de la marea, la batimetría de la zona y el periodo de muestreo. Espacialmente la distribución no fue tan uniforme, encontrándose valores semejantes a los presentados por Gilmartin y Revelante (1978) para 15 lagunas costeras del Pacífico mexicano (5.6 y 8.1 mg/L).

La distribución de oxígeno depende de la temperatura, que regula el intercambio gaseoso con la atmósfera y de los procesos de respiración y fotosíntesis; depende además de los procesos de mezcla y advección de masas de agua. La solubilidad del oxígeno en el agua de mar disminuye al aumentar la temperatura. Los máximos valores se encontraron en bajamar, con las menores concentraciones siempre en la boca y aumentando hacia las partes internas de la laguna. Los cual tal vez se debe a la resuspensión provocada por la acción del viento sobre la columna de agua provocando una mayor aereación y además coincidiendo con la hora en la que se realizó el recorrido en bajamar que es cuando hay mayor irradiación solar.

### **Clorofila *a* en las aguas superficiales**

Durante secas cálidas (Fig. 1.2 D, Anexo IB) las concentraciones de clorofila *a* en pleamar se mantuvieron prácticamente uniformes en la laguna ( $<1$  mg/m<sup>3</sup>), con excepción de la estación 10 la cual registró una concentración de 2.43 mg/m<sup>3</sup>, en bajamar la concentración más elevada se registró en la estación 2 (1.62 mg/m<sup>3</sup>), para este periodo de muestreo el promedio fue de 0.7 mg/m<sup>3</sup>. En lluvias los valores de clorofila *a* fueron un poco más elevados en la parte interior de la laguna frente a los drenes agrícolas (estaciones 1-3) tanto en pleamar como en bajamar, alcanzándose concentraciones de hasta 3 mg/m<sup>3</sup>. El promedio de concentración se encontró más elevado en bajamar (0.8 mg/m<sup>3</sup>) que en pleamar (0.5 mg/m<sup>3</sup>). En secas frías las concentraciones en pleamar fueron menores a 1 mg/m<sup>3</sup>; en bajamar se alcanzaron las mayores concentraciones en la estación 1 y 7, encontrándose valores de hasta 3.3 mg/m<sup>3</sup>. Los promedios obtenidos para pleamar y bajamar fueron 0.6 y 0.9 mg/m<sup>3</sup> respectivamente. Se observó que las concentraciones de este pigmento no mostraron diferencias significativas a través del año (ANOVA,  $P < 0.05$ ). Los niveles más elevados de clorofila *a* se midieron en secas cálidas (Tabla 4).

La clorofila *a* se ha utilizado como indicador de diversas características del ecosistema y de la comunidad de fitoplancton. Los patrones espaciales de clorofila *a* responden a las condiciones locales (Barreiro y Aguirre, 1999), y las corrientes estuarinas pueden distribuir la biomasa fitoplanctónica asimétricamente (Li *et al.*, 2000). La distribución superficial de clorofila *a* para este cuerpo lagunar mostró los más altos valores hacia la parte interna en todas las épocas climáticas frente al sitio de descarga del dren, las concentraciones más elevadas se presentaron en secas cálidas y secas frías. Magaña-Álvarez (2004) encontró concentraciones mínimas de clorofila *a* en invierno (1.92 mg/m<sup>3</sup>) y el máximo en primavera (2.50 mg/m<sup>3</sup>).

### **Sólidos suspendidos totales (SST)**

La distribución espacial de SST en la laguna muestra para la época de secas cálidas (Fig. 1.2 E, Anexo IB) que los máximos valores se encuentran en la parte interior de la laguna, donde se midieron hasta 84.1 mg/L, aunque en bajamar estos fueron relativamente más elevados, 233.6 mg/L. Al igual que en secas cálidas para lluvias la mayor concentración (400 mg/L) se encontró en bajamar en la estación 3, mientras que en el resto de la laguna las concentraciones se mantuvieron por debajo de 50 mg/L. En secas frías, las concentraciones registradas en pleamar nuevamente son menores con respecto a las de bajamar, el valor más alto encontrado en esta última fue de 383.3 mg/L. Según la ANOVA no paramétrica, no se encontraron diferencias significativas para esta laguna entre las épocas climáticas ( $P < 0.05$ ). La época que presentó la mayor concentración de SST fue secas cálidas que presentó una mediana de  $28.0 \pm 50.8$  mg/L (Tabla 4).

La concentración de SST mostró las mayores concentraciones hacia la parte más interna de la laguna, esto debido a la baja profundidad de la zona además de la acción combinada de la corriente neta, el flujo y reflujo de la marea y el oleaje que provocan un levantamiento de las partículas del fondo (García-Ballesteros y Larroque, 1974).

### **8.2.2. Especies nitrogenadas**

#### **Amonio**

En secas cálidas las concentraciones de amonio se mantuvieron por debajo de 10  $\mu$ M casi en toda la laguna tanto en pleamar como en bajamar, el máximo se obtuvo frente al estero Pelotitas en Macapule, cercano a una zona de cultivo y de granjas camaronícolas, donde se registraron 21.4  $\mu$ M (Fig. 1.2 F, Anexo IB). Durante la época de lluvias las mayores concentraciones de amonio se localizaron en pleamar en la estación 11 (53.7  $\mu$ M) y en bajamar en la estación 14 ubicadas en la bahía de Macapule donde se alcanzaron 40  $\mu$ M. En secas frías se observó un gradiente muy marcado tanto en el flujo como en el reflujo de la marea que fue aumentando desde la boca hacia

las partes internas de la laguna, los valores más altos se encontraron en las estaciones 3 y 4 ubicadas frente al dren Batamote y las concentraciones más bajas se encontraron en la bahía de Macapule. Al analizar los datos estadísticamente se encontraron diferencias significativas entre las épocas de secas cálidas con secas frías solamente (ANOVA,  $P < 0.05$ ) (Tabla 4). El intervalo para la concentración de amonio fue de 1.1 a 53.7  $\mu\text{M}$ , siendo secas frías la época del año que presentó las mayores concentraciones, 16.4  $\mu\text{M}$  en promedio.

Las mayores cantidades de amonio siempre fueron encontradas en estaciones cercanas a granjas camarónicas y drenes agrícolas (estaciones 3, 4, 6, 12 y 13). Escobedo-Urías *et al.* (1999) mencionan que las altas concentraciones de amonio encontradas son producto de la aplicación de fertilizantes nitrogenados en la zona agrícola aledaña, mientras que Cardoso-Mohedano (2004) encontró en el estero de Urías concentraciones máximas de amonio sobre todo para estaciones cercanas a una granja de camarón y asociadas con el dragado.

### **Nitritos**

En secas cálidas tanto en pleamar como en bajamar las concentraciones de nitritos fueron muy bajas alrededor de 0.04  $\mu\text{M}$ , excepto en la bahía de Macapule en la estación 12 ubicada frente al estero Pelotitas, donde se alcanzó un máximo de 0.99  $\mu\text{M}$ . Durante la época de lluvias los valores de nitritos se encontraron por debajo de 0.1  $\mu\text{M}$  tanto en pleamar como en bajamar, solo las estaciones 2 y 3 ubicadas en la parte interna de la laguna frente a los drenes agrícolas, presentaron concentraciones de 0.25 y 0.37  $\mu\text{M}$ , respectivamente. En secas frías nuevamente los valores más elevados se encontraron tanto en pleamar como en bajamar en la estación 3 ubicada frente al colector agrícola (Dren Batamote), mientras que en el resto de la laguna las concentraciones se mantuvieron por debajo de 0.3  $\mu\text{M}$  (Fig. 1.2 G, Anexo IB). El análisis estadístico mostró diferencias significativas entre secas frías con respecto a secas cálidas y lluvias, mientras que para estas dos últimas no se encontró diferencia significativa entre ellas (tabla 4).

### **Nitratos**

Durante la época de secas cálidas en pleamar y bajamar las concentraciones de nitratos se mantuvieron por debajo de 1.4  $\mu\text{M}$  tanto en el flujo como en el reflujos de la marea. En el flujo se encontró el máximo en la bahía de Macapule en la estación 12 frente al estero Pelotitas, en cambio en bajamar la concentración más elevada se presentó en la estación 8, cercana a la boca de Vasequilla. En lluvias durante la pleamar las mayores concentraciones se encontraron en la estación 3 localizada frente al colector agrícola (Dren Batamote), donde se encontró una concentración de 3

$\mu\text{M}$ , y en la bahía de Macapule en la estación 12 donde se registró una concentración de  $4.8 \mu\text{M}$ . En bajamar, la máxima concentración alcanzada fue de  $2.15 \mu\text{M}$  frente a la descarga del colector agrícola nuevamente, y las más bajas se registraron en la bahía de Macapule. En la época de secas frías el comportamiento entre pleamar y bajamar fue similar encontrándose concentraciones por debajo de  $3 \mu\text{M}$  en todas las estaciones con excepción de la estación 3, donde en esta época se alcanzaron,  $110.4 \mu\text{M}$  de  $\text{N} - \text{NO}_3^-$  (Fig. I.2 H, Anexo IB). Al hacer al análisis estadístico (Tabla 4) se pudo observar que no existen diferencias significativas en la concentración de nitratos para esta laguna con respecto a las épocas climáticas. La época del año que presentó los valores más elevados fue secas frías con un promedio de  $1.0 \pm 20.7 \mu\text{M}$ .

El máximo detectado durante secas frías pudiera ser originado de acuerdo a lo observado por Escobedo-Urías *et al.* (1999), por la influencia de las descargas de aguas residuales principalmente de origen agrícola, debido a que en esa época se realiza el cultivo de hortalizas, las cuales requieren de una gran cantidad de fertilizantes lo cual contribuye a aumentar la concentración de nutrientes en las zona costera.

### **Nitrógeno inorgánico disuelto**

El nitrógeno inorgánico disuelto (Fig. I.2 I, Anexo IB) para la época de secas cálidas se encontró en pleamar y bajamar por debajo de  $15 \mu\text{M}$  en la mayoría de las estaciones excepto en la bahía de Macapule en la estación 12 donde se alcanzaron  $24.3 \mu\text{M}$ . En la época de lluvias las concentraciones más elevadas de NID se encontraron en la bahía de Macapule en ambas mareas, estas concentraciones alcanzaron los  $54.7 \mu\text{M}$ , mientras que en el resto de la laguna los valores se mantuvieron por debajo de  $20 \mu\text{M}$ . La concentración de nitrógeno inorgánico disuelto en la época de secas frías se mantuvo por debajo de los  $30 \mu\text{M}$  para la mayoría de las estaciones tanto en pleamar como en bajamar, solo en la estación 3 ubicada frente al dren Batamote se alcanzó una concentración de  $152.4 \mu\text{M}$  durante bajamar. Según el análisis estadístico se encontraron diferencias significativas entre secas cálidas-lluvias, secas cálidas-secas frías, pero no entre lluvias-secas frías (ANOVA,  $P < 0.05$ ). El periodo de muestreo que alcanzó las concentraciones más elevadas de NID durante el ciclo anual fue secas frías con un promedio de  $17.4 \pm 26.5 \mu\text{M}$ .

Durante todas las épocas del año se observaron las máximas concentraciones de NID en las zonas cercanas a las descargas de aguas residuales, al igual que lo observado por Magaña-Álvarez (2004) para la laguna de Macapule en el 2002-2003, además menciona valores máximos de  $6$ ,  $5.6$ ,  $10.3$  y  $9.6 \mu\text{M}$  para primavera, verano, otoño e invierno. Estos valores quedan por debajo a los encontrados en este estudio para secas cálidas, lluvias y secas frías ( $24.3$ ,  $54.7$  y  $152.4 \mu\text{M}$ , respectivamente). El máximo detectado durante secas frías pudiera ser originado de acuerdo a lo

observado por Escobedo-Urías *et al.* (1999), por la influencia de las descargas de aguas residuales principalmente de origen agrícola. En la época de secas cálidas se midió el nivel promedio mínimo de nitrógeno inorgánico disuelto ( $5.5 \mu\text{M}$ ), lo cual de acuerdo a lo observado por Contreras-Espinoza (1993) es común para las lagunas costeras del litoral mexicano debido al florecimiento fitoplanctónico primaveral, donde estos compuestos son asimilados en grandes cantidades por los productores primarios.

### **Nitrógeno total**

En secas cálidas los máximos se presentaron en pleamar nuevamente en el área de Macapule ( $59.8 \mu\text{M}$ ) y parte interna de Navachiste ( $42.8 \mu\text{M}$ ), mientras que en bajamar los valores más altos se encontraron en esta última (estaciones 1-3). En lluvias los valores fueron ligeramente más elevados que en secas cálidas, en el flujo de la marea se presentaron concentraciones más bajas que en el reflujó. En esta última nuevamente la concentración más alta la encontramos en la estación 3 ( $82.3 \mu\text{M}$ ). Para la época de secas frías al igual que en las épocas anteriores los máximos se presentaron en la estación 3 en pleamar y bajamar, alcanzándose concentraciones hasta de  $167 \mu\text{M}$ , mientras que los mínimos se presentaron en la bahía de Macapule (Fig. 1.2 J, Anexo IB). Las mayores concentraciones de nitrógeno total se encontraron en secas frías con promedio de  $70.6 \pm 9.9 \mu\text{M}$ , mientras que las menores se registraron en secas cálidas con un promedio de  $31.5 \pm 8.3 \mu\text{M}$  (Tabla 14, Anexo IA), encontrándose diferencias significativas entre todas ellas, como se detalla en la Tabla 4.

La concentración de nitrógeno total para la laguna de Navachiste-San Ignacio-Macapule se mantuvo alrededor de  $40.8 \mu\text{M}$ . Estas concentraciones quedan ligeramente por encima a las encontradas para otros sistemas lagunares influenciados por descargas de origen agrícola, acuícola y residuales de origen doméstico e industrial (Contreras-Espinoza, 1991), pero similares a las observadas por Garay-Morán (2002), que encontró para la laguna de Topolobampo-Ohuira,  $35.5 \mu\text{M}$ ; para Santa María-La Reforma,  $35.7 \mu\text{M}$ ; y para este mismo sistema lagunar,  $35.5 \mu\text{M}$ .



Tabla 4. Resultados de la ANOVA no paramétrica de Mann-Whitney ( $P < 0.05$ ) para la laguna de Navachiste-San Ignacio-Macapule.

Variable	T	S	OD	Cl a	SST
Valor de $P$	0	0	0	0.4151	0.4008
Diferencia significativa entre épocas climáticas	sí	sí	sí	no	no
SC-LL					
SC-SF		*	*		
LL-SF	*	*	*		

Variable	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_2^-$	$\text{NO}_3^-$	NID	Nt
Valor de $p$	0.0001	0	0.3292	0	0
Diferencia significativa entre épocas climáticas	sí	sí	no	sí	sí
SC-LL				*	*
SC-SF	*	*		*	*
LL-SF		*			*

Tabla 4a. Resumen estadístico para las diferentes variables estudiadas en la laguna de Navachiste-San Ignacio-Macapule durante tres periodos de muestreo (T (°C), S (ups), OD (mg/L), Cl. *a* (mg/m<sup>3</sup>) y SST (mg/L)).

	Marea	n	Media	Desvest	Mediana	Mín.	Máx.
<b>T</b>							
secas cálidas	P	*	*	*	*	*	*
	B	*	*	*	*	*	*
lluvias	P	14	32.0	0.5	32.1	30.8	32.7
	B	14	32.9	0.3	32.8	32.2	33.3
secas frías	P	14	21.7	0.4	21.7	21.0	22.5
	B	14	23.3	1.4	23.0	22.0	26.4
Anual		56	27.4	5.1	28.6	21.0	33.3
<b>S</b>							
secas cálidas	P	14	36.4	2.4	36.3	33.2	41.8
	B	8	38.0	1.9	37.7	35.5	41.7
lluvias	P	14	37.3	1.0	37.1	36.1	39.7
	B	14	37.4	1.0	37.1	36.1	39.5
secas frías	P	14	39.6	0.5	39.5	39.1	40.3
	B	14	39.1	2.0	39.4	33.2	42.5
Anual		78	38.0	1.9	38.1	33.2	42.5
<b>OD</b>							
secas cálidas	P	14	4.7	0.7	4.9	3.0	5.5
	B	8	5.2	1.4	5.7	2.5	7.1
lluvias	P	14	5.0	0.4	5.2	4.4	5.6
	B	14	5.7	0.7	5.6	4.5	7.7
secas frías	P	14	7.8	0.3	7.9	7.0	8.1
	B	14	8.8	0.5	8.8	7.4	9.6
Anual		78	6.3	1.7	5.6	2.5	9.6
<b>Cl a</b>							
secas cálidas	P	14	0.7	0.6	0.7	0.0	2.4
	B	8	0.6	0.4	0.5	0.2	1.6
lluvias	P	14	0.5	0.8	0.2	0.0	3.0
	B	14	0.8	0.9	0.3	0.2	3.0
secas frías	P	14	0.6	0.3	0.7	0.0	0.9
	B	14	0.9	1.0	0.5	0.1	3.3
Anual		78	0.7	0.7	0.4	0.0	3.3
<b>SST</b>							
secas cálidas	P	14	36.3	16.3	36.1	21.1	84.1
	B	8	68.7	75.0	23.9	12.9	233.6
lluvias	P	14	41.3	24.7	36.8	21.5	119.2
	B	14	68.1	100.5	28.8	17.7	400.0
secas frías	P	14	26.5	14.2	20.0	8.9	57.5
	B	14	59.9	91.5	33.1	9.4	383.3
Anual		78	48.7	66.3	30.3	8.9	400.0

\* No se hizo medición de temperatura en este periodo de muestreo

Tabla 4b. Resumen estadístico para los diferentes nutrientes estudiados en la laguna de Navachiste-San Ignacio-Macapule durante tres periodos de muestreo (unidades en  $\mu\text{M}$ ).

	Marea	n	Media	Desvest	Mediana	Mín.	Máx.
<b>N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>							
secas cálidas	P	14	5.9	5.2	3.9	2.7	21.4
	B	8	5.8	4.6	3.1	2.7	13.3
lluvias	P	14	18.4	15.2	15.5	1.9	53.7
	B	14	10.2	10.9	7.3	1.1	34.8
secas frías	P	14	16.5	7.9	16.7	3.5	28.4
	B	14	17.6	8.6	17.4	6.8	38.9
Anual		78	12.9	10.8	10.6	1.1	53.7
<b>N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>							
secas cálidas	P	14	0.13	0.25	0.05	0.03	0.99
	B	8	0.04	0.01	0.04	0.03	0.06
lluvias	P	14	0.09	0.10	0.05	0.03	0.37
	B	14	0.06	0.03	0.06	0.03	0.11
secas frías	P	14	0.26	0.48	0.11	0.05	1.92
	B	14	0.37	0.78	0.11	0.05	2.99
Anual		78	0.17	0.41	0.1	0.03	2.99
<b>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>							
secas cálidas	P	14	1.0	0.4	0.8	0.6	1.9
	B	8	1.0	0.4	1.0	0.5	1.9
lluvias	P	14	1.0	1.3	0.5	0.1	4.8
	B	14	1.0	0.6	0.9	0.2	2.1
secas frías	P	14	1.1	0.8	0.8	0.4	3.1
	B	14	9.4	29.1	1.1	0.2	110.5
Anual		78	2.5	12.4	0.9	0.1	110.5
<b>NID</b>							
secas cálidas	P	14	7.0	5.6	4.8	3.5	24.3
	B	8	6.8	4.7	4.5	3.3	14.5
lluvias	P	14	19.5	15.3	15.9	2.8	54.7
	B	14	11.3	10.6	8.3	2.4	35.0
secas frías	P	14	17.9	8.0	17.8	4.5	31.1
	B	14	27.3	36.7	18.1	8.9	152.4
Anual		78	15.6	18.9	11.2	2.4	152.4
<b>Nt</b>							
secas cálidas	P	14	32.8	9.4	30.6	20.8	59.8
	B	8	32.5	6.6	34.6	19.6	39.0
lluvias	P	14	35.0	12.5	39.5	14.1	48.1
	B	14	45.0	16.1	47.5	8.1	82.3
secas frías	P	14	63.0	25.4	73.2	16.3	92.4
	B	14	71.0	34.0	67.7	29.6	167.2
Anual		78	47.6	25.1	40.8	8.1	167.2

### **8.3. Laguna Santa María-La Reforma**

#### **8.3.1. Variables físico-químicas**

##### **Temperatura**

Para este sistema, la temperatura promedio en secas cálidas fue de 30.6 en pleamar, mientras que en bajamar ésta fue un poco más elevada, 30.9 °C, generalmente en las estaciones donde las profundidades son menores (Fig. I.3 A, Anexo IB). Durante la época de lluvias la temperatura se mantuvo alrededor de los 30.0 °C, el máximo encontrado fue de 31.8 °C (estación 8), aunque también se encontraron temperaturas similares en las estaciones cercanas a las bocas durante bajamar, mientras que el mínimo (28.0 °C) se encontró en la estación 13 en pleamar. La época de secas frías presentó descenso en la temperatura de al menos 7 °C, ésta se mantuvo casi constante durante la pleamar en promedio 21.1 °C, mientras que en bajamar presentó fluctuaciones, obteniéndose los valores más bajos en las estaciones más someras de la laguna, el promedio fue de 22.8 °C. El análisis estadístico arrojó que existen diferencias significativas de temperatura (ANOVA,  $p < 0.05$ ) entre todas las épocas climáticas para esta laguna (Tabla 5), encontrándose las temperaturas mínimas del ciclo en secas frías ( $22.0 \pm 1.0$  °C) y las máximas en secas cálidas ( $30.7 \pm 0.8$  °C).

La temperatura superficial del agua mostró el comportamiento típico de las aguas tropicales y subtropicales con valores altos en verano-otoño y mínimos en invierno-primavera (De la Lanza, 1994). No se observó una variación notable en lo que respecta a la distribución de la temperatura dentro de la laguna, pero si se determinó que existe un ligero aumento de ésta durante la bajamar sobre todo en las porciones someras de la bahía. Este calentamiento se da debido a que al salir el agua durante el reflujó de la marea, el espesor de la capa de agua disminuye y por lo tanto es más susceptible a sufrir un calentamiento por la irradiación solar (Chávez de Nishikawa y Álvarez-Borrego, 1974).

##### **Salinidad**

Se notó un gradiente muy marcado de la salinidad desde ambas bocas hacia el interior de la laguna en la época de secas cálidas (Fig. I.3 B, Anexo IB) tanto para pleamar como bajamar, el máximo (39.3 ups) se localizó en el centro de la laguna (estación 10) y los mínimos se localizaron hacia ambas bocas donde se registraron salinidades de 32.5 ups. En la época de lluvias la parte noroeste de la laguna presentó salinidades alrededor de los 35.0 ups, mientras hacia el sur de la laguna se mostró una disminución de la salinidad en la estación 7, donde se registraron 32.0 ups. En secas

frías, se notó un ligero descenso de la salinidad en promedio 34.0 ups, y se notó nuevamente un drástico descenso de la salinidad llegando hasta 25.9 ups en la estación 6 ubicada frente a la descarga del Estero del Tule.

La ANOVA no paramétrica mostró que existen diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre secas cálidas y secas frías (Tabla 4), tal como se puede apreciar en la Tabla 14 (Anexo IA), que la salinidad alcanza sus máximos en secas cálidas ( $35.1 \pm 1.8$  ups) y sus mínimos en secas frías ( $34.3 \pm 1.5$  ups).

En las mediciones de salinidad efectuadas se observaron variaciones espaciales sobre todo en secas cálidas, donde observamos un gradiente muy marcado que aumenta desde la boca hacia la parte central de la laguna donde se alcanzan salinidades de hasta 39.3 ups. Esto es debido a que existe un desfase de las mareas entre las dos bocas de entrada y los diferentes puntos dentro de ella. Una característica de este tipo de mareas es que pueden existir en algunos casos, tiempos de aguas muertas sin corrientes entre el flujo y reflujos, lo cual puede observarse perfectamente en la parte interior de la bahía, frente a La Reforma (SRH, 1971; Serrano y Ramírez-Félix, 2003). Además ésta es una zona muy somera, lo que permite que se lleve a cabo un rápido calentamiento de la columna de agua y por lo tanto una mayor evaporación. En lluvias y secas frías la salinidad se mantiene por debajo de los 35 ups, lo cual posiblemente se deba a la dilución que existe del agua salada por efecto de los volúmenes de agua que vierten los drenes alrededor de la bahía, siendo esta situación más notoria durante la bajamar. En los alrededores de la laguna se encuentra el distrito agrícola del valle de Guamúchil. Esta región agrícola llega hasta los límites de la laguna, este distrito emplea grandes cantidades de agua para irrigación, la cual finalmente llega a la bahía además de los afluentes del Río Mocorito y parte del Río Culiacán a través del estero El Tule (SRH, 1971).

### **Oxígeno disuelto en las aguas del fondo**

En secas cálidas (Fig. I.3 C, Anexo IB) la concentración de oxígeno fluctuó entre los 4.5 y 8 mg/L en la mayoría de las estaciones, con excepción de las estaciones 14, 15 y 17 que presentaron valores superiores a los 9 mg/L en bajamar. En lluvias los valores nuevamente se encontraron fluctuando entre 4.5 y 8 mg/L, en este caso el máximo se presentó en la estación 1 donde se registraron 10.3 mg/L durante la pleamar además de la estación 17 la cual presentó un valor elevado y el mínimo se presentó en la estación 20 en bajamar, en este caso se registraron 4.6 mg/L, siendo el promedio de 6.6 mg/L. Durante secas frías las concentraciones se distribuyeron de una manera muy homogénea (por encima de 8 mg/L) durante la pleamar, mientras que en bajamar

las concentraciones fueron más elevadas que en el caso anterior, presentando fluctuaciones que van desde los 6 hasta 11.1 mg/L.

Durante el año de estudio se encontraron diferencias significativas en las tres épocas climáticas: secas cálidas con lluvias, secas cálidas con secas frías y lluvias con secas frías (Tabla 5). En la concentración de oxígeno disuelto en el agua, las mayores concentraciones en promedio se encontraron en la época de secas frías con un promedio de  $8.7 \pm 0.9$  mg/L, mientras que las menores en secas cálidas con una media de  $6.0 \pm 1.2$  mg/L.

El oxígeno disuelto presentó un comportamiento inverso al de la temperatura, observándose los valores más altos en secas frías y los más bajos en secas cálidas, ya que la solubilidad de este gas depende, entre otros factores, de la temperatura (SRH, 1971; Chávez de Nishikawa y Álvarez-Borrego, 1974; Valdez-Holguín, 1994). Las variaciones a corto plazo (o diurnas) en el contenido de oxígeno son el resultado de las diferencias en las tasas fotosintética y respiratoria, estas diferencias fueron más marcadas en estaciones donde se encontraron poblaciones densas de macroalgas alcanzándose hasta 12.5 mg/L de oxígeno disuelto y en la estación frente al Estero del Tule en este caso se encontraron las menores concentraciones de oxígeno (4.6 mg/L).

Los valores de oxígeno disuelto encontrados en este estudio en secas cálidas y lluvias son semejantes a los encontrados por Gilmartin y Revelante (1978) (4.8-7.3 mg/L) y López-Ruelas (1985) (5.1-7.6 mg/L) para este sitio de estudio y para algunas lagunas costeras del Pacífico mexicano, cercanas al área de estudio como Estero la Lechuguilla (3.94-4.58 mg/L) aunque en la época de secas frías los valores se encontraron por encima de los mostrados anteriormente. El INE en el 2000 reporta valores semejantes a los encontrados en este estudio durante secas frías, para la bahía de Todos Santos reportan valores entre 0 y 12.8 mg/L y para Guaymas reportaron valores entre 0.1 y 12.8 mg/L. No se observaron estratificaciones verticales de oxígeno en la laguna (Fig. II.3 a y II.3 b, Anexo II).

### **Clorofila *a* en las aguas superficiales**

Durante la época de secas cálidas para este cuerpo de agua las concentraciones de este pigmento fueron más elevadas tanto en pleamar como en bajamar en la estación 6 (5.5 mg/m<sup>3</sup>). Los promedios en la laguna para pleamar y bajamar fueron muy parecidos 0.9 y 1.1 mg/m<sup>3</sup> respectivamente. En lluvias se encontraron valores menores a 1 mg/m<sup>3</sup> en casi toda la laguna tanto en pleamar como en bajamar, las concentraciones más elevadas se encontraron en las estaciones 1 y 2 (3.6 mg/m<sup>3</sup>) (Fig. I.3 D, Anexo IB). Con respecto a las mareas en ambos casos, en pleamar y bajamar se obtuvo un promedio de 0.7 mg/m<sup>3</sup>. Para la época de secas frías en pleamar, los valores

de clorofila *a* no rebasaron los 2 mg/m<sup>3</sup> en la mayoría de las estaciones, excepto la estación 6 ubicada frente a el Estero del Tule donde se registraron 4.9 mg/m<sup>3</sup>, en bajamar las mayores concentraciones en el sistema se presentaron en las estaciones cercanas a ésta.

En esta laguna según el análisis estadístico se encontraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre épocas climáticas, lluvias fue significativamente diferente de secas cálidas y secas frías, mientras secas cálidas y secas frías no presentaron diferencias significativas entre sí. En época de secas frías, se registraron las mayores concentraciones de clorofila *a* ( $1.1 \pm 1.2$  mg/m<sup>3</sup>).

La clorofila *a* como agente en la fotosíntesis, ha sido referido como un indicador de la biomasa de fitoplancton presentando amplias fluctuaciones de su concentración en las lagunas costeras (De la Lanza, 1994). Según Lara-Lara y Álvarez-Borrego (1975), la influencia de las mareas, la variación diurna de la irradiación solar, la temperatura y la salinidad del agua pueden provocar grandes cambios en pocas horas, lo cual sucedió en el caso de secas frías donde no se notó un patrón como en las otras épocas climáticas. Las mayores concentraciones del pigmento se encontraron en la estación 2 ubicada frente a la descarga de granjas camaronícolas y en la estación 6 ubicada frente al Estero del Tule, lo cual indica una gran descarga de materiales que favorecen la productividad primaria hacia la laguna a través de estos puntos. En este estudio se encontraron valores en promedio por debajo de 2 mg/m<sup>3</sup> para las tres épocas climáticas. Estos valores están por debajo a los encontrados por Gilmartin y Revelante, (1978) para esta misma laguna costera, quienes registraron concentraciones en un intervalo de 2.6–19.3 mg/m<sup>3</sup>. Álvarez-Borrego *et al.* (1977) registraron las mayores concentraciones en primavera con valores que fluctuaron entre 0.7 y 1.7 mg/m<sup>3</sup> para dos antiestuarios de Baja California.

### **Sólidos suspendidos totales (SST)**

En secas cálidas los SST tanto en pleamar como en bajamar se encontraron niveles más elevados en la parte central de la laguna, con concentraciones de 50–67 mg/L. El promedio de la cantidad de SST en pleamar fue de 21.9 mg/L y para bajamar 20.0 mg/L (Fig. I.3 E, Anexo IB). En lluvias la concentración más elevada de sólidos se encontró en la estación 7 en pleamar (74.4 mg/L), mientras que en bajamar las concentraciones más elevadas de sólidos se encontraron desde la estación 2 a la 13. La concentración en promedio para este periodo de muestreo fue de 35.5 mg/L. La concentración más elevada de SST en secas frías se encontró en pleamar en la estación 9, donde se registraron 55.5 mg/L. En bajamar la estación 2 fue la que registró la mayor concentración (98.7 mg/L). De manera general la época del año que presentó mayores concentraciones de SST fue lluvias ( $35.5 \pm 27.1$  mg/L), además se presentaron diferencias significativas entre épocas climáticas con  $P < 0.05$ . La concentración promedio de SST de lluvias fue

significativamente diferente de secas cálidas y secas frías, mientras que estas no presentaron diferencias significativas entre sí. No se notó un patrón bien definido de SST en la laguna durante los períodos de muestreo, por lo general las altas concentraciones se notaron en las zonas de baja profundidad donde se resuspendían los sedimentos debido a la acción del viento sobre la columna de agua, en la bajamar por las tardes.

### **8.3.2. Especies nitrogenadas**

#### **Amonio**

En la laguna de Santa María-La Reforma no se notó un patrón bien definido para la concentración de amonio durante secas cálidas, en el flujo de la marea ésta se mantuvo baja con respecto al reflujó, 4.9 y 12.3  $\mu\text{M}$  en promedio, respectivamente, aunque en bajamar se notaron grandes fluctuaciones en la concentración alcanzándose un máximo de 50.4  $\mu\text{M}$  en las estaciones cercanas al Dren El Tule. En la época de lluvias los valores se mantuvieron muy homogéneos en el sistema, los promedios tanto de pleamar como de bajamar estuvieron por debajo de 7.2  $\mu\text{M}$ . Mientras que en la época de secas frías se mantuvieron las concentraciones alrededor de 5  $\mu\text{M}$  en todo el sistema tanto en pleamar como en bajamar excepto la estación frente al Estero del Tule donde se alcanzó la concentración máxima que fue de 41.6  $\mu\text{M}$ , aunque también en la estación 13 ubicada frente a La Reforma donde se alcanzaron concentraciones de hasta 19.1  $\mu\text{M}$  de amonio (Fig. 1.3 F, Anexo IB). Al hacer el análisis estadístico de los datos se encontraron diferencias significativas entre las medias de las épocas climáticas: secas cálidas con lluvias, secas cálidas con secas frías y lluvias con secas frías (ANOVA,  $P < 0.05$ ) (Tabla 5).

El intervalo de la concentración de amonio se encontró entre 1.2 y 50.4  $\mu\text{M}$ , los valores elevados encontrados en secas cálidas y secas frías se encontraron en la estación ubicada frente al estero del Tule y cercanas a ésta, por lo general en bajamar. Zazueta *et al.* (1996) registraron concentraciones elevadas de amonio (4.8  $\mu\text{M}$ ) en enero debido a descargas urbanas e industriales aportadas al estero del Infiernillo-Arroyo Jabalines (Sin). Ortega-Salas y Stephenson (1976) cuantificaron en Yavaros ( Son.) durante la década de los setenta contenidos de amonio que van desde 3.0 a 84.0  $\mu\text{M}$ , un poco más elevado a lo encontrado en esta laguna.

#### **Nitritos**

La concentración de nitritos en la época de secas cálidas fue la más baja encontrada a través del año, éstas se mantuvieron en la mayoría de las estaciones por debajo de 0.1  $\mu\text{M}$ , con excepción de las estaciones cercanas a la descarga del dren El Tule, el máximo alcanzado en esta ocasión fue de



0.3  $\mu\text{M}$ . Durante la época de lluvias aumentaron por encima de 0.1  $\mu\text{M}$ , nuevamente se alcanzó la máxima concentración en la estación frente al estero del Tule y estaciones cercanas (hasta 1.3  $\mu\text{M}$ ) y también se notó un incremento en el valor de nitritos en la estación 2. En secas frías se alcanzaron las concentraciones de nitrito máximas de todo el año, los valores más altos fueron nuevamente encontrados en las estaciones 2, 6 y 13, en este caso el máximo alcanzado fue de 6.4  $\mu\text{M}$ . El comportamiento de la concentración de nitrito fue muy parecido en el flujo y reflujos, excepto en la estación 6 donde en las tres épocas climáticas se alcanzan las mayores concentraciones en bajamar debido al aporte considerable del dren hacia la laguna (Fig. I.3 G, Anexo IB). Se detectaron diferencias significativas de esta variable ( $P < 0.05$ ) al hacer el análisis estadístico de los datos (Tabla 5), las diferencias significativas solo se encontraron entre secas cálidas con lluvias y secas cálidas con secas frías.

Los nitritos se mantuvieron en bajas concentraciones en secas cálidas, entre 0.02 y 0.16  $\mu\text{M}$ , mientras que en lluvias estos alcanzaron concentraciones de 0.06 hasta 1.3  $\mu\text{M}$ . Nuevamente los valores altos se localizaron frente al estero del Tule, aunque en secas frías también se registró un valor alto en la estación 13 (6.4  $\mu\text{M}$ ). Estos valores son un poco más elevados a los encontrados por Ochoa-Macchetto (1987) que reporta 0.22  $\mu\text{M}$  en la bahía de Guaymas durante un estudio de la evaluación de la calidad de agua y por Cano-Pérez (1991) quien reporta 0.7  $\mu\text{M}$  para las costas de Sinaloa.

## **Nitratos**

En secas cálidas tanto en el flujo como en el reflujos la concentración se presentó muy homogénea, los valores se mantuvieron alrededor de 1.5  $\mu\text{M}$  en promedio. Durante la época de lluvias se encontraron los valores ligeramente más elevados (promedio 1.4  $\mu\text{M}$ ), aunque se presentaron fluctuaciones, los valores obtenidos fueron muy similares en el flujo y reflujos de la marea. La concentración de nitratos en la época de secas frías se mantuvo en ambas mareas por debajo de los 5  $\mu\text{M}$ , solo en la estación frente al estero del Tule se registró durante la bajamar una concentración que alcanzó los 39.3  $\mu\text{M}$  y en la estación 13 ubicada frente a La Reforma se obtuvo una concentración de 14.2  $\mu\text{M}$  (Fig. I.3 H, Anexo IB). El ANOVA aplicado a esta variable no mostró diferencias significativas entre las épocas climáticas, y como puede observarse en la Tabla 14 (Anexo IA), los valores fueron muy similares. El periodo de muestreo que presentó valores máximos fue secas cálidas (promedio  $1.5 \pm 0.4 \mu\text{M}$ ).

Los nitratos se mantuvieron por lo general bajos en la mayoría de las estaciones, alrededor de 1.5  $\mu\text{M}$ , con excepción de las estaciones 6 y 13, la primera ubicada frente al estero del Tule y la segunda frente a La Reforma. El intervalo de concentraciones fue de 0.1 a 39.3  $\mu\text{M}$ . Nuestros

valores están por encima a los encontrados por Gilmartin y Revelante (1978) para este mismo sistema lagunar en 1974 (0.16-1.33  $\mu\text{M}$ ) y para otros sistemas del Pacífico Mexicano, y también a los intervalos encontrados por De la Lanza-Espino (1994) para el Golfo de California y Pacífico (0-16.0  $\mu\text{M}$ ). La concentración de nitratos fue mayor durante secas cálidas, contrario a lo encontrado por Morán-Silva *et al.* (2005) quienes encontraron concentraciones más altas en la temporada de nortes con mínimos de 0.67 y máximos de 7.9-10.6  $\mu\text{M}$  en zonas con descargas fluviales y urbanas.

### **Nitrógeno inorgánico disuelto**

Durante la época de secas cálidas la concentración de NID se mantuvo por debajo de 10  $\mu\text{M}$  con excepción de la estación 3 donde se detectaron hasta 40  $\mu\text{M}$  de NID, en bajamar se presentaron amplias fluctuaciones. La máxima concentración se registró en la estación 8 donde se encontraron 51.9  $\mu\text{M}$ , también en la estación 10 se encontró una concentración alta (41.5  $\mu\text{M}$ ), luego éstas se mantuvieron por debajo de 10  $\mu\text{M}$  en las demás estaciones, para luego volver a aumentar en la estación 18, alcanzando una concentración de 30.3  $\mu\text{M}$ . En la época de lluvias los datos de NID no mostraron ninguna tendencia, se comportaron casi de igual forma en el flujo y reflujos de la marea. El máximo durante la pleamar se presentó en la estación 6 y fue aumentando hacia la 8 donde se registraron 14.9  $\mu\text{M}$ , mientras que en bajamar esto se presentó de manera inversa la concentración aumento hacia la estación 6 frente al estero del Tule (12.4  $\mu\text{M}$ ). En la época de secas frías la concentración se mantuvo por debajo de 10  $\mu\text{M}$  en la mayoría de las estaciones, tanto en pleamar como en bajamar, a excepción de la estación 6 que presentó una concentración de 87.2  $\mu\text{M}$  y la estación 13 que registró 36.2  $\mu\text{M}$ . El análisis estadístico aplicado a esta variable reveló diferencias significativas entre las medias de las épocas climáticas secas cálidas con lluvias, secas cálidas con secas frías y secas frías con lluvias (ANOVA,  $P < 0.05$ ) (Tabla 5). La época del año que presentó el mayor intervalo fue secas frías (1.9-87.2  $\mu\text{M}$ ), aunque en promedio la mayor concentración se presentó en lluvias  $8.4 \pm 2.5 \mu\text{M}$ .

### **Nitrógeno total**

La concentración de nitrógeno total en la laguna de Santa María-La Reforma para secas cálidas en pleamar presentó concentraciones por debajo de 104  $\mu\text{M}$ , mientras que en bajamar se presentó una concentración de hasta 417  $\mu\text{M}$  en la estación 9. Para la época de lluvias los valores se mantuvieron entre 52.7 y 67.0  $\mu\text{M}$  en toda la laguna tanto en pleamar como en bajamar, más bajos que para la época anterior. En la época de secas frías las concentraciones son aun más bajas que en las épocas anteriores, éstas se presentaron por debajo de 20  $\mu\text{M}$  en la mayoría de las estaciones

tanto en pleamar como en bajamar. Las concentraciones mayores se presentaron sobre todo en bajamar en las estaciones siguientes: la estación 2 ubicada frente a la zona de descarga de granjas camaronícolas, la estación 6 ubicada en el estero el Tule y la estación 13 ubicada frente a La Reforma (Fig. I.3 J, Anexo IB). El ANOVA aplicado a los datos de ésta variable encontró diferencias significativas entre secas frías con secas cálidas, secas frías con lluvias, pero no entre secas cálidas con lluvias (Tabla 4). El periodo de muestreo donde se presentaron las mayores concentraciones de nitrógeno total fue secas cálidas, en promedio  $103 \pm 103 \mu\text{M}$ , el intervalo de concentraciones fue de 10.6–417  $\mu\text{M}$  valores altos comparados con los encontrados por Contreras-Espinoza (1991) para algunas lagunas costeras del Pacífico y por Garay-Morán (2002) para lagunas costeras del estado (Tabla 16, anexo IA).

Tabla 5. Resultados de la ANOVA no paramétrica de Mann-Whitney ( $P < 0.05$ ) para la laguna de Santa María- La Reforma.

Variable	T	S	OD	Cl a	SST
Valor de $P$	0	0.039	0	0.0038	0.0001
Diferencia significativa entre épocas climáticas	sí	sí	sí	sí	sí
SC-LL	*		*	*	*
SC-SF	*	*	*		
LL-SF	*		*	*	*
Variable	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_2^-$	$\text{NO}_3^-$	NID	Nt
Valor de $P$	0	0	0.4929	0	0
Diferencia significativa entre épocas climáticas	sí	sí	no	sí	sí
SC-LL	*	*		*	
SC-SF	*	*		*	*
LL-SF	*			*	*

Tabla 5a. Resumen estadístico para las diferentes variables estudiadas en la laguna de Santa María-La Reforma durante tres periodos de muestreo (T (°C), S (ups), OD (mg/L), Cl. a (mg/m<sup>3</sup>) y SST (mg/L)).

	Marea	n	Media	Desvest	Mediana	Mín.	Máx.
<b>T</b>							
secas cálidas	P	20	30.6	0.7	30.4	29.8	31.6
	B	19	30.9	0.9	31.0	29.1	33.0
lluvias	P	20	30.0	0.8	30.3	28.0	31.0
	B	20	30.4	0.7	30.4	29.0	31.8
secas frías	P	20	21.2	0.4	21.3	20.2	21.6
	B	20	22.8	0.8	22.6	21.2	24.5
Anual		119	27.6	4.1	30.1	20.2	33.0
<b>S</b>							
secas cálidas	P	20	35.4	1.9	35.1	32.4	39.2
	B	19	34.9	1.8	34.4	32.5	39.3
lluvias	P	20	34.4	0.6	34.6	32.9	35.3
	B	20	34.5	1.0	34.8	32.0	35.7
secas frías	P	20	34.2	0.7	34.4	32.5	35.1
	B	20	33.9	2.0	34.4	25.9	35.7
Anual		119	34.5	1.5	34.5	25.9	39.3
<b>OD</b>							
secas cálidas	P	20	6.3	1.3	5.9	4.7	10.4
	B	19	6.4	1.1	6.3	4.7	9.4
lluvias	P	20	6.2	0.7	6.3	5.0	7.6
	B	20	7.4	1.8	7.2	4.7	11.5
secas frías	P	20	8.2	0.2	8.2	7.6	8.7
	B	20	9.2	1.0	9.1	6.2	11.1
Anual		119	7.3	1.6	7.2	4.7	11.5
<b>Cl a</b>							
secas cálidas	P	20	0.9	1.2	0.8	0.2	5.2
	B	19	1.1	1.2	1.0	0.2	5.6
lluvias	P	20	0.7	0.8	0.7	0.0	3.6
	B	20	0.7	0.9	0.3	0.0	3.6
secas frías	P	20	1.5	1.2	1.8	0.2	4.9
	B	20	1.3	1.2	0.8	0.2	4.5
Anual		119	1.0	1.1	0.6	0.1	5.6
<b>SST</b>							
secas cálidas	P	20	21.9	13.0	18.9	7.7	67.3
	B	19	20.0	11.1	16.9	8.9	50.0
lluvias	P	20	31.0	16.3	28.4	11.5	74.4
	B	20	48.4	31.9	37.1	12.3	128.3
secas frías	P	20	19.3	12.7	16.8	2.8	55.5
	B	20	22.9	22.5	18.3	1.7	98.7
Anual		119	27.3	22.0	19.6	1.7	128.3

Tabla 5b. Resumen estadístico para los diferentes nutrientes estudiados en la laguna de Santa María-La Reforma durante tres periodos de muestreo (unidades en  $\mu\text{M}$ ).

	Marea	n	Media	Desvest	Mediana	Mín.	Máx.
<b>N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>							
secas cálidas	P	20	4.9	8.3	1.9	1.2	38.5
	B	19	12.3	13.7	6.3	1.2	50.4
lluvias	P	20	7.2	2.4	7.0	3.3	11.1
	B	20	6.0	1.4	6.0	3.6	8.3
secas frías	P	20	3.1	3.9	1.9	1.4	19.1
	B	20	4.8	9.5	1.8	1.5	41.6
Anual		119	6.3	8.2	4.4	1.2	50.4
<b>N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>							
secas cálidas	P	20	0.07	0.07	0.05	0.02	0.32
	B	19	0.05	0.03	0.04	0.03	0.16
lluvias	P	20	0.32	0.20	0.24	0.06	0.74
	B	20	0.29	0.29	0.16	0.12	1.34
secas frías	P	20	0.47	0.68	0.23	0.10	3.18
	B	20	0.66	1.50	0.16	0.11	6.38
Anual		119	0.31	0.71	0.14	0.02	6.38
<b>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>							
secas cálidas	P	20	1.5	0.4	1.4	1.0	2.4
	B	19	1.4	0.3	1.4	0.8	2.0
lluvias	P	20	1.5	0.8	1.2	0.7	3.1
	B	20	1.7	1.0	1.6	0.1	4.9
secas frías	P	20	2.3	2.4	1.3	0.1	9.1
	B	20	3.6	8.9	1.1	0.3	39.3
Anual		119	2.0	3.8	1.3	0.1	39.3
<b>NID</b>							
secas cálidas	P	20	6.5	8.3	3.7	2.3	40.0
	B	19	13.7	13.7	7.7	2.6	51.9
lluvias	P	20	9.1	3.0	8.4	4.5	14.9
	B	20	8.0	1.9	7.9	5.2	12.4
secas frías	P	20	5.9	6.3	3.5	1.9	29.0
	B	20	9.1	19.8	2.9	2.1	87.2
Anual		119	8.7	10.9	6.1	1.9	87.2
<b>Nt</b>							
secas cálidas	P	20	42.6	23.7	33.7	33.7	103.8
	B	19	191.5	99.3	182.5	182.5	417.7
lluvias	P	20	55.0	6.2	56.8	56.8	66.9
	B	20	52.2	5.1	52.7	52.7	59.6
secas frías	P	20	12.7	7.1	10.9	10.9	38.9
	B	20	22.7	35.0	10.6	10.6	146.5
Anual		119	61.7	72.6	47.8	6.0	417.7

## **8.4. Altata-Ensenada del Pabellón**

### **8.4.1. Variables físico-químicas**

#### **Temperatura**

El comportamiento de esta variable en secas cálidas (Fig. I.4 A, Anexo IB) presentó un gradiente de temperatura desde la boca (29.0 °C) hacia los extremos norte y sur de la laguna estaciones 1 (31.5) y 23 (31.9 °C), respectivamente. Aunque este gradiente se presentó de manera inversa en pleamar registrando las temperaturas más bajas hacia Ensenada del Pabellón. Durante lluvias no mostró gradientes bien definidos se puede ver que pleamar y bajamar se comportan casi de igual forma aunque siempre los valores de bajamar se encuentran por encima de pleamar. En las primeras estaciones se encontraron las temperaturas más bajas (mínimo 27.4 °C). En secas frías ésta disminuyó en toda la laguna alcanzándose un máximo de 27.0 °C y un mínimo de 17.2 °C. La temperatura mostró un gradiente bien definido desde la boca hacia ambos extremos, las temperaturas más cálidas se encontraron en las estaciones cercanas a las bocas y fueron aumentando hacia los extremos, específicamente hacia las zonas más someras de la laguna. La ANOVA no paramétrica ( $P < 0.05$ ) mostró diferencias significativas entre las tres épocas climáticas: SC-LL, SC-SF y LL-SF. Se encontraron los promedios máximos en secas cálidas ( $29.7 \pm 1.4$  °C) y los mínimos en secas frías ( $23.7 \pm 2.5$ ).

Castro-Longoria y Grijalva-Chon (1991), Mancilla y Martínez (1991) y Valdez-Holguín (1994), registraron valores de temperatura similares a los de este estudio (mayores en verano y menores en invierno), con tendencia general a incrementarse hacia el interior de la laguna.

#### **Salinidad**

Durante secas cálidas (Fig. I.4 B, Anexo IB) los valores máximos de salinidad se encontraron en pleamar y bajamar principalmente en la parte central y zonas someras de la laguna, observándose salinidades muy parecidas tanto en pleamar como en bajamar, 32.9 y 32.7 ups, respectivamente. Las salinidades más elevadas en lluvias se encontraron en Altata tanto en pleamar como en bajamar, alcanzando salinidades de hasta 36.0 ups en las estaciones 22 y 23. Las salinidades más bajas se encontraron en Ensenada del Pabellón. En secas frías al igual que en lluvia las salinidades más elevadas se encontraron en la parte de Altata, mientras que las más bajas se encontraron en la parte de Ensenada del Pabellón, los promedios de salinidad por marea fueron 31.6 ups para pleamar y 31.2 ups para bajamar. De manera general, las salinidades más bajas a través del año se registraron en Ensenada del Pabellón, en las zonas cercanas al sitio de descarga de los drenes.

No se encontraron diferencias significativas para esta variable entre las tres épocas estudiadas, ANOVA,  $P < 0.05$  (Tabla 6).

Se observaron variaciones espaciales de la salinidad en la laguna, las cuales no fueron notorias en la época de secas cálidas, sin embargo éstas sí fueron muy notorias en las épocas siguientes. Las bajas salinidades que se presentan en Ensenada del Pabellón, son debido a los considerables aportes continentales que llegan hacia este sistema. Además se puede observar un comportamiento muy parecido entre el flujo y el reflujos de la marea. La temperatura y salinidad del área de estudio mostraron diferencias durante los meses del año con una columna de agua perfectamente mezclada durante lluvias y un poco más estructurada en secas frías (Fig. II.4 a y II.4 b, Anexo II).

Según Conde-Gómez y De la Lanza-Espino (1994) esta distribución de salinidad contradictoria (niveles bajos en abril) se debe a las actividades agrícolas-industriales circundantes. De la Lanza-Espino *et al.* (1991) determinaron salinidades hasta 0 ups durante enero, febrero y abril en el dren Bataoto en AEP debido a descargas provenientes de la industria azucarera.

### **Oxígeno disuelto en las aguas del fondo**

En secas cálidas durante pleamar y bajamar las concentraciones de oxígeno disuelto se mantuvieron entre los 4.5 y 6.5 mg/L, con excepción de las estaciones 1 y 10 en pleamar donde se presentaron el mínimo y el máximo que fueron de 4.0 y 8.7 mg/L respectivamente. En lluvias los valores estuvieron alrededor de los 7 mg/L aproximadamente en toda la laguna. En el caso de bajamar se notó un gradiente no muy bien definido con valores que van aumentando desde las estaciones cercanas a la boca hacia el interior de la laguna en Ensenada del Pabellón, en el caso de Altata no se notó ningún gradiente. El mínimo encontrado fue de 4.0 mg/L en la estación 21 y el máximo de 8.5 mg/L se encontró en la estación 13 frente a la descarga del río Culiacán. Durante secas frías las concentraciones de oxígeno aumentaron en la laguna fluctuando alrededor de los 8.0 mg/L, aunque la concentración promedio fue menor en pleamar que en bajamar (7.8 y 8.4 mg/L respectivamente). El mínimo encontrado durante este periodo de muestreo fue de 5.3 mg/L en la estación de la boca y el máximo fue de 9.7 mg/L en la estación ubicada frente a las Aguamitas (estación 17). Las mayores concentraciones a través del año se encontraron en secas frías ( $8.1 \pm 0.8$  mg/L), mientras que las menores se registraron en secas cálidas ( $5.9 \pm 0.7$  mg/L). Se encontraron diferencias significativas entre las medias de concentración de las tres épocas climáticas: secas cálidas con lluvias, secas cálidas con secas frías y lluvias con secas frías con una  $P < 0.05$  (Tabla 6).

La variación espacial y temporal del contenido de oxígeno disuelto presentó amplias variaciones, aunque no se notó un patrón bien definido en ninguna de las estaciones climáticas. Éste presentó un patrón inverso al de la temperatura, con valores mayores en secas frías (promedio 8.1 mg/L) y menores en secas cálidas (promedio 5.8 mg/L). Estos resultados son similares a los encontrados por Valdez-Holguín (1994) en un estudio realizado en la laguna La Cruz, Sonora.

### **Clorofila *a* en las aguas superficiales**

Durante la época de secas cálidas para este sistema lagunar, las concentraciones de clorofila *a* más elevadas se encontraron en la bahía de Altata, los promedios para pleamar y bajamar fueron muy parecidos 4.4 y 4.2 mg/m<sup>3</sup>, respectivamente (Fig. I.4 D, Anexo IB). En lluvias se encontraron valores menores a 2 mg/m<sup>3</sup> en casi toda la laguna en pleamar, la concentración más elevada se presentó en la estación 20 donde se alcanzó un valor de 6.1 mg/m<sup>3</sup>. En bajamar se encontraron concentraciones más elevadas en la bahía de Altata en las estaciones 20 y 22 donde se encontraron 7.3 y 7.6 mg/m<sup>3</sup> respectivamente. En secas frías las concentraciones de este pigmento fueron relativamente bajas tanto en pleamar como en bajamar (<1 mg/m<sup>3</sup>). Los valores más elevados se encontraron en Ensenada del Pabellón, donde se encontraron valores de hasta 2.97 mg/m<sup>3</sup>. Al hacer el análisis estadístico de los datos, éste arrojó que se presentaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en las medias de concentración entre las tres épocas climáticas: secas cálidas-lluvias, secas cálidas-lluvias y lluvias-secas frías (Tabla 6). De manera general la época del año que presentó mayores concentraciones del pigmento fue secas cálidas que presentó un promedio de  $4.2 \pm 2.4$  mg/m<sup>3</sup>.

La concentración de clorofila *a* en la laguna presentó variaciones espaciales marcadas sobre todo en secas cálidas y lluvias donde se notó un aumento en la concentración del pigmento hacia la bahía de Altata y disminuyendo desde la boca hacia el interior de la laguna. Álvarez-Borrego y Lara-Lara (1977), señalan este último comportamiento para la bahía de San Quintín B.C.S. El cual pudiera deberse a que esta zona está más influenciada por el mar, presentándose una invasión de organismos neríticos (De la Lanza y Lozano-Montes, 1999).

### **Sólidos Suspendidos Totales**

La distribución espacial para SST muestra para la época de secas cálidas (Fig. I.4 E, Anexo IB) los máximos en Ensenada del Pabellón (estaciones 1 a 4), donde se encontraron concentraciones de hasta 1356 mg/L. Durante la época de lluvias en pleamar las mayores concentraciones se encontraron en las estaciones 3 y 14 en las cuales se alcanzaron concentraciones de hasta 68.9



mg/L, relativamente más bajas que en secas cálidas. La laguna en general presentó mayores concentraciones en bajamar (35.6 mg/L) que en pleamar (28.9 mg/L). Durante la época de secas frías los SST se comportaron casi de igual forma en pleamar y bajamar, alcanzando en ambos casos la máxima concentración en la estación 4, aunque presentaron una media general de 67.4 y 79.0 mg/L, respectivamente.

La época del año que presentó mayores concentraciones de SST fue lluvias (promedio,  $32.5 \pm 19.7$  mg/L), sin embargo no se presentaron diferencias significativas entre las medias por épocas climáticas (ANOVA,  $P < 0.05$ ).

Los SST en este sistema presentaron variaciones espaciales muy marcadas, con valores extremadamente altos en las estaciones 1 a 4 en Ensenada del Pabellón en secas cálidas y secas frías, mientras que en lluvias estos se mantuvieron por debajo de 100 mg/L. La concentración de SST como se puede observar claramente se elevó en secas cálidas hacia la parte de Ensenada del Pabellón, posiblemente por el factor más importante tiene que ver con el oleaje provocado por los vientos registrados, y que suspende las partículas del fondo.

#### **8.4.2. Especies nitrogenadas**

##### **Amonio**

La concentración de amonio en la época de secas cálidas fue más elevada hacia la parte de Ensenada del Pabellón en las estaciones 1-4 tanto en el flujo como en el reflujó de la marea, se encontraron concentraciones de hasta 47.3  $\mu\text{M}$ , mientras que en el resto de la laguna los valores estuvieron por debajo de 10  $\mu\text{M}$ . Durante la época de lluvias (Fig. 1.4 F, Anexo IB) los valores registrados no presentaron tendencia alguna, estuvieron fluctuando entre 1 y 2.5  $\mu\text{M}$ , tanto para pleamar como para bajamar. El promedio de la concentración calculada para este periodo de muestreo fue de 1.6  $\mu\text{M}$ . Para la época de secas frías tanto en pleamar como en bajamar la concentración en la laguna se mantuvo entre los 2 y 20  $\mu\text{M}$  no encontrándose ningún patrón definido, en esta época se observaron solo 2 estaciones por encima de 20  $\mu\text{M}$ ; estación 23 en pleamar con un máximo de 25.2  $\mu\text{M}$  y estación 4 en bajamar con 26.6  $\mu\text{M}$ .

El promedio de la concentración de amonio en secas frías fue de  $12.5 \pm 4.4$   $\mu\text{M}$ , siendo este periodo de muestreo la que presentó las mayores concentraciones a través del año. Además la ANOVA no paramétrica ( $P < 0.05$ ) mostró que sí existen diferencias significativas entre las medias de las tres épocas climáticas: secas cálidas con lluvias, secas cálidas con secas frías y lluvias con secas frías (Tabla 6).

Conde-Gómez y De la Lanza-Espino (1994) reportan máximos de 9.2 y hasta 25  $\mu\text{M}$  y un promedio de 1.5 a 3.8  $\mu\text{M}$  y señalan que el amonio puede ser retirado de la columna de agua por asimilación y por adsorción a arcillas suspendidas o en la fase sedimentaria. El intervalo estuvo entre 1.1 y 47.3  $\mu\text{M}$ . EL INE (2000) reportan valores entre 0 y 30.3  $\mu\text{M}$  para este mismo sistema costero.

### **Nitritos**

Durante la época de secas cálidas en pleamar se encontraron en la parte de Ensenada del Pabellón concentraciones ligeramente más elevadas que en Altata, aunque éstas no rebasaron los 0.2  $\mu\text{M}$ , mientras que bajamar en la mayoría de las estaciones se obtuvieron valores menores a 0.05  $\mu\text{M}$ , excepto en la estación 4 localizada frente a granjas camaronícolas donde se obtuvo una concentración de 0.3  $\mu\text{M}$ . En la época de lluvias las concentraciones de nitritos fueron muy bajas al igual que en secas cálidas, en este caso se presentó un gradiente bien definido con concentraciones que van disminuyendo desde la estación 11 (0.4  $\mu\text{M}$ ) hacia la parte interna de Ensenada del Pabellón y Altata donde se encontraron concentraciones de hasta 0.03  $\mu\text{M}$ . En la época de secas frías durante el flujo de la marea se observaron concentraciones de hasta 0.5  $\mu\text{M}$  en las estaciones 4 ubicada frente a la descarga de granjas y 15 y 16 localizadas en la boca. En el reflujo, la mayor parte de la laguna registró concentraciones por debajo de 0.05  $\mu\text{M}$  y nuevamente la estación 4 presentó el máximo, que en este caso fue de 0.3  $\mu\text{M}$ . Según el análisis estadístico, no se encontraron diferencias significativas en la concentración de nitritos entre épocas climáticas para esta laguna (Tabla 6). El periodo de muestreo que presentó la mayor concentración fue secas cálidas ( $0.08 \pm 0.06 \mu\text{M}$ ) como se puede observar en la Tabla 14 (Anexo IA).

Los valores encontrados en este estudio fueron relativamente bajos comparados con los observados por Conde-Gómez y De la Lanza-Espino (1994) quienes reportan valores entre 0.5 y 6.2  $\mu\text{M}$  para esta misma laguna, quienes atribuyen las altas concentraciones a procesos de denitrificación y nitrificación en las áreas cercanas al cauce del Río Culiacán por los desechos de los asentamientos humanos. Castro-Longoria y Grijalva-Chon (1991), en un estudio realizado en la laguna La Cruz (Son) encontraron valores altos en la boca y estaciones cercanas, lo que atribuyen se debe a que los nitritos provienen de un aporte externo.

### **Nitratos**

Los nitratos en la época de secas cálidas (Fig. I.4 H, Anexo IB) en la laguna de Altata-Ensenada del Pabellón se encontraron fluctuando alrededor de 1  $\mu\text{M}$ , con las concentraciones más elevadas en las estaciones 4 ubicada frente a los Mayitos en Ensenada del Pabellón y 22-23 ubicadas frente al

pueblo Altata, en este último caso se alcanzaron valores de 2.3  $\mu\text{M}$ . En bajamar se presentó un patrón de disminución desde la estación 15 ubicada frente a la boca, hacia la estación 12, para luego aumentar hacia la estación 2 ubicada frente a Chiricahueto, la cual presentó el máximo (2.3  $\mu\text{M}$ ). En lluvias se encontró durante el flujo un gradiente de disminución desde la estación 12, hacia la parte interna de Ensenada del Pabellón y otro desde la estación 15 (frente a la boca) hacia la estación 23 (frente a Altata). Durante el reflujo no se notó ningún patrón definido en la concentración, aunque los máximos se presentaron en las mismas estaciones al igual que en el flujo (estaciones 12 y 15). En este caso la concentración promedio encontrada fue de 0.38  $\mu\text{M}$ . Durante la época de secas frías se encontraron concentraciones de hasta 13.6  $\mu\text{M}$  en la estación 17 ubicada frente a la salida de una granja de camarón en las Aguamitas, mientras que en el resto de la laguna la concentración se mantuvo por debajo de 4  $\mu\text{M}$ , de la misma manera sucedió en bajamar. EL análisis estadístico reveló que existen diferencias significativas entre épocas climáticas: secas cálidas con lluvias, secas cálidas con secas frías y lluvias con secas frías (Tabla 6). El periodo de muestreo que presentó el mayor promedio del ciclo anual fue secas frías con una media de 2.3  $\pm$  2.4  $\mu\text{M}$ .

Los niveles de concentración encontrados en esta laguna fueron similares a los encontrados por Conde-Gómez y De la Lanza-Espino (1994) para este mismo sitio de estudio (3.4  $\mu\text{M}$ ). El intervalo de concentraciones (0.1 a 13.6  $\mu\text{M}$ ) muestra similitud con registros encontrados en lagunas como Huizache-Caimanero donde se cuantificaron 0.4-30  $\mu\text{M}$  (De la Lanza-Espino y García-Calderón, 1991), y en la laguna de Alvarado, Veracruz desde 0 a 16.5  $\mu\text{M}$  (Lozano-Montes, 1993).

### **Nitrógeno inorgánico disuelto**

El NID se encontró más elevado sobre todo hacia Ensenada del Pabellón, los máximos se encontraron siempre en las estaciones 1, 3 y 4 ubicadas frente a la laguna de Chiricahueto donde las concentraciones alcanzaron valores alrededor de 40  $\mu\text{M}$ . Mientras que en el resto de la laguna estos se mantuvieron por debajo de 10  $\mu\text{M}$ . En lluvias se notó un claro patrón de aumento desde las partes internas de Ensenada del Pabellón y Altata, hacia la estación 12 ubicada frente al estero cajón donde se encontró la concentración máxima 3.2  $\mu\text{M}$ . En Secas frías se presentaron fluctuaciones amplias en la laguna que van desde 3.7 hasta 31.5  $\mu\text{M}$ , no mostrando ninguna tendencia. En este caso los máximos se encontraron en la estación 4 ubicada frente al estero los mayitos y en la estación 23 ubicada frente a Altata (Fig. 1.4 I, Anexo IB). El análisis estadístico aplicado a esta variable (ANOVA,  $P < 0.05$ ) mostró diferencias significativas entre las concentraciones medias del NID para las épocas climáticas: secas cálidas con lluvias, secas cálidas

con secas frías y lluvias con secas frías. La época de secas frías registro la mayor concentración de NID a través del año ( $15.1 \pm 4.8 \mu\text{M}$ ).

Martínez-López *et al.* (2005) mostraron concentraciones de NID similares en los meses estudiados para el sistema para la laguna de Santa María en Ahome, Sinaloa debido a las descargas de aguas residuales. Escobedo-Urías *et al.* (2005) encontraron las concentraciones máximas de NID en verano en la bahía El Colorado con una concentración de  $1.56 \mu\text{M}$ , debido al impacto de las descargas agrícolas sobre la zona, en el caso particular nuestras concentraciones fueron 9.7 veces mayores que las reportadas anteriormente.

### **Nitrógeno total**

La variación de nitrógeno total en la época de secas cálidas (Fig. 1.4 J, Anexo IB) presentó nuevamente el patrón de aumento hacia las estaciones ubicadas frente a Chiricahueto (estaciones 1 a 4). El intervalo de concentración estuvo entre  $8.6$  y  $49.0 \mu\text{M}$ . En lluvias las concentraciones de nitrógeno total mostraron una ligera disminución en las estaciones de las bocas y cercanas a éstas durante la pleamar, mientras que en bajamar sucedió lo contrario, las concentraciones mayores se encontraron en las bocas y cercanas a éstas, y se mantuvieron bajas en el resto de la laguna. En la época de secas frías las concentraciones de nitrógeno total se encontraron en intervalos de  $15.4$  a  $46.1 \mu\text{M}$  en pleamar y de  $11.3$  a  $49.1 \mu\text{M}$  en bajamar, observándose fluctuaciones mayores hacia la parte de Altata en cambio, en Ensenada del Pabellón éstas se mantuvieron más estables.

Cuando se compararon estadísticamente entre sí las medias de la concentración de Nt por periodo de muestreo se observaron diferencias significativas entre secas cálidas con lluvias, secas cálidas con secas frías y lluvias con secas frías. Lluvias fue la época que presentó el promedio mayor de nitrógeno total,  $38.1 \pm 3.3 \mu\text{M}$ , mientras que para secas cálidas y secas frías los promedios fueron de  $13.6 \pm 8.8$  y  $22.0 \pm 8.5 \mu\text{M}$ , respectivamente (Tabla 14, Anexo IA).

La concentración de nitrógeno total (Nt) en la laguna Altata-Ensenada del Pabellón se mantuvo en el intervalo  $9$ – $49.1 \mu\text{M}$ . Los promedios para cada una de las épocas climáticas fueron SC ( $13.5 \mu\text{M}$ ), LL ( $38.1 \mu\text{M}$ ) y SF ( $22.0 \mu\text{M}$ ), y la media anual es de  $25.8 \mu\text{M}$ . Esta laguna quedó por debajo de la media reportada para varias lagunas costeras de Sinaloa por Garay-Morán (2002), quien encontró una concentración de nitrógeno total de  $35.5 \mu\text{M}$  para las lagunas de Topolobampo-Ohuira y Navachiste-San Ignacio y de  $35.7 \mu\text{M}$  para la laguna Santa María-La Reforma, caso contrario sucede para algunas lagunas de Guerrero como Chautengo, Mityla y San Marcos donde Contreras-Espinoza (1991) encontró concentraciones de  $10.18$ ,  $5.95$  y  $10.90 \mu\text{M}$ , respectivamente.

Tabla 6. Resultados de la ANOVA no paramétrica de Mann-Whitney ( $P < 0.05$ ) para la laguna de Altata-Ensenada del Pabellón

Variable	T	S	OD	Cl a	SST
Valor de $P$	0	0.193	0	0	0.5571
Diferencia significativa entre épocas climáticas	sí	no	sí	sí	no
SC-LL	*		*	*	
SC-SF	*		*	*	
LL-SF	*		*	*	

Variable	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_2^-$	$\text{NO}_3^-$	NID	Nt
Valor de $P$	0	0.1037	0	0	0
Diferencia significativa entre épocas climáticas	sí	no	sí	sí	sí
SC-LL	*		*	*	*
SC-SF	*	*	*	*	*
LL-SF	*		*	*	*

Tabla 6a. Resumen estadístico para las diferentes variables estudiadas en la laguna de Altata-Ensenada del Pabellón durante tres periodos de muestreo (T (°C), S (ups), OD (mg/L), Cl. *a* (mg/m<sup>3</sup>) y SST (mg/L)).

	Marea	n	Media	Desvest	Mediana	Mín.	Máx.
<b>T</b>							
secas cálidas	P	23	28.8	1.3	29.1	26.0	31.2
	B	23	30.5	1.0	30.5	29.0	33.0
lluvias	P	23	29.1	0.6	29.2	27.4	29.8
	B	23	29.5	0.4	29.5	28.5	30.0
secas frías	P	23	22.1	2.5	22.5	17.2	26.2
	B	23	23.7	2.3	24.4	18.0	27.0
Anual		138	27.3	3.6	29.1	17.2	33.0
<b>S</b>							
secas cálidas	P	23	32.9	0.7	33.0	31.3	35.2
	B	23	32.8	1.1	32.8	28.7	34.4
lluvias	P	23	32.8	1.9	33.5	29.9	35.5
	B	23	32.8	1.8	32.2	30.1	36.2
secas frías	P	23	31.6	3.5	32.3	23.8	35.5
	B	23	31.2	3.3	31.4	25.8	36.3
Anual		138	32.3	2.4	32.7	23.8	36.3
<b>OD</b>							
secas cálidas	P	23	5.8	0.9	5.9	4.0	8.7
	B	23	5.8	0.4	5.7	4.6	6.7
lluvias	P	23	6.5	0.5	6.4	5.6	7.3
	B	23	7.0	1.0	7.0	4.0	8.5
secas frías	P	23	7.8	1.0	7.9	5.3	9.7
	B	23	8.4	0.5	8.4	7.3	9.2
Anual		138	6.9	1.2	6.6	4.0	9.7
<b>Cl <i>a</i></b>							
secas cálidas	P	23	4.4	2.5	2.6	1.1	9.5
	B	23	4.2	2.3	4.1	1.1	9.5
lluvias	P	23	1.9	1.6	1.1	0.3	6.1
	B	23	3.2	2.2	2.3	0.8	7.5
secas frías	P	23	0.7	0.7	0.8	0.0	3.0
	B	23	0.5	0.5	0.2	0.0	1.5
Anual		138	2.5	2.4	1.6	0.0	9.5
<b>SST</b>							
secas cálidas	P	23	52.1	65.9	32.3	7.7	240.8
	B	23	118.6	281.0	15.8	6.2	1356.0
lluvias	P	23	28.9	15.4	28.0	4.6	68.9
	B	23	35.6	22.3	31.5	6.7	85.0
secas frías	P	23	67.4	135.2	24.0	3.3	674.3
	B	23	79.0	120.9	36.0	9.7	576.7
Anual		138	63.6	143.3	29.4	3.3	1356.0

Tabla 6b. Resumen estadístico para los diferentes nutrientes estudiados en la laguna de Altata-Ensenada del Pabellón durante tres periodos de muestreo (unidades en  $\mu\text{M}$ ).

	Marea	n	Media	Desvest	Mediana	Mín.	Máx.
<b>N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>							
secas cálidas	P	23	7.0	8.3	4.5	1.3	30.6
	B	23	11.0	12.8	7.9	1.3	47.3
lluvias	P	23	1.7	0.3	1.7	1.1	2.3
	B	23	1.6	0.3	1.6	1.1	2.2
secas frías	P	23	11.9	4.2	11.9	2.0	25.2
	B	23	12.9	4.5	12.4	5.3	26.6
Anual		138	7.7	8.1	4.5	1.1	47.3
<b>N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>							
secas cálidas	P	23	0.09	0.05	0.10	0.03	0.2
	B	23	0.06	0.06	0.04	0.03	0.3
lluvias	P	23	0.11	0.11	0.06	0.03	0.4
	B	23	0.10	0.08	0.06	0.03	0.3
secas frías	P	23	0.17	0.12	0.12	0.04	0.4
	B	23	0.07	0.08	0.04	0.02	0.3
Anual		138	0.10	0.09	0.06	0.02	0.4
<b>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>							
secas cálidas	P	23	1.3	0.5	1.2	0.4	2.3
	B	23	1.4	0.4	1.4	0.9	2.3
lluvias	P	23	0.5	0.3	0.5	0.2	1.1
	B	23	0.3	0.2	0.2	0.1	0.8
secas frías	P	23	3.4	3.1	2.4	1.0	13.6
	B	23	2.0	1.0	2.0	0.3	4.6
Anual		138	1.5	1.7	1.2	0.1	13.6
<b>NID</b>							
secas cálidas	P	23	8.4	8.4	5.8	2.8	32.5
	B	23	12.5	13.1	9.1	2.5	49.0
lluvias	P	23	2.3	0.5	2.4	1.5	3.3
	B	23	2.0	0.4	2.0	1.3	2.5
secas frías	P	23	15.6	4.6	14.4	6.8	26.9
	B	23	14.9	5.0	14.3	7.7	31.5
Anual		138	9.3	8.8	6.0	1.3	49.0
<b>Nt</b>							
secas cálidas	P	23	15.6	6.7	12.4	9.0	32.5
	B	23	17.8	10.5	15.4	8.6	49.0
lluvias	P	23	39.6	2.6	39.8	35.6	45.1
	B	23	36.4	3.3	35.4	32.8	45.5
secas frías	P	23	22.5	7.7	20.5	15.4	46.1
	B	23	23.1	9.3	19.9	11.3	49.1
Anual		138	25.8	11.6	23.3	8.6	49.1

## 8.5. Ceuta

### 8.5.1. Variables físico-químicas

#### Temperatura

En secas cálidas (Fig. I.5 A, Anexo IB) en la bahía de Ceuta los máximos de temperatura se registraron en las estaciones 6-8, donde se registraron valores de 30.9 °C. La temperatura fue ligeramente más elevada en bajamar que en pleamar. Durante lluvias las temperaturas más cálidas del sistema se registraron en las estaciones 5 y 11 donde se alcanzaron los 29.4 °C, mientras que el mínimo se registró en la estación 7, éste fue de 26.5 °C. En la época de secas frías la máxima temperatura registrada fue de 27.5 en la estación 7, el mínimo fue de 21.9 °C y se registró en una estación cercana a la boca. Al hacer el análisis estadístico (ANOVA,  $P < 0.05$ ) se encontró que hay diferencias significativas entre las medias de SC-SF y LL-SF, aunque no se detectaron diferencias entre SC y LL para esta laguna (Tabla 7). Encontrándose las temperaturas máximas en secas cálidas (30.2 °C) y las mínimas en secas frías (23.2 °C).

La temperatura en la laguna de Ceuta al igual que en las otras lagunas presentó un comportamiento típico estacional, con máximos en secas cálidas y mínimos en secas frías. La temperatura y salinidad del área de estudio mostraron diferencias significativas durante los meses del año con una columna de agua perfectamente mezclada durante enero y un poco más estratificada en los demás meses. Se determinó una termoclina más definida durante septiembre y octubre en comparación con los primeros meses de estudio (Espinoza-Carreón *et al.* 2001).

#### Salinidad

La salinidad en la laguna durante la época de secas cálidas se mantuvo homogénea en toda la laguna excepto en la estación localizada frente a la descarga de un dren agrícola, (estación 7) donde se encontraron salinidades relativamente bajas, 16.65 ups en pleamar y 7.49 ups en bajamar. En la época de lluvias (Fig. I.5 B, Anexo IB) en pleamar las salinidades más elevadas (33.8 ups) se encontraron en la estación 12 (boca) y cercanas a ésta, mientras que las más bajas se encontraron nuevamente en las estaciones 5, 6 y 7, donde la salinidad más baja encontrada fue de 12.2 ups. Los promedios calculados para la salinidad fueron para pleamar 25.8 ups y para bajamar de 22.8 ups. Para secas frías tanto para pleamar como bajamar, las salinidades más elevadas se presentaron nuevamente en la boca y estaciones cercanas a ésta y las bajas salinidades se presentaron en las estaciones 5 a 7. La salinidad promedio para pleamar fue de 31.5 y para bajamar de 31.2 ups. El periodo de muestreo que presentó mayores salinidades fue secas



cálidas (media, 31.4 ups) y la época que presentó las menores salinidades fue lluvias (media, 24.3 ups). En esta laguna se presentaron diferencias significativas entre las tres épocas climáticas para la salinidad: secas cálidas fue significativamente diferente de lluvias, secas cálidas fue también significativamente diferente de secas frías y secas frías fue significativamente diferente de lluvias (Tabla 7).

La salinidad, además de estar asociada con las descargas ya sea antropogénicas o fluviales, dependen de la época del año. Los valores más bajos, se registraron en la época de lluvias (media, 24.4 ups), y los más altos en la época de secas cálidas (media, 31.7 ups), semejantes a lo encontrado por De la Lanza-Espino *et al.* (2004) para una laguna del Pacífico tropical mexicano (Petacalco, Gro.), aunque existe una zona en la cual se notó la baja salinidad en todas las épocas climáticas lo cual indica que existe un aporte de aguas dulces hacia la laguna.

### **Oxígeno disuelto en las aguas del fondo**

El oxígeno disuelto en secas cálidas presentó concentración promedio de 8.8 mg/L, el mínimo encontrado en este periodo de muestreo fue de 4.7 mg/L, mientras que el máximo (12.1 mg/L) se presentó en la estación 4. En lluvias las concentraciones se mantuvieron alrededor de los 6 mg/L, menores con respecto a las encontradas en la época anterior, las concentraciones máximas (7.3 mg/L) se encontraron en las estaciones de la boca y cercanas a ésta, mientras que el mínimo fue encontrado en la estación 7 durante el reflujó. Durante la época de secas frías la concentración promedio fue de 6.9 mg/L más elevada que en lluvias. El máximo se encontró en la boca registrando una concentración de 8.8 mg/L, mientras que el mínimo se encontró en la estación 7 con un valor de 5.1 mg/L. Al hacer el análisis de los datos se encontraron diferencias significativas entre las concentraciones medias de oxígeno disuelto entre secas cálidas con lluvias, secas cálidas con secas frías y lluvias con secas frías (ANOVA,  $p < 0.05$ ). El promedio más elevado se encontró en secas cálidas y el menor en la época de lluvias (Tabla 14, Anexo IA).

La concentración de oxígeno disuelto presentó variaciones estacionales con máximos en secas cálidas y mínimos en secas frías. Además en la variación espacial en todas las épocas mostró casi el mismo patrón, las concentraciones de oxígeno fueron menores en la estación 7, mostrando lo contrario a lo observado por Álvarez Borrego *et al.* (1975) quienes describen que la concentración de oxígeno depende de la temperatura, a sea que, ésta disminuye al aumentar la temperatura. Ceseña-Célis y Álvarez-Borrego (1975) mencionan también que generalmente el oxígeno disuelto presenta características opuestas a la temperatura y salinidad.

### **Clorofila *a* en las aguas superficiales**

Durante la época de secas cálidas (Fig. I.5 D, Anexo IB) para este sistema lagunar, se encontró en pleamar la concentración máxima de clorofila *a* que fue de 6.4 mg/m<sup>3</sup> en la estación 8. En bajamar las concentraciones más elevadas se encontraron en las estaciones 4-7. El promedio de la concentración en pleamar fue de 2.8 y en bajamar de 2.5 mg/m<sup>3</sup>. En la época de lluvias las concentraciones de este pigmento se presentaron de manera homogénea en toda la laguna tanto en pleamar como en bajamar, en ambos casos la concentración más elevada se registró en la estación 6 alcanzando 4.9 mg/m<sup>3</sup>. Los promedios calculados para este periodo de muestreo fueron de 1.7 en pleamar y 1.9 mg/m<sup>3</sup> en bajamar. En secas frías los valores de clorofila *a* no rebasaron los 2 mg/m<sup>3</sup> en la mayoría de las estaciones, el máximo se registró durante el reflujó en la estación 3 alcanzando 4.5 mg/m<sup>3</sup>. El promedio de la concentración en el flujo y reflujó de la marea fue de 1.2 y 1.5 mg/m<sup>3</sup>, respectivamente. En la época de secas frías se registraron las mayores concentraciones de clorofila *a* (2.6 mg/m<sup>3</sup>). El análisis estadístico mostró que existen diferencias significativas para este parámetro con respecto a secas cálidas y secas frías (Tabla 7).

Las diferencias de la concentración de clorofila *a* en la laguna en función de la ubicación son grandes (algunos cientos de metros) tal como lo mencionan Lara-Lara y Álvarez-Borrego (1975) lo cual da la impresión de una distribución en forma de manchas o parches. También se pudo observar en secas cálidas y frías un comportamiento totalmente diferente en el flujo y reflujó de la marea, lo cual podría ser una consecuencia de los acarrees de fitoplancton por las corrientes de marea, la variación diurna de la irradiación solar y la temperatura y la salinidad del agua, los cuales pueden provocar grandes cambios en la concentración de clorofila *a* en pocas horas.

### **Sólidos Suspendedos Totales**

Para el periodo de secas cálidas (Fig. I.5 E, Anexo IB) los SST se comportaron de manera muy similar durante la pleamar y bajamar, estos se encontraron más elevados en la estación 8 en ambos casos, en las demás estaciones se mantuvieron por debajo de los 30 mg/L, lluvias presentó las máximas concentraciones en bajamar en las estaciones 4-8, mientras que en el resto de la laguna así como en pleamar, las concentraciones se mantuvieron por debajo de los 50 mg/L. La concentración promedio para pleamar fue de 37.9 mg/L y para bajamar 76.4 mg/L. Durante la época de secas frías en pleamar las mayores concentraciones se encontraron en la estación 1 donde se alcanzó una concentración de 200 mg/L. Durante la bajamar la estación 8 fue la que registró la mayor concentración (293 mg/L). La laguna presentó concentraciones un poco más

elevadas en bajamar que en pleamar y la época del año que presentó mayores concentraciones de SST fue secas cálidas (media, 69.7 mg/L).

Al analizar los datos se encontraron diferencias significativas en la concentración de sólidos suspendidos totales por periodo de muestreo (ANOVA,  $P < 0.05$ ), siendo secas cálidas significativamente diferente de lluvias y secas frías como se puede apreciar en la tabla 7, mientras que secas frías y lluvias tuvieron promedios similares (19.3 y 19.5 mg/L, respectivamente).

Como era de esperarse las mayores concentraciones de SST se presentaron sobre todo en las partes más someras de la laguna debido a factores ligados con la poca profundidad; como son la acción de las corrientes, el flujo y reflujo de la marea y el oleaje (García-Ballesteros y Larroque, 1974).

### **8.5.2. Especies nitrogenadas**

#### **Amonio**

El comportamiento del amonio durante la época de secas cálidas se presentó de manera homogénea durante la pleamar presentando concentraciones por debajo de 6.2  $\mu\text{M}$ , mientras que en bajamar se presentaron ligeras variaciones entre los valores de cada una de las estaciones, la estación 7 ubicada a la salida del estero La Puente presentó el valor más elevado que fue de 30.05  $\mu\text{M}$ , mientras que el resto de las estaciones presentaron valores por debajo de 18  $\mu\text{M}$ . En el caso de lluvias las mayores concentraciones fueron encontradas en las estaciones 6 y 7, tanto en pleamar como en bajamar, en pleamar el intervalo de concentración fue de 1.8 a 23.4  $\mu\text{M}$  y durante la bajamar entre 4.4 a 33.7  $\mu\text{M}$ . En secas frías las concentraciones fueron menores a las registradas en la época anterior aunque se presentó la misma tendencia de aumento hacia la estación 7 durante el flujo y reflujo de la marea. La época de lluvias presentó el promedio de concentración más elevado de las tres épocas climáticas (media, 11.92  $\mu\text{M}$ ), mientras que secas cálidas y secas frías presentaron un promedio muy similar 8.6 y 9.0  $\mu\text{M}$ , respectivamente.

No se presentaron diferencias significativas entre épocas climáticas para esta laguna (Tabla 7). Las concentraciones de amonio registradas a lo largo de un año estuvieron entre 1.3 y 33.7  $\mu\text{M}$ , encontrándose siempre los máximos hacia la parte interna del estero. Soto-Balderas y Álvarez-Borrego (1991) encontraron concentraciones de 24 a 27  $\mu\text{M}$  en el estero Punta Banda en verano. Una justificación a estas concentraciones fue la ubicación de las estaciones, debido a que los máximos se determinaron hacia las partes internas del estero, donde el agua permanece un mayor tiempo y mantiene una baja tasa de renovación. Los máximos valores de amonio se encontraron en la época de lluvias, a diferencia de lo encontrado por Morán-Silva *et al.* (2005) quienes reportaron en la laguna Alvarado, (Ver.) máximos en la época de secas debido a que el incremento de la

temperatura favorece la degradación de materiales orgánicos en los sedimentos así como de los desechos de organismos presentes en la columna de agua. Encontraron también altas concentraciones en época de lluvias, en las estaciones cercanas a las descargas del río. Kennish (1986) indica que las concentraciones de componentes nitrogenados aumentan con los efluentes fluviales.

### **Nitritos**

Las concentraciones de nitritos durante secas cálidas tuvieron un comportamiento muy similar durante el flujo y reflujo de la marea. Las concentraciones estuvieron por debajo de 10.5  $\mu\text{M}$  en la mayoría de las estaciones, excepto para las estaciones 2 y 7 donde se encontraron valores de 1.2 y 2.2  $\mu\text{M}$ , respectivamente. Las concentraciones en la época de lluvias fueron en general superiores a las otras épocas, se encontraron las máximas concentraciones en las estaciones 5, 6 y 7 para ambas mareas; en pleamar se encontraron valores de 0.2 a 2.8  $\mu\text{M}$  con un promedio de 1.2  $\mu\text{M}$ , mientras que en bajamar éste intervalo fue ligeramente más elevado que en pleamar, de 0.6 a 3.5  $\mu\text{M}$  y el promedio fue de 1.5  $\mu\text{M}$ .

Los valores de la concentración de nitritos en secas frías fueron menores comparados con los de las épocas anteriores con valores por debajo de 0.1  $\mu\text{M}$  en la mayoría de las estaciones con excepción en las estaciones 6, 7 y 8 donde los valores encontrados fueron superiores a 1  $\mu\text{M}$ .

La época de lluvias presentó las concentraciones de nitrito más elevadas que secas cálidas y secas frías. En general las concentraciones en la laguna a lo largo del año estuvieron por debajo de 1.0  $\mu\text{M}$ , este valor es semejante al presentado por Cano-Pérez (1991) quién reportó que los nitritos frente a las costas de Sinaloa alcanzan concentraciones de 0.7  $\mu\text{M}$ . La parte interna de la laguna (estaciones 5-8) presentó concentraciones elevadas en todas las épocas climáticas (entre 1.5 y 3  $\mu\text{M}$ ), aunque estos valores quedan dentro del intervalo para lagunas costeras marcado por De la Lanza-Espino (1994), con valores desde lo indetectable hasta 10  $\mu\text{M}$ .

### **Nitratos**

Las concentraciones de nitratos medidos en la época de secas cálidas durante la pleamar fueron relativamente bajas 0.6 a 2.7  $\mu\text{M}$ , mientras que en bajamar el intervalo fue un poco más amplio, de 0.1 a 26.3  $\mu\text{M}$ , los valores más elevados fueron encontrados en las estaciones 7 y 8. En la época de lluvias se observaron variaciones notables de la concentración entre las estaciones, aunque estas variaciones se mantuvieron constantes en el flujo y reflujo de la marea. En pleamar el intervalo de concentración fue de 0.5 a 24.2  $\mu\text{M}$  y en bajamar fue de 1.4 a 24.1  $\mu\text{M}$ , con valores promedio de 6.8 y 11.3  $\mu\text{M}$ , respectivamente. Las concentraciones más elevadas de ambas mareas

se encontraron en las estaciones 5 y 7. Las concentraciones de nitratos en la época de frías estuvieron entre 0.1 y 1.0  $\mu\text{M}$  en la pleamar y 0.5 a 13.4 en bajamar, los promedios fueron 0.6 y 2.1  $\mu\text{M}$ , respectivamente. El promedio de la concentración medida en secas frías fue más bajo comparado con el de las épocas de secas cálidas y lluvias, éste fue de 0.5  $\mu\text{M}$ , mientras que en lluvias presentó el promedio más elevado, 7.1  $\mu\text{M}$ , siendo significativamente diferentes al compararse estadísticamente (ANOVA,  $P < 0.05$ ).

Los niveles para el nitrato fueron entre 0.1 y 26.3  $\mu\text{M}$ , aunque en promedio el valor para la laguna fue de 1.72  $\mu\text{M}$ , mostrando las altas concentraciones siempre en la parte interna de la laguna (estaciones 5-8), aunque en la mayoría de las localidades se encontraron valores menores a 2  $\mu\text{M}$ . Los valores encontrados en este estudio son semejantes a los encontrados por Gilmartin y Revelante (1978) para varias lagunas costeras del Golfo de California, para este sistema en particular, mencionan concentraciones entre 0.53-1.18  $\mu\text{M}$ . La concentración de este nutriente fue menor en las épocas de secas cálidas y frías con promedios de  $9.3 \pm 13.6$  y  $8.9 \pm 5.8$  mg/L, respectivamente. También Castro-Longoria y Grijalva-Chon (1991) reportan nitratos entre 0.42 y 3.8  $\mu\text{M}$ , valores menores a los encontrados en este estudio.

### **Nitrógeno inorgánico disuelto**

La variación de NID en la época de secas cálidas fue notable entre pleamar y bajamar registrando bajamar siempre las máximas concentraciones. La estación 7 presentó la concentración más elevada, 55  $\mu\text{M}$ , mientras que el resto del cuerpo de agua se mantuvo por debajo de 20  $\mu\text{M}$ . En lluvias las concentraciones de NID en pleamar y bajamar mostraron un comportamiento muy parecido, concentraciones menores a 30  $\mu\text{M}$  en la mayor parte de la laguna y concentraciones superiores en las estaciones 5, 6 y 7, alcanzándose los 57  $\mu\text{M}$ . En la época de secas frías las concentraciones de NID se encontraron en intervalos de 4.7 a 19.8  $\mu\text{M}$  en pleamar y 4.7 a 27.6  $\mu\text{M}$  en bajamar, los promedios fueron en pleamar 7.6 y bajamar 6.7  $\mu\text{M}$ .

Cuando se compararon las medias del NID para las tres épocas climáticas se encontraron diferencias significativas entre ellas. La época de lluvias fue la que presentó el promedio mayor de la concentración de NID, siendo de 16.3  $\mu\text{M}$ , mientras que para secas cálidas y secas frías los promedios fueron de 9.2 y 8.9  $\mu\text{M}$ , respectivamente. El amonio fue la forma predominante del nitrógeno inorgánico disuelto en las tres épocas climáticas, en este cuerpo lagunar.

### **Nitrógeno total**

El comportamiento del nitrógeno total durante la época de secas cálidas no presentó ningún patrón definido en el sistema, durante el flujo de la marea se encontraron concentraciones por debajo de

16.4  $\mu\text{M}$ , mientras que en el reflujó se registraron concentraciones más elevadas, fluctuando el intervalo desde 12.7 hasta 55  $\mu\text{M}$ . La época de lluvias se comportó de la misma manera que secas cálidas, en bajamar se presentaron concentraciones de nitrógeno total que oscilaron de 32.1 a 65.3  $\mu\text{M}$ , con excepción de la estación 15 donde se registró un valor de 99.4  $\mu\text{M}$ . Durante la bajamar los valores fueron mayores, el intervalo de concentraciones fue de 70.7 hasta 137.4  $\mu\text{M}$ ., el valor más alto (137.4  $\mu\text{M}$ ) se encontró en la estación 7. En secas frías las concentraciones fueron menores a las registradas en lluvias, presentándose la misma tendencia en pleamar y bajamar, los intervalos de concentración fueron de 18.3 a 50.2  $\mu\text{M}$  y para bajamar de 17 a 37.3  $\mu\text{M}$ , el valor más alto nuevamente se presentó en la estación 7. Se encontraron diferencias significativas entre épocas climáticas para este sistema lagunar. Secas cálidas presentó diferencias con respecto a la época de lluvias y secas frías, y también se presentó una diferencia significativa entre las épocas de lluvias y secas frías (Tabla 7).

Las concentraciones de nitrógeno total fueron en promedio 15.0 y 22.8  $\mu\text{M}$  en secas cálidas y frías, respectivamente, mientras que en lluvias el valor se dispara hasta 64.1  $\mu\text{M}$ . Este valor promedio es similar al encontrado por Garay-Morán (2002), para esta misma laguna costera (70.9  $\mu\text{M}$ ), y está muy por encima de valores observados por esta misma autora para otras lagunas del estado como Topolobampo-Ohuira (media, 35.5  $\mu\text{M}$ ), Navachiste-San Ignacio (media, 35.5  $\mu\text{M}$ ) y Santa María-La Reforma (media, 35.71  $\mu\text{M}$ ).

Tabla 7. Resultados de la ANOVA no paramétrica de Mann-Whitney ( $P < 0.05$ ) para la laguna de Ceuta.

Variable	T	S	OD	Cl a	SST
Valor de $P$	0	0	0	0.04	0.0056
Diferencia significativa entre épocas climáticas	sí	sí	sí	sí	sí
SC-LL		*	*		*
SC-SF	*	*	*	*	*
LL-SF	*	*	*		
Variable	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_2^-$	$\text{NO}_3^-$	NID	Nt
Valor de $P$	0.0886	0	0	0.001	0
Diferencia significativa entre épocas climáticas	no	sí	sí	sí	sí
SC-LL		*	*	*	*
SC-SF		*	*		*
LL-SF		*	*	*	*

Tabla 7a. Resumen estadístico para las diferentes variables estudiadas en la laguna de Ceuta durante tres periodos de muestreo (T (°C), S (ups), OD (mg/L), Cl. *a* (mg/m<sup>3</sup>) y SST (mg/L)).

	Marea	n	Media	Desvest	Mediana	Mín.	Máx.
<b>T</b>							
secas cálidas	P	7	28.0	1.6	28.1	25.0	29.8
	B	9	29.1	1.1	29.0	27.1	30.9
lluvias	P	15	27.7	0.8	27.6	26.5	29.1
	B	14	28.6	0.6	28.7	27.5	29.4
secas frías	P	13	23.4	1.0	23.7	22.0	24.7
	B	10	25.8	1.3	25.8	24.3	27.6
Anual		68	27.0	2.2	27.5	22.0	30.9
<b>S</b>							
secas cálidas	P	7	31.0	7.4	35.2	16.7	36.5
	B	9	31.3	9.6	35.3	7.5	36.8
lluvias	P	15	25.8	6.3	27.0	12.2	33.8
	B	14	22.8	7.2	24.4	8.2	30.2
secas frías	P	13	31.4	3.7	31.8	24.4	34.9
	B	10	31.4	3.3	32.4	22.9	34.2
Anual		68	28.3	7.1	30.0	7.5	36.8
<b>OD</b>							
secas cálidas	P	7	9.1	1.5	8.8	7.8	12.2
	B	9	8.6	1.6	9.0	4.8	10.9
lluvias	P	15	6.0	0.8	6.1	4.9	7.3
	B	14	6.1	1.0	6.0	4.0	7.4
secas frías	P	13	6.6	0.7	6.4	5.1	7.7
	B	10	7.8	0.7	7.6	7.0	8.8
Anual		68	7.1	1.5	7.0	4.0	12.2
<b>Cl <i>a</i></b>							
secas cálidas	P	7	2.8	1.9	2.3	1.1	6.5
	B	9	2.5	1.8	2.4	0.2	4.9
lluvias	P	15	1.7	1.1	1.5	0.3	4.4
	B	14	1.9	1.2	1.7	0.4	4.9
secas frías	P	13	1.2	1.0	0.8	0.0	3.8
	B	10	1.4	1.1	1.2	0.5	4.5
Anual		68	1.8	1.4	1.3	0.1	6.5
<b>SST</b>							
secas cálidas	P	7	25.9	19.9	26.0	4.1	58.0
	B	9	25.0	29.2	8.1	3.7	98.2
lluvias	P	15	37.9	17.5	35.2	11.0	77.5
	B	14	76.4	50.3	76.9	19.5	175.7
secas frías	P	13	56.2	45.2	39.4	18.3	200.0
	B	10	87.4	83.0	41.4	22.5	293.3
Anual		68	53.7	52.0	37.3	3.7	293.3

Tabla 7b. Resumen estadístico para los diferentes nutrientes estudiados en la laguna de Ceuta durante tres periodos de muestreo (unidades en  $\mu\text{M}$ ).

	Marea	n	Media	Desvest	Mediana	Mín.	Máx.
<b>N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>							
secas cálidas	P	7	3.0	1.7	2.5	1.3	6.2
	B	9	12.6	8.0	9.9	5.1	30.1
lluvias	P	15	9.8	6.6	8.3	1.8	23.4
	B	14	14.3	9.6	12.6	4.4	33.7
secas frías	P	13	9.0	5.0	6.6	4.2	17.7
	B	10	7.1	2.9	6.0	3.9	12.6
Anual		68	9.8	7.2	7.6	1.3	33.7
<b>N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>							
secas cálidas	P	7	0.33	0.29	0.24	0.16	0.97
	B	9	0.51	0.74	0.16	0.10	2.25
lluvias	P	15	1.23	0.82	1.04	0.17	2.80
	B	14	1.52	0.94	1.38	0.58	3.47
secas frías	P	13	0.28	0.57	0.07	0.04	1.98
	B	10	0.21	0.47	0.05	0.02	1.55
Anual		68	0.77	0.87	0.31	0.02	3.47
<b>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>							
secas cálidas	P	7	1.5	0.8	1.2	0.6	2.7
	B	9	6.0	10.6	0.9	0.1	26.3
lluvias	P	15	6.8	8.6	2.7	0.5	24.2
	B	14	11.3	8.5	13.7	1.4	24.1
secas frías	P	13	0.6	0.3	0.6	0.1	1.0
	B	10	2.1	4.0	0.6	0.5	13.4
Anual		68	5.2	7.8	1.3	0.1	26.3
<b>NID</b>							
secas cálidas	P	7	4.8	1.8	5.6	2.7	7.1
	B	9	19.1	15.7	14.9	5.9	55.0
lluvias	P	15	17.8	15.3	12.1	2.4	50.4
	B	14	27.1	16.6	22.2	8.3	57.1
secas frías	P	13	9.8	5.2	7.6	4.7	19.8
	B	10	9.4	6.8	6.8	4.7	27.6
Anual		68	15.8	14.1	10.6	2.4	57.1
<b>Nt</b>							
secas cálidas	P	7	11.5	4.8	11.4	2.8	16.1
	B	9	21.3	14.1	15.0	12.7	55.0
lluvias	P	15	48.9	17.5	42.4	32.1	99.4
	B	14	90.8	17.3	88.6	70.7	137.4
secas frías	P	13	24.4	8.4	22.3	18.3	50.2
	B	10	24.4	6.1	23.3	17.0	37.3
Anual		68	41.7	30.6	30.2	2.8	137.4



## **8.6. Teacapán-Agua Brava**

### **8.6.1. Variables físico-químicas**

#### **Temperatura**

En las aguas de la laguna Teacapán-Agua Brava las temperaturas se encontraron de la siguiente manera: en secas cálidas los valores fluctuaron entre 29.9 y 33.7 °C, mostrando un gradiente muy marcado, aumentando desde la boca, hacia la parte interna de la laguna mostrando los valores más bajos en pleamar y los más elevados en bajamar. Durante lluvias la temperatura se mantuvo muy homogénea en toda la laguna entre los 30.7 y 32.2 °C, tanto en pleamar como en bajamar. En este caso se mostró el gradiente de manera inversa a lo encontrado en secas cálidas, ahora el mínimo se encontró en la parte interna de la laguna (estación 8) y el máximo hacia la boca (32.2 °C). En el caso de secas frías se vuelve a encontrar el mismo gradiente que en secas cálidas desde la boca hacia el interior de la laguna, además de un descenso en la temperatura del alrededor de los 5 °C. Para esta época el máximo de temperatura encontrado fue de 26.3 °C y el mínimo de 24.4 °C.

Nuevamente al igual que en las lagunas anteriores se encontraron las temperaturas menores en secas frías encontrándose diferencias significativas entre las épocas climáticas secas cálidas con lluvias, secas cálidas con secas frías y lluvias con secas frías (Tabla 8). La temperatura presentó los máximos en secas cálidas como era de esperarse, mientras que en lluvias bajo un poco la temperatura por efecto de las lluvias (Tabla 14, Anexo IA).

Al igual que en este estudio Álvarez-Rubio *et al.* (1990) observaron los valores mas bajos de temperatura en la boca, mientras que se presentaron los más altos durante la época de secas (primavera y parte de verano). En otoño, época de lluvias, disminuyó la temperatura y la evaporación, al aumentar las precipitaciones. La época de invierno se caracterizó por los intervalos más bajos de temperatura y evaporación. El intervalo de temperaturas presentado por estos autores fue de 22.5 a 34°C, semejante al encontrado en este estudio.

#### **Salinidad**

En secas cálidas se presentó en la laguna de Teacapán-Agua Brava, un gradiente de salinidad muy marcado con salinidades aumentando desde la boca (34.7 ups) hacia el interior de la laguna presentando el máximo en la estación 7, y disminuyendo de nuevo hacia la estación 9 ubicada frente a Novillero cerca de la boca de Cuautla. En lluvias se presentó un gradiente contrario al de secas cálidas, en este caso la salinidad mayor se encontró en la boca de la laguna (35.4 ups) y fue disminuyendo hacia la estación 7 la cual presentó el mínimo que fue de 13.5 ups. En secas frías la salinidad promedio se mantuvo en 36.4 ups, no mostrando ningún gradiente definido, solo se

presentó en la estación 2 un descenso de la salinidad, siendo ésta de 32.5 ups (Fig. I.6 B, Anexo IB).

Al realizar el análisis estadístico de los datos (ANOVA,  $P < 0.05$ ), éste evidenció que hay diferencias significativas en la salinidad en las tres épocas climáticas (Tabla 14, Anexo IA). Al analizar estos datos nos encontramos que en secas cálidas se encontraron los promedios mayores de salinidad y en lluvias se encontraron los menores.

La salinidad en las primeras estaciones se mantuvo con el valor típico de aguas oceánicas (35.5 ups) y éste fue aumentando hacia el centro de la laguna donde alcanzó valores de hasta casi 50 ups lo cual pudo deberse a que en esta zona el agua tiene un mayor tiempo de residencia y por evaporación ésta se vuelve hipersalina. Caso contrario sucede en lluvias donde en la boca se encontraron 35 ups y ésta fue disminuyendo drásticamente hacia el interior del cuerpo de agua donde se encontraron hasta 13.5 ups. Estos cambios muy pronunciados en la salinidad fueron encontrados también para esta laguna por SRH (1971) quienes encontraron un mínimo en otoño e invierno y un incremento en el mes de marzo, el cual luego se aceleró en los meses de abril y mayo. La estratificación vertical bien marcada solo se registró en algunos puntos. En la boca de Teacapán y estaciones cercanas se pudieron apreciar pequeños gradientes producidos por las corrientes de marea o debidas a la diferencia de densidad, sobre todo en lluvias (Fig. II.6 a y II.6 b, Anexo II).

Álvarez-Rubio *et al.* (1990) mencionan que este sistema presenta una mayor variación temporal que espacial de la salinidad que resulta contrastante entre las temporadas de sequía y lluvias, con mayor variación durante esta última.

### **Oxígeno disuelto en las aguas del fondo**

Para esta laguna se observó un gradiente muy marcado en la concentración de oxígeno disuelto (Fig. I.6 C, Anexo IB) para las tres épocas climáticas con concentraciones mayores en la boca, las cuales van disminuyendo hacia el interior de la laguna. En el caso de secas cálidas y lluvias se puede ver un incremento en la concentración de oxígeno disuelto en la estación 5 durante la bajamar, lo cual no sucedió en secas frías. Al analizar los datos se encontró que existen diferencias significativas entre secas cálidas con respecto a lluvias y secas frías, mientras que entre estas últimas no se encontraron diferencias significativas (ANOVA,  $p < 0.05$ ) entre sí, encontrándose el promedio más elevado en secas frías y el menor en secas cálidas (Tabla 14, Anexo IA).

Las concentraciones de oxígeno disuelto presentaron variaciones en el tiempo, aunque en las tres épocas climáticas se presentaron los valores máximos en la boca, estos fueron disminuyendo hacia

el interior de la laguna (estación 8) para luego incrementarse de nuevo hacia la estación 9. SRH (1971), indica que las grandes oscilaciones de oxígeno disuelto en el agua de la laguna se explican por la correspondiente alta densidad de fitoplancton, lo cual se manifiesta de manera más pronunciada cuando los efectos de la marea no se alcanzan. En la boca y cercanías, debido a los efectos de marea las estratificaciones son muy notorias disminuyendo la concentración de oxígeno de superficie a fondo, posiblemente esto se deba a un alto consumo de éste por los organismos del fondo o bien a la existencia de procesos de oxidación-reducción, así como también a la posible escasa circulación en la laguna. Los valores más bajos de OD se encontraron en septiembre, lo cual corresponde al final de la temporada de lluvias, debido a un incremento en el material orgánico suspendido (Morán-Silva *et al.*, 2005). Morales-Soto *et al.* (2000) menciona que otro factor que influye en la variabilidad del oxígeno es la materia en suspensión y que ésta trae como consecuencia una disminución en la solubilidad del oxígeno provocada por la oxidación de la materia orgánica presente, lo cual se refleja claramente en los meses de verano.

### **Clorofila *a* en las aguas superficiales**

Durante la época de secas cálidas la concentración máxima de clorofila *a* se registró durante la pleamar en la estación 3 ( $6.4 \text{ mg/m}^3$ ), en bajamar esta concentración fue un poco más elevada ( $7.63 \text{ mg/m}^3$ ), y se observó en la estación 8. Los promedios para pleamar y bajamar fueron  $2.7$  y  $3.4 \text{ mg/m}^3$ , respectivamente. Para la época de lluvias las concentraciones del pigmento en pleamar fueron menores a  $2 \text{ mg/m}^3$ , con excepción de la estación 6 que presentó el valor de  $2.9 \text{ mg/m}^3$ . El promedio calculado para el flujo fue menor que el de reflujos,  $0.8$  y  $1.4 \text{ mg/m}^3$ , respectivamente. En secas frías las concentraciones de clorofila *a* durante el flujo fueron menores a  $1 \text{ mg/m}^3$ , mientras que en bajamar se presentó un gradiente que aumentó hacia la estación 6 ubicada frente a la descarga de una granja camaronícola donde alcanzó su máximo ( $8.4 \text{ mg/m}^3$ ) para luego disminuir nuevamente hacia la estación 9. El promedio de concentración para pleamar fue de  $0.3$  y  $3.0 \text{ mg/m}^3$  para bajamar. Los valores de clorofila *a* mostraron su máximo en secas cálidas. El análisis estadístico mostró diferencias significativas para la concentración de clorofila *a* en secas cálidas con respecto a lluvias y secas frías, mientras que estas últimas épocas climáticas no mostraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre ellas (Tabla 14, Anexo IA).

La clorofila *a* presentó una amplia variabilidad durante el día, lo cual refleja una distribución heterogénea (en parches o manchas) del fitoplancton. Morales-Soto *et al.* (2000) menciona que la clorofila *a* presenta una mayor relación con las mareas, observó que ésta disminuía con el flujo de la marea durante el verano y se incrementaba con el reflujos. Esta misma observación ha sido observada para la Bahía de Magdalena, (B. C. S.) por Acosta-Ruiz y Lara-Lara (1978), y para San

Quintín y Estero Punta Banda, (B. C.) por Millán-Núñez y Álvarez-Borrego (1978). Este fenómeno puede ser explicado por que al subir la marea entra el agua de mar adyacente más pobre en general que el agua del interior de una laguna, mientras que en bajamar sale agua más rica con una mayor contenido de clorofila *a*.

### **Sólidos suspendidos totales (SST)**

En secas cálidas (Fig. 1.6 E, Anexo IB) los SST, tanto en pleamar y en bajamar se encontraron más elevados en la estación 5 debido al viento y la poca profundidad del área, alcanzando hasta 43.3 mg/L. El promedio fue el siguiente: para pleamar 13.8 y para bajamar 18.3 mg/L. Para la época de lluvias las mayores concentraciones se encontraron en la estación 3 tanto en pleamar como en bajamar. La concentración promedio para pleamar fue de 25.3 mg/L y para bajamar fue 14.3 mg/L. Al igual que en secas cálidas, en secas frías los valores más elevados en pleamar y bajamar fueron encontrados en la estación 5. El promedio de concentración para pleamar fue de 23.2 y para bajamar 17.5 mg/L. La época en la que se presentó la mayor concentración de SST fue secas frías que presentó un promedio general de 20.4 mg/L, aunque no se detectaron diferencias significativas entre las tres épocas climáticas (ANOVA,  $P < 0.05$ ).

### **8.6.2. Especies nitrogenadas**

#### **Amonio**

Las concentraciones en época de secas cálidas en pleamar fluctuaron entre 3.2 y 14.9  $\mu\text{M}$ , mientras que en bajamar registró un patrón muy similar con intervalos de concentración de 1.2 a 13.8  $\mu\text{M}$ . La laguna mostró variaciones entre estaciones para la época de lluvias, el intervalo de concentraciones fue registrado para pleamar siendo, de 11.4 a 41  $\mu\text{M}$  mientras que para bajamar fue ligeramente menor 11 a 31.9  $\mu\text{M}$ , los promedios para ambas mareas fueron 18.5 y 20.5  $\mu\text{M}$ , respectivamente. Durante la época de secas frías la laguna mostró ligeras diferencias entre los valores de concentración de las estaciones, además mostró una ligera tendencia de aumento desde la boca hacia el interior de la laguna, para luego disminuir hacia la estación 9. Las concentraciones en pleamar se encontraron entre los 4.0 y 24.7  $\mu\text{M}$ , mientras que en la bajamar entre 8.9 y 24.8  $\mu\text{M}$ .

Se mostraron diferencias significativas para este cuerpo de agua en la concentración de amonio entre secas cálidas con lluvias y secas frías, y entre lluvias y secas frías (ANOVA,  $P < 0.05$ ). Las concentraciones máximas se encontraron en lluvias y las mínimas en secas cálidas (Tabla 14, Anexo IA).

El amonio fue la forma dominante del nitrógeno inorgánico disuelto en las tres épocas climáticas. La mayor concentración fue 41.0  $\mu\text{M}$  durante la temporada de lluvias. Estos valores son similares a los encontrados por Morán-Silva *et al.* (2005) para la laguna de Alvarado, Veracruz, quienes reportan un valor de 42.4  $\mu\text{M}$  en la época de verano.

### **Nitritos**

En la época de secas cálidas las concentraciones de nitritos fueron bajas, además se observó un comportamiento similar entre pleamar y bajamar encontrándose en ambos casos concentraciones entre 0.03 y 0.07  $\mu\text{M}$ . Durante la época de lluvias en el flujo de la marea se observó un incremento en los valores desde la boca hacia la estación 5, los cuales luego disminuyeron nuevamente. El intervalo de concentraciones vario entre 0.04 y 8.31  $\mu\text{M}$ . En el reflujó de la marea se observó la misma tendencia que en pleamar aunque se obtuvieron concentraciones un poco más elevadas (0.2 y 13.0  $\mu\text{M}$ ).

La época de secas frías presentó una marcada tendencia de aumento desde la boca, donde se presentaron concentraciones de 0.04  $\mu\text{M}$ , hacia la estación 8 donde las concentraciones alcanzaron 0.78  $\mu\text{M}$ . Al hacer el análisis estadístico de los datos se encontró que secas cálidas tuvo concentraciones de nitrito significativamente diferentes de lluvias y secas frías y esta última fue significativamente diferente de lluvias (ANOVA,  $P < 0.05$ ). La época de lluvias presentó la concentración promedio más elevada, i.e.  $4.9 \pm 3.5 \mu\text{M}$  (Tabla 14, Anexo IA).

### **Nitratos**

Durante secas cálidas la laguna tuvo un comportamiento diferente en pleamar y bajamar encontrando en esta última las concentraciones más bajas de nitrito, el intervalo fue de 0.3 a 0.6  $\mu\text{M}$ . En cuanto a pleamar el intervalo fue de 0.3 y 0.9  $\mu\text{M}$ . En lluvias se encontraron al igual que en secas cálidas los valores mínimos en el reflujó de la marea (intervalo 0.1 a 0.9  $\mu\text{M}$ ) y en el reflujó los valores se incrementaron ligeramente, aunque estos siempre se encontraron menores a 1.8  $\mu\text{M}$ , con excepción de la estación 5 que presentó la máxima concentración (95.8  $\mu\text{M}$ ). En la época de secas frías durante la pleamar se observó un gradiente muy claro de incremento desde la boca hacia la estación 8, el cual disminuye nuevamente en la estación 9. El intervalo de concentración fue de 0.7 a 3.5  $\mu\text{M}$ . En bajamar no se observó un gradiente como en el caso anterior, aquí se observó una concentración elevada en la boca, la cual disminuyó hacia el interior del sistema y luego aumento hacia la estación 8 nuevamente, en este caso los valores estuvieron entre 1.3 y 4.6  $\mu\text{M}$ . La ANOVA mostró diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre épocas climáticas para este sistema: secas cálidas con lluvias y secas frías y entre lluvias con secas frías. La época del año que mostró

las máximas concentraciones en promedio fue secas frías, mientras que secas cálidas y lluvias mostraron concentraciones muy similares (Tabla 14, Anexo IA).

Los nitratos se presentaron de manera general en bajas concentraciones comparadas con los encontradas por Ochoa-Izaguirre, (1999) que reporta intervalos entre 1.4 y 9.5 para el período de secas y de 0.5 a 10.9 para la época de lluvias, pero quedan por encima de los valores encontrados por Gilmartin y Revelante (1978) para algunas lagunas costeras de Sinaloa. En este estudio se observaron las concentraciones más elevadas en secas frías, 2.15  $\mu\text{M}$  en promedio, aunque estos quedaron por encima a los valores encontrados para algunas lagunas del Pacífico y del Atlántico estudiadas por Contreras-Espinoza (1991).

### **Nitrógeno inorgánico disuelto**

Las concentraciones de NID durante secas cálidas fueron las más bajas con respecto a las otras dos épocas climáticas. Las concentraciones estuvieron en el intervalo de 3.8 y 15.5  $\mu\text{M}$  para pleamar con promedio de 2.8  $\mu\text{M}$ , mientras que en bajamar entre 1.9 y 14.2  $\mu\text{M}$  y un promedio de 2.3  $\mu\text{M}$ . En este caso no se observó ninguna tendencia de los datos entre las estaciones. En lluvias durante el flujo y reflujos de la marea se presentaron concentraciones muy similares en un intervalo de 12.89 a 46.6  $\mu\text{M}$ , excepto la estación 5 la cual presentó el valor más elevado, 117.8  $\mu\text{M}$ . Durante secas frías las concentraciones de NID menores se encontraron hacia las bocas (estaciones 1 y 9), mientras que las mayores se encontraron hacia el centro de la laguna. El intervalo de concentración para pleamar fue de 4.9 a 29  $\mu\text{M}$  y para bajamar el intervalo fue de 10.5 a 28.1  $\mu\text{M}$ .

Al realizar el análisis estadístico de los datos se encontraron diferencias significativas entre secas frías con secas cálidas y lluvias, pero no se encontraron diferencias entre secas cálidas con lluvias. A través del año la época que registró el promedio de concentración más alto fue en lluvias con 29.5  $\mu\text{M}$ .

El nitrógeno inorgánico disuelto, calculado por la suma de su contenido en amonio, nitratos y nitritos, fue alto en comparación con otros sistemas lagunares. El valor del NID en promedio anual para esta laguna fue de 15.6  $\mu\text{M}$ . El compuesto dominante fue el amonio, que representa del 78 al 90% de los compuestos nitrogenados. Esto concuerda con los resultados de Morán-Silva *et al.* (2005) quienes encontraron que el amonio fue la forma predominante del nitrógeno inorgánico disuelto en todas las épocas del año en el sistema lagunar Alvarado, Veracruz. Esto también lo han encontrado otros autores como Contreras-Espinoza y Castañeda-López (1993) en el sistema de Tampamachoco, Veracruz.

## Nitrógeno total

En secas cálidas la concentración de nitrógeno total en el sistema Teacapán se mostró de manera muy homogénea, la concentración más elevada que se encontró fue de 47.8  $\mu\text{M}$  en la estación 6, el promedio de concentración fue de 35.6  $\mu\text{M}$ , mientras que en bajamar se encontraron concentraciones que no rebasaron los 38.6  $\mu\text{M}$ , el promedio fue de 37.9  $\mu\text{M}$ . En la época de lluvias las concentraciones de nitrógeno total se mantuvieron entre 84.7 y 118.7  $\mu\text{M}$  durante pleamar, mientras que durante la bajamar se presentó casi el mismo intervalo 83.2 a 124.8  $\mu\text{M}$ . Durante la época de secas frías en pleamar los datos no mostraron ninguna tendencia, los valores estuvieron entre 63.2 y 93.0  $\mu\text{M}$ . En el caso de bajamar se notó una tendencia de aumento de los valores desde la boca hacia el interior de la laguna aunque luego disminuyeron de nuevo en las estaciones 7 y 8. Se encontraron durante la pleamar concentraciones en promedio de 72.6  $\mu\text{M}$ , mientras que en bajamar las concentraciones fueron ligeramente menores, 87.5  $\mu\text{M}$  en promedio. La época del año que presentó las mayores concentraciones de nitrógeno total fue lluvias con un promedio de 103.9  $\mu\text{M}$ . La ANOVA no paramétrica mostró diferencias significativas entre épocas climáticas, estas diferencias se detallan en la Tabla 8.

Teacapán presentó un promedio de 83.1  $\mu\text{M}$  de Nt el cual es alto si se compara con otras lagunas del estado, que están influenciadas por desechos agrícolas, acuícolas y/o domésticos e industriales. Tal es el caso de Topolobampo-Ohuira, Navachiste-San Ignacio y Santa María-La Reforma ubicadas al norte de Sinaloa donde Garay-Morán (2002) encontró concentraciones de nitrógeno total de 35  $\mu\text{M}$ , mientras que en Ceuta encontró 70.8  $\mu\text{M}$ .

Tabla 8. Resultados de la ANOVA no paramétrica de Mann-Whitney ( $P < 0.05$ ) para la laguna de Teacapán-Agua Brava.

Variable	T	S	OD	Cl a	SST
Valor de <i>P</i>	0	0	0	0.04	0.0056
Diferencia significativa entre épocas climáticas	sí	sí	sí	sí	sí
SC-LL		*	*		*
SC-SF	*	*	*	*	*
LL-SF	*	*	*		

Variable	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NID	Nt
Valor de <i>P</i>	0.0886	0	0	0.001	0
Diferencia significativa entre épocas climáticas	no	sí	sí	sí	sí
SC-LL		*	*	*	*
SC-SF		*	*		*
LL-SF		*	*	*	*

Tabla 8a. Resumen estadístico para las diferentes variables estudiadas en la laguna de Teacapán-Agua Brava durante tres periodos de muestreo (T (°C), S (ups), OD (mg/L), Cl. *a* (mg/m<sup>3</sup>) y SST (mg/L)).

	Marea	n	Media	Desvest	Mediana	Mín.	Máx.
<b>T</b>							
secas cálidas	P	9	31.4	0.8	31.5	29.9	32.5
	B	9	32.8	0.7	33.0	31.4	33.7
lluvias	P	9	31.3	0.3	31.3	30.7	31.7
	B	9	31.6	0.4	31.7	31.0	32.2
secas frías	P	9	25.4	0.6	25.7	24.5	26.3
	B	9	25.5	0.5	25.7	24.5	26.1
Anual		54	29.7	3.1	31.3	24.5	33.7
<b>S</b>							
secas cálidas	P	9	42.3	5.3	43.3	34.6	49.3
	B	9	43.0	5.1	43.7	34.7	49.7
lluvias	P	9	21.2	7.7	20.0	13.7	35.0
	B	9	21.3	8.1	19.4	13.5	35.4
secas frías	P	9	36.2	1.8	36.3	32.6	39.0
	B	9	36.6	1.1	36.3	35.3	38.9
Anual		54	33.4	10.5	35.8	13.5	49.7
<b>OD</b>							
secas cálidas	P	9	3.5	1.2	3.0	2.3	5.6
	B	9	3.7	1.3	3.3	2.4	6.0
lluvias	P	9	4.8	2.5	4.6	0.8	8.6
	B	9	5.6	2.9	4.7	1.5	9.9
secas frías	P	9	6.0	1.2	5.7	4.2	8.1
	B	9	5.8	1.2	5.6	4.0	7.9
Anual		54	4.9	2.0	5.1	0.8	9.9
<b>Cl <i>a</i></b>							
secas cálidas	P	9	2.7	1.6	2.3	0.9	6.4
	B	9	3.4	2.1	3.4	0.5	7.6
lluvias	P	9	0.8	0.7	0.7	0.2	2.6
	B	9	1.4	0.7	1.4	0.2	2.9
secas frías	P	9	0.3	0.2	0.2	0.0	0.7
	B	9	3.0	2.6	2.3	0.3	8.4
Anual		54	1.9	2.0	1.3	0.1	8.4
<b>SST</b>							
secas cálidas	P	9	13.8	7.9	11.1	4.3	31.1
	B	9	18.3	11.2	16.1	6.4	43.3
lluvias	P	9	25.3	6.3	24.1	17.6	38.6
	B	9	14.3	4.4	13.4	7.9	21.0
secas frías	P	9	23.2	16.6	17.9	3.7	57.5
	B	9	17.5	17.7	11.6	1.8	62.8
Anual		54	18.8	12.7	16.4	1.8	62.8



Tabla 8b. Resumen estadístico para los diferentes nutrientes estudiados en la laguna de Teacapán-Agua Brava durante tres periodos de muestreo (unidades en  $\mu\text{M}$ ).

	Marea	n	Media	Desvest	Mediana	Mín.	Máx.
<b>N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>							
secas cálidas	P	9	7.5	4.5	5.8	3.2	14.9
	B	9	5.1	3.9	3.7	1.2	13.8
lluvias	P	9	20.9	10.2	20.9	11.4	41.0
	B	9	20.5	6.7	20.5	11.0	31.9
secas frías	P	9	13.4	6.6	14.0	4.0	24.7
	B	9	16.2	6.1	14.7	8.9	24.8
Anual		54	13.9	8.8	13.7	1.2	41.0
<b>N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>							
secas cálidas	P	9	0.04	0.01	0.04	0.03	0.07
	B	9	0.04	0.01	0.04	0.03	0.06
lluvias	P	9	4.03	2.94	4.03	0.04	8.31
	B	9	5.75	4.05	4.69	0.20	12.96
secas frías	P	9	0.35	0.23	0.40	0.04	0.75
	B	9	0.43	0.21	0.45	0.09	0.78
Anual		54	1.78	3.00	0.37	0.03	12.96
<b>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>							
secas cálidas	P	9	0.6	0.2	0.5	0.4	0.9
	B	9	0.4	0.1	0.4	0.3	0.6
lluvias	P	9	11.5	31.6	11.5	0.1	95.8
	B	9	0.4	0.2	0.3	0.1	0.9
secas frías	P	9	1.7	0.8	1.5	0.7	3.5
	B	9	2.8	0.9	2.7	1.3	4.6
Anual		54	2.9	12.9	0.7	0.1	95.8
<b>NID</b>							
secas cálidas	P	9	8.1	4.5	6.4	3.8	15.5
	B	9	5.6	3.9	4.1	1.9	14.2
lluvias	P	9	36.5	32.5	36.5	12.8	117.8
	B	9	26.6	6.8	26.5	14.9	37.1
secas frías	P	9	15.4	7.4	16.8	4.9	29.0
	B	9	19.4	6.7	17.6	10.5	28.1
Anual		54	18.6	17.3	15.4	1.9	117.8
<b>Nt</b>							
secas cálidas	P	9	31.3	12.6	35.2	8.0	47.8
	B	9	33.2	5.2	34.6	23.0	38.6
lluvias	P	9	102.6	14.8	102.6	84.7	118.7
	B	9	105.2	12.8	105.5	83.2	124.8
secas frías	P	9	72.6	8.6	70.9	63.2	93.0
	B	9	87.5	17.2	90.8	61.0	111.7
Anual		54	72.1	32.6	73.7	8.0	124.8

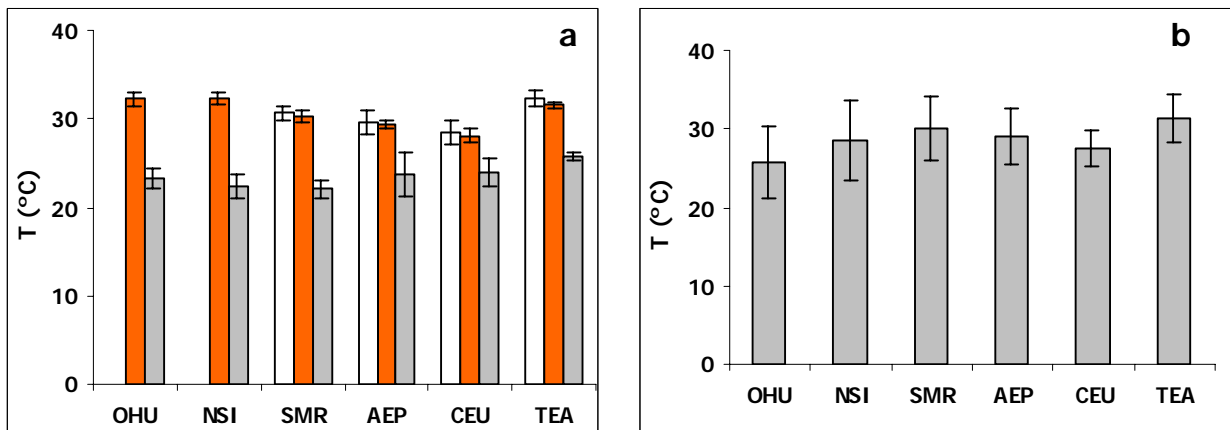
## 9. COMPARATIVO ENTRE LAGUNAS DE LAS VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS, CLOROFILA *a* Y ESPECIES NITROGENADAS

### 9.1. Variables físico-químicas

#### Temperatura

La distribución de la temperatura en las lagunas está influenciada principalmente por varios factores: (1) por la comunicación y aguas de intercambio a través de patrones de circulación natural y/o por canales artificiales; (2) por el aporte de aguas continentales; (3) por las variaciones estacionales de cada región; y (4) la batimetría y morfología de los cuerpos de agua.

Las temperaturas mayores fueron observadas en secas cálidas en la mayoría de las lagunas, aunque en otras se encontraron en el período de lluvias. En el período de secas frías se puede observar claramente un descenso de la temperatura en aproximadamente 5 y hasta 9 °C en todas las lagunas. No se encontraron diferencias significativas de temperatura entre las lagunas, a pesar de estar ubicadas en un gradiente latitudinal de 600 km.



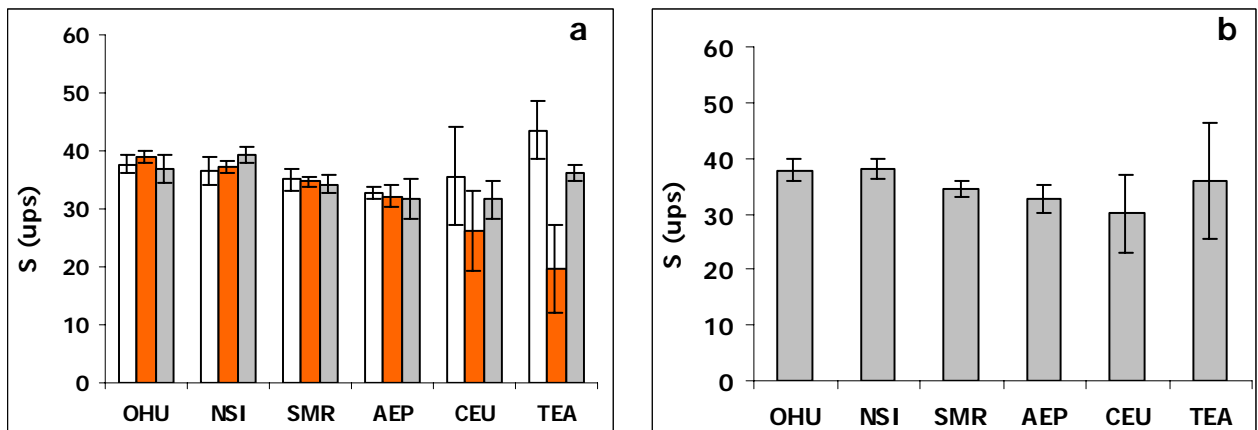
**Fig. 8-ab. Variación estacional (a) y anual (b) de la temperatura promedio en cada una de las lagunas costeras (SC □, LL ■ y SF □).**

De manera general la laguna que presentó la mayor temperatura anual promedio fue TEA con 31.3 °C y la que presentó el mínimo fue la laguna de OHU con un promedio anual de 25.7 °C; o sea, la laguna que está más al sur, y más al norte, respectivamente. Esto último confirma que la ubicación latitudinal si tiene un efecto sobre la temperatura de sus aguas.

## Salinidad

La salinidad es uno de los parámetros más importantes y frecuentemente estudiados en las lagunas costeras, dada su relación con los procesos de circulación y mezcla. La variación de salinidad estuvo determinada en algunas lagunas por la tasa de evaporación y en otras por la entrada de agua salada de origen marino que se mezcla con el agua epicontinental y que se diluye durante la época de lluvias.

La variación temporal de salinidad en las lagunas de OHU y NSI fue resultado tal vez de la poca precipitación y las altas tasas de evaporación de la zona. Las lagunas SMR y AEP siguieron un patrón normal de salinidad, más elevadas en secas cálidas con ligera disminución en lluvias y las salinidades más bajas en secas frías (Fig. 9-ab). Según Conde-Gómez y De la Lanza-Espino (1994), esta distribución se debe a las actividades agrícolas-industriales circundantes. De la Lanza-Espino *et al.* (1991) determinaron salinidades hasta 0 ups durante enero, febrero y abril en el estero de Bataoto en AEP debido a descargas provenientes de la industria azucarera. En cambio Peraza-Vizcarra (1973) registró una distribución estacional de salinidad en la misma laguna conforme al régimen climático, alta en sequía y baja en lluvias. González-Farías *et al.* (1986) reportaron en abril salinidades entre 24 y 34 ups en la laguna de Agua Brava, Nay.



**Fig. 9-ab. Variación estacional (a) y anual (b) de la salinidad promedio en cada una de las lagunas costeras (SC □, LL ■ y SF □).**

En SMR, en lluvias y secas frías hay una dilución del agua salada por efecto de los volúmenes de agua de uso agrícola que vierten los drenes alrededor de la laguna. Lo anterior refleja que las lagunas experimentan cambios drásticos en las condiciones halinas debido a las actividades agroindustriales circundantes en el período de secas frías.

En las lagunas de CEU y TEA se observó el patrón típico de la salinidad, máximos en secas cálidas debido a un menor aporte de agua dulce y mínimos en lluvias. En ambas lagunas se nota en lluvias una

disminución drástica de la salinidad por efecto de la entrada de agua dulce. En el caso de CEU la laguna recibe descargas no puntuales de origen agrícola y los desechos de un ingenio azucarero (El Dorado) y de diversos poblados (Flores-Verdugo *et al.*, 1993). En el sistema de TEA descarga el río Cañas el cual es estacional y aporta grandes cantidades de agua en período de lluvias (Álvarez-Rubio *et al.*, 1990). La época de lluvias se presenta a finales de verano y en otoño (Núñez-Pasten, 1973).

De forma general las lagunas que presentaron las salinidades más altas a lo largo del año fueron las lagunas ubicadas al norte del estado, OHU y NSI y al sur del estado TEA.

Groen (1969) muestra dos tipos de lagunas costeras según la situación que se presente: sistemas estuarinos y sistemas antiestuarinos. Cuando el aporte de agua dulce (ríos, arroyos, escurrimientos, etc.), excede la tasa de evaporación estamos hablando de un sistema antiestuarino; en el caso inverso estamos hablando de un sistema estuarino. Se hizo una clasificación semejante con las lagunas costeras tomando en cuenta el promedio de salinidad de cada una de ellas por periodo de muestreo; y para la salinidad del mar se tomo el valor de 35.2 que corresponde a la salinidad del agua en la capa superficial de la entrada del Golfo de California (Roden y Emilsson, 1980). Si el  $\Delta S$  promedio calculado es positivo corresponde a un sistema estuarino y si el  $\Delta S$  es negativo corresponde a un sistema antiestuarino.

Tabla 9. Categorización de las lagunas costeras de acuerdo al régimen halino al que pertenecen según su  $\Delta S$ .

Laguna	Periodo	S promedio	$\Delta S$	Tipo de sistema
<b>OHU</b>	<b>SC</b>	38.1	-2.8	antiestuarino
	<b>LL</b>	38.8	-3.5	antiestuarino
	<b>SF</b>	36.8	-1.5	antiestuarino
<b>NSI</b>	<b>SC</b>	37.0	-1.7	antiestuarino
	<b>LL</b>	37.4	-2.1	antiestuarino
	<b>SF</b>	39.4	-4.1	antiestuarino
<b>SMR</b>	<b>SC</b>	35.2	0.1	estuarino
	<b>LL</b>	34.4	0.9	estuarino
	<b>SF</b>	34.0	1.3	estuarino
<b>AEP</b>	<b>SC</b>	32.8	2.5	estuarino
	<b>LL</b>	32.8	2.5	estuarino
	<b>SF</b>	31.4	3.9	estuarino
<b>CEU</b>	<b>SC</b>	31.1	4.2	estuarino
	<b>LL</b>	24.3	11.0	estuarino
	<b>SF</b>	31.4	3.9	estuarino
<b>TEA</b>	<b>SC</b>	42.7	-7.4	antiestuarino
	<b>LL</b>	21.3	14.1	estuarino
	<b>SF</b>	36.4	-1.1	antiestuarino

En la circulación estuarina y antiestuarina, sin considerar la circulación por el viento y la marea, se puede tener una idea de los movimientos del agua en la boca usando un modelo sencillo de 2 capas mediante el balance de sal, si se considera que el sistema está en estado estacionario (Groen, 1969).

Como podemos observar en la tabla 9, OHU y NSI se comportan como sistemas antiestuarinos a lo largo del ciclo anual debido a salinidades mayores registradas dentro de los sistemas por altas tasas de

evaporación. En cambio SMR, AEP y CEU, se comportan en promedio como sistemas estuarinos todo el año, en estos casos las salinidades encontradas en la laguna fueron menores que las del mar adyacente, esto debido a altas tasas de dilución provocadas por aportes fluviales naturales o antropogénicos. Por último la laguna TEA se comportó en secas cálidas y secas frías como antiestuario, mientras que en época de lluvias ésta se comportó como estuario debido a los considerables aportes de agua dulce que recibe a través del río Cañas.

### Oxígeno disuelto en las aguas del fondo

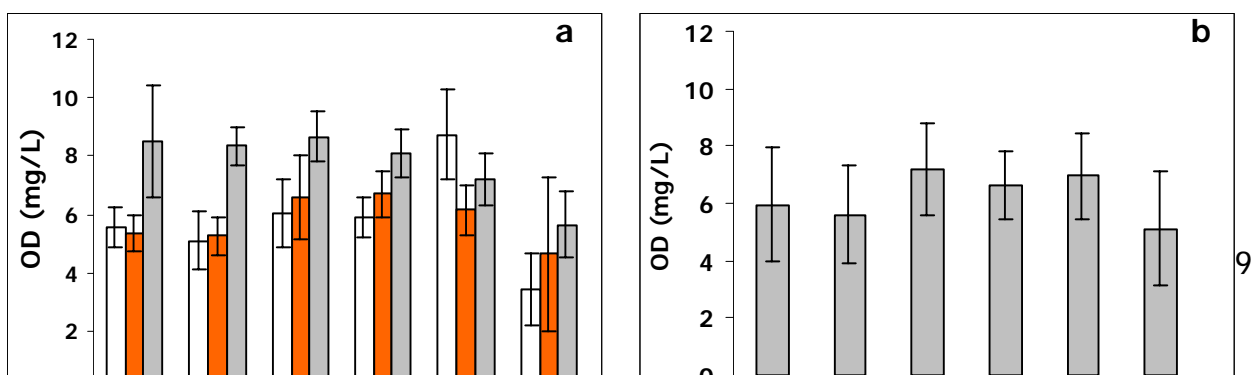
El comportamiento del oxígeno disuelto (OD) es de difícil interpretación debido a que se presentan múltiples fluctuaciones. En la mayoría de los muestreos el OD fue mayor en bajamar, esto se debió quizás a la turbulencia provocada por la acción del viento y las corrientes de marea de reflujó. Los valores más bajos en promedio se presentaron en secas cálidas y los más elevados se registraron por lo general en secas frías.

Dentro del ciclo anual los valores más bajos se encontraron en TEA, lo cual se asocia a la actividad fitoplanctónica ya que se encontró en esta época cantidades elevadas de clorofila *a* ( $2.7 \text{ mg/m}^3$ ) (Fig. 10-ab).

Las principales causas del comportamiento del OD pueden ser: (a) poca agitación y escaso intercambio atmósfera-hidrosfera, (b) transparencia escasa que impide la adecuada luminosidad e inhibe la tasa de producción primaria, (c) producción de oxígeno inferior a la demanda de un ambiente rico en materia orgánica e inorgánica aportada por el río Cañas (Núñez-Pasten, 1973).

Otra posible explicación en el caso de TEA es que la laguna cuenta con 2 bocas muy estrechas lo cual permite un lento o casi nulo intercambio de agua de la laguna interior con el mar, por lo cual el agua permanece un mayor tiempo en ella.

El OD es un indicador relevante de la salud del ecosistema y funcionamiento del hábitat. La exposición prolongada de la biota a concentraciones de OD por debajo de  $5 \text{ mg/L}$  pueden alterar el comportamiento, reducir el crecimiento, provocar efectos adversos en la reproducción y hasta mortandad (Vernberg, 1972; Díaz y Rosemberg, 1995). La USEPA (2000) propone un intervalo entre  $2.3$  y  $4.8 \text{ mg/L}$ , la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, publicada en el Diario Oficial del 6 de enero de 1997 propone el valor mínimo de  $5 \text{ mg/L}$  para la protección de la vida acuática en aguas marinas.



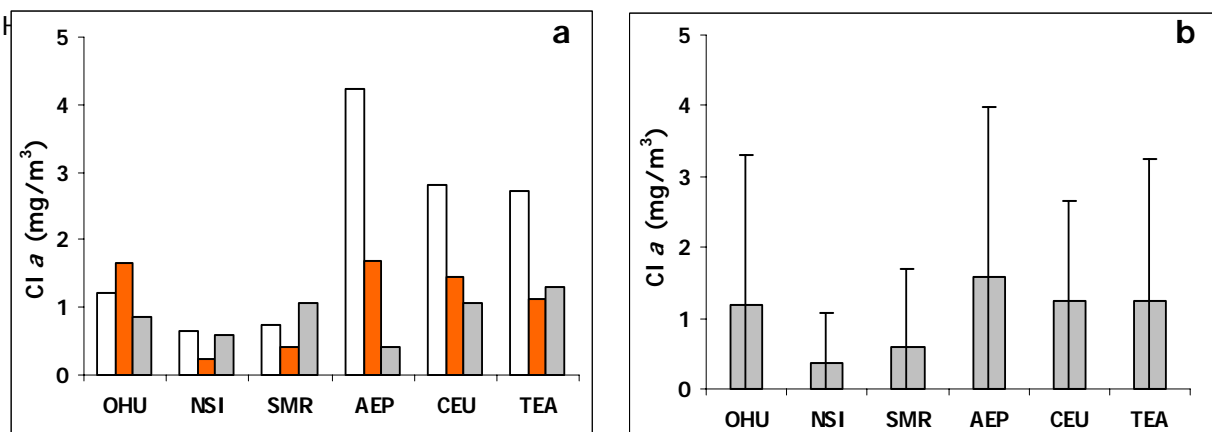
**Fig. 10-ab. Variación estacional (a) y anual (b) de oxígeno disuelto promedio en cada una de las lagunas costeras (SC □, LL ■ y SF ◐).**

En todos los cuerpos de agua se observó que la mayoría de sus estaciones presentan concentraciones de OD por encima del límite antes mencionado, lo cual indica que todos ellos tienen una buena oxigenación. La parte interna de NSI y TEA presentaron en más del 33 % y 63 % de sus estaciones, concentraciones por debajo del límite propuesto por la NOM (Fig. III.1 a y III.1 c, Anexo III).

### Clorofila *a* en aguas superficiales

La clorofila *a* es una medida de la biomasa fitoplanctónica. La concentración de clorofila *a* varía ampliamente como función de la cantidad de nutrientes, estabilidad de la columna de agua, disponibilidad de luz, pastoreo y mezclado / recambio. Las concentraciones en estuarios durante el verano pueden alcanzar los 50-80 mg/m<sup>3</sup> cuando la carga de nutrientes es alta (Monbet, 1992). La abundancia de este pigmento fluctúa ampliamente dependiendo de la estación climática, condiciones de luz, temperatura y nutrientes (Brower y Zar, 1977).

La concentración de clorofila *a* presentó en las bahías del sur (AEP, CEU y TEA) una mayor concentración en primavera que en verano y concentraciones mínimas en la época de frías. En las bahías del norte (OHU, NSI y SMR) la variación fue irregular. OHU presentó la máxima concentración en lluvias, en cambio NSI y SMR presentaron la máxima concentración en secas frías. Esto último puede explicarse con la variación estacional que presenta la clorofila *a* en el Golfo de California debido a las surgencias. Los valores son mayores durante la época fría (diciembre-abril) y menores en época cálida (junio a octubre), debido a una mayor mezcla de la columna de agua y una mayor disponibilidad de nutrientes (Valdez-



**Fig. 11-ab. Variación estacional (a) y anual (b) de la concentración de clorofila *a* promedio en cada una de las lagunas costeras (SC □ , LL ■ y SF □ ).**

En forma general la laguna con una mayor concentración del pigmento fue AEP (promedio 1.57 mg/m<sup>3</sup>) (Fig. 11-ab). Aunque este valor es bajo comparado con lo encontrado por Gilmartin y Revelante (1978) en este mismo sistema (promedio 5.6 mg/m<sup>3</sup>). Existen diversos factores como la circulación, la marea o los vientos que no permiten la acumulación de masas fitoplanctónicas. Esta laguna en particular posee 2 bocas, una de ellas de 1.6 km y la otra es efímera. Esta característica hace que el tiempo de residencia del agua en la laguna sea mayor, esto aunado a los escurrimientos que recibe la laguna dan lugar a este aumento en la cantidad de clorofila *a*. Las lagunas OHU, CEU y TEA tuvieron valores promedio muy similares (1.25 mg/m<sup>3</sup>) y las bahías SMR y NSI tuvieron concentraciones de clorofila *a* por debajo de 0.6 mg/m<sup>3</sup>.

En verano los valores frecuentemente observados en estuarios enriquecidos con nutrientes se encuentran en el intervalo de 20 a 40 mg/m<sup>3</sup>. Por el contrario, en estuarios templados de Estados Unidos en invierno las concentraciones pueden decrecer hasta 1-5 mg/m<sup>3</sup>. Smith *et al.* (1999), hicieron una clasificación trófica para aguas marinas costeras (Tabla 10), de acuerdo a este criterio la mayoría de las lagunas presentan un estado oligotrófico y mesotrófico en más del 66% de sus estaciones, con excepción de Altata que presenta solo el 46%. Por otro lado SMR (Sta Ma.), AEP (Altata) y CEU (brazos e interior) presentaron un estado eutrófico en más del 20% de sus estaciones, mientras que para el estado hipertrófico la laguna que presentó el mayor porcentaje de estaciones fue AEP (Altata), con más del 33% (Fig. III.1 b y III.1 d, Anexo III).

Tabla 10. Clasificación trófica para aguas marinas costeras (Smith *et al.*, 1999).

Estado trófico	Cl <i>a</i> (mg/m <sup>3</sup> )
<b>Oligotrófico</b>	<1
<b>Mesotrófico</b>	1 - 3
<b>Eutrófico</b>	3 - 5
<b>Hipertrófico</b>	>5

Al relacionar la clorofila *a* con diferentes variables como el silicio, fósforo, nitrógeno y sólidos suspendidos totales según el periodo de muestreo se observó que durante secas cálidas la variable que controla la producción de fitoplancton en la mayoría de las lagunas es el silicio, aunque también está limitado en cierta forma la luz (Tabla 11 y Fig. II.7, Anexo II). Esto se pudo corroborar al comparar la abundancia de los grupos principales del fitoplancton en cada una de las lagunas por periodo de muestreo. Las diatomeas fue el grupo dominante del microfitoplancton durante secas cálidas en la mayoría de las lagunas costeras estudiadas con más de un 60%, con

excepción de TEA donde el grupo mas abundante fueron los dinoflagelados en un 48.5%, seguido de las diatomeas (43.9%) (Ibarguën-Zamudio, en preparación).

En lluvias la producción primaria está limitada de igual forma por el silicio nuevamente y la luz. En este caso en la mayoría de las lagunas la especie dominante fueron las diatomeas en mas del 60%. En secas frías parece ser que la productividad primaria está limitada principalmente por el fósforo en OHU, SMR y CEU, mientras que en AEP por el silicio y por TEA por las formas nitrogenadas. En NSI, SMR, AEP y TEA la comunidad fitoplanctónica estuvo dominada por diatomeas con mas del 75%, en cambio en OHU y CEU ésta estuvo dominada principalmente por dinoflagelados con un 89 % (Ibarguën-Zamudio, en preparación).

Tabla 11. Factores que limitan la producción primaria en las lagunas costeras por periodo de muestreo.

Laguna / época	SC	LL	SF
<b>OHU</b>	<b>Si</b> , (p= 0.05) Diatomeas (70%)	<b>Si</b> , (p= 0.002) Diatomeas (60%)	<b>P dis</b> , (p= 0.001) Dinoflagelados (89%)
<b>NSI</b>	-	-	-
<b>SMR</b>	<b>Si</b> , (p= 0.02) Diatomeas (84.4%)	-	<b>P dis</b> , (p= 0.01) Diatomeas (84%)
<b>AEP</b>	<b>Luz</b> , (p= 0.001) Diatomeas (96%)	<b>Luz</b> , (p= 0.01) Diatomeas (70%)	<b>Si</b> , (p= 0.05) Diatomeas (70%)
<b>CEU</b>	-	-	<b>P dis</b> , (p=0.01) Dinoflagelados (90%)
<b>TEA</b>	-	<b>Luz</b> , (p= 0.05) Diatomeas (62%)	<b>NID</b> , (p= 0.02) Diatomeas (97%)

Algunos datos de literatura revisados para sistemas lagunares indican que las diatomeas constituyen cerca del 70%, tanto en número de especies como en abundancia relativa. En la bahía de Mazatlán se han encontrado estas abundancias (70 %) por Alonso-Rodríguez (1998) y Priego-Martínez (1985), en el estero de Urías, Sin. Caballasi (1985) encontró una abundancia del 67 %. Para el sistema lagunar de NSI Ulloa-Pérez (2005) encontró que la comunidad fitoplanctónica estuvo dominada principalmente por las diatomeas.

Wickstead (1979) hace mención sobre la variabilidad fitoplanctónica en el océano mundial con relación a la latitud, manifestando que en latitudes templadas se presentan dos épocas de mayor abundancia: la primera de ellas ocurre en primavera favorecida por el incremento en la irradiación solar y una abundante fuente de nutrientes remanentes del período de invierno donde el consumo por el fitoplancton disminuye notablemente; la segunda época es un máximo en otoño, la cual se relaciona con la ocurrencia de fenómenos atmosféricos que provoca una mezcla de las aguas aportando gran cantidad de nutrientes a las aguas superficiales el cual luego es aprovechado por el fitoplancton.



Kennish (1992) menciona que en aguas marinas y costeras templadas el elemento que usualmente limita la producción primaria es el nitrógeno, mientras que en sistemas estuarinos y costeros tropicales, quien limita la producción primaria es el fósforo. Como se puede observar en las lagunas costeras de Sinaloa el que limita la producción primaria en su mayor parte es el silicio. Bernhard y Peele (1997), encontraron en un estudio realizado en Washington que el nitrógeno limita el crecimiento del fitoplancton durante los meses de verano y otoño. Es importante resaltar que el segundo factor limitante es el fósforo disuelto y la luz, tal como lo observó Lechuga (1977) en Ensenada de la Paz, B. C. S.

### Sólidos suspendidos totales

Se presentó gran variabilidad en la concentración de SST entre las lagunas costeras. La laguna que mostró el promedio más elevado de sólidos suspendidos fue Ceuta, con un promedio de 37.3 mg/L, luego le siguen NSI y AEP con 30.3 y 29.4 mg/L. SMR y OHU presentaron promedios de 19.6 y 18.4 mg/L, respectivamente. El sistema que presentó la menor concentración fue TEA con un promedio anual de 16.3 mg/L.

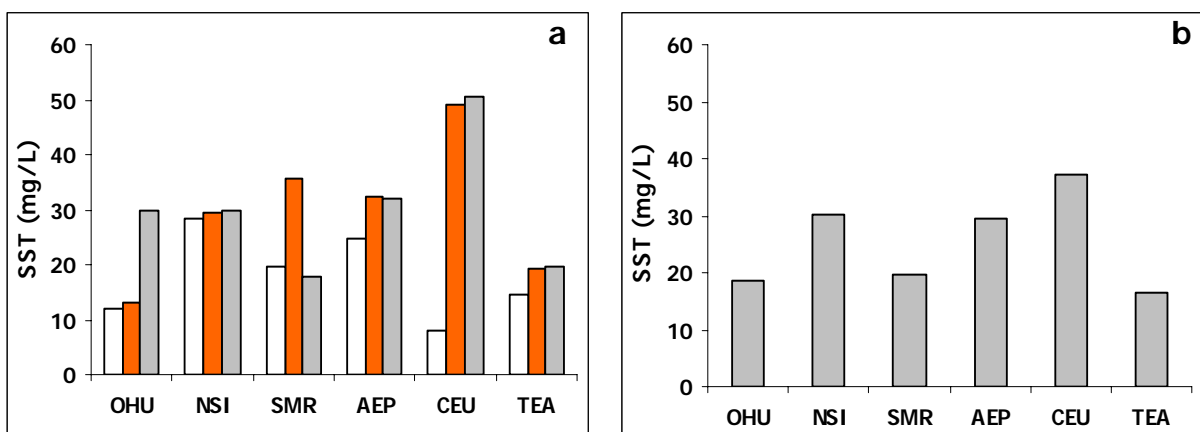


Fig. 12-ab. Variación estacional (a) y anual (b) de la concentración de sólidos suspendidos totales promedio en cada una de las lagunas costeras (SC □, LL ■ y SF ▒).

Esta variabilidad se debe a diversos factores como la batimetría, aportes fluviales y marinos, así como también a la acción del viento sobre la columna de agua lo cual provoca la resuspensión de los sólidos depositados en el fondo. Este fenómeno se pudo observar durante el reflujó de la marea, sobre todo en las zonas someras de la mayoría de las lagunas.

García-Ballesteros y Larroque (1974), mencionan que la dinámica de la corriente neta sin contar el flujo y el reflujó de las mareas es el agente principal de la distribución de los materiales en suspensión, pero estos no son los únicos factores que afectan la turbidez, entre ellos está el efecto que el oleaje ejerce

sobre el fondo, además mencionan también que un alto porcentaje del material en suspensión es materia orgánica lo cual es de importancia ya que es el alimento de diferentes organismos marinos.

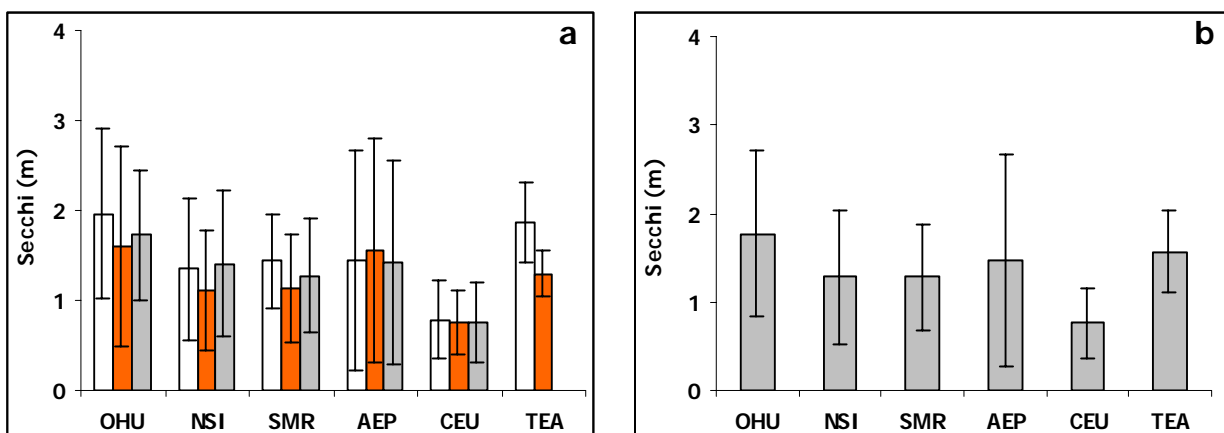
Altas concentraciones de SST impiden el paso de la luz, causando disminución en la fotosíntesis. Una reducción en la fotosíntesis disminuye las concentraciones de OD en el agua y por lo tanto provoca daños en el ecosistema. La reducción de la claridad del agua causada por SST afecta la habilidad de los peces para ver y alimentarse, puede incluso reducir las tasas de crecimiento y reducir el desarrollo larvario. La Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 usa como límite máximo permisible 125 mg/L (promedio diario) en aguas costeras para la protección de la vida acuática. En general todas las lagunas presentaron concentraciones de sólidos por debajo del valor mencionado por la NOM, solo algunas lagunas como NSI (interior), AEP (E. Pabellón) y CEU (brazos e Interior) rebasaron este valor, sobre todo en las estaciones mas someras de la laguna, durante el reflujo de la marea, los porcentajes de estaciones en cada una de las lagunas se pueden observar en las figuras III.2 a y III.2 c, Anexo III.

### Profundidad Secchi

Núñez-Pasten (1973), menciona que la transparencia del agua está relacionada con los periodos de lluvia y sequía. Los valores más altos de este parámetro en secas cálidas y secas frías se pueden apreciar sobre todo en las lagunas ubicadas al norte del estado (OHU, NSI, SMR y AEP).

El comportamiento de este factor sigue un patrón de disminución desde la boca hacia las estaciones más someras de las lagunas. En la laguna de AEP esto se nota solo en Ensenada del Pabellón, mientras que en Altata éste se invierte, alcanzando mayores valores al alejarse de la boca. En las demás lagunas las estaciones de la boca o cercanas a ésta tuvieron los valores Secchi más elevados. Este patrón se puede notar claramente en las lagunas de OHU, NSI y CEU.

En la época de lluvias el aporte fluvial intenso provoca una mayor resuspensión de los sólidos, esto se puede apreciar en la Fig. 13-ab, donde en la época de lluvias hay una disminución de la profundidad Secchi sobre todo en las lagunas del norte del estado. Anualmente la laguna que presentó la menor profundidad Secchi fue CEU y la que presentó el promedio mayor fue OHU.



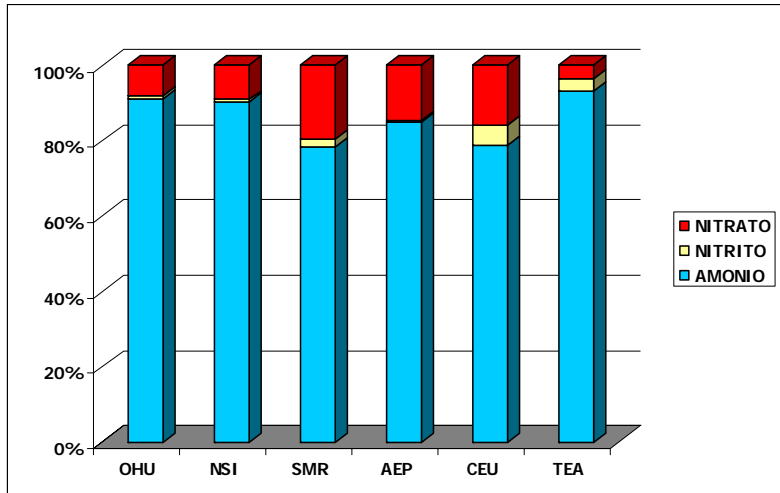
**Fig. 13-ab. Variación estacional (a) y anual (b) de la profundidad secchi promedio en cada una de las lagunas costeras (SC □, LL ■ y SF □).**

La baja claridad del agua puede indicar un florecimiento algal, aunque también se puede atribuir a los sólidos suspendidos o taninos. Esto es importante para la vegetación acuática sumergida por lo cual Smith propuso una clasificación trófica para aguas costeras marinas: las profundidades Secchi mayores a 6 m quedan clasificadas en el estado oligotrófico, las aguas con profundidades Secchi entre 3 y 6 m caen dentro del mesotrófico, aguas eutróficas pertenecen a profundidades Secchi entre 1.5 y 3 m, mientras que las menores a 1.5 caen dentro del estado hipertrófico. Una clasificación semejante a la anterior se hizo para este estudio y se encontró que en NSI interior, SMR sur, Ensenada del Pabellón en AEP, y todas las áreas de CEU mas del 80 % de sus estaciones presentan un estado hipertrófico. La mayoría de las lagunas presentan aguas eutróficas en el 20 al 60 % de sus estaciones con excepción del interior de NSI, Altata en AEP y CEU. Solo en Altata se encontraron aguas oligotróficas / mesotróficas en mas del 20 % de sus estaciones (Fig. III.2 b y III.2 d, Anexo III).

## 9.2 Especies nitrogenadas

### Amonio

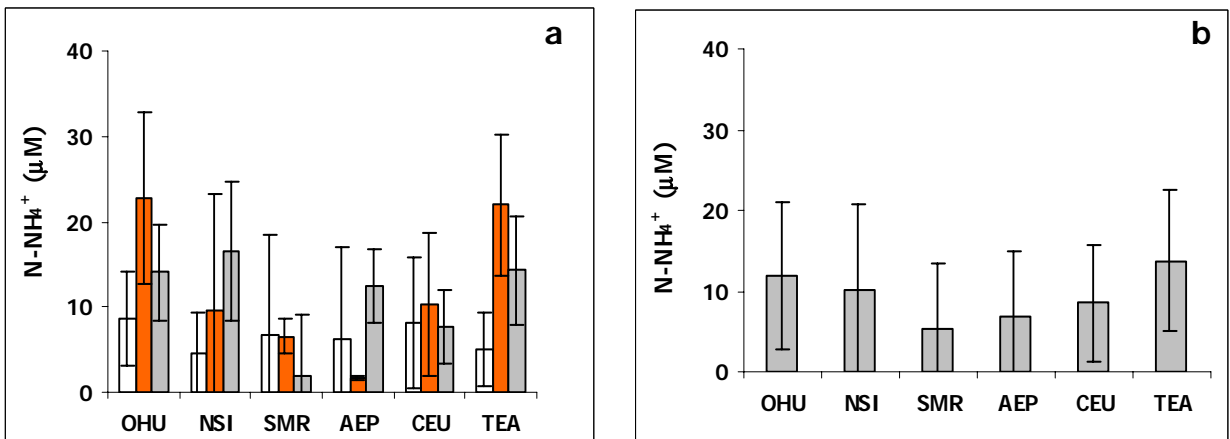
Las formas amoniacales son las que dominan a lo largo del ciclo anual como se puede observar en la figura 14. Al calcular la relación entre el amonio y el resto de las formas nitrogenadas ( $N-NH_3/N-NH_4^+ + N-NO_3^- + N-NO_2^-$ ) en la mayoría de los casos, el valor oscila entre 50 y 90%, en ocasiones su disminución está relacionada con una mayor actividad fotosintética o una mayor oxigenación del agua. También se observa que cuando esta relación disminuye aumenta el  $N-NO_3^-$  (Contreras-Espinoza, 1984).



**Fig. 14. Proporción de amonio, nitrito y nitrato en las lagunas costeras.**

La concentración de amonio fue mayor en TEA, así como también en OHU, con promedios de 13.8 y 11.8  $\mu\text{M}$ , respectivamente, en estos casos las mayores concentraciones de amonio fueron medidas en lluvias. Por otra parte, SMR fue el sistema con una concentración anual promedio menor (5.3  $\mu\text{M}$ ). El amonio resulta tanto de la descomposición orgánica nitrogenada de desechos ya sea vegetales o animales, así como también de la reducción de nitratos y nitritos en condiciones anaeróbicas.

TEA forma parte de la zona de manglar mas extensa del Pacifico (Flores-Verdugo *et al.*, 1993), la cantidad de hojarasca y hojas caidas están entre las más elevadas registradas para manglar, lo cual le proporciona elevados niveles de materia orgánica y sustancias húmicas al sistema (Flores-Verdugo *et al.*, 1990), esto aunado al mínimo de oxígeno disuelto, pudiera explicar el máximo en la concentración de amonio encontrada.



**Fig. 15-ab. Variación estacional (a) y anual (b) de la concentración promedio de amonio (como N) en cada una de las lagunas costeras (SC  $\square$ , LL  $\blacksquare$  y SF  $\square$ ).**

En OHU éste máximo de amonio pudiera explicarse debido a la presencia de drenes que descargan las aguas residuales de la ciudad de Los Mochis hacia la laguna, estas aguas aportan entre otros contaminantes grandes cantidades de materia orgánica. Además se presentaron en una sección de la laguna abundante presencia de materia orgánica flotante (macroalgas). En el ambiente acuático, los organismos muertos experimentan un cambio químico o autólisis, que es precedido de inmediato por una colonización de bacterias tanto en la columna de agua como en el proceso de sedimentación. En los materiales en descomposición los compuestos de nitrógeno son liberados principalmente en forma de amonio (De la Lanza-Espino y Arenas-Fuentes, 1986; Valiela, 1995).

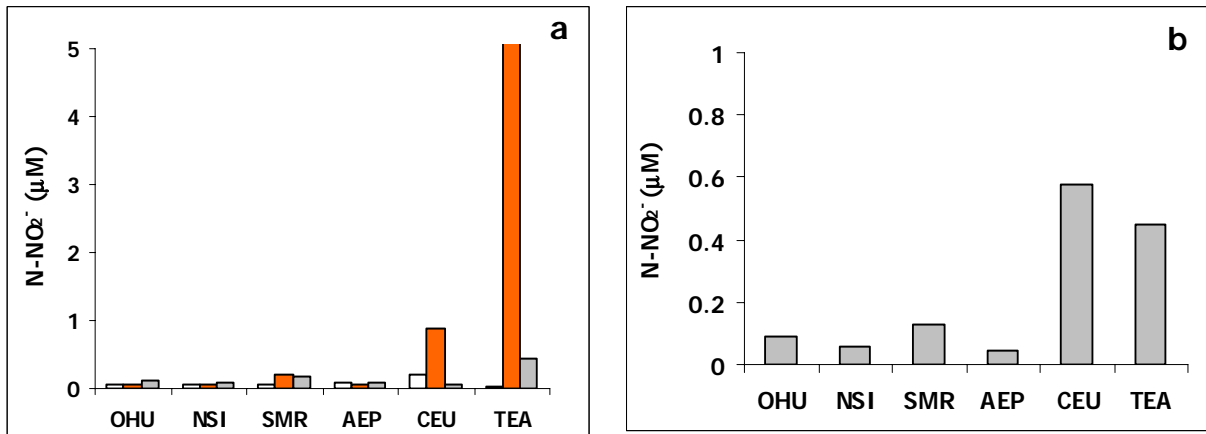
Como podemos ver en la Fig. III.3 a (Anexo III), las lagunas presentaron en la mayoría de sus estaciones valores entre 0 y 25  $\mu\text{M}$ , el cual según Antia *et al.* (1991) es el intervalo en el que se encuentra el amonio en aguas marinas costeras. Este intervalo de concentración es bajo comparado con los datos presentados por Frías-Espericueta *et al.* (2000), quien menciona que una concentración por debajo de 87.1  $\mu\text{M}$  de  $\text{N-NH}_4^+$  no tiene efectos adversos en poslarvas de camarón *Litopenaeus vannamei*. Solo lagunas como OHU y NSI, presentaron concentraciones por encima de la mencionada anteriormente. En OHU, la parte de Ohuira el 15 % de sus estaciones presentó concentraciones por encima de 25  $\mu\text{M}$ , Topolobampo el 25%, y Sta María 17 %; en cambio en NSI, el interior de la laguna y Macapule presentaron 21 y 20 % de sus estaciones, respectivamente por encima de este valor (Fig. III.3 c, Anexo III).

Esto indica que durante el período de estudio la concentración de amonio se comportó en forma normal, es decir, no se observaron concentraciones muy elevadas que pudieran producir efectos negativos en el ecosistema, ni tan bajas que limitaran el desarrollo de las especies fitoplanctónicas presentes. La Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, reporta que el valor límite de amonio es de 0.01 mg/L (0.71  $\mu\text{M}$ ) en aguas costeras para la protección de la vida acuática, el promedio general para esta laguna (12.9  $\mu\text{M}$ ) rebasa el valor de dicha norma.

## Nitrito

La concentración de nitrito encontrada en las lagunas costeras por lo general es baja ya que éste es un intermediario en la oxidación de amonio a nitrato y en la reducción de este último.

Los registros de nitritos OHU, NSI, SMR y AEP fueron bajos, quizás debido a que los procesos que lo producen, tales como nitrificación y degradación bacteriana, probablemente no sean un factor importante en el reciclaje del nitrógeno en estas zonas, dado que todas ellas presentaron buena oxigenación y penetración de luz.

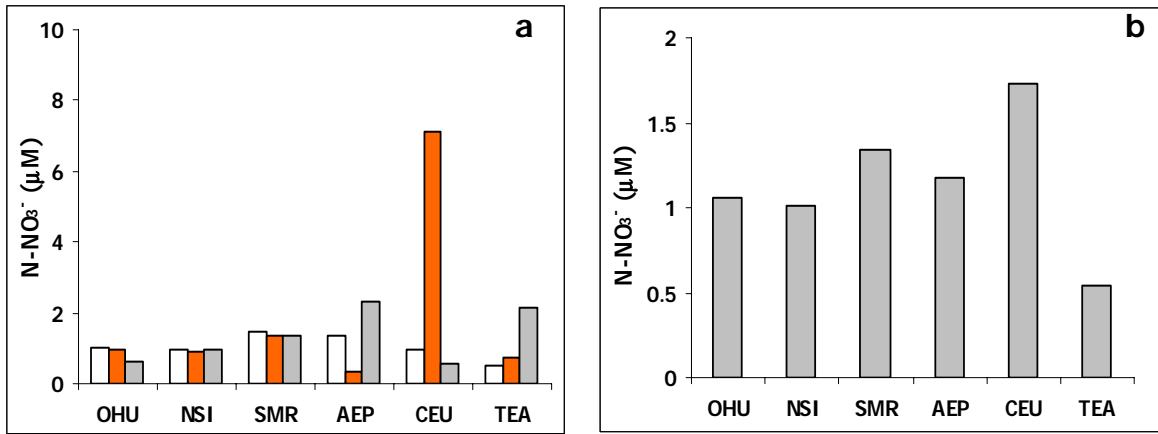


**Fig. 16-ab. Variación estacional (a) y anual (b) de la concentración promedio de nitritos (como N) en cada una de las lagunas costeras (SC □, LL ■ y SF ◻).**

Las bahías de CEU y TEA presentaron los promedios anuales más elevados de nitritos. En ambos casos las máximas concentraciones se encontraron en la época de lluvias. Antia *et al.*, (1991) menciona que el intervalo de concentración para nitrito en aguas costeras marinas es de 0 a 2 μM. La Norma Oficial Mexicana CE-CCA-001/89 publicado en el D. O. F. el 13 de diciembre de 1989, maneja como valor máximo una concentración de 0.002 mg/L (0.14 μM) de N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> para la protección de la vida acuática en aguas marinas. Como podemos observar en la Fig. III.3 b (Anexo III), los nitritos presentan valores por encima de 2 μM en la parte interior de CEU, pero bajos en la boca y brazos, mientras que en TEA se presentan altas concentraciones en la boca e interior. Los porcentajes del área lagunar que quedan por encima de este valor se muestran en la Fig. III.3 d (Anexo III) para cada una de las lagunas costeras estudiadas

### Nitrato

El nitrato es la forma principal de nitrógeno inorgánico que se halla en las aguas naturales. Las concentraciones de nitrato máximas anuales se obtuvieron en CEU y éstas fueron 3.2 veces mayores que en TEA. Lo que muestra que hay una perturbación debido a los aportes fluviales y escurrimientos agrícolas que contienen fertilizantes nitrogenados. Una fuente adicional de nitrato puede ser la nitrificación debido a bacterias (Uncles *et al.*, 1988) que están asociadas con el sedimento suspendido. En la mayoría de las lagunas se presentaron concentraciones promedio máximas por debajo de 1.5 μM en cambio en CEU hubo un aumento considerable de la concentración de nitrato en época de lluvias lo cual corrobora lo anteriormente dicho. En lagunas como AEP y SMR se obtuvieron concentraciones anuales 2 y 2.5 veces mayores que en TEA. Estas lagunas también reciben aportes considerables de la agricultura, ríos y granjas camaronícolas (Tabla 12).



**Fig. 17-ab. Variación estacional (a) y anual (b) de la concentración promedio de nitratos (como N) en cada una de las lagunas costeras (SC □, LL ■ y SF ◻).**

En AEP se puede ver perfectamente que las mayores concentraciones de nitratos se presentan en la zona que recibe gran cantidad de aportes del área agrícola e industria azucarera en las épocas de secas cálidas y secas frías; y en lluvias se nota claramente el aporte del río Culiacán hacia esta laguna.

Las lagunas presentaron en la mayoría de sus estaciones valores por debajo de 30 μM, el cual según Antia *et al.* (1991) es el intervalo en el que se encuentra el nitrato en aguas marinas costeras. Solo las lagunas de NSI, SMR y TEA presentaron valores por encima de 50 μM en estaciones ubicadas cercanas a las zonas de descarga. La Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, menciona como límite máximo una concentración de 0.04 mg/L (2.86 μM). Si tomamos en cuenta esta concentración solo algunas áreas muy localizadas de las lagunas presentan concentraciones por encima de este valor, aunque caen dentro del intervalo antes mencionado (0-30 μM) por ejemplo, NSI interior, Macapule, SMR sur, Altata, CEU Brazos y boca, y Tea interior presentan concentraciones por encima de este valor en 10 al 20 % de sus estaciones. Solo la parte Interior de CEU presentó valores por encima del antes mencionado en el 53% de sus estaciones (Fig. III.4 a y III.4 c, Anexo III).

Tabla 12. Comparación del flujo estimado de nitrógeno que reciben las lagunas costeras de Sinaloa (Garay-Morán, 2002).

	FLUJO GLOBAL DE NITRÓGENO (ton/año)				
	AGRICOLA	CAMARONICOLA	MUNICIPALES	RIOS	TOTAL
<b>OHU</b>	5,894	7.4	280	0	2,252
<b>NSI</b>	4,247	52.1	26.1	0	1,494
<b>SMR</b>	2,258	94.7	43.2	138.1	1,029
<b>AEP</b>	3,016	70.2	328.5	0	1,404
<b>CEU</b>	3,016	41.9	16.6	0	1,064
<b>TEA</b>	0	17.2	0	154.6	172

## Nitrógeno inorgánico disuelto

Los resultados obtenidos de la suma de  $N-NO_2^- + N-NO_3^- + N-NH_4^+$ , o sea el NID mostraron que las mayores concentraciones de NID se encontraron en TEA y CEU con promedios de 15.6 y 14.8  $\mu M$  respectivamente. El sistema que presentó la concentración promedio anual menor fue SMR con 6.7  $\mu M$ . En secas cálidas se midió el mínimo de NID en 4 de las 6 lagunas costeras muestreadas, lo cual de acuerdo a Contreras-Espinoza (1993) es común para la mayoría de las lagunas costeras del litoral mexicano debido al florecimiento fitoplanctónico primaveral, ya que estos compuestos son asimilados en gran cantidad por productores primarios.

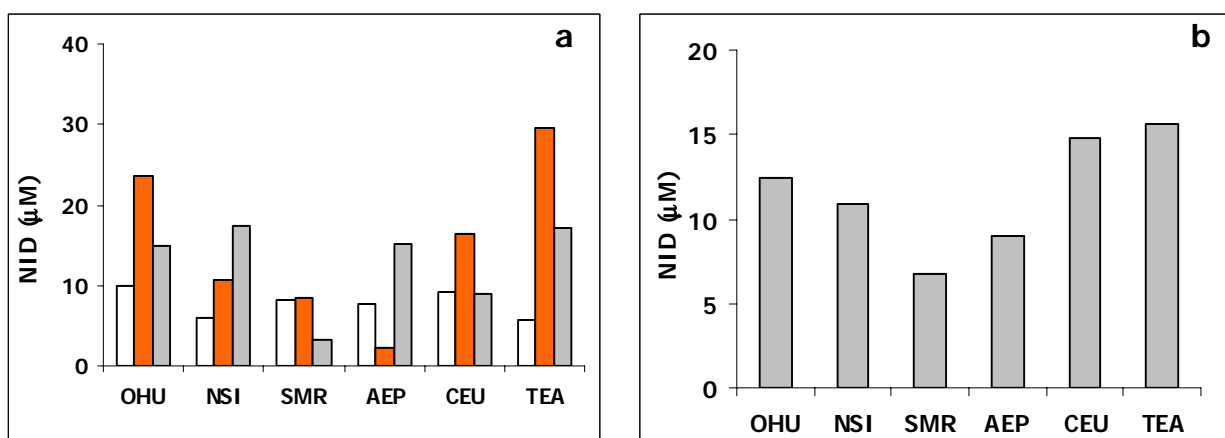


Fig. 18-ab. Variación estacional (a) y anual (b) de la concentración promedio de nitrógeno inorgánico disuelto (NID) en cada una de las lagunas costeras (SC  $\square$ , LL  $\blacksquare$  y SF  $\square$ ).

Existen diversos mecanismos que afectan la concentración de nutrientes en las lagunas costeras. Entre ellos se encuentran los procesos de remineralización del material orgánico de origen vegetal o animal, que se lleva a cabo por mecanismos físicos (lixiviación, disolución), químicos (hidrólisis, oxidaciones) y/o biológicos (actividad por bacterias, hongos y otros) (De la Lanza- Espino, 1994). Perkins (1974) y Carman y Wulff (1989), mencionan que las altas concentraciones de nutrientes pueden ser liberadas de los sedimentos, a lo que contribuyen también las altas temperaturas (Arenas-Fuentes y De la Lanza-Espino, 1981); en cambio Mee (1977), menciona que los manglares aportan grandes cantidades de nutrientes tanto orgánicos como inorgánicos hacia estos sistemas.

En lagunas con aportes significativos de escurrimientos pluviales los niveles más altos de NID normalmente se sitúan después del período de lluvias (Postma, 1969; Barnes, 1980; Nixon, 1980; y Contreras-Espinoza *et al.* 1995 a y b), esto no parece ser el caso para NSI y AEP ya que el promedio estacional más alto se detectó en secas frías (Fig. 18-ab). Otro factor importante pudo ser la remineralización de los detritus planctónicos de los florecimientos de verano y el aporte de materia



orgánica sedimentaria con la consiguiente liberación de formas nitrogenadas (De la Lanza- Espino, 1994). Debido a ello, en secas frías, a los compuestos autóctonos se le sumaron cantidades importantes de nutrientes provenientes de los drenes que descargan las aguas residuales agrícolas.

Ya que en invierno hay elevados niveles de NID, durante primavera cuando las condicionantes fotosintéticas (temperatura, luz y disponibilidad de nutrientes) son óptimas, el fitoplancton lo aprovecha asimilándolo rápidamente, razón probable para los bajos niveles de NID en primavera.

### Nitrógeno total

En las lagunas costeras se puede encontrar la materia orgánica siguiente: la de origen planctónico proveniente del mar, la producida *in situ*, el material vegetal de transición, la procedente del continente y transformada durante la constitución de la escorrentía, y la de naturaleza compleja formada por restos de animales, desechos urbanos y humus del suelo erosionado o lixiviado tierra adentro (De la Lanza y Arenas-Fuentes, 1986). Varios estudios señalan que en la zona costera la variación anual de nutrientes está sujeta a los aportes terrígenos estacionales, en adición a los aportes internos de los sistemas, como los sedimentos y la vegetación circundante, cuyos aportes también son máximos durante el período lluvioso (Arenas-Fuentes y De la Lanza-Espino, 1990; Valdez-Lozano, 1995; De la Lanza-Espino y Flores-Verdugo, 1998; Tovilla-Hernández y De la Lanza, 2001).

Los sistemas de OHU y NSI presentaron las concentraciones más elevadas de Nt en secas cálidas, aunque la concentración en OHU fue superior a NSI. Sólo SMR tuvo concentraciones elevadas en secas cálidas, mientras que el resto de las lagunas (AEP, CEU y TEA) alcanzaron su máximo en la época de lluvias.

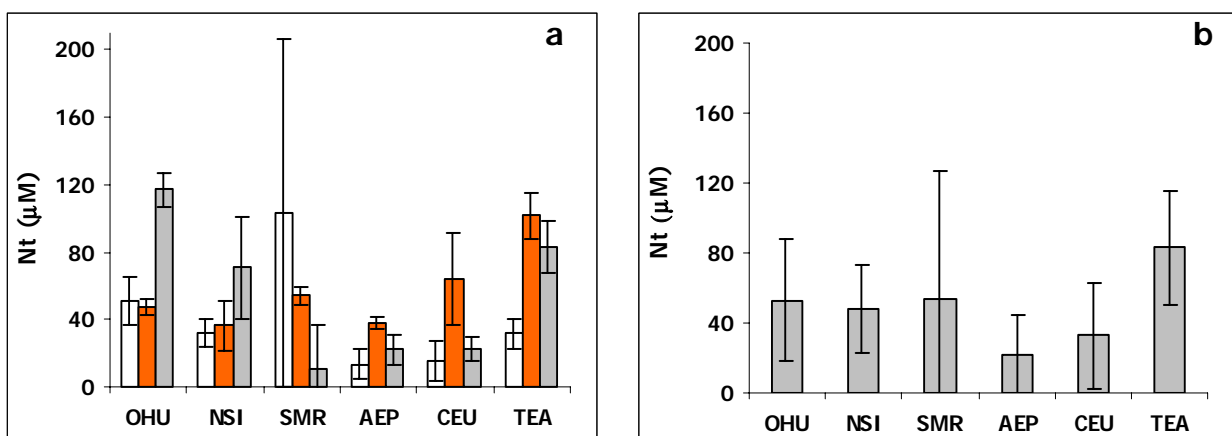


Fig. 19-ab. Variación estacional (a) y anual (b) de la concentración promedio de nitrógeno total en cada una de las lagunas costeras (SC □, LL ■ y SF ◻).

La laguna con una mayor concentración de Nitrógeno total fue TEA con un promedio anual de 83.1  $\mu\text{M}$ , luego le siguen SMR, OHU y NSI con 53.7, 53.0 y 47.5  $\mu\text{M}$  respectivamente, y con los promedios anuales mas bajos se ubicaron CEU y AEP con 32.6 y 37.7  $\mu\text{M}$  de N.

El nitrógeno total representa la suma de todas las formas orgánicas e inorgánicas disueltas y particuladas presentes en el agua, y son la causa aparente de eutrofización en estuarios (NRC, 2000). La NOAA (1998) usa un valor de nitrógeno total de 71.4  $\mu\text{M}$  (1 mg/L) para indicar niveles altos de nutrientes nitrogenados. La ANZECC (2000) maneja un valor máximo de Nt de 7.1  $\mu\text{M}$  para aguas costeras, mientras que para aguas estuarinas maneja 17.8  $\mu\text{M}$ . Es evidente el enriquecimiento con nutrientes en todas las lagunas, aunque este enriquecimiento sólo se presentó en algunas zonas de la laguna debido a los aportes antropogénicos localizados.

La laguna de TEA presentó valores por encima del límite en la boca en un 61 % de sus estaciones y en el interior en un 53%. Por otro lado en OHU se encontró que en la zona de Sta. María más del 50 % de las estaciones presentaron valores por encima del límite, mientras que Ohuira y Topolobampo presentaron más del 35%. Las lagunas de NSI, SMR, AEP Y CEU presentaron altas concentraciones en menos del 25% del área lagunar (Fig. III.4 b y III.4 d, Anexo III).

Smith *et al.* (1999) hace una clasificación del estado trófico según la concentración de Nt en la cual valores <18.6  $\mu\text{M}$  corresponden a aguas oligotróficas, valores entre 18.6 y 25.0 corresponden a aguas mesotróficas, entre 25 y 28.6 corresponden a aguas eutróficas y por último los valores por encima de 28.6 corresponden al estado hipertrófico. Según esta clasificación las lagunas de OHU, NSI y TEA tienen aguas hipertróficas en mas del 80 % de la laguna, SMR, solo presenta el 66%, mientras que AEP y CEU presentan el 43 y 51 % del área lagunar, respectivamente.

La concentración de nitrógeno total en las lagunas se mantuvo en niveles elevados en comparación con los valores encontrados por Garay-Morán, (2002) para algunas lagunas del estado, aunque cabe mencionar que el valor calculado por este autor solamente corresponde a el periodo de muestreo de secas frías (Febrero, 2001) (Tabla 13).

Tabla 13. Comparación de las concentraciones de nitrógeno total encontradas en las aguas de las lagunas de Sinaloa (unidades en  $\mu\text{M}$ ).

Laguna	Garay-Morán, (2002) (muestreo, 2000)	Este estudio (muestreo 2004-2005)
OHU	35.5	53.02
NSI	35.5	47.5
SMR	35.71	53.71
AEP	70.89	21.73
CEU	63.71	32.6
TEA	4.0	83.16

### 9.3. Relación estequiométrica de nutrientes

Estudios llevados a cabo sobre la identificación del nutriente limitante en sistemas marinos costeros han generado resultados variables y contrastantes. Esta variabilidad puede atribuirse a diferencias entre los sitios de estudio, los métodos utilizados, la duración de los estudios y las respuestas específicas de cierta especie a la concentración de nutrientes (Bernhard y Peele, 1997). Se ha considerado en general que el nitrógeno limita el crecimiento de fitoplancton en sistemas costeros y marinos (Ryther y Dunstan, 1971; Goldman, 1976), en sistemas de agua dulce el fósforo es considerado principalmente el factor limitante (Schindler, 1977). Algunos estudios mencionan al nitrógeno como el nutriente limitante, aunque también hay evidencia para el fósforo y el silicio como nutrientes limitantes en estuarios (Howarth, 1988; Smith, 1984; Officer y Rither, 1980).

Se sabe que la concentración y relación de N, P y Si ejerce una fuerte influencia sobre las comunidades de fitoplancton (Harris, 1986). La expresión empírica de estas limitaciones es la relación de Redfield (relación atómica de N:P:Si::16:16:1), que son los requerimientos estequiométricos para un adecuado crecimiento del fitoplancton (Redfield, 1958; Justic´et al, 1995). La desviación de esta relación indica que el nutriente en menor cantidad se vuelve limitante para el crecimiento del fitoplancton. Los cambios en la proporción de nutrientes disueltos (N:P) en las descargas fluviales hacia las lagunas costeras pueden provocar alteración en la dominancia de las especies fitoplanctónicas (Philips y Tanabe, 1989), aunque este cambio en la relación N:P también puede provocar un incremento en la presencia de mareas rojas (Hodgkiss y Ho, 1997).

Nuestros datos sugieren que el sistema lagunar OHU se encuentra en un equilibrio en cuanto a la relación de Redfield N:P:Si::16:16:1). En el caso de NSI la laguna parece estar limitada en secas cálidas y lluvias mayormente por el N, mientras que en secas frías ésta parece estar limitada por P y Si (Fig. IV.1-ab, anexo IV). En SMR la laguna parece estar en equilibrio en secas cálidas y lluvias, mientras que en secas frías está limitada por N. En el sistema lagunar AEP parece estar en equilibrio con la relación de Redfield en secas cálidas, en lluvias la laguna está limitada principalmente por N, mientras que en secas frías está limitada por N y Si (Fig. IV.1-cd, anexo IV).

Por otro lado, CEU está limitada en mayor proporción por el nitrógeno en las tres épocas climáticas, mientras que en TEA no se observa una tendencia de los puntos hacia ningún cuadrante, aunque parece ser que en secas cálidas y lluvias está limitada por N principalmente y en secas frías está limitada en su mayor parte por P y Si (Fig. IV.1-ef, anexo IV).

## 10. CONCLUSIONES

- La concentración promedio anual (en  $\mu\text{M}$ ) correspondiente a los 3 periodos de muestreo en cada laguna fueron como sigue: en OHU el N -  $\text{NH}_4^+$  fue de  $13.8 \pm 9.1$ ; N -  $\text{NO}_2^-$ ,  $0.07 \pm 0.5$ ; N -  $\text{NO}_3^-$ ,  $0.9 \pm 1.4$ ; NID,  $14.8 \pm 9.5$  y Nt,  $51.4 \pm 34.6$ . En NSI el N -  $\text{NH}_4^+$  fue de  $10.6 \pm 10.8$ ; N -  $\text{NO}_2^-$ ,  $0.06 \pm 0.4$ ; N -  $\text{NO}_3^-$   $0.9 \pm 12.4$ ; NID,  $11.2 \pm 187.9$  y Nt,  $40.8 \pm 25.1$ . En SMR el N -  $\text{NH}_4^+$  fue de  $4.4 \pm 8.2$ ; N -  $\text{NO}_2^-$ ,  $0.1 \pm 0.7$ ; N -  $\text{NO}_3^-$   $1.3 \pm 3.8$ ; NID,  $6.1 \pm 10.9$  y Nt,  $47.8 \pm 72.6$ . En AEP el N -  $\text{NH}_4^+$  fue de  $4.5 \pm 8.1$ ; N -  $\text{NO}_2^-$ ,  $0.06 \pm 0.09$ ; N -  $\text{NO}_3^-$   $1.2 \pm 1.7$ ; NID,  $6.0 \pm 8.8$  y Nt,  $23.3 \pm 11.6$ . En CEU el N -  $\text{NH}_4^+$  fue de  $7.6 \pm 7.2$ ; N -  $\text{NO}_2^-$ ,  $0.3 \pm 0.9$ ; N -  $\text{NO}_3^-$   $1.3 \pm 17.8$ ; NID,  $10.6 \pm 14.1$  y Nt,  $30.2 \pm 30.6$ . y por último en TEA N -  $\text{NH}_4^+$ ,  $13.7 \pm 8.8$ ; N -  $\text{NO}_2^-$ ,  $0.4 \pm 3.0$ ; N -  $\text{NO}_3^-$   $0.7 \pm 12.9$ ; NID,  $15.4 \pm 17.3$  y Nt,  $73.7 \pm 32.6$ .
- Según la prueba de Wilcoxon aplicada en el análisis de los datos, en general, no se encontraron diferencias significativas entre las medias de las variables fisicoquímicas (temperatura, salinidad, sólidos suspendidos, oxígeno disuelto y clorofila a) entre las seis lagunas estudiadas. Sin embargo si se encontraron diferencias significativas dentro de cada una de las lagunas entre las medias de los periodos de muestreo (según la prueba no paramétrica Mann-Whitney (Zar, 1984)).
- Las variaciones de la temperatura superficial y la salinidad de las aguas de las seis lagunas estudiadas presentaron un comportamiento climático típico. En el caso de la temperatura, se observaron siempre las máximas en secas cálidas, con una ligera disminución en lluvias ( $<1.5$  °C); mientras que en secas frías se presentó en todas las lagunas un descenso de temperatura de entre 5 y 10 °C con respecto a la media de secas cálidas. En lo referente a la salinidad, las salinidades promedio más altas se encontraron en las lagunas del norte, OHU y NSI, mientras que las más bajas se presentaron en las lagunas del sur, en CEU y TEA, probablemente debido a que durante la época de lluvias éstas últimas recibieron mayores aportes fluviales.
- El oxígeno disuelto presentó el comportamiento típico de los gases en el agua, concentraciones mínimas en secas cálidas y máximas en secas frías. En general, las lagunas presentaron niveles de oxígeno mayores a 5 mg/L. Las concentraciones menores se encontraron en las áreas interiores de varias de las lagunas, sin embargo, donde se presentaron de manera mas extensiva esta disminución fue en TEA y NSI, que presentaron el 64 y 33% de sus estaciones por debajo de este valor.
- El promedio máximo de clorofila *a* en las aguas superficiales de las lagunas del sur, AEP, CEU y TEA, se presentó en secas cálidas descendiendo en algunos casos en lluvias y secas frías, debido

probablemente al típico florecimiento fitoplanctónico primaveral. En cambio en las lagunas del norte no se presentó un patrón bien definido y consistente entre las lagunas.

- Los resultados del análisis de clorofila *a* con algunas variables fisicoquímicas y nutrientes indican que los factores que limitan la producción primaria en las aguas de los sistemas costeros estudiados es variable: durante secas cálidas viene a ser el silicio para OHU y SMR y la luz para AEP. En la época de lluvias quien limita la producción primaria es la luz nuevamente en AEP y en TEA, el Si en OHU. Finalmente en secas frías el factor principal es el fósforo disuelto en OHU, SMR y CEU, mientras que AEP y TEA está limitado por el silicio y el NID, respectivamente.
- Las concentraciones de sólidos suspendidos totales más bajos se presentaron en secas cálidas, mientras que los más elevados en lluvias y secas frías. Con respecto al ciclo de mareas este parámetro se encontró en la mayoría de los casos, con los niveles mas altos durante la bajamar debido a la combinación de dos factores; por un lado la acción del viento sobre la columna de agua que tiende a resuspender las partículas del fondo, y por el otro, a las corrientes de reflujos.
- Las variaciones estacionales entre las medias de las concentraciones de las especies nitrogenadas en el presente estudio revelan diferencias significativas entre periodos de muestreo: se tuvo una mayor concentración de amonio en época de lluvias en las lagunas OHU, CEU y TEA, con respecto a la época de secas (cálidas y frías). Lo anterior sugiere que durante el periodo de lluvias estos sistemas reciben un mayor aporte de amonio proveniente principalmente de los escurrimientos.
- La especie dominante del nitrógeno inorgánico disuelto fue el amonio, que en las lagunas costeras de OHU, NSI y TEA representó mas del 80% del nitrógeno inorgánico total disuelto.
- Las concentraciones de nitrógeno (en sus diferentes especies) encontrados en las aguas de la mayoría de las estaciones de las lagunas estudiadas se encuentran dentro de los intervalos considerados "normales". Se identificaron en las diferentes lagunas sitios críticos que evidencian el impacto de las descargas de las aguas residuales ya que los valores mínimos de salinidad y oxígeno, así como las concentraciones máximas de nitrógeno (amonio, nitrito y nitrato) se encontraron frente a las áreas de descarga de drenes agrícolas, municipales y granjas camaronícolas.
- Aplicando el criterio de Smith *et al.* (1999) para evaluar el estado trófico de las lagunas costeras, nuestros resultados sugieren que la mayoría de las lagunas costeras (excepto AEP y CEU) pueden

considerarse como hipertróficas, tomando en cuenta únicamente las concentraciones de nitrógeno total encontradas en cada una de ellas.

- La relación estequiométrica entre nutrientes sugiere que las lagunas OHU, NSI y SMR se encuentran cercanas al equilibrio en cuanto a la relación de Redfield (N:P:Si::16:16:1), de acuerdo con este criterio AEP se encuentra limitada por N en lluvias, mientras que en secas frías se encuentra limitada por N y Si. Por su parte CEU se encuentra limitada por N durante los tres periodos de muestreo y TEA está limitada principalmente por N en secas cálidas y en lluvias la mayor parte de sus estaciones parecen estar limitados por P y Si.

## 11. LITERATURA CITADA

- Acosta-Ruiz, J. M. y J. R. Lara-Lara, (1978). Resultados físicos y químicos de un estudio de variación diurna del área central de Bahía Magdalena, B. C. S. *Ciencias Marinas*. 7(1):37-46.
- Alongi D. M., 1998. Coastal ecosystem processes. CRC Press. Boca Raton, Florida. 419 pp.
- Alonso-Rodríguez, R. 1998. Ocurrencia de mareas rojas y calidad del agua en la zona sur de la bahía de Mazatlán, Sinaloa, México. Tesis de maestría, UACPyP-CCH – ICMYL, UNAM, México. 165 p.
- Alonso-Rodríguez, R., Páez-Osuna, F., 2001. La presencia del fitoplancton en los estanques de cultivo de camarón: composición, abundancia y variación. p 137-158. En: Camaronicultura y Medio Ambiente. Páez-Osuna, F. (editor). UNAM y El Colegio de Sinaloa. 448 p.
- Álvarez-Borrego, S., Galindo-Bect, L. A. y B. Flores-Báez, 1975. Hidrología del alto Golfo de California II. Condiciones durante Invierno, primavera y verano. *Ciencias Marinas*. 2(1): 77-97.
- Álvarez-Borrego, S., J. R. Lara-Lara y M. J. Acosta-Ruiz, 1977. Parámetros relacionados con la productividad orgánica primaria en dos antiestuarios de Baja California. *Ciencias Marinas* 4(1):12-21.
- Álvarez-Rubio, B., F. Amezcua-Linares y M. Álvarez-Rubio, 1990. Análisis de la diversidad, amplitud y traslape del nicho en la comunidad de peces del sistema Teacapán-Agua Brava, Nayarit, México. An. Inst. Cien. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México 13: 185-242
- Anónimo, 1994. Estados Unidos Mexicanos, Panorama agropecuario VII censo agropecuario 1991. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, México.
- Antia, N. J. P. J. Harrison, L. Oliveira, 1991. The role of dissolved organic nitrogen in phytoplankton nutrition, cell biology, and ecology. *Phycologia* 30:1-89. En: Valiela, I., 1995. Marine Ecological Processes. Springer-Verlag New York, Inc., 686 p.
- ANZECC, 2000. Australian & New Zealand Guidelines for fresh and marine water quality. National water quality management strategy. PAPER No. 4. Vol 1. The Guidelines (Chapters 1-7). October, 2000.
- APHA-AWWA-WPCF, 1989. Standard methods for the examination of water and wastewater. 17<sup>th</sup> edition. 270-271 pp.
- Arenas, V. Y G. De la Lanza., 1981. The effect of dried and cracked sediments on the availability of phosphorus in a coastal lagoon. *Estuaries*. 4(3): 206-212.
- Arenas-Fuentes, V. Y E. G. De la Lanza, 1990. El metabolismo como determinante de intercambio de nutrientes en sedimentos ricos en materia orgánica en una laguna costera. *Ciencias Marinas*. UABC, 16(3):45-62.
- Arriaga, L., V. Aguilar, J. Alcocer, 2002. Aguas continentales y diversidad biológica de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.

- Arriaga Cabrera, L., E. Vázquez Domínguez, J. González Cano, R. Jiménez Rosenberg, E. Muñoz López, V. Aguilar Sierra coordinadores), 1998. Regiones marinas prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México.
- Barreiro, G.M.A. and L.A. Aguirre. 1999. Distribución espaciotemporal de la biomasa fitoplanctónica en el sistema lagunar Pom-Atasta, Campeche, México. *Revista de Biología Tropical* . 47:27–35.
- Bernhard, A. E. y Peele E. R., 1997. Nitrogen limitation of phytoplankton in a shallow embayment in Northern Pudget Sound. *Estuaries*. Vol. 20, No. 4, p. 759-769.
- Blackburn, Y. T. H. & J. Sorensen, 1988. Nitrogen Cycling in coastal marine environments. Chichester. J. Wiley & Sons. 451 p.
- Bode A., N. González, C. Rodríguez, M. Varela, M. M. Varela (2005). Seasonal variability of plankton blooms in the Ría de Ferrol (NW Spain): I. Nutrient concentrations and nitrogen uptake rates. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* (article in press).
- Boesch, D.F. 2002. Causes and consequences of nutrient over-enrichment of coastal waters, p. 165-180. In: R. Ragaini (ed.), International Seminar on Nuclear War and Planetary Emergencies. *25th Session*. World Scientific Publishing.
- Braga, E. S., Bonetti, C. V. D. H; Burone, L., y Bonetti-Filho, J., (2000). Eutrophication and bacterial pollution caused by industrial and domestic wastes at the Baixada Santista Estuarine System-Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 40(2):165-173.
- Bricker, S. B., Clement, C. G., Pirhalla, D. E., Orlando, S. P., Farrow, D. R. G., 1999. National Estuarine Eutrophication Assessment: Effects of nutrient enrichment in the nations estuaries. NOAA, National Ocean Service, Special Projects Office and the National centers for Coastal Ocean Science, Silver Spring, M. D., p. 71.
- Brower, J. E. y J. H. Zar., Field and laboratory methods for general ecology. W. M. C. Brown Co. 1977 194 p.
- CAADES, Confederación de Asociaciones Agrícolas del Estado de Sinaloa, 1986. Análisis de la Agricultura Sinaloense No. 143, 128 p.
- Caballasi, F. P. 1985. Comparación fitoplanctónica de la bahía de Mazatlán y estero de Urias, Sin. México, 1981). Tesis profesional. UNAM, ENEP-Iztacala. 50 p. En: Camaronicultura y Medio Ambiente. Páez-Osuna, F. (editor). UNAM y El Colegio de Sinaloa. 448 p.
- Campos, V. L. E., 1996. Dinámica hidrológica y flujo de nutrientes (NH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>) en la interfase sedimento-agua de la Ensenada-Pabellón, una laguna costera del Golfo de California, México. Tesis de Maestría en Ciencias. Fac. de Ciencias, UNAM.
- Cano-Pérez, F. A. (1991). Oceanografía Química. Oceanografía de los mares mexicanos. De la Lanza-Espino, G. (Comp.), (1991) AGT Editor SA. p. 515-557.



- Carlson, B. 1995. The Secchi Disk and The Volunteer Monitor. *LakeLine*, N. *Am. Lake. Manage. Soc.* 15(1):28-29, 35-37.
- Cardoso-Mohedano, J. G. 2004. Impacto de la descarga de efluentes de los estanques de cultivo de camarón en un complejo lagunar (estero de Urías, Mazatlán, Sinaloa, México) con y sin influencia del dragado. Tesis de Maestría. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Carman, R. and F. Wulff. 1989. Adsorption capacity of phosphorus in Baltic Sea sediments. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 28, 447-456.
- Carpenter, E. J., and Capone, D. G., Eds., Nitrogen in the marine environment. Academic Press. New York, 1983.
- Carta Nacional Pesquera, (2000). Diario Oficial de la Federación. 28 Agosto de 2000. Tercera sección, p. 83-91.
- Castro-Longoria, R. y J. M. Grijalva-Chon. 1991. Variabilidad espacio temporal de nutrientes y seston en la laguna de La Cruz, Son. *Ciencias Marinas*. 17(2):83-97.
- Cervantes-Duarte, R., Aguirre-Bahena, F., Reyes-Salinas, A. & J. E. Valdez-Holguín, 2001. Caracterización hidrológica de una laguna costera de Baja California Sur, México. *Oceánides*, 16(2):93-105.
- Ceseña-Célis, R. y S. Álvarez-Borrego, 1975. Distribución superficial de algunos parámetros hidrológicos físicos y químicos en el estero Punta Banda, B. C. *Ciencias Marinas*. P.98-105.
- Chávez de Nishikawa, A. y S. Álvarez-Borrego, 1974. Hidrología de la Bahía de San Quintín, Baja California en invierno y primavera. *Ciencias Marinas*. Vol. 1, No. 2, p. 31-62.
- Chee-Barragán, A., (1981). Aspectos hidrológicos en la laguna de Alvarado, Veracruz. Tesis Profesional. U. A. B. C. Ensenada, Baja California. 160 p.
- Cifuentes-Lemus, J. L., Gaxiola-López, J. (Eds), 2003. Atlas de los ecosistemas costeros de Sinaloa. El Colegio de Sinaloa. 481 p.
- Cole, J. J., Peierls, B. L., Caraco, N. F. Y Pace, M. L., 1993. Nitrogen loading of rivers as a human-driven process. En: McDonnell, M.J. y Pickett, S. T. A. (Eds). *Humans as components of ecosystems*, Springer Verlag, New York. p. 141-157.
- Conde G., J., 1991. Análisis hidrológico y de contaminación en bahía Ensenada del Pabellón-Altata, Sinaloa. Tesis profesional. Fac. de Ciencias. UNAM. 42 p.
- Conde G., J. y G. De La Lanza E., 1994. Hidrología contra contaminación en la laguna Ensenada del Pabellón, Sinaloa. *Oceanología* 1 (2): 43-59.
- Contreras-Espinoza F.,1984. Estudios hidrobiológicos en lagunas costeras. *Ciencia*. 35: 13-18.
- Contreras-Espinoza F.,1985. Las lagunas costeras mexicanas. Centro de Ecodesarrollo. México, DF. 95-98.

- Contreras-Espinoza, F. 1991. Hidrología y nutrientes en lagunas costeras. p 16-24. En: Figueroa-Torres, M. G., Álvarez-Silva, C., Esquivel-Herrera, A., y M. E. Ponce-Márquez. 1991. Serie grandes temas de la hidrobiología 1: Físicoquímica y biología de las lagunas costeras mexicanas. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Iztapalapa. 122 p.
- Contreras-Espinoza, F., 1993. Ecosistemas costeros Mexicanos. Primera Edición, 1993. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa. México DF.
- Contreras-Espinoza F. y O. Castañeda L., 1993. Contribución del nanofitoplancton en la cantidad de clorofila *a* de dos sistemas lagunares del estado de Chiapas, México. *Inv. Mar. CICIMAR* 7: 61-73.
- Contreras-Espinoza, F. y Castañeda-López, O., 2003. Los ecosistemas estuarinos del estado de Sinaloa. En: Cifuentes-Lemus, J. L. y Gaxiola-López, J. (Eds), 2003. Atlas de los ecosistemas costeros de Sinaloa. El colegio de Sinaloa. 481 p.
- Contreras-Espinoza, F., Castañeda L., García –Nagoya A. y Gutiérrez F., 1995. Nutrientes en 39 lagunas costeras mexicanas. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. Laboratorio de Ecosistemas Costeros. Num.82.
- Contreras-Espinoza F., Castañeda, L. O., Torres-Alvarado, R., y Gutiérrez, M. F. 1996. Nutrientes en 39 lagunas costeras mexicanas. *Rev. Biol. Trop.*, 44(2):417-425.
- Contreras-Espinoza F. y F. M. Gutiérrez, 1989. Temas de Oceanografía Biológica en México. Hidrología, nutrientes y productividad primaria en lagunas costeras. En: V. J. de la Rosa y F. F. González (Eds.). UABC, 1989. pp. 57-78.
- Contreras-Espinoza, F. y Zabalegui-Medina, L. M., 1991. Hidrología, nutrientes y productividad primaria en La Joya-Buenavista, Chiapas, México. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.* UNAM. 18(2): 207-215.
- Day, E., Hall, E., Kemp, B. y Yáñez-Arancibia, A. 1989. Estuarine ecology. John Wiley & Sons: New Cork, 472 p.
- De Casabianca, M-L., T. Laugier and E. Marinho-Soriano., 1997. Seasonal changes of nutrients in water and sediment in a Mediterranean lagoon with shellfish farming activity (Thau Lagoon, France). *ICES J. Mar. Sci.* 54:905-916.
- De la Lanza E. G., 1994. Química de las lagunas costeras y el litoral mexicano. En: De la Lanza E. G. y C. Cáceres-Martínez, (Eds). Lagunas costeras y el litoral mexicano. Universidad Autónoma de Baja California Sur. 523 pp.
- De la Lanza, E. G. y Arenas, V., 1986. Disponibilidad de nutrimentos a partir de materia orgánica en un sistema lagunar. *Ciencia* 37: 247-254.
- De La Lanza E., G. y F. Flores V., 1998. Nutrient fluxes in sediment ( $\text{NH}_4^+$  and  $\text{PO}_4^{-3}$ ) in N.W. coastal lagoon Mexico associated with an agroindustrial basin. *Water, Air, and Soil Pollution.* 107: 105-120.

- De La Lanza E. G. y J. L. García-Calderón. 1991a. Sistema lagunar Huizache-Caimanero, Sinaloa. Un estudio socioambiental pesquero y acuícola. *Hidrobiología* 1(1):1-35.
- De la Lanza E. G., S. Hernández, J. Conde y J. L. García-Calderón. 1991b. Hidrología y difusión de nutrientes del sedimento en drenes agroindustriales periféricos en una laguna costera al NO de México. En Memorias del IV Congreso Latinoamericano de Ciencias del Mar, Universidad Católica de Chile, 75 pp.
- Del la Lanza-Espino G. y H. Lozano-Montes. 1999. Comparación fisicoquímica de las lagunas de Alvarado y Términos. *Hidrobiológica*. 9(1): 15-30.
- De la Lanza, E. G. y M. A. Rodríguez-Medina, 1993. Caracterización de la laguna Caimanero, Sinaloa, México a través de algunas variables geoquímicas. *Ciencias Marinas* 16(3):27-44.
- De La Lanza E. G., Rodríguez-Penié, I. y S. Hernández-Pulido. 2004. Variación espacio temporal del fósforo y el efecto de las corrientes locales en su distribución en la Bahía de Petacalco, Guerrero, México. *Ciencias Marinas*. 30(2):311-322.
- Del Rio-Chuljak, A., 2003. Concentración y aporte de nutrientes en el Estero de Urías (Puerto de Mazatlán): tiempo de residencia y variabilidad estacional. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias del Mar. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Díaz, R. and R. Rosenberg. 1995. Marine benthic hypoxia: a review of its ecological effects and the behavioral responses of benthic macrofauna. *Oceanography and Marine Biology Annual Review*. 33:245-303.
- Escobedo-Urías, D., M. T. Hernández-Real, N. Herrera-Moreno y Y. Chiquete, 1999. Calidad bacteriológica del Sistema Lagunar de San Ignacio Navachiste, Sinaloa. Revista Ciencia y Mar. Universidad del Mar, Oaxaca. Vol. III. 9: 17-27.
- Escobedo-Urías, D., M. T. Hernández-Real, N. Herrera-Moreno y A. E. Ulloa-Pérez. 2005. Variabilidad espacio temporal de la concentración de nutrientes y estado trófico de la Bahía El Colorado Ahome, Sin. *X Congreso y IV Simposium Internacional sobre el Mar de Cortes, A. C.* 2005.
- Escobedo-Urías, D., Martínez-López, A., Reyes-Salinas, A., Hernández-Real, M.T., Ulloa-Pérez, A. E. & Herrera-Moreno, M. N., 2000. Ecología del fitoplancton en la Laguna de Navachiste, Sinaloa. Programa y *Resúmenes. XII Congreso Nacional de Oceanografía, Huatulco, Oaxaca*. Instituto Nacional de Pesca.
- Espinoza-Carreón, T. L., Gaxiola-Castro, G., Robles-Pacheco, J. M. Y S. Nájera-Martínez. 2001. Temperatura, salinidad, nutrientes y clorofila a en aguas costeras de la Ensenada del sur de California. *Ciencias Marinas*. 27(3):397-422.

- Flores-Verdugo, F., F. González-Farías, O. Ramírez-Flores, F. Amezcua-Linares, A. Yáñez-Arancibia, M. Álvarez-Rubio, J.W. Day. 1990. Mangrove Ecology, Aquatic Primary Productivity and Fish Community Dynamics in the Teacapán-Agua Brava Lagoon-Estuarine System (Mexican Pacific). *Estuaries*. 13:219–230.
- Flores-Verdugo, F. J., Calvario-Martínez, O. y M. A., Cárdenas-Cárdenas. 1993. Distribución geográfica y algunas características ambientales de los humedales de Nayarit y Sinaloa. Humedales costeros de México. Vol. 1, No. 1, pp. 11-16.
- Frías-Espéricueta, M. G., Harfush-Meléndez, M. y F. Páez-Osuna. 2000. Effects of ammonia on mortality and feeding of postlarvae shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 65:98-103.
- Gabric, A. J. y Bell, P. R. F. (1993) Review of the effects of nonpoint nutrient loading on coastal ecosystems. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research* 44, 261-283.
- Galloway, J.N., Schlesinger, W.H., Levy, H. II, Michaels, A, Schnoor, J.L., 1995. Nitrogen fixation: anthropogenic enhancement environmental response. *Global Biogeochemical Cycles*. 9, 235-252.
- Garay-Morán, R., 2002. Presupuesto global de la carga de nutrientes que reciben los sistemas lagunares costeros de Sinaloa, como herramienta para la gestión ambiental costera. Tesis de Maestría. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México.
- García-Ballesteros, M. G. y M. Larroque. 1974. Elementos sobre la distribución de la turbidez en el alto Golfo de California. *Ciencias Marinas*. Vol. 1, No. 2, p. 31-62.
- Gilmartin, M. y N. Revelante. 1978. The phytoplankton characteristics of the Barrier Island Lagoon of the Gulf of California. *Estuarine and Coastal Marine Science*. Vol. 7, No. 1, p. 29-48.
- Gobierno del Estado de Sinaloa, 1991. <http://www.sinaloa.gob.mx/Portal/litoral.htm>
- Goldman, J. C. 1976. Identification of nitrogen as a growth-limiting nutrient in wastewaters and coastal marine waters through continuous culture algal assay. *Water Research* 10:97-104.
- Gómez-Aguirre, S. 1965. Comportamiento estacional del plancton en la laguna de Términos, Campeche, México (Resultados preliminares). Tesis de Licenciatura. UNAM-Facultad de Ciencias. 106 p.
- Gomoui, M., 1992. Marine eutrophication syndrome in the north-western part of the Black Sea. In *Marine Coastal Eutrophication*, eds. R. A. Vollenweider, R. Marchetti and R. Viviani, pp. 683-696. Elsevier, Amsterdam.
- González-Farías, F., Hernández-Garza, M. y F. Flores-Verdugo. 1986. Variación espacial de la materia orgánica y su biodegradación en la laguna Agua Brava, Nayarit. En: Flores-Verdugo, F. (coord.) *Ecología de los manglares y perfil de las comunidades en los sistemas lagunares Agua Brava y Marismas Nacionales, Nayarit. Informe Técnico, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología*. Clave PCECBNA-022068, 355p.
- Grasshoff, K., Ehrhardt, M. y Kremling, K., 1983. *Methods of Seawater Analysis*. Second Edition. Verlag Chemie GmbH. Federal Republic of Germany. 419 p.

- Green–Ruiz, C. R., 2000. Geoquímica de metales pesados y mineralogía de la fracción arcillosa de los sedimentos de 4 puertos del Golfo de California. Tesis Doctoral. UACP y P-CCH-ICML. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Groen, P. 1969. Physical hydrology of coastal lagoons. 275-280. En: Ayala-Castañares, A. y F. B. Phleger (Eds). *Lagunas Costeras, Un Simposio. Memoria del Simposio Internacional de Lagunas Costeras, UNAM-UNESCO, México, D. F., del 28 al 30 de Noviembre de 1967.*
- Harris, G. P. 1986. Phytoplankton ecology: structure, function and fluctuation. Chapman and Hall Ltd., London. En: Turner, E. R., Rabalais, N. N., Justic´D. y Q. Dortch. 2003. Future aquatic nutrient limitations. *Marine Pollution Bulletin* 46:1032-1034.
- Hernández Real, M. y D. Escobedo Urías. (1996). Calidad del agua del sistema lagunar de Topolobampo, Sinaloa. Periodo 1987-1995. Informe Técnico. Estac. Ocean. Del Pacifico Centro. *Sria. de Marina. DIGONAV.* p 22 .
- Hernández R., M. T. y Fierro M., A. J., 1994. Estado actual de contaminación costera del norte de Sinaloa. *Res. V Cong. de la Asoc. de Investigadores del Mar de Cortés, A. C.*
- Herrera-Silviera, J. A., 1994. Spatial heterogeneity and seasonal patterns in a tropical coastal lagoon. *Journal of Coastal Research* 10 (3): 738-746.
- Hodgkiss, I. J. & K. C. Ho. 1997. Are changes in N:P ratios in coastal waters the key to increased red tide blooms? *Hydrobiologia* 352:141-147.
- Holm-Hansen, O., 1978. Chlorophyll a determination: improvements in methodology. Scripps Institution of Oceanography, University of California, La Jolla, CA. Riemannn, Botanical Institute, 68, Nordlandsvej, DK-82:40 Risskov, Denmark.
- Howarth R. W. 1988. Nutrient limitation of net primary production in marine ecosystems. *Annual Reviews in Ecology* 19:89-110.
- Ibarguen-Zamudio, J.( ). Composición, Abundancia y variación de las comunidades fitoplanctónicas de las lagunas costeras del estado de Sinaloa, México. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias del Mar, UAS.
- Informe Técnico de la Secretaría de Marina, Estación Topolobampo. 1997
- Instituto Nacional de Ecología, 2000. La calidad del agua en los ecosistemas costeros de México. INE/SEMARNAP, 407 p.
- Justic´, D., Logovic, T. y Rottini, S., (1987). Trend in oxygen content 1911-1984 and occurrence of bentic mortality in the northern Adriatic Sea. *Estuarine and Coastal Shelf-Science* 25, 435-445.
- Justic´, D., Rabalais, N. N., Turner, R. E. y Q. Dortch. 1995. Changes in nutrient structure of River-dominated coastal waters, stoichiometric nutrient balance and its consequences. *Estuarine and Coastal Shelf Science* 40: 339-356.

- Justic, D., Rabalais, N. N., y Turner, E., 1995. Stoichiometric nutrient balance and origin of coastal eutrophication. *Marine Pollution Bulletin*. 30(1): 41-46.
- Kennish, M. J., 1986. Ecology of Estuaries. Physical and Chemical Aspects. CRC Press. Boca Raton, Florida, 254 pp.
- Kennish, M. J., 1992. Ecology of Estuaries: Anthropogenic effects. CRC Press, Boca Raton, Florida. 494 p.
- Kiddon, J. A., Paul, J.F., Buffum, H. W., Strobel, C. S., Hale, S. S., Cobb, D. Y Brown, B. S., 2003. Ecological condition of US Mid-Atlantic estuaries, 1997-1998. *Marine Pollution Bulletin* 46(2003) 1224-1244.
- Kontas, A., Kucuksezgin, F., Altay, O. y Uluturhan, E., 2003. Monitoring of eutrophication and nutrient limitation in the Izmir Bay (Turkey) before and after Wastewater Treatment Plant. *Environmental International*, (in press).
- Kress, N., Leon-Coto, S., Brenes, C. L., Brenner, S., Arroyo, G. 2002. Horizontal transport and seasonal distribution of nutrients, dissolved oxygen and chlorophyll a in the Gulf of Nicoya, Costa Rica: a tropical estuary Continental Shelf Research. Vol. 22, pp. 51-66.
- Lankford, R. R., 1977. Coastal Lagoons of México. Their origin and classification. En: Wiley, M. (Ed) Estuarine Processes. Academic Press, New York 2: 182-215.
- Lara-Lara J. R. y S. Álvarez-Borrego. 1975. Ciclo anual de clorofilas y producción orgánica primaria en Bahía San Quintín, B. C. *Ciencias Marinas*. Vol.2, No.1. p. 77-97.
- Lara-Lara J. R. y C. Bazán-Guzmán. 2005. Distribución de clorofila y producción primaria por clases de tamaños en la costa del Pacífico mexicano. *Ciencias Marinas*. 31 (1A):11-21.
- Lechuga, C. D. 1977. La producción orgánica primaria en la Ensenada de la Paz, Baja California, Sur. Resultados de las Investigaciones. CIB. p. 47-89.
- Li, M., A. Gargett, and K. Denman. 2000. What determines seasonal and interannual variability of phytoplankton and zooplankton in strongly estuarine systems? Application to the semi-enclosed estuary of Strait of Georgia and Juan de Fuca Strait. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 50:467-488.
- Libes, S. M., 1992. An introduction to marine biogeochemistry. John Willey & Sons: New York. 734 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. *Oceanides*. 15(1): 1-23.
- López-Ruelas, J., 1985. Hidrología del sistema lagunar de Topolobampo, Sinaloa. Tesis profesional. UABC. 66 p.
- Lozano-Montes, H. 1993. Comparación hidrológica entre la laguna de Alvarado, Veracruz y Términos, Campeche durante el ciclo anual de 1987. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM.

- Magaña-Álvarez, Manolo. 2004. Distribución de nutrientes y su efecto en el nivel trófico de la Laguna Macapule, Sinaloa. Tesis de Maestría. IPN-CIIDIR Unidad Sinaloa. 105 p.
- Mancilla, P. M. y G. M. Martínez G., 1991. Variación estacional de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto en la bahía de Todos Santos, B. C., México (marzo 1986 a junio 1987). *Rev. Inv. Cient.* 2 (2): 33-45.
- Martínez-López, A., Escobedo-Urías, D., Ayala-Rodríguez, G., Ulloa-Pérez, E., Zavala-Norzagaray, A., Herrera-Moreno, H. y R. Palomares-García. Fitoplancton del sistema lagunar Santa-María-Topolobampo-Ohuira durante invierno-primavera del 2004-2005. *X Congreso y IV Simposium Internacional sobre el Mar de Cortes, A. C.* 2005.
- Mee, L.D., 1977. Coastal lagoons. In: Riley and Chester. (Eds.). *Chemical Oceanography*. pp. 441-490.
- Millán-Núñez, R. 1981. Variabilidad espacial y temporal de nutrientes y fitoplancton en una laguna costera, a finales de verano. *Ciencias Marinas*. 7(1):103-128.
- Millán-Núñez, R. y S. Álvarez-Borrego. 1978. Series de tiempo de clorofilas a, b, c y sus feofitinas en las bocas de 2 lagunas costeras. *Ciencias Marinas*. 5(2):41-52.
- Millán-Núñez, R., Álvarez-Borrego, S. Y D. M. Nelson. 1982. Effects of physical phenomena on the distribution of nutrients and phytoplankton productivity in a coastal lagoon. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. 15:317-355.
- Monbet, Y. 1992. Control of phytoplankton biomass in estuaries: a comparative analysis of microtidal and macrotidal estuaries. *Estuaries* 15:563-571.
- Morán-Silva, A., Martínez-Franco, L. A., Chávez-López, R., Franco-López, J., Bedia-Sánchez, M. Contreras-Espinoza, F., Gutiérrez-Mendieta, F., Brown-Peterson, N. J. Y M. S. Peterson, 2005. Seasonal and spatial patterns in salinity, nutrients and chlorophyll a in the Alvarado Lagoonal System, Veracruz, Mexico. *Gulf and Caribbean Research*. 17:133-143.
- Morales-Soto, J. C., Valdez-Holguín, J. E. Y R. Cervantes-Duarte, 2000. Cambio diario estacional de la clorofila *a* y algunas variables fisicoquímicas en la laguna de La Cruz, Sonora, México. *Oceánides*, 15(1): 25-33.
- Morales-Zúñiga, C. (1977). Variaciones estacionales de la temperatura en la Bahía de Todos Santos, B. C. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Marinas. U. A. B. C., p. 55.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 1998. NOAA'S Estuarine Eutrophication Survey, Vol. 5: Pacific Coast Region. Silver Spring, MD: Office of Ocean Resources Conservation and Assessment. 75 p.
- Newton, A., Icely, J. D. Falcao, M., Nobre, A., Nunes, J. P., Ferreira, J. G. y C. Vale. 2003. Evaluation of eutrophication in Ria Formosa lagoon, Portugal. *Continental Shelf Research*, Vol. 23, pp. 1945-1961.

- Nixon, S. W., 1995. Coastal marine eutrophication: a definition, social causes, and future concerns. *Ophelia*. 41:199-229.
- Norma Oficial Mexicana. Criterios de calidad de agua. NOM-001-ECOL-006. Publicado en el *Diario Oficial de la Federación*. 13 de diciembre de 1989.
- Norma Oficial Mexicana. Criterios ecológicos de calidad de agua. CE-CCA-001/89. Publicado en el *Diario Oficial de la Federación*. 2 de diciembre de 1989.
- Núñez-Pasten, A. 1973. Hidrología del sistema Teacapán-Agua Brava, en la planicie costera de los estados de Sinaloa y Nayarit, México. Tesis Profesional. Escuela de Biología. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 38 p.
- NRC (National Research Council), 2000. Clean Coastal Waters: Understanding the effects of nutrient pollution. National Research Council, Committee on the Causes and Management of Eutrophication, Ocean Studies Board, Water Science and Technology Board. Washington, DC. p. 428.
- Ochoa-Macchetto, L. M., 1987. Estudio de la evaluación de la calidad del agua de la Bahía de Guaymas, Sonora. Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey-Campus Guaymas, Sonora, México.
- Ochoa-Izaguirre, M. J., 1999. Composición y distribución de macroalgas en el sistema lagunar de Urias (Mazatlán, Sinaloa, México): variación estacional de la biomasa en relación con la disponibilidad de nutrientes y algunos factores ambientales. Tesis de Maestría. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Officer, C. B. & J. H. Rither. 1980. The possible importance of silicon in marine eutrophication. *Marine Ecology Progress Series* 3:1246-1252.
- Olausson, E. y I. Cato, eds. 1980. Chemistry and geochemistry of estuaries. Wiley& Sons, New York. 450 p.
- Ortega-Salas, A. A. y Stephenson, R. R., 1976. Some aspects of the hydrography and hydrochemistry of the Yavaros and Huizache-Caimanero Lagoon Complex in North-West México. Universidad Nacional Autónoma de México. Informe del Centro de Ciencias del Mar y Limnología.
- Paerl, H. W., Dennis, R. L., Whittall, D. R., 2002. Atmospheric deposition of nitrogen: implication for nutrient overenrichment of coastal waters. *Estuaries*. 25, 677-693.
- Páez-Osuna, F., Guerrero-Galvan, S. R., Ruiz-Fernandez, A. C. y Espinoza-Angulo, R., (1997) Fluxes and balances of nutrients in a semi-intensive shrimp farming North-Western Mexico. *Marine Pollution Bulletin* 34: 290-297.
- Páez-Osuna, F. y Ruiz-Fernández, A. C., 2001. La calidad del agua en la camaronicultura: conceptos, manejo y normatividad. En: Camaronicultura y Medio Ambiente. Páez-Osuna, F. (editor). UNAM y El Colegio de Sinaloa. 448 p.



- Páez-Osuna, F., Guerrero-Galván, S. R. y Ruiz-Fernández, A. C., 1999. Discharge of nutrients from shrimp farming to coastal waters of the Gulf of California. *Marine Pollution Bulletin* 38: 585-592.
- Peraza-Vizcarra, R. 1973. Características hidrográficas y distribución de los sedimentos en el sistema estuarino Bahía de Altata-Ensenada del Pabellón, Sin. Tesis Profesional. U. A. B. C. Escuela Superior de Ciencias Marinas. 64 p.
- Perkins, E. J. 1974. The Biology of estuaries and coastal waters. Academic Press. New York. 678 p. En: Contreras, E. F., 1985. Las lagunas costeras mexicanas. Centro de Ecodesarrollo. México, DF. 95-98.
- Phillips, D. J. & S. Tanabe. 1989. Aquatic pollution in the far East. *Marine Pollution Bulletin*. 20:297-303.
- Presley, B. J. & J. H. Trefy. 1980. Sediment water interaction and geochemistry of interstitial waters. In: Chemistry, Geochemistry of Estuaries. Olausson E. & I. Cato (Eds). Chichester J. Wiley. P. 187-232.
- Priego-Martínez, B. C. 1985. Contribución al conocimiento de la composición fitoplanctónica del estero de Uriás y la bahía de Mazatlán, Sinaloa. Tesis profesional. Universidad Autónoma de Guadalajara, Escuela de Biología. 62 p. En: Camaronicultura y Medio Ambiente. Páez-Osuna, F. (editor). UNAM y El Colegio de Sinaloa. 448 p.
- Redfield, A. C. 1958. The biological control of chemical factors in the environment. *American Scientist* 46:205-222.
- Riley, J.P. & Skirrow, G., editor. 1975. Chemical Oceanography. 2nd ed. Academic Press. London. 674 p.
- Rither, J. H. y Dunstand, W. M., 1971. Nitrogen, Phosphorus, and eutrophication in the coastal marine environment. *Science*, 171, 1008.
- Robles, J. M. y S. G. Marinote (1987). Seasonal and interannual thermohaline variability in the Guaymas Basin in the Gulf of California. *Cont. Shelf. Res.* 7:715-733.
- Rosales-Hoz, M. T. L., 1980. Manual de laboratorio de Oceanografía Química. CCMYL. Universidad Autónoma de México. México DF. 203 p.
- Schindler, D. W. 1977. Evolution of phosphorus limitation in lakes. *Science* 195:260-262.
- Secretaría de Marina, Dirección General de Oceanografía Naval, Estación de Investigación Oceanográfica Topolobampo, Sin. 1987. Estado actual de la contaminación por plaguicidas y metales pesados en la Bahía de Altata y Ensenada del Pabellón, Sinaloa, México.
- Secretaría de Marina, Dirección General de Oceanografía Naval, Estación de Investigación Oceanográfica Topolobampo, Sin. 1990. Observaciones de corrientes superficiales obtenidas mediante el método eleuriano y distribución de temperatura y salinidad en el sistema lagunar de Topolobampo, Sin.
- Serrano, D. Y E. Ramírez-Félix, (2003). Implementación de un modelo hidrodinámico en el sistema lagunar de Santa María La Reforma, Sinaloa. *Journal INPescA*, Vol. I, p. 33-39.
- Seitzinger, S. and C. Kroeze, 1998. Global distribution of nitrous oxide production and N inputs in freshwater and coastal marine ecosystems. *Global Biogeochemical Cycles*, 12:93-113.

- Sierra, J. P., Sánchez-Arcilla, A., González Del Río, J., Flos, J. Movellán, E., Mosso, C., Martínez, R., Rodilla, M., Falco, S. Y I. Romero, 2002. Spatial distribution of nutrients in the Ebro estuary and plume. *Continental Research*. 22: 361-378.
- Sigala-Morales, R., 1994. Distribución superficial de algunas variables fisicoquímicas y clorofila *a* en el sistema lagunar de Topolobampo, Sinaloa. *Res. V Congr. de la Asoc. de Investigadores del Mar de Cortés, A. C.* 104.
- Sfriso A. and A. Marcomini, 1997. Macrophyte Production in a Shallow Coastal Lagoon. Part I: Coupling with Chemical-Physical Parameters and Nutrient Concentrations in Waters. *Marine Environmental Research*, 44(4):351–375.
- Shumway, S.E, 1990. A review of the effects of algal blooms on shellfish and aquaculture. *Journal of the World Aquaculture Society* 21(2):65.
- Smith, S. V. 1984. Phosphorus versus nitrogen limitation in marine environment. *Limnology and Oceanography* 29:1149-1160.
- Smith, VH, GD Tilman, JC Nekola. 1999. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution*. 100:179-196.
- Solórzano, L., 1969. Determination of ammonia in natural waters by phenol-hypoclorite method. *Limnology and Oceanography*. 789 p.
- Soto-Balderas, M. G. y S. Álvarez-Borrego, 1991. Nutrientes inorgánicos en los canales de inundación de las marismas de una lagunas costera del noroeste de Baja California. *Ciencias Marinas* 17(3):1-20.
- Souza-Marcelo F. L., Björn-Kjerfve, Bastiaan-Knoppers, Weber F., Landim de Souza and Raimundo N. Damasceno, 2003. Nutrient budgets and trophic state in a hypersaline coastal lagoon: Lagoa de Araruama, Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 57(5-6):843-858.
- SRH (Secretaría de Recursos Hidráulicos), Plan Nayarit. 1971. Resultados finales de la Hidrología, plancton y fauna ictiológica en el sistema Teacapán-Agua Brava (Oct. 1970-Jun. 1971) Instituto de Biología de la UNAM. México DF, 1971.
- SRH y Consultores y Contratistas en Oceanografía S.A. 1971. Estudio Topobatimétrico de la Bahía de Santa María (La Reforma), Sin. (Primer Inf. Parcial). México DF, Dic. 1-1971.
- Strickland J. D. H. y Parsons, 1972. A Practical Handbook of Seawater Analysis. 311 pp.
- Tovilla-Hernández, C., G. de la Lanza. 2001. Balance hidrológico y de nutrientes en un humedal costero del Pacífico Sur de México. *Hidrobiológica* 11:133-140.
- Uncles, R. J., Howland, R. J. M., Easton, A. E., Griffiths, M. L., Harris, C. King, R. S., Morris, A. W., Plummer, D. H. y E. M. S. Woodward. 1998. Seasonal variability of dissolved nutrients in the Humber-Ousse Estuary, UK. *Marine Pollution Bulletin*. Vol. 37, Nos. 3-7, pp. 234-246.
- U.S. EPA. 2000a. Nutrient Criteria Technical Guidance Manual: Lakes and Reservoirs, First Edition. Office of Water, Office of Science and Technology, Washington, DC. EPA-822-B00-001

- U.S. EPA. 2000b. Nutrient Criteria Technical Guidance Manual: Rivers and Streams. Office of Water, Office of Science and Technology, Washington, DC. EPA-822-B-00-002.
- Valdez-Holguín, J. E. 1994. Variaciones diarias de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y clorofila a, en una laguna hipersalina del Golfo de California. *Ciencias Marinas*. Vol. 20, No.2, p. 123-137.
- Valiela, I. 1995. Marine Ecological Processes. Springer-Verlag New York, Inc., 686 p.
- Valiela, I., McClelland, J., Hauxwell, J., Behr, P.J., Hersh, D., Foreman, K., 1997. Macroalgal blooms in shallow estuaries: controls and ecophysiological and ecosystem consequences. *Limnology and Oceanography*. 42, 1105-1118.
- Vázquez-Botello, A., Ponce-Vélez, G., Villanueva-Fragoso, S. y Rueda-Quintana, L., 1994. Contaminación. 445-470. En: De la Lanza E. G. y C. Cáceres-Martínez, (Eds). Lagunas costeras y el litoral mexicano. Universidad Autónoma de Baja California Sur. 523 pp.
- Venberg, F. S., 1972. Dissolved gases. In Kinne, O. (Ed), Marine Ecology, Vol. 1, part 3. Wiley-Interscience, New York, pp. 1491-1526.
- Vitousek, P. M., J. D. Aber, R. W. Howarth, G. E. Likens, P. A. Matson, D. W. Schindler, W. H. Schelesinger, and D. G. Tilman. 1997b. Human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences. *Ecological Applications* 7:737-750.
- Vitousek, P.M., Mooney, H.A., Lubchenko, J., Melillo, J.M., 1997a. Human domination of Earth's ecosystems. *Science* 277, 494±499.
- Vollenweider, R. A., 1992. Coastal marine eutrophication: principles and control. En Vollenweider, R. A., Marchetti, R. y Viviani, R. (Eds). Marine coastal eutrophication. Elsevier. The Netherlands. 1-20.
- Wickstead, J. H. *Zooplankton marino*. Ediciones Omega, Barcelona, 1979.
- Wu, R. S. S., 1988. Red Tide hits Hong Kong. *Marine Pollution Bulletin* 19, 305.
- Zar, J. H. 1984. Biostatistical análisis. 2º. Ed. New Jersey, Prentice Hall. 718 p.
- Zazueta P. H., Frías, E. M., Osuna L. I., López L. G., Izaguirre, F. G. y Ortiz De L. R., 1996. Hidrología del sistema estuarino estero del Infiernillo-Arroyo Jabalines: Amonio, Nitrito, Nitrato y Fosfato. *Res. X Congreso Nacional de Oceanografía*, Manzanillo, Col. Noviembre de 1996.

# **ANEXOS**

# **ANEXO IA**

Tabla 14. Comparación de las variables fisicoquímicas y especies nitrogenadas por periodo de muestreo en las lagunas costeras estudiadas.

	T (°C)	S (ups)	OD (mg/L)	Cl a (mg/m <sup>3</sup> )	SST (mg/L)	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (μM)	N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (μM)	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (μM)	NID (μM)	Nt (μM)
<b>OHU</b>										
SC	-	37.7 ± 1.6 <sup>a</sup>	5.6 ± 0.7 <sup>a</sup>	1.2 ± 1.3 <sup>a</sup>	12.0 ± 25.0 <sup>a</sup>	8.6 ± 5.5 <sup>a</sup>	0.05 ± 0.02 <sup>a</sup>	1.0 ± 0.4 <sup>b</sup>	10.0 ± 5.2 <sup>a</sup>	51.0 ± 14.6 <sup>a</sup>
LL	32.2 ± 0.7 <sup>a</sup>	38.9 ± 1.1 <sup>b</sup>	5.3 ± 0.6 <sup>a</sup>	1.6 ± 2.3 <sup>b</sup>	13.1 ± 28.6 <sup>a</sup>	22.8 ± 10.1 <sup>c</sup>	0.06 ± 0.05 <sup>a</sup>	1.0 ± 0.2 <sup>b</sup>	23.7 ± 10.0 <sup>c</sup>	47.7 ± 4.6 <sup>a</sup>
SF	23.3 ± 1.1 <sup>b</sup>	37.0 ± 2.4 <sup>c</sup>	8.5 ± 1.9 <sup>b</sup>	0.9 ± 2.3 <sup>a</sup>	29.8 ± 17.3 <sup>b</sup>	14.0 ± 5.6 <sup>c</sup>	0.13 ± 0.93 <sup>b</sup>	0.6 ± 2.4 <sup>a</sup>	14.9 ± 7.6 <sup>b</sup>	117.2 ± 9.9 <sup>b</sup>
<b>NSI</b>										
SC	-	36.6 ± 2.3	5.1 ± 1.0 <sup>a</sup>	0.7 ± 0.5	28.03 ± 50.8	4.6 ± 4.9 <sup>a</sup>	0.04 ± 0.2 <sup>a</sup>	0.9 ± 0.4 <sup>a</sup>	6.0 ± 5.2 <sup>a</sup>	31.5 ± 8.3 <sup>a</sup>
LL	32.4 ± 0.6 <sup>a</sup>	37.2 ± 1.0	5.3 ± 0.7 <sup>a</sup>	0.2 ± 0.9	29.4 ± 75.8	9.7 ± 13.6 <sup>ab</sup>	0.05 ± 0.07 <sup>a</sup>	0.9 ± 1.0 <sup>a</sup>	10.7 ± 13.6 <sup>c</sup>	36.2 ± 15.1 <sup>b</sup>
SF	22.4 ± 1.3 <sup>b</sup>	39.4 ± 1.4	8.4 ± 0.6 <sup>b</sup>	0.6 ± 0.8	29.8 ± 68.8	16.4 ± 8.2 <sup>b</sup>	0.1 ± 0.64 <sup>b</sup>	1.0 ± 20.7 <sup>a</sup>	17.4 ± 26.5 <sup>b</sup>	70.6 ± 29.7 <sup>c</sup>
<b>SMR</b>										
SC	30.7 ± 0.8 <sup>a</sup>	35.1 ± 1.8 <sup>b</sup>	6.0 ± 1.2 <sup>a</sup>	0.8 ± 1.2 <sup>b</sup>	19.5 ± 12.3 <sup>a</sup>	6.8 ± 11.8 <sup>c</sup>	0.1 ± 0.1 <sup>a</sup>	1.5 ± 0.4	8.3 ± 11.7 <sup>b</sup>	103.3 ± 103.2 <sup>b</sup>
LL	30.3 ± 0.7 <sup>b</sup>	34.7 ± 0.8 <sup>ab</sup>	6.6 ± 1.5 <sup>b</sup>	0.4 ± 0.9 <sup>a</sup>	35.5 ± 27.1 <sup>b</sup>	6.6 ± 2.0 <sup>b</sup>	0.2 ± 0.3 <sup>b</sup>	1.4 ± 0.9	8.4 ± 2.5 <sup>c</sup>	54.2 ± 5.7 <sup>b</sup>
SF	22.0 ± 1.0 <sup>c</sup>	34.3 ± 1.5 <sup>a</sup>	8.7 ± 0.9 <sup>c</sup>	1.1 ± 1.2 <sup>b</sup>	17.9 ± 18.6 <sup>a</sup>	1.9 ± 7.2 <sup>a</sup>	0.2 ± 1.2 <sup>b</sup>	1.3 ± 6.5	3.2 ± 14.6 <sup>a</sup>	11.0 ± 25.5 <sup>a</sup>
<b>AEP</b>										
SC	29.7 ± 1.4 <sup>a</sup>	32.8 ± 0.9	5.9 ± 0.7 <sup>a</sup>	4.2 ± 2.4 <sup>c</sup>	29.4 ± 209.1	6.2 ± 10.8 <sup>b</sup>	0.08 ± 0.06 <sup>a</sup>	1.3 ± 0.4 <sup>b</sup>	7.6 ± 11.0 <sup>b</sup>	13.6 ± 8.8 <sup>a</sup>
LL	29.4 ± 0.5 <sup>b</sup>	32.2 ± 1.9	6.7 ± 0.8 <sup>b</sup>	1.7 ± 2.0 <sup>b</sup>	32.5 ± 19.7	1.6 ± 0.3 <sup>a</sup>	0.06 ± 0.1 <sup>ab</sup>	0.3 ± 0.2 <sup>a</sup>	2.1 ± 0.5 <sup>a</sup>	38.1 ± 3.3 <sup>b</sup>
SF	23.7 ± 2.5 <sup>c</sup>	31.8 ± 3.4	8.1 ± 0.8 <sup>c</sup>	0.4 ± 0.6 <sup>a</sup>	31.9 ± 129.8	12.5 ± 4.4 <sup>c</sup>	0.08 ± 0.1 <sup>b</sup>	2.3 ± 2.4 <sup>c</sup>	15.1 ± 4.8 <sup>c</sup>	22.0 ± 8.5 <sup>c</sup>
<b>CEU</b>										
SC	28.5 ± 1.4 <sup>a</sup>	35.6 ± 8.4 <sup>c</sup>	8.7 ± 1.5 <sup>c</sup>	2.8 ± 1.9 <sup>b</sup>	8.1 ± 26.4 <sup>a</sup>	8.1 ± 7.7	0.2 ± 0.6 <sup>b</sup>	1.0 ± 8.1 <sup>a</sup>	9.3 ± 13.6 <sup>a</sup>	15.0 ± 11.8 <sup>a</sup>
LL	28.1 ± 0.8 <sup>a</sup>	26.2 ± 6.8 <sup>a</sup>	6.2 ± 0.9 <sup>b</sup>	1.4 ± 1.2 <sup>ab</sup>	49.2 ± 42.6 <sup>b</sup>	10.2 ± 8.4	0.9 ± 0.9 <sup>c</sup>	7.1 ± 8.7 <sup>c</sup>	16.3 ± 16.3 <sup>b</sup>	64.1 ± 27.3 <sup>c</sup>
SF	23.9 ± 1.6 <sup>b</sup>	31.6 ± 3.4 <sup>b</sup>	7.2 ± 0.9 <sup>b</sup>	1.1 ± 1.1 <sup>a</sup>	50.6 ± 67.7 <sup>b</sup>	7.7 ± 4.2	0.1 ± 0.5 <sup>a</sup>	1.5 ± 2.7 <sup>b</sup>	8.9 ± 5.8 <sup>a</sup>	22.9 ± 7.3 <sup>b</sup>
<b>TEA</b>										
SC	32.3 ± 1.0 <sup>a</sup>	43.5 ± 5.0 <sup>c</sup>	3.4 ± 1.2 <sup>a</sup>	2.7 ± 2.0 <sup>b</sup>	14.7 ± 10.3	5.1 ± 4.3 <sup>a</sup>	0.04 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.5 ± 0.1 <sup>a</sup>	5.8 ± 4.3 <sup>a</sup>	31.4 ± 9.4 <sup>a</sup>
LL	31.5 ± 0.4 <sup>b</sup>	19.7 ± 7.6 <sup>a</sup>	4.6 ± 2.6 <sup>b</sup>	1.1 ± 0.8 <sup>a</sup>	19.3 ± 7.9	21.3 ± 8.3 <sup>c</sup>	5.5 ± 3.5 <sup>b</sup>	0.7 ± 22.4 <sup>a</sup>	29.5 ± 23.3 <sup>c</sup>	101.5 ± 13.5 <sup>c</sup>
SF	25.7 ± 0.5 <sup>c</sup>	36.3 ± 1.4 <sup>b</sup>	5.7 ± 1.2 <sup>b</sup>	1.3 ± 2.3 <sup>a</sup>	19.5 ± 17.9	14.4 ± 6.3 <sup>b</sup>	0.4 ± 0.2 <sup>c</sup>	2.2 ± 1.0 <sup>b</sup>	17.2 ± 7.1 <sup>b</sup>	82.8 ± 15.2 <sup>b</sup>

\* Letras diferentes como exponentes en cada parámetro por época climática para cada una de las lagunas indican diferencias significativas.

Tabla 15. Comparación de las variables fisicoquímicas y especies nitrogenadas en las lagunas costeras estudiadas.

	T (°C)	S (ups)	OD (mg/L)	CL <i>a</i> (mg/m <sup>3</sup> )	SST (mg/L)
<b>OHU</b>	25.7 ± 4.5	37.9 ± 2.0	6.0 ± 2.0	6.0 ± 2.1	18.4 ± 23.9
<b>NSI</b>	28.6 ± 5.1	38.1 ± 1.9	5.6 ± 1.7	0.4 ± 0.7	30.3 ± 66.3
<b>SMR</b>	30.1 ± 4.1	34.5 ± 1.5	7.2 ± 1.6	0.6 ± 1.1	19.6 ± 22.0
<b>AEP</b>	29.1 ± 3.6	32.7 ± 2.4	6.6 ± 1.2	1.6 ± 2.4	29.4 ± 143.3
<b>CEU</b>	27.5 ± 2.2	30.0 ± 7.1	7.0 ± 1.5	1.3 ± 1.4	37.3 ± 52.0
<b>TEA</b>	31.3 ± 3.1	35.8 ± 10.5	5.1 ± 2.0	1.3 ± 2.0	16.4 ± 12.7

	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (μM)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (μM)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (μM)	NID (μM)	Nt (μM)
<b>OHU</b>	13.7 ± 9.1	0.07 ± 0.5	0.9 ± 1.4	14.8 ± 9.5	51.4 ± 34.6
<b>NSI</b>	10.6 ± 10.8	0.06 ± 0.4	0.9 ± 12.4	11.2 ± 187.9	40.8 ± 25.1
<b>SMR</b>	4.4 ± 8.2	0.1 ± 0.7	1.3 ± 3.8	6.1 ± 10.9	47.8 ± 72.6
<b>AEP</b>	4.5 ± 8.1	0.06 ± 0.09	1.2 ± 1.7	6.0 ± 8.8	23.3 ± 11.6
<b>CEU</b>	7.6 ± 7.2	0.3 ± 0.9	1.3 ± 7.8	10.6 ± 14.1	30.2 ± 30.6
<b>TEA</b>	13.7 ± 8.8	0.4 ± 3.0	0.7 ± 12.9	15.4 ± 17.3	73.7 ± 32.6

Tabla 16. Intervalos de concentración de variables hidrológicas y especies nitrogenadas en lagunas costeras mexicanas.

Laguna	S (ups)	T (°C)	OD (mL/L)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (µg-at/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (µg-at/L)	NO <sub>2</sub> + NO <sub>3</sub> (µg-at/L)	Nt (µg-at/L)	Referencia
Laguna madre. Tamps.	40.5 - 45.3	15.6 - 27.1	4.49 - 6.27	4.36 - 7.2		1.59 - 3.6	7.55 - 8.82	Contreras y Gutiérrez. 1989; Contreras, 1991.
Pueblo viejo. Ver.	11.27-27.36	26.6 - 30.4	2.44 - 7.32	0.82 - 9.1		0.7 - 14.6	3.48 - 15.14	Contreras y Gutiérrez. 1989; Contreras, 1991.
Tamiahua. Ver.	24.1 - 30.42	18.60 - 30.2	3.49 - 7.11	4.66 - 8.68		0.73 - 5.87	4.35 - 13.9	Contreras y Gutiérrez. 1989; Contreras, 1991.
Tampamachoco. Ver	29.2 - 36.5	18.2 - 30.8	3.22 - 5.31	1.82 - 17.31		0.37 - 18.63	3.22 - 24.9	Contreras y Gutiérrez. 1989; Contreras, 1991.
Alvarado. Ver.	1.87 - 18.18	25.40 - 31.0	4.35 - 5.66	1.48 - 20.45		0.72 - 4.9		Contreras y Gutiérrez. 1989
Sontecomapan. Ver.	5.7 - 22.38	21 - 28.4	4.81 - 6.73	6.80 - 19.26		2.01 - 7.42		Contreras y Gutiérrez. 1989
La Mancha. Ver.	12.6 - 27.26	20 - 29.9	1.87 - 4.87	1.35 - 14.28		1.45 - 8.82		Contreras y Gutiérrez. 1989
Mandinga. Ver.	26.77 - 32.71	25.2 - 33.0	2.53 - 4.48	4.79 - 23.80		0.98 - 5.5		Contreras y Gutiérrez. 1989
Ostion. Ver.	0.48 - 32.68	20.7 - 29.5	2.91 - 5.80	4.01 - 33.71		0.90 - 4.54		Contreras y Gutiérrez. 1989
Mar Muerto. Oax/Chis.	26.73 - 51.79	24.4 - 32.7	4.3 - 4.93	3.76 - 7.40		0.84 - 1.53		Contreras y Gutiérrez. 1989
La Joya-Buenavista. Chis.	15.37 - 39.46	29.4 - 34.2	2.62 - 5.33	4.84 - 9.22		0.54 - 6.50		Contreras y Gutiérrez. 1989
Est. Tuxpam. Ver.				0.70-13.36		0.424 - 13.09	2.6-27.05	Contreras. 1991.
Mandinga. Ver.				2.45-23.08		0.98 - 5.5	6.05 - 24.8	Contreras. 1991.
Alvarado. Ver				3.09-20.45		0.72 - 4.90	4.50 - 22.2	Contreras. 1991.
Sontecomapan. Ver.				6.80-24.6		2.01 - 14.71	17.3 - 31.9	Contreras. 1991.
Ostion. Ver.				4.01-33.71		0.90 - 4.5	9.8 - 35.5	Contreras. 1991.
Carmen. Tab.				5.5-29.0		0.9 - 7.5	6.4 - 31.5	Contreras. 1991.
Machona. Tab.				4.5-16.9		0.2 - 11.3	6.2 - 17.8	Contreras. 1991.
Mecoacán. Tab.				5.1-13.7		0.21 - 4.9	6.9 - 17.7	Contreras. 1991.
Terminos. Camp.				4.28-25.7		0.14 - 1.35		Contreras. 1991.
Chautengo. Gro.				1.05-16.7		0.20 - 1.0	1.56 - 17.8	Contreras. 1991.
Mitla. Gro.				1.58-8.0		0.24 - 1.0	1.90 - 4.0	Contreras. 1991.
San Marcos. Gro.				4.9-15.1		0.10 - 1.30	1.3 - 15.4	Contreras. 1991.
Nuxco. Gro.				1.56-3.6		0.10 - 0.42	1.90 - 3.70	Contreras. 1991.
Sup. E Inf. Oax.				4.12-4.4		1.80 - 1.9	5.98 - 6.4	Contreras. 1991.
Mar Muerto. Oax/Chis.				3.7-5.9		0.8 - 1.5	4.6 - 8.7	Contreras. 1991.
La Joya-Buenavista. Chis.				4.8-9.2		0.5 - 2.5	5.5 - 10.8	Contreras. 1991.



Continuación...

Laguna	S (ups)	T (°C)	OD (mL/L)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (µg-at/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (µg-at/L)	NO <sub>2</sub> + NO <sub>3</sub> (µg-at/L)	Nt (µg/L)	Referencia
Bahía San Quintín. B. C.					<0.5 - 12.6			Millán-Núñez et al. 1982.
Bahía Magdalena. B. C.					<0.5 - 15.0			Álvarez-Borrego et al. 1975.
Bahía Magdalena. B. C.	34.0 - 38.8	18.5 - 23.0	4.42 - 5.6		0.20 - 1.50			Álvarez-Borrego. 1974.
Estero Punta Banda. B. C.					<0.5 - 1.0			Álvarez-Borrego et al. 1977.
Bahía Todos Santos. B. C.					0 - 8.9			Millán-Núñez y Rivas-Lozano, 1988.
Topolobampo-Ohuira. Sin.	35.15	24.35					234-907	Garay-Morán. 2002
Navachiste-San Ignacio. Sin.	36.5	24.71					197-1925	Garay-Morán. 2002
Sta. María-La Reforma. Sin.	37.88	25.83					177-459	Garay-Morán. 2002
Ceuta. Sin.	35.24	25.3					200*	Garay-Morán. 2002
Altata-E. del Pabellón. Sin.							179-4100	Garay-Morán. 2002
Urias. Sin.							274*	Garay-Morán. 2002
Huizache-Caimanero. Sin.							105*	Garay-Morán. 2002
Teacapán-Agua Brava. Sin/Nay.							56*	Garay-Morán. 2002

\* promedio

Tabla 17. Intervalos de concentración de clorofila *a* en las aguas de lagunas costeras mexicanas (tomado de Contreras *et al.*, 1994).

<b>Laguna</b>	<b>Cl <i>a</i> (mg/m<sup>3</sup>)</b>
Laguna madre. Tamps.	4.16 - 13.0
Pueblo viejo. Ver.	37.1 - 64.6
Tamiahua. Ver.	0.01 - 20.7
Tampamachoco. Ver.	0.14 - 43.0
Tampamachoco. Ver.	0.68 - 54.9
Est. Tuxpam. Ver.	0.14 - 34.3
La Mancha. Ver.	4.3 - 23.2
Mandinga. Ver.	11.3 - 25.4
Camaronera. Ver.	6.0 - 66.6
Alvarado. Ver.	5.9 - 99.2
Tlalixcoyan. Ver.	3.4 - 62.3
Sontecomapan. Ver.	5.2 - 76.1
Río Calzadas. Ver.	16.2 - 126.0
Ostion. Ver.	2.6 - 20.5
Carmen. Tab.	12.7 - 25.4
Machona. Tab.	4.7 - 22.8
Mecoacán. Tab.	6.7 - 21.4
Celestum. Yuc.	1.1 - 56.2
Corralero. Oax.	5.8 - 65.5
Chacahua. Oax.	15.8 - 26.5
Pastoria. Oax.	12.7 - 15.1
Sup. E Inf. Oax.	6.1 - 10.7
Mar Muerto. Oax/Chis.	21.4 - 32.5
La Joya-Buenavista. Chis.	88.1 - 192.0
Buenavista. Chis.	25.4 - 81.4
Carretas. Chis.	12.5 - 121.0
Pereyra. Chis.	5.6 - 81.1
Bobo. Chis.	1.2 - 75.7
Cerritos. Chis.	6.5 - 142.0
Chantuto. Chis.	11.4 - 115
Teculapa. Chis.	5.0 - 28.9
Panzacola. Chis.	1.5 - 74.0
Campon. Chis.	1.1 - 50.1

## **ANEXO IB:**

**Distribución espacial y estacional de variables fisicoquímicas, clorofila *a* y especies nitrogenadas en las lagunas costeras**

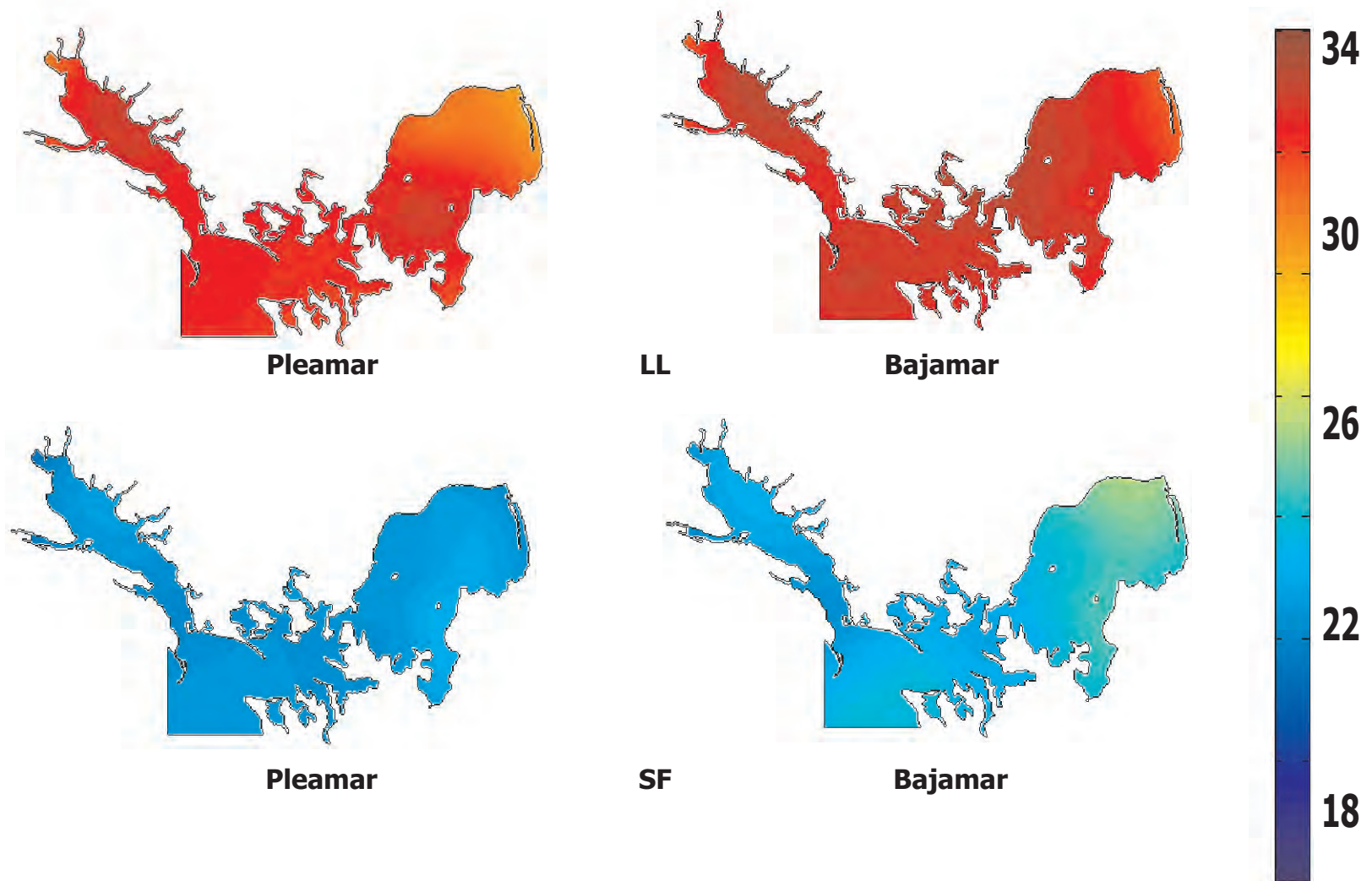


Fig. I. 1 A. Distribución de la temperatura ( C) en las aguas superficiales en pleamar y bajamar de la laguna de Ohuira-Topolobampo-Santa María para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

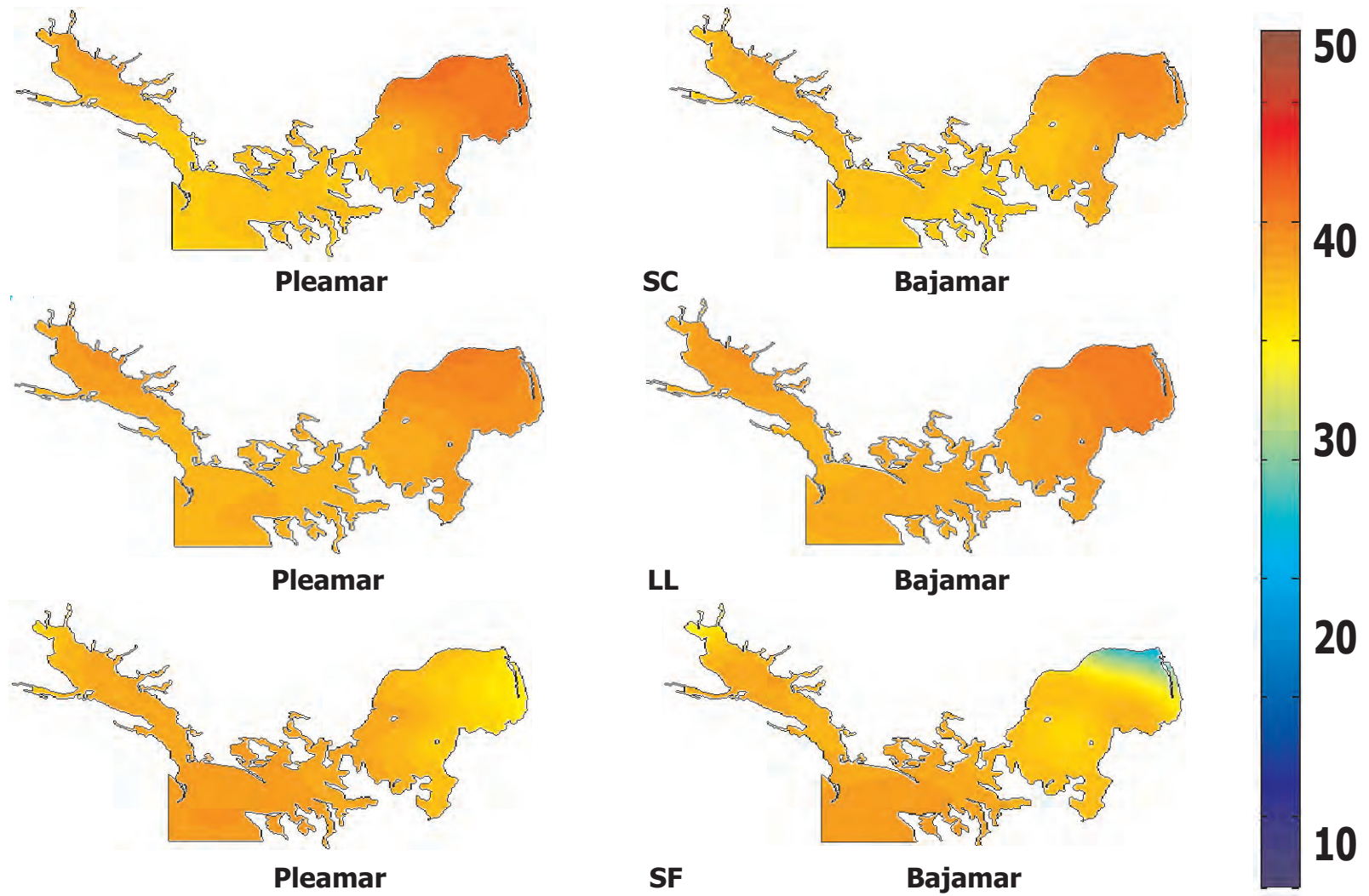


Fig. I.1 B. Distribución de la salinidad (ups) promedio de la columna de agua en pleamar y bajamar de la laguna de Ohuira-Topolobampo-Santa María para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

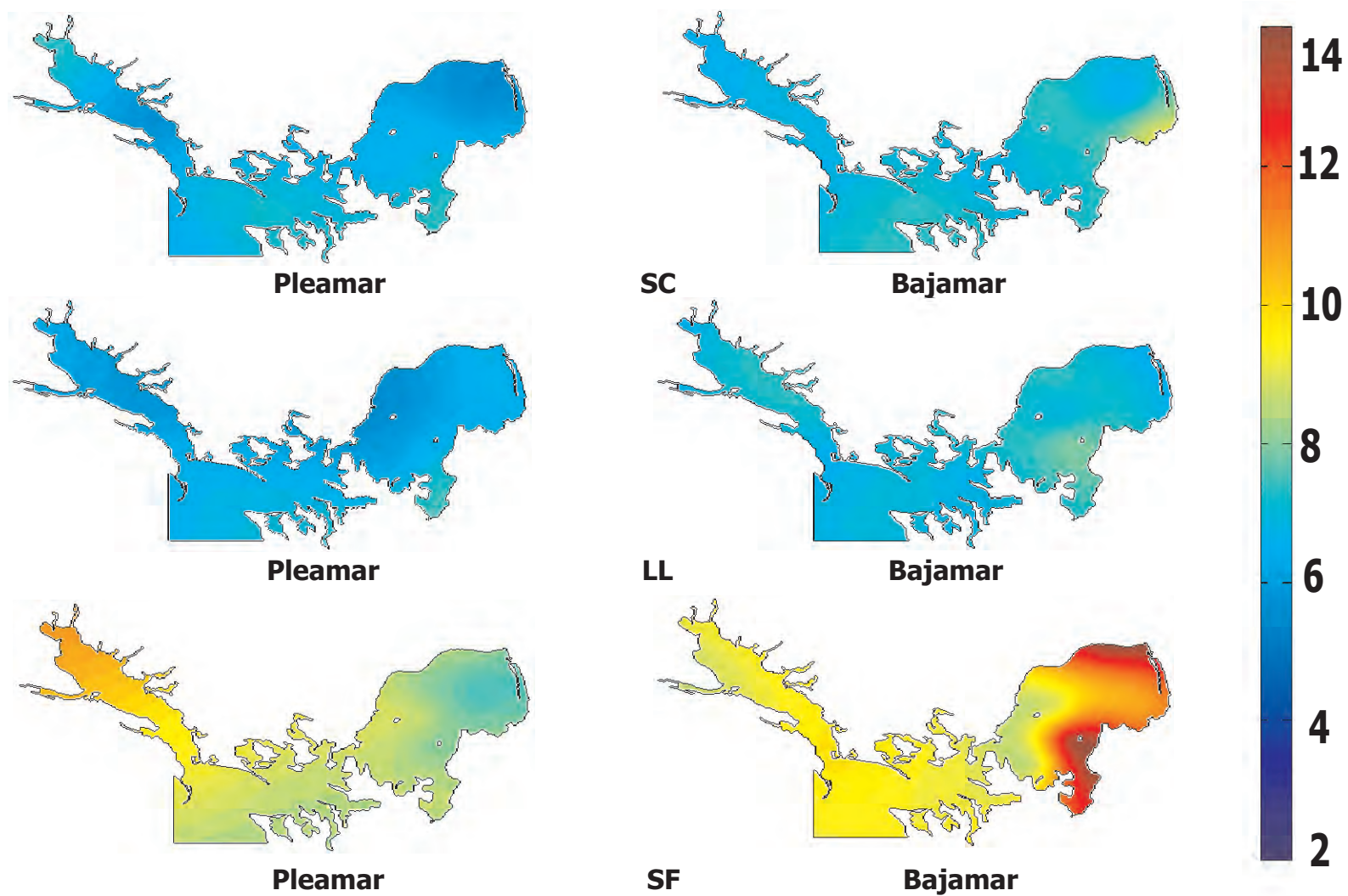


Fig. I.1 C. Distribución de la concentración de oxígeno disuelto (mg/L) en las aguas del fondo en pleamar y bajamar de la laguna de Ohuira-Topolobampo-Santa María para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

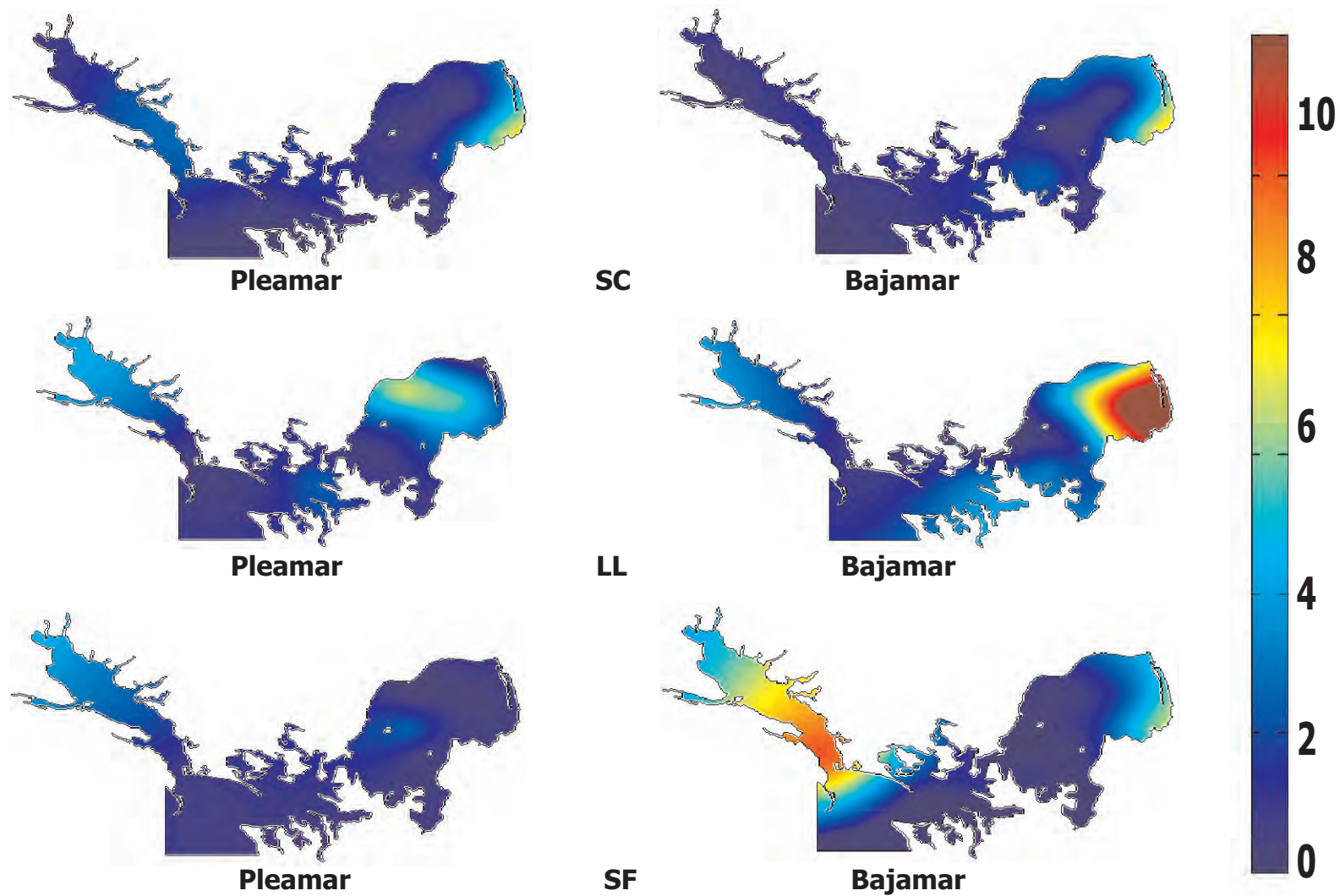


Fig. I.1 D. Distribución de la concentración de clorofila a ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) en las aguas superficiales en pleamar y bajamar de la laguna de Ohuira-Topolobampo-Santa María para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

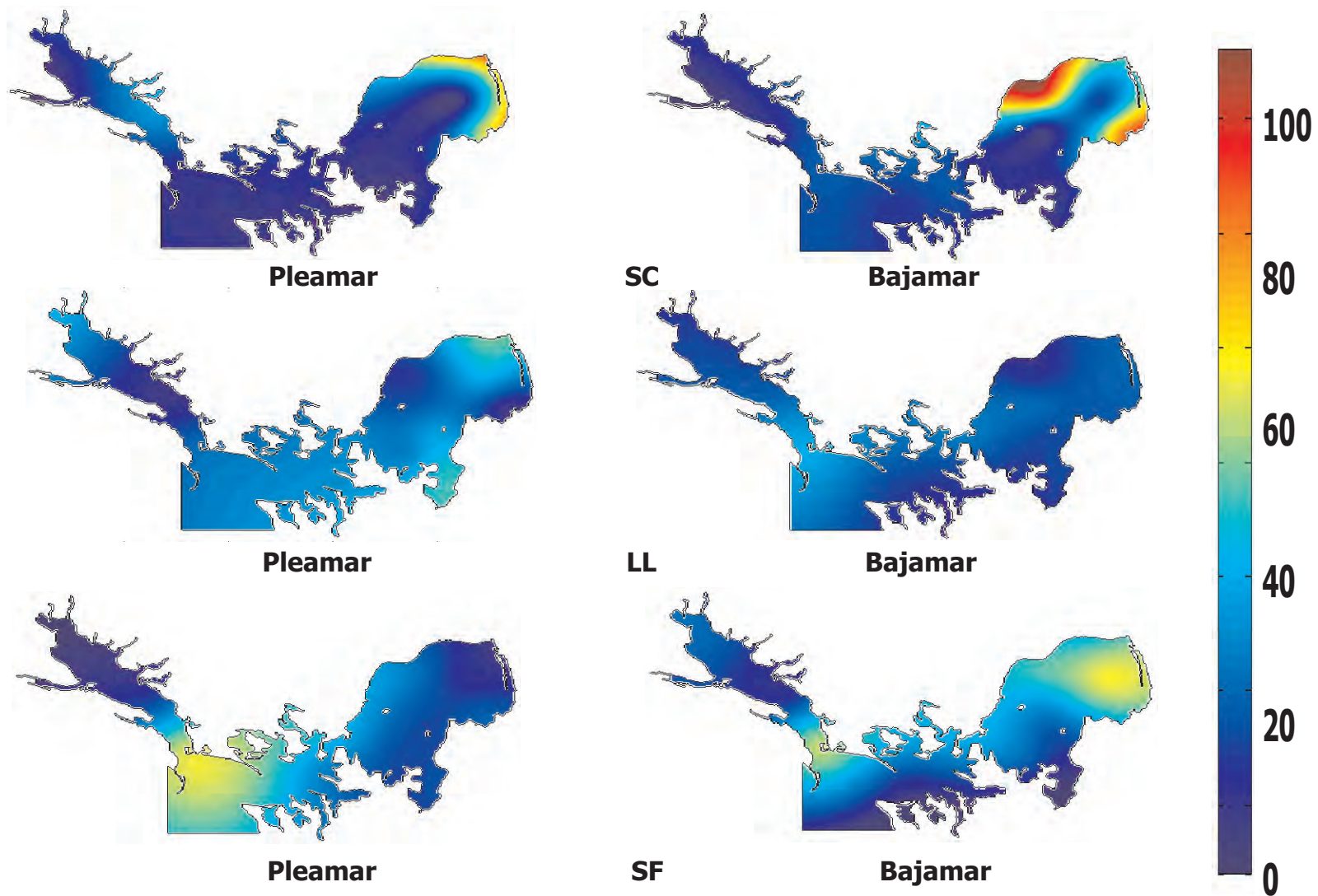


Fig. I.1 E. Distribución de la concentración de SST ( $\text{mg/L}^3$ ) promedio en la columna de agua en pleamar y bajamar de la laguna de Ohuira-Topolobampo-Santa María para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).



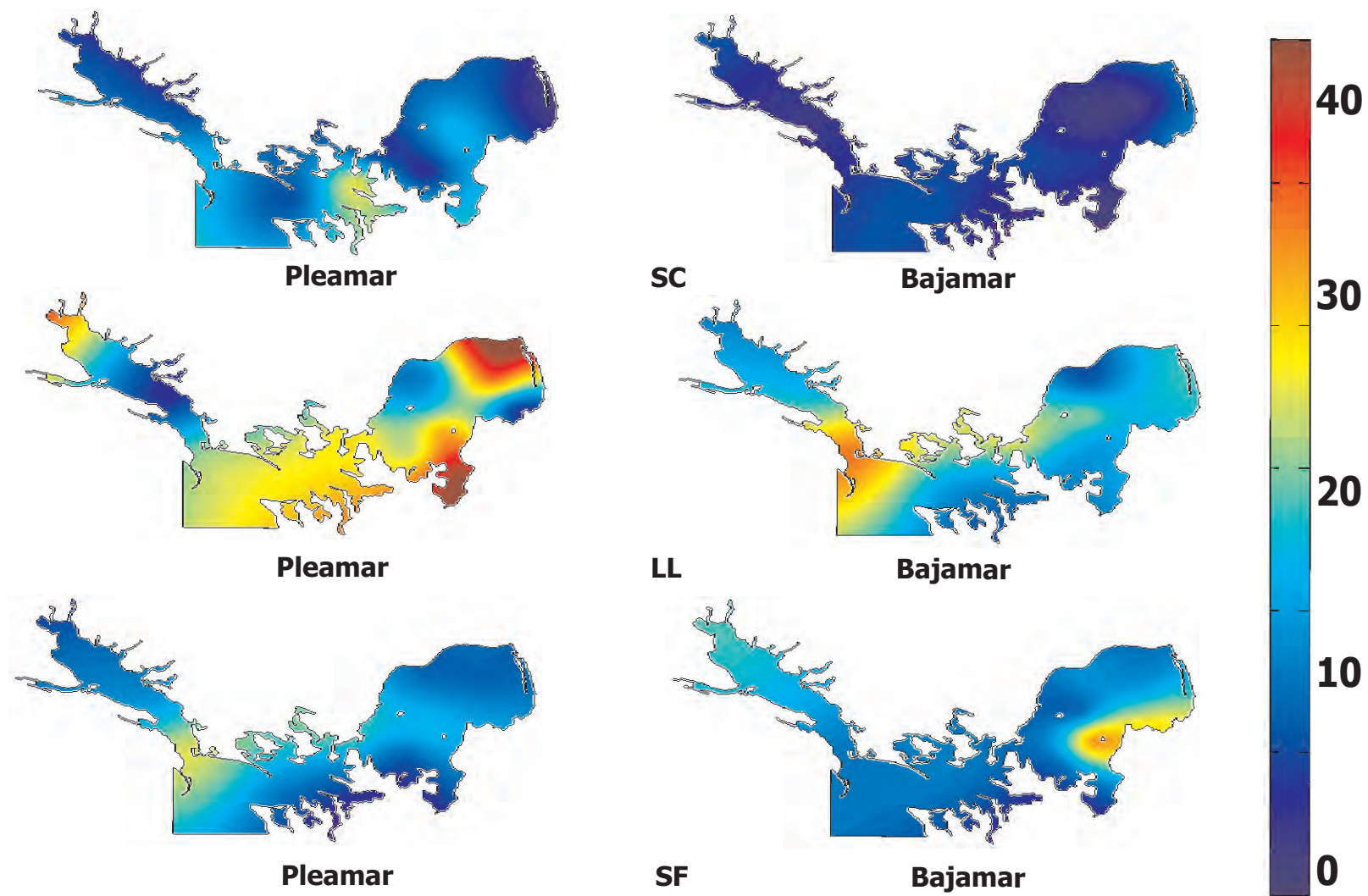


Fig. I.1 F. Distribución de la concentración  $N-NH_4^+$  ( M) promedio en la columna de agua en pleamar y bajamar de la laguna de Ohuira-Topolobampo-Santa María para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

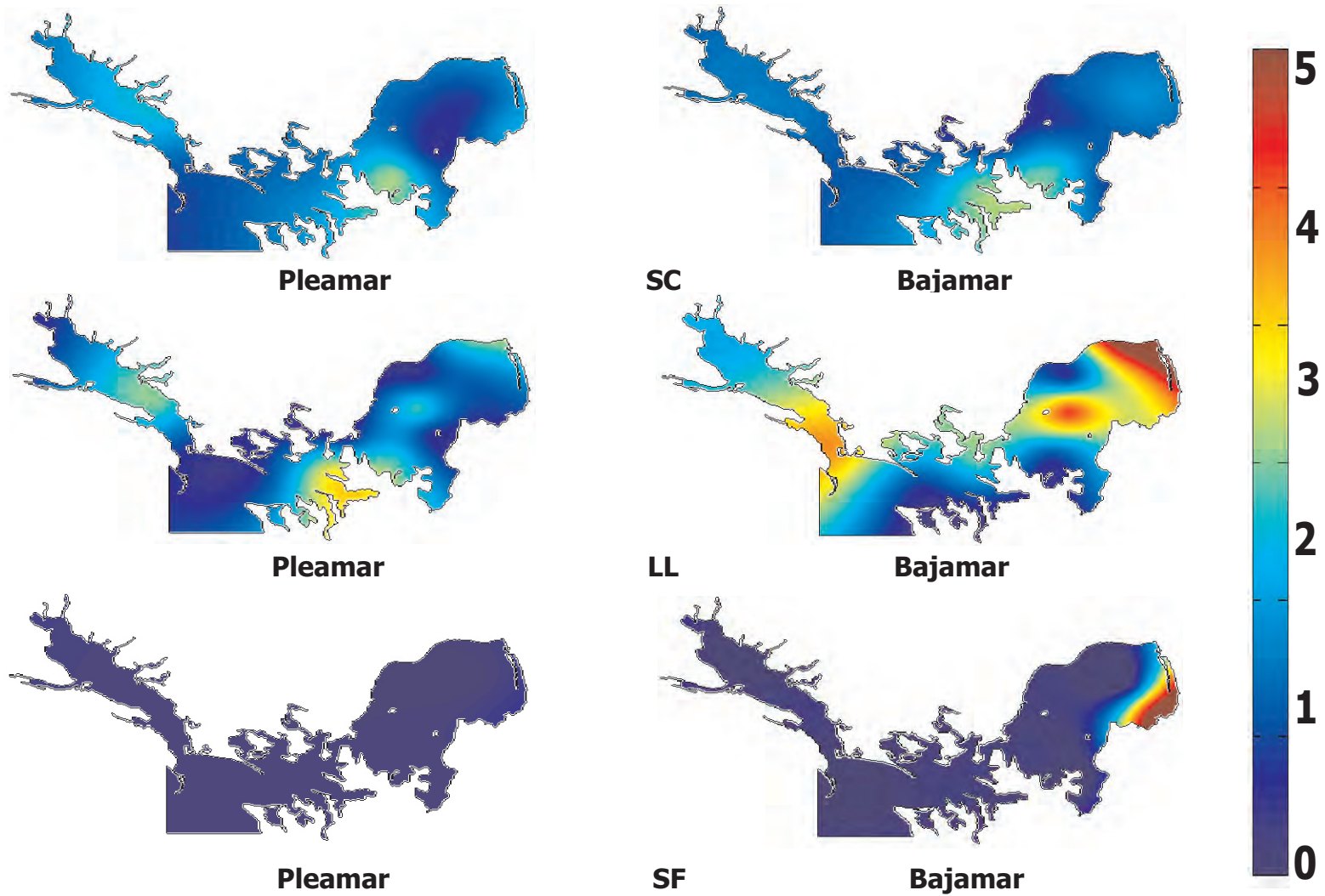


Fig. I.1 G. Distribución de la concentración  $N-NO_2^-$  ( M) promedio en la columna de agua en pleamar y bajamar de la laguna de Ohuira-Topolobampo-Santa María para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

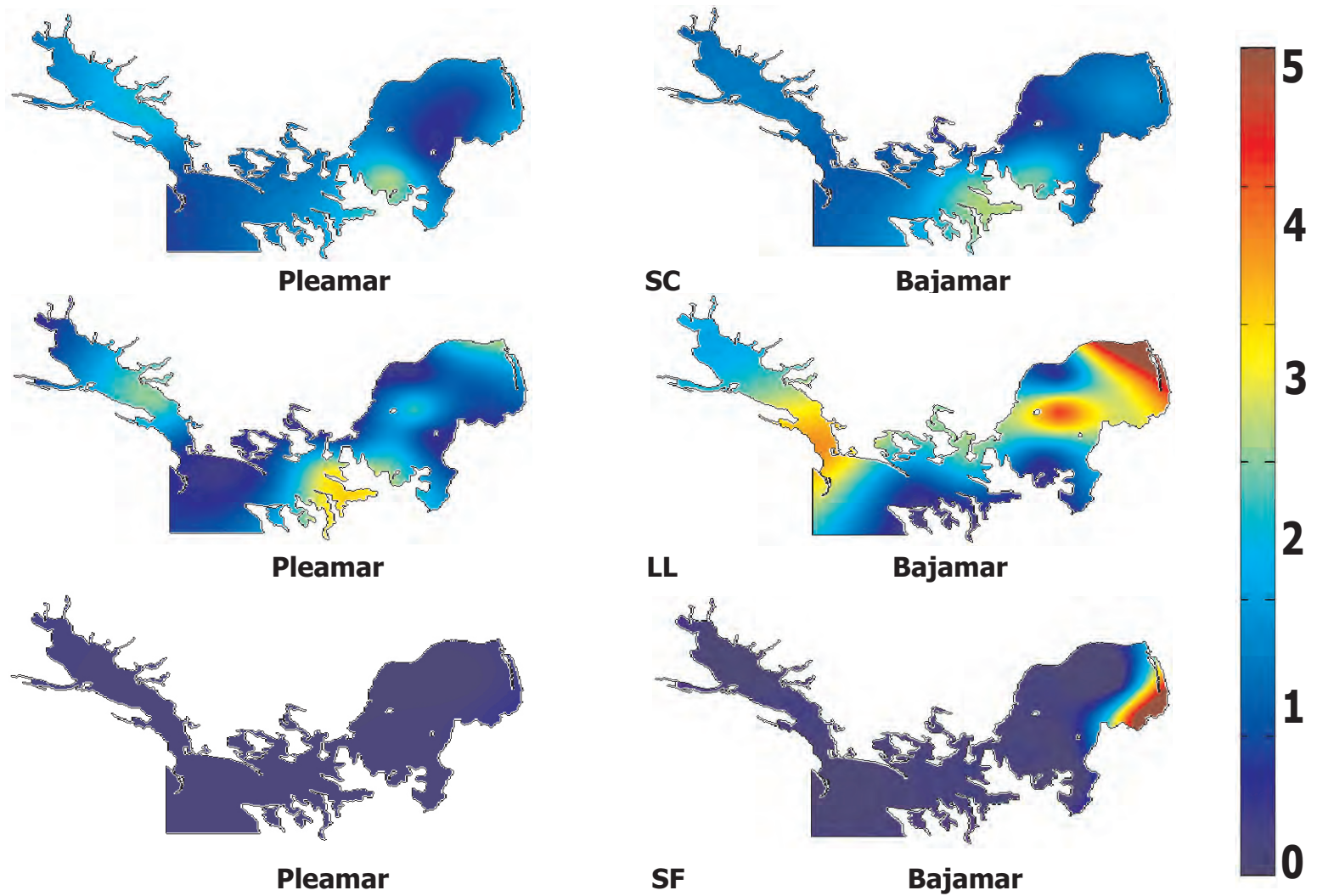


Fig. I.1 H. Distribución de la concentración de  $N-NO_3^-$  (mM) promedio en la columna de agua en pleamar y bajamar de la laguna de Ohuira-Topolobampo-Santa María para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

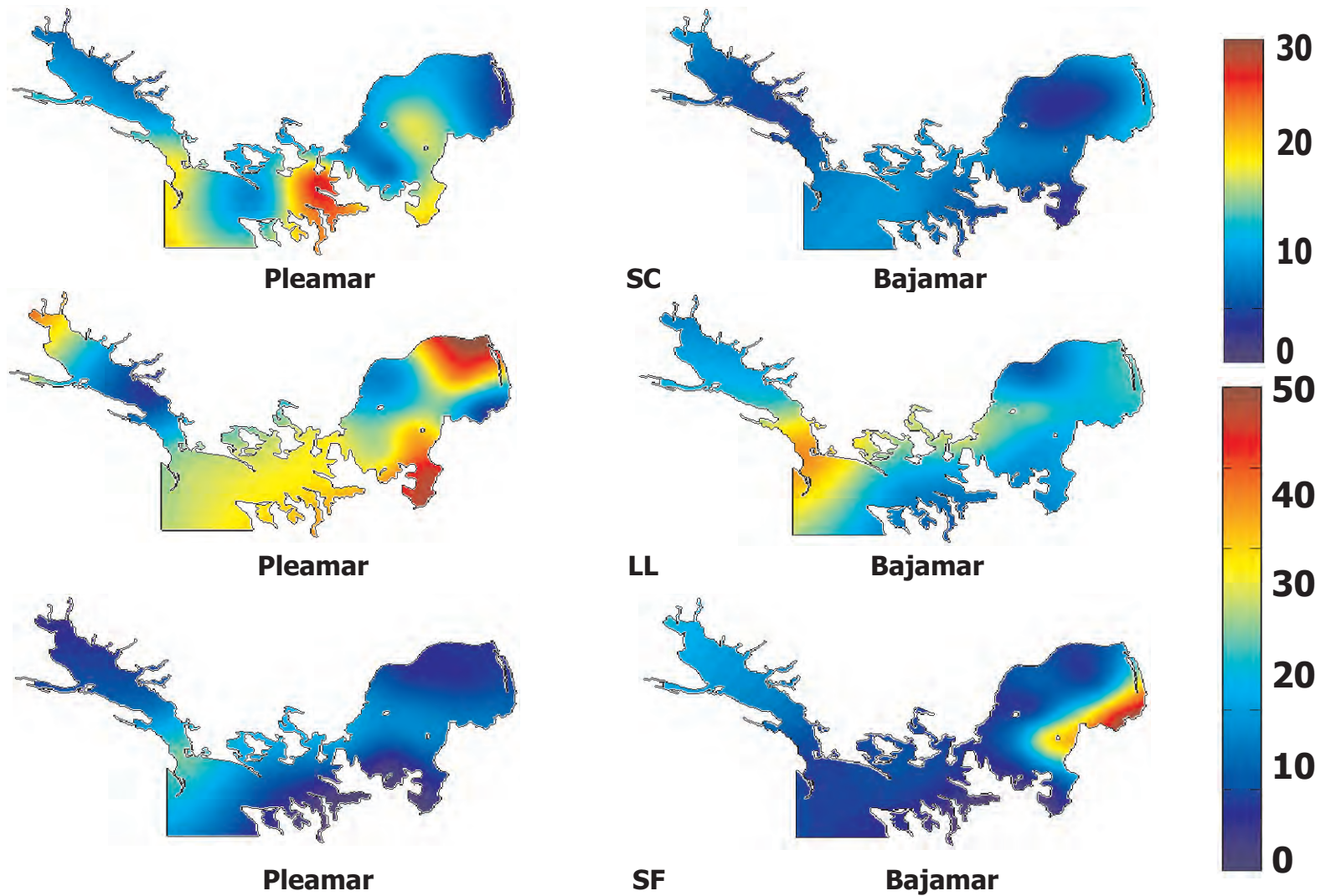


Fig. I.1 I. Distribución de la concentración de nitrógeno inorgánico disuelto NID ( $\mu\text{M}$ ) promedio en la columna de agua en pleamar y bajamar de la laguna de Ohuira-Topolobampo-Santa María para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

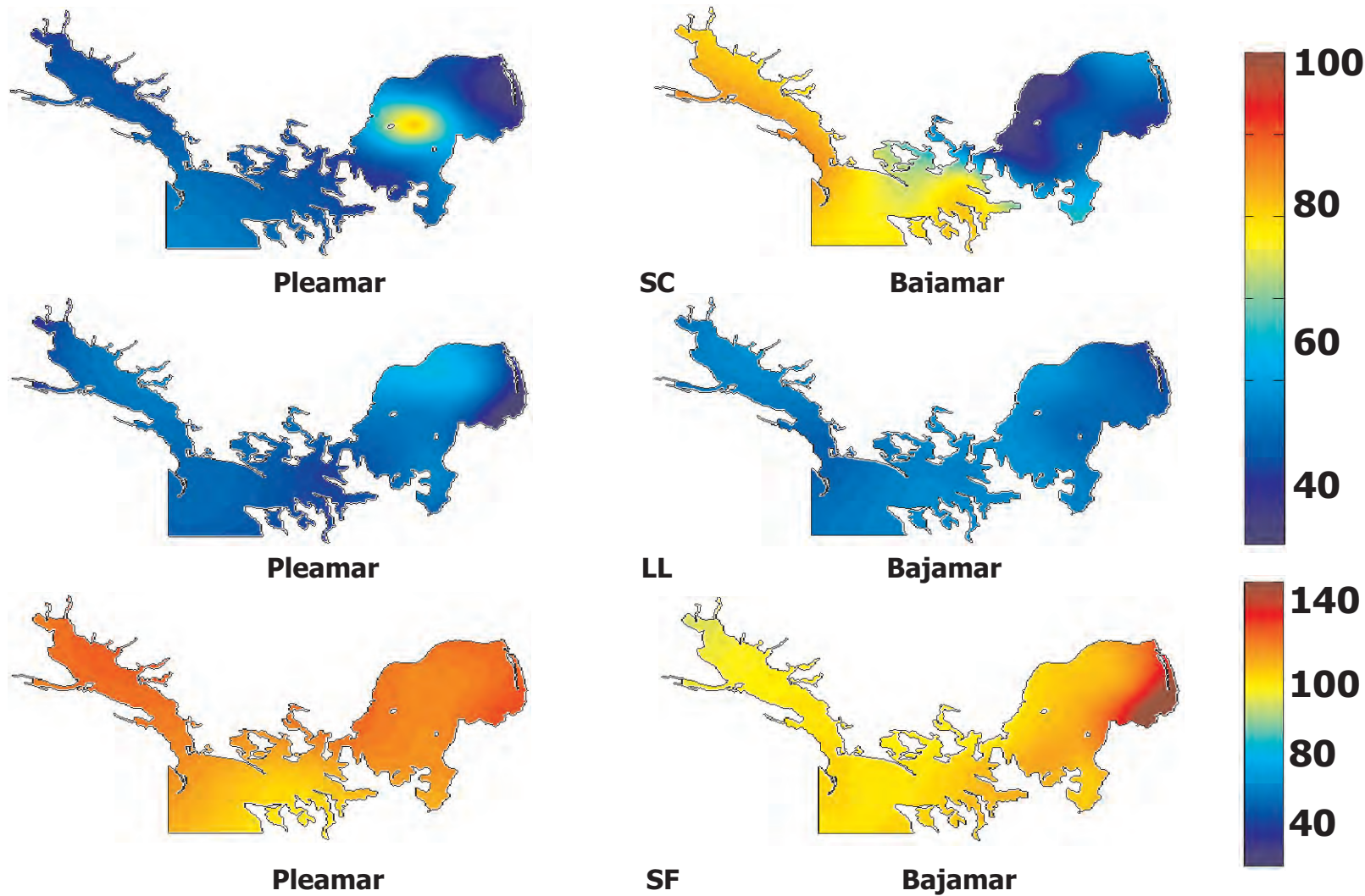


Fig. I.1 J. Distribución de la concentración de nitrógeno total ( M) promedio en la columna de agua en pleamar y bajamar de la laguna de Ohuira-Topolobampo-Santa María para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

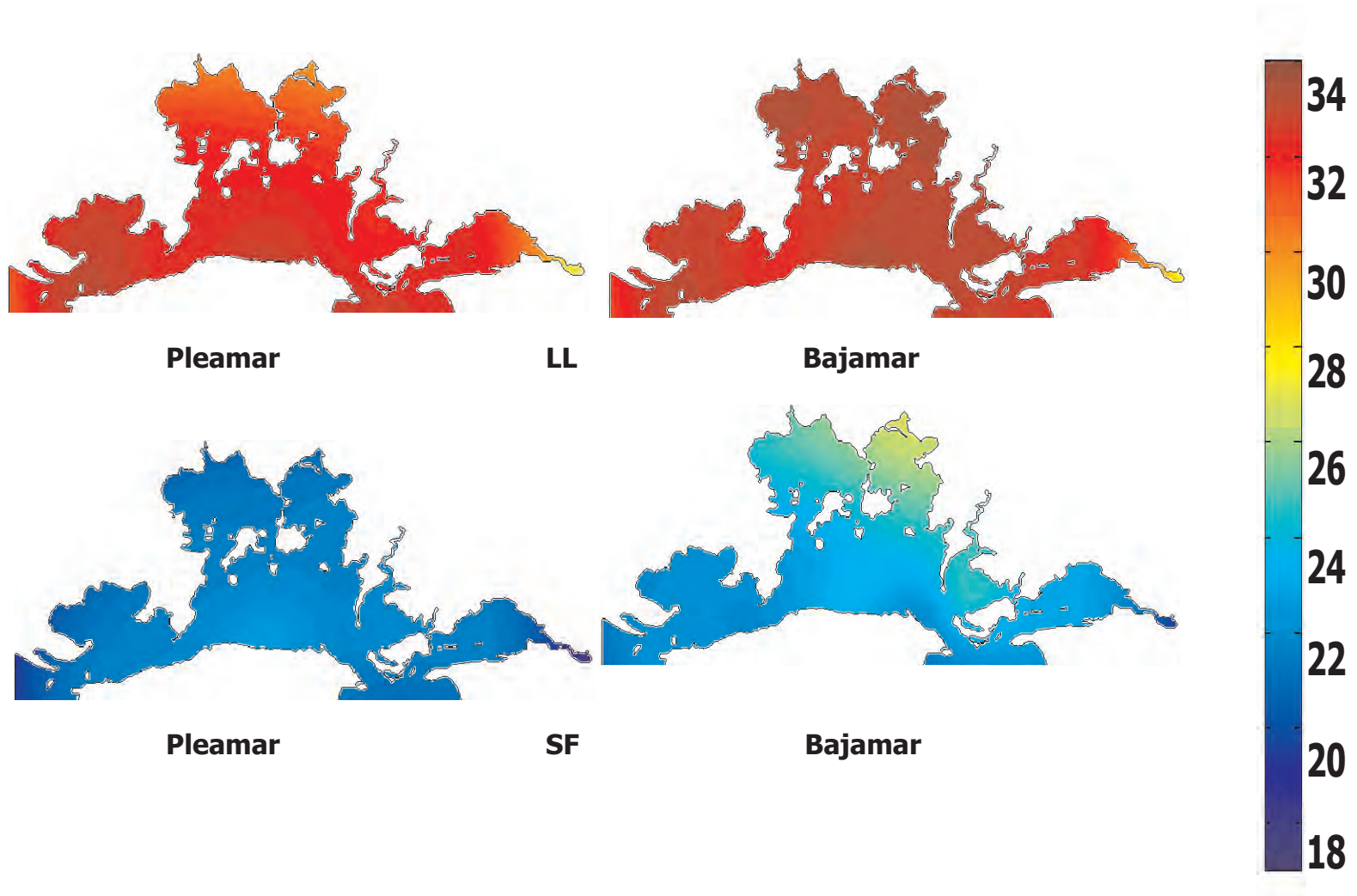


Fig. 1. 2 A. Distribución de la temperatura ( C) en las aguas superficiales en pleamar y bajamar de la laguna de Navachiste-San Ignacio-Macapule para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

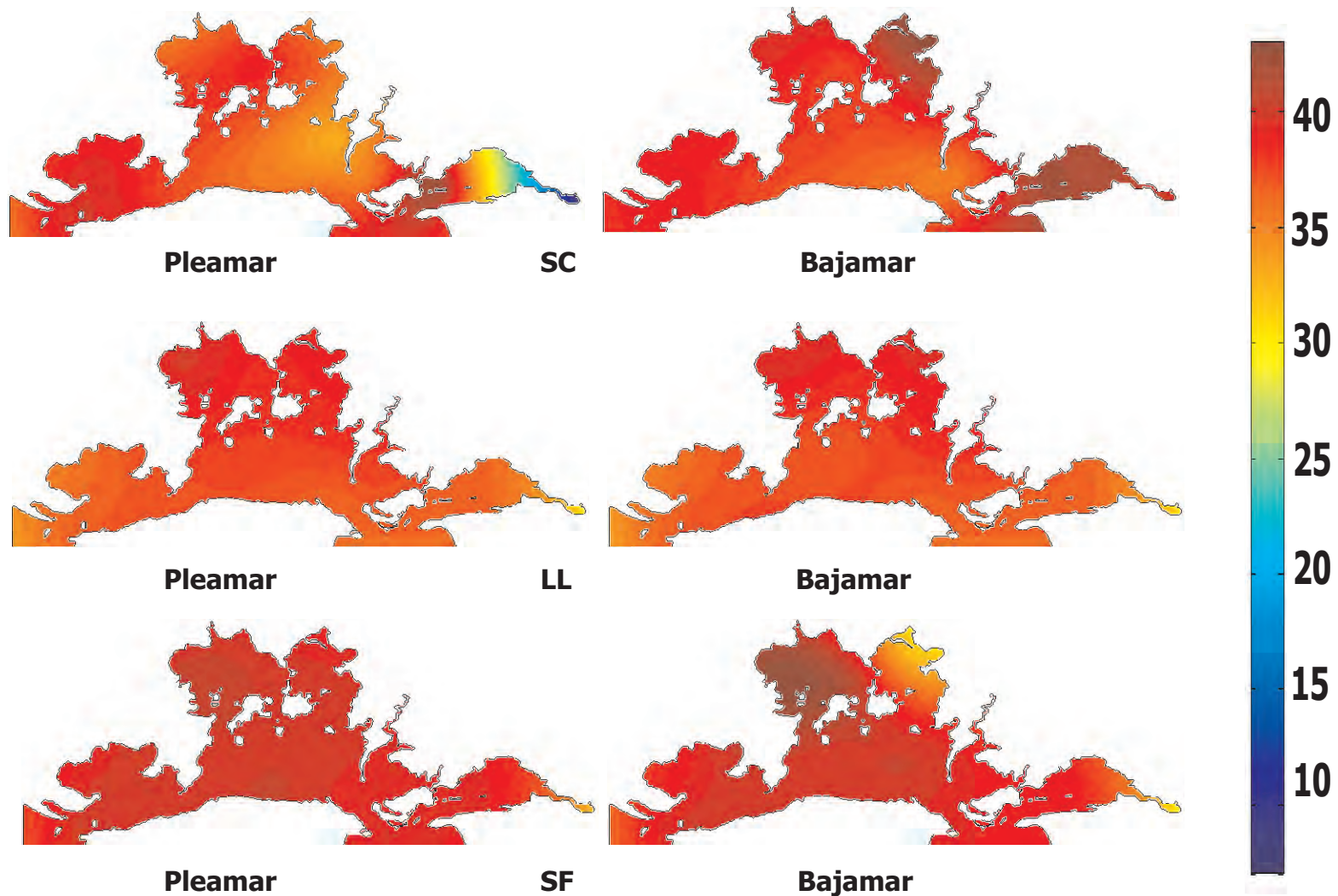


Fig. I.2 B. Distribución de la salinidad (ups) promedio de la columna de agua en pleamar y bajamar de la laguna de Navachiste-San Ignacio-Macapule para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

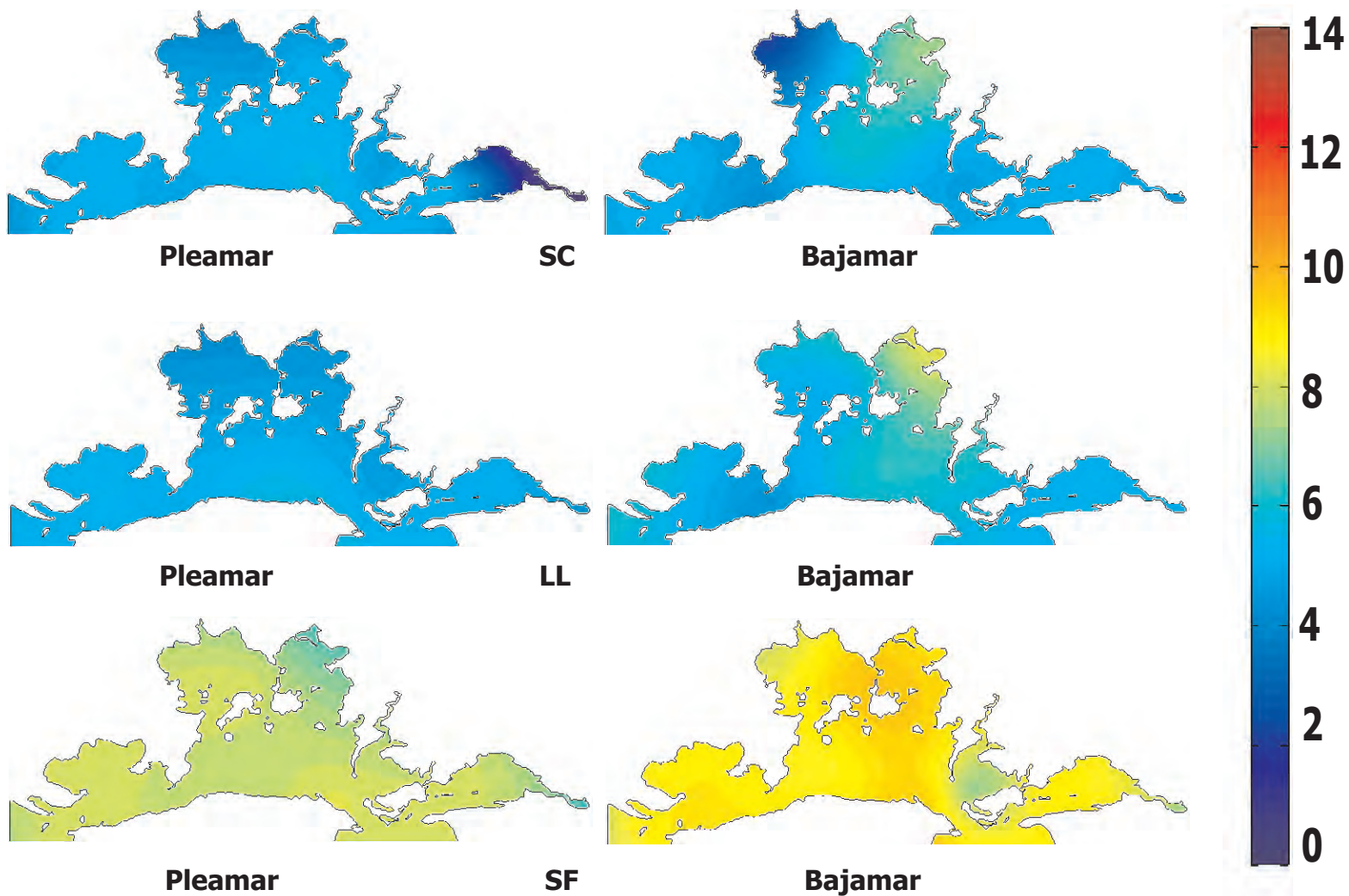


Fig. 2.1 C. Distribución de la concentración de oxígeno disuelto (mg/L) en las aguas del fondo en pleamar y bajamar de la laguna de Navachiste-San Ignacio-Macapule para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).



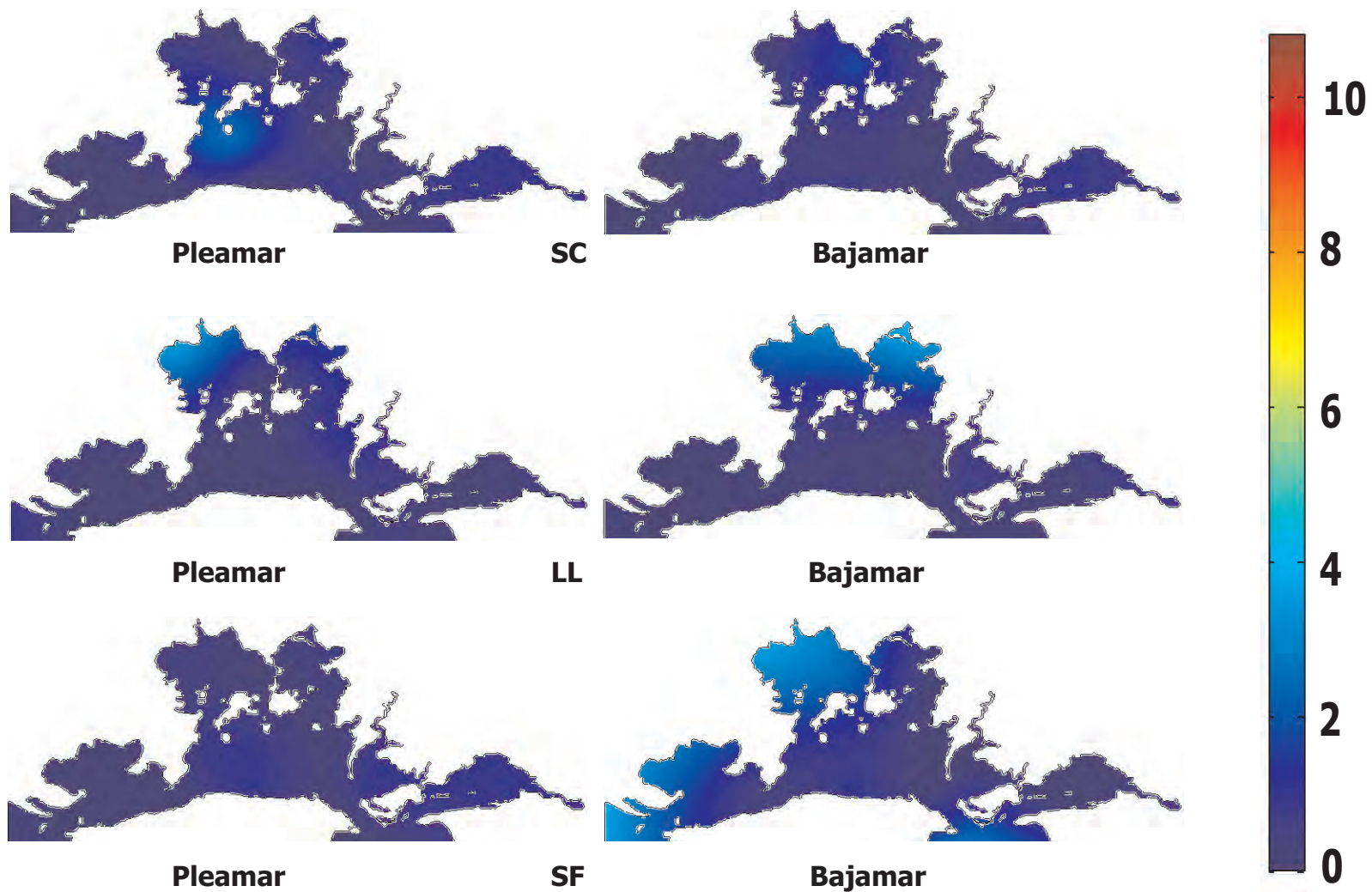


Fig. I.3 D. Distribución de la concentración de clorofila a ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) en las aguas superficiales en pleamar y bajamar de la laguna de Navachiste-San Ignacio-Macapule para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

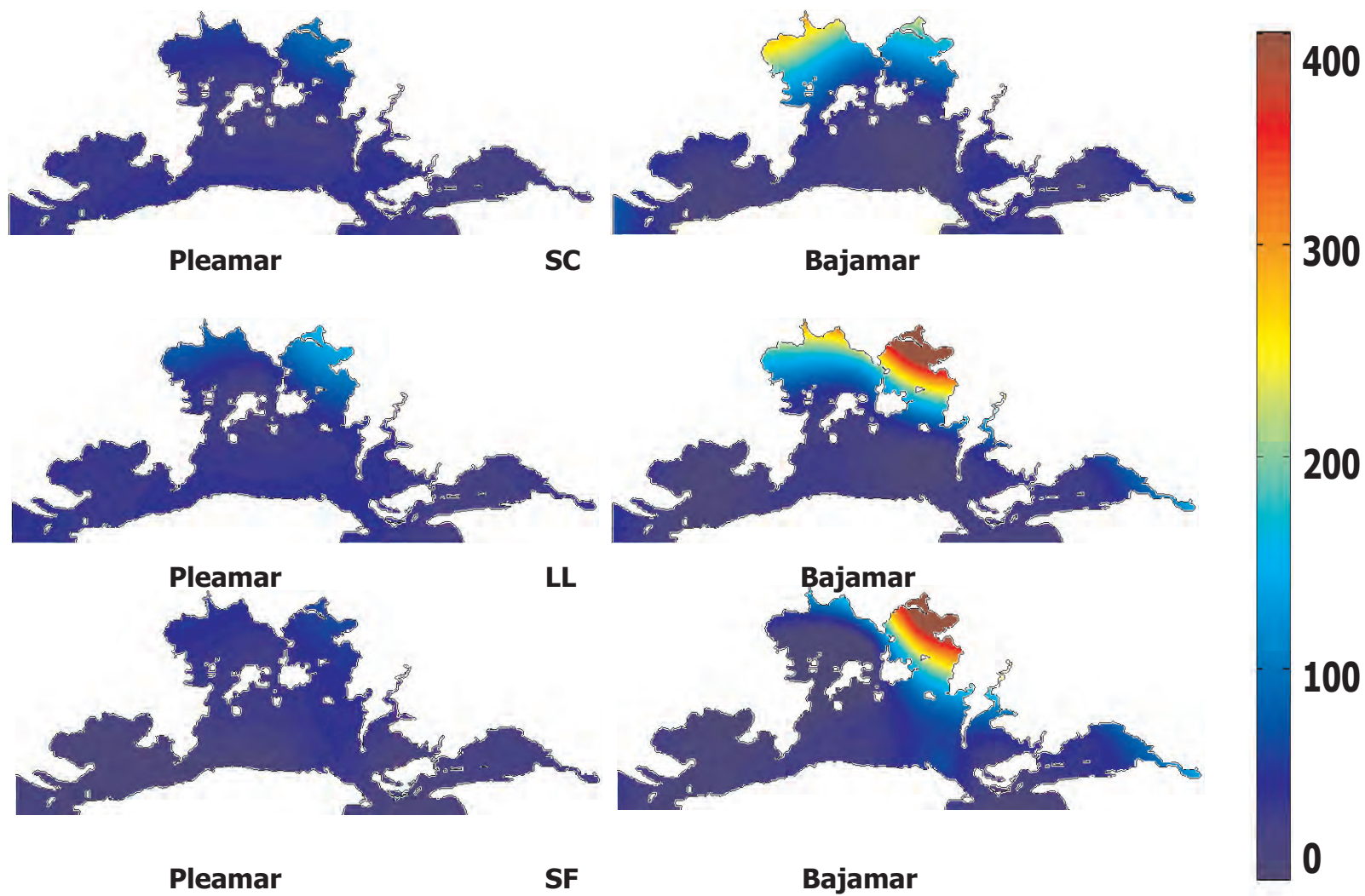


Fig. I.2 E. Distribución de la concentración de SST (mg/L) promedio en la columna de agua en pleamar y bajamar de la laguna de Navachiste-San Ignacio-Macapule para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

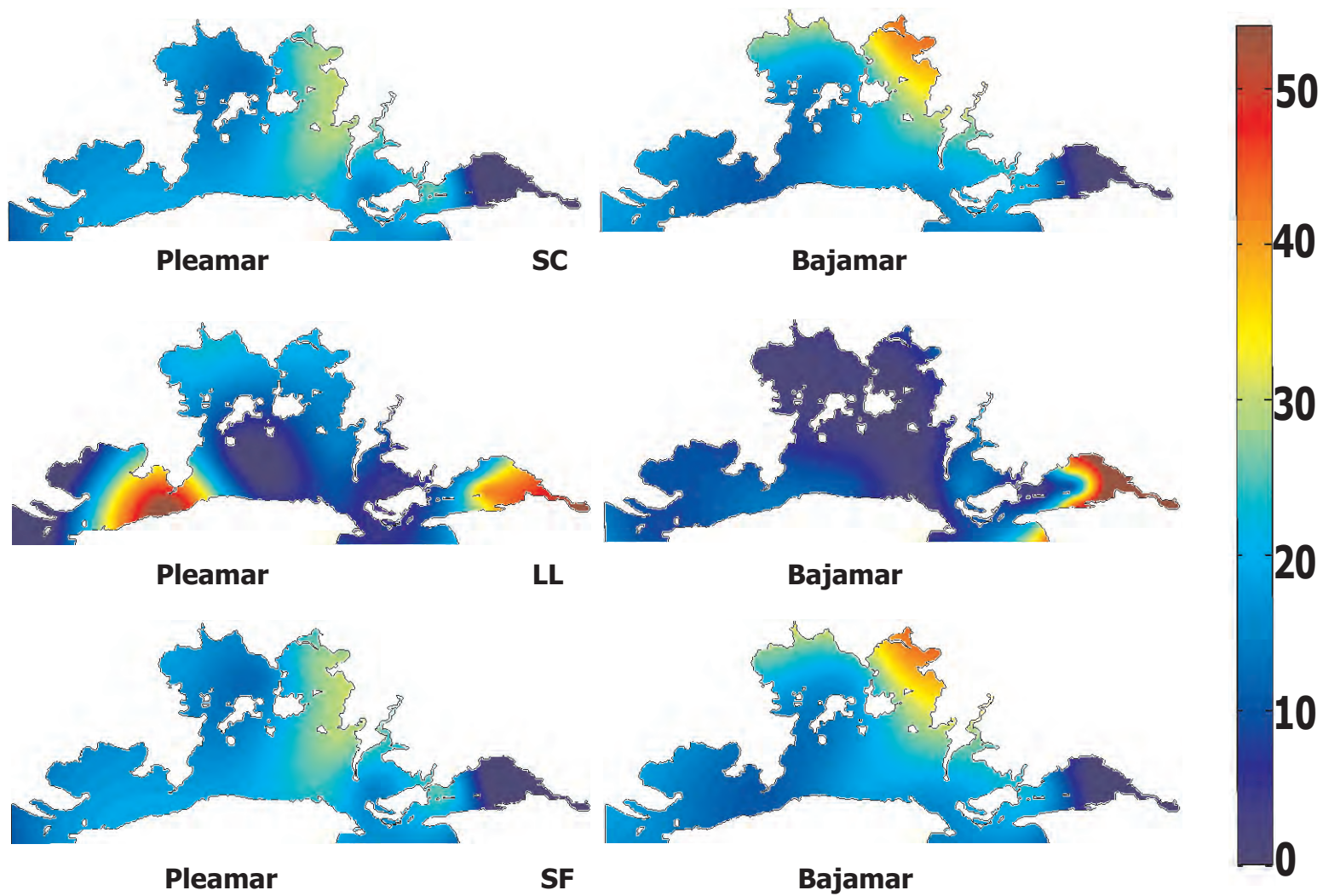


Fig. I.2 F. Distribución de la concentración  $N-NH_4^+$  ( M) promedio en la columna de agua en pleamar y bajamar de la laguna de Navachiste-San Ignacio-Macapule para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

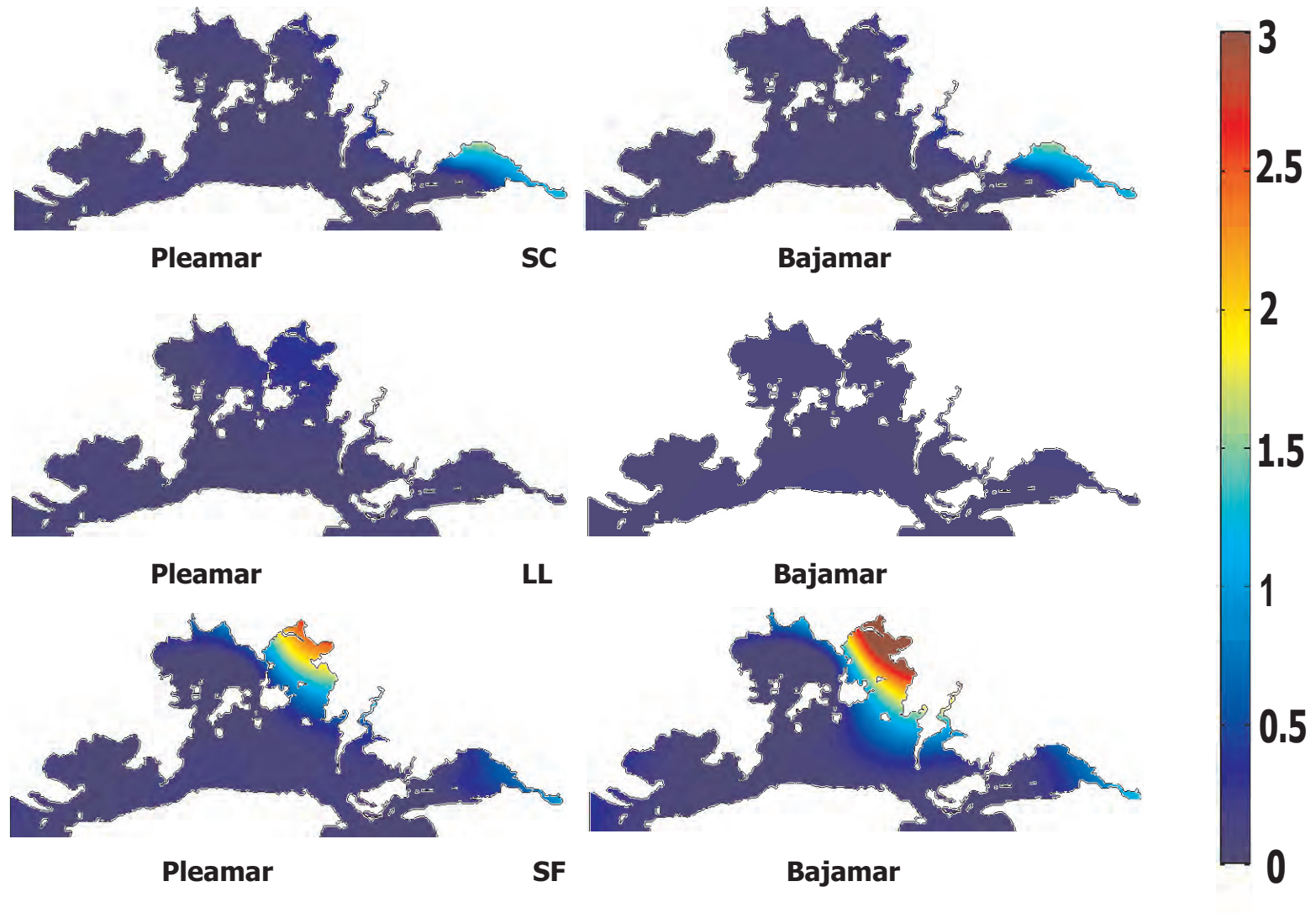


Fig. I.2 G. Distribución de la concentración  $\text{N-NO}_2^-$  ( M) promedio en la columna de agua en pleamar y bajamar de la laguna de Navachiste-San Ignacio-Macapule para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

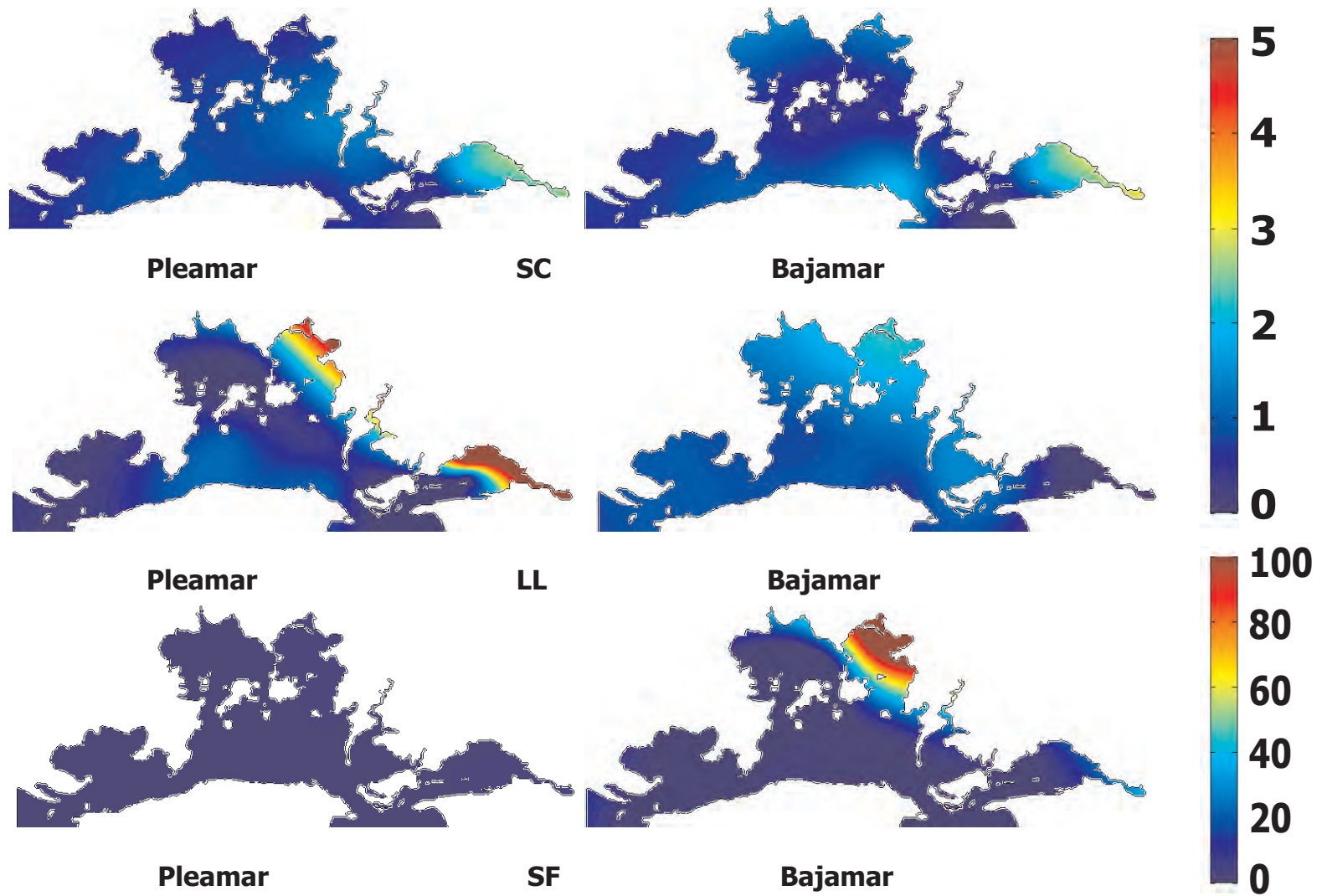


Fig. I.2 H. Distribución de la concentración de  $\text{N-NO}_3^-$  (  $\mu\text{M}$  ) promedio en la columna de agua en pleamar y bajamar de la laguna de Navachiste-San Ignacio-Macapule para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

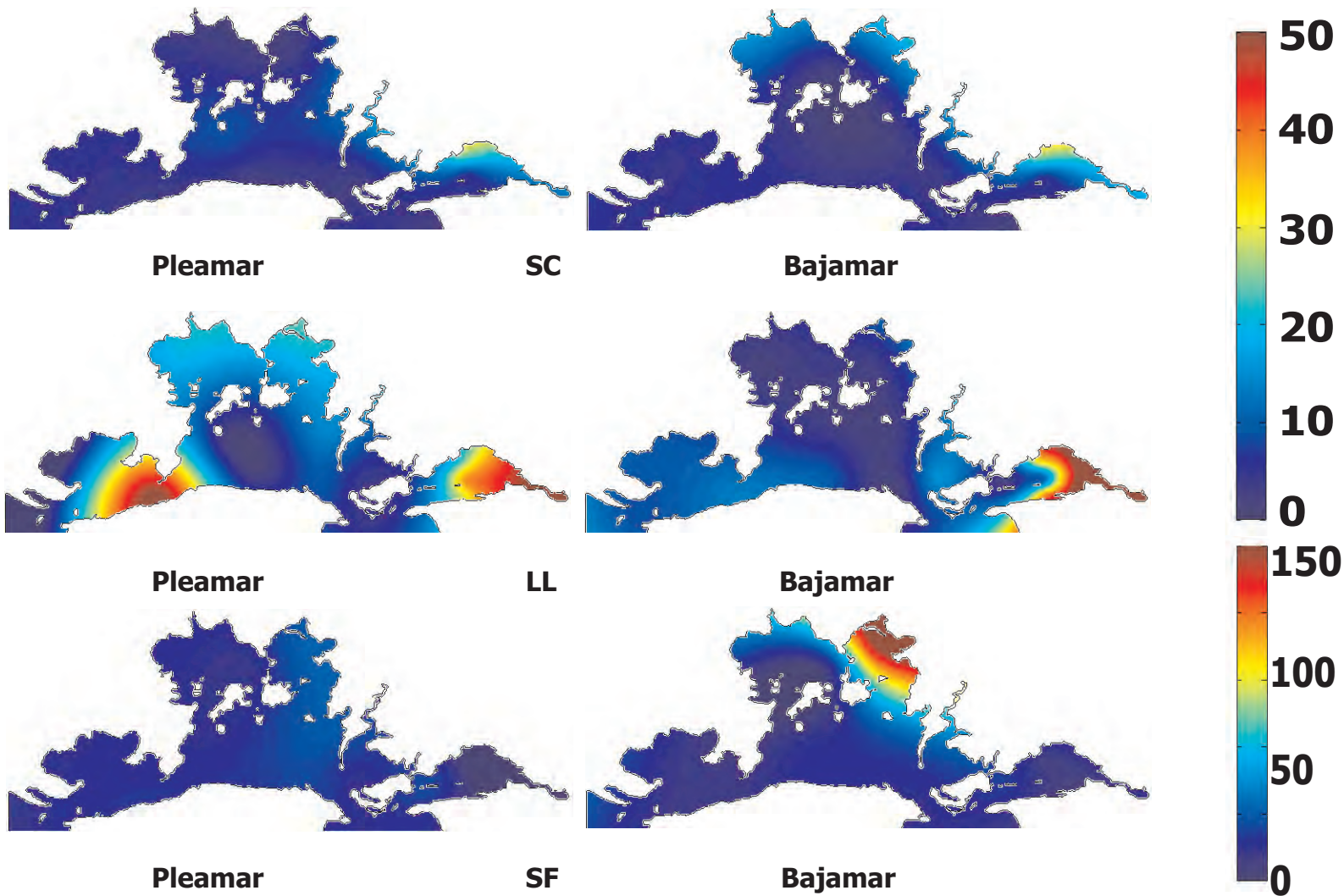


Fig. 1.2 I. Distribución de la concentración de nitrógeno inorgánico disuelto NID (  $M$  ) promedio en la columna de agua en pleamar y bajamar de la laguna de Navachiste-San Ignacio-Macapule para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

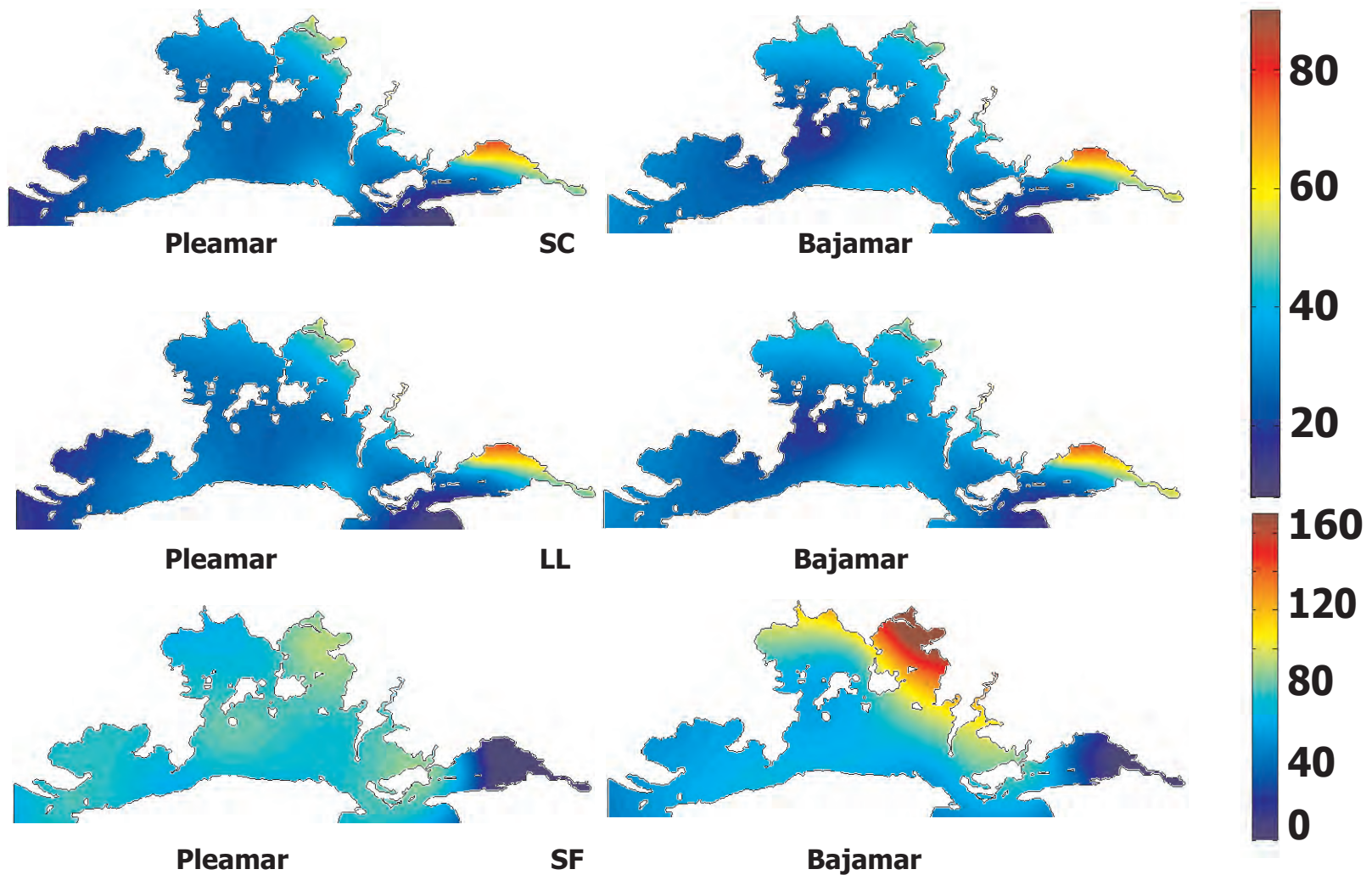


Fig. I.2 J. Distribución de la concentración de nitrógeno total ( M) promedio en la columna de agua en pleamar y bajamar de la laguna de Navachiste-San Ignacio-Macapule para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

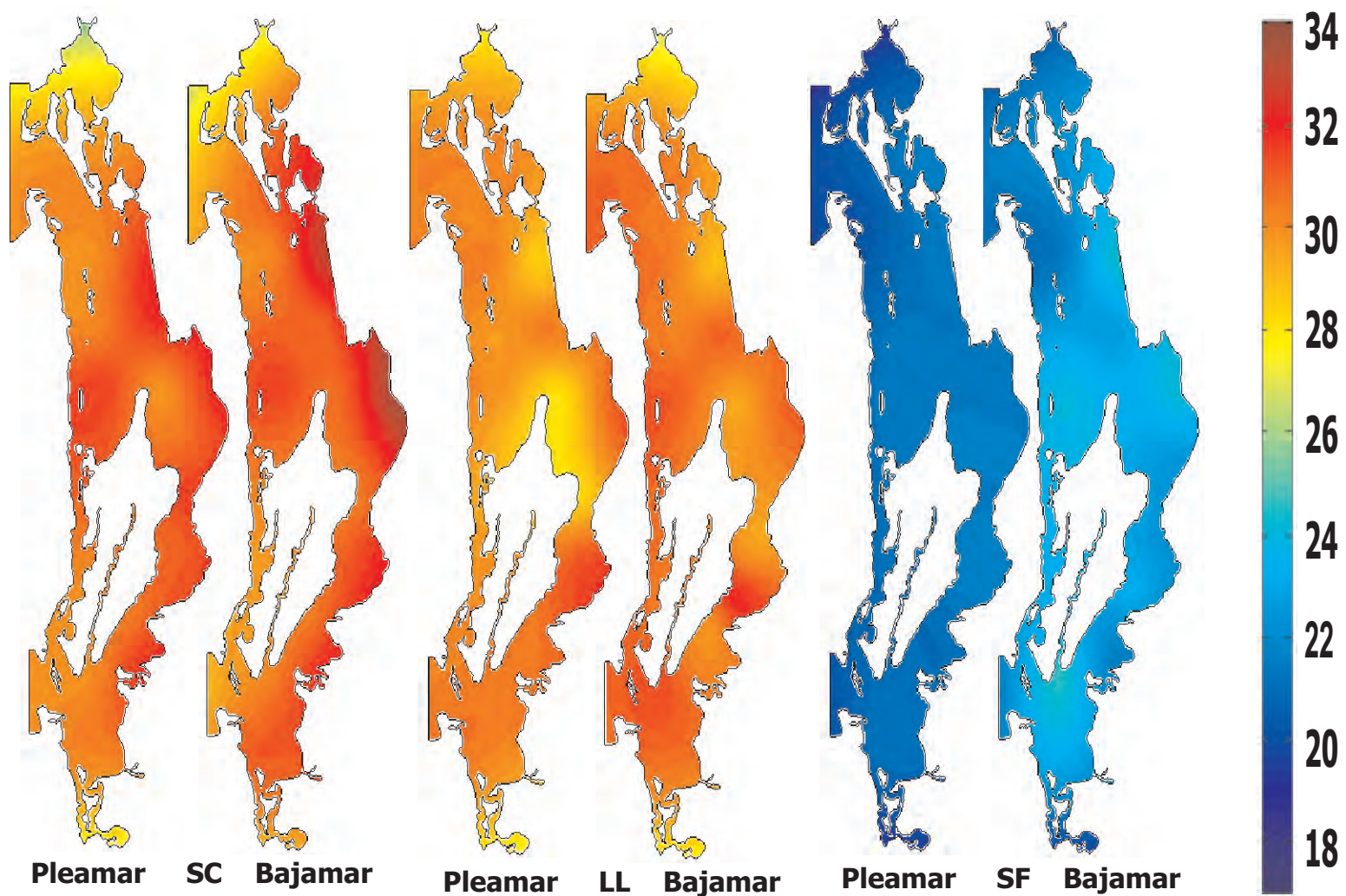


Fig. I. 3 A. Distribución de la temperatura ( C) en las aguas superficiales en pleamar y bajamar de la laguna de Santa María-La Reforma para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).



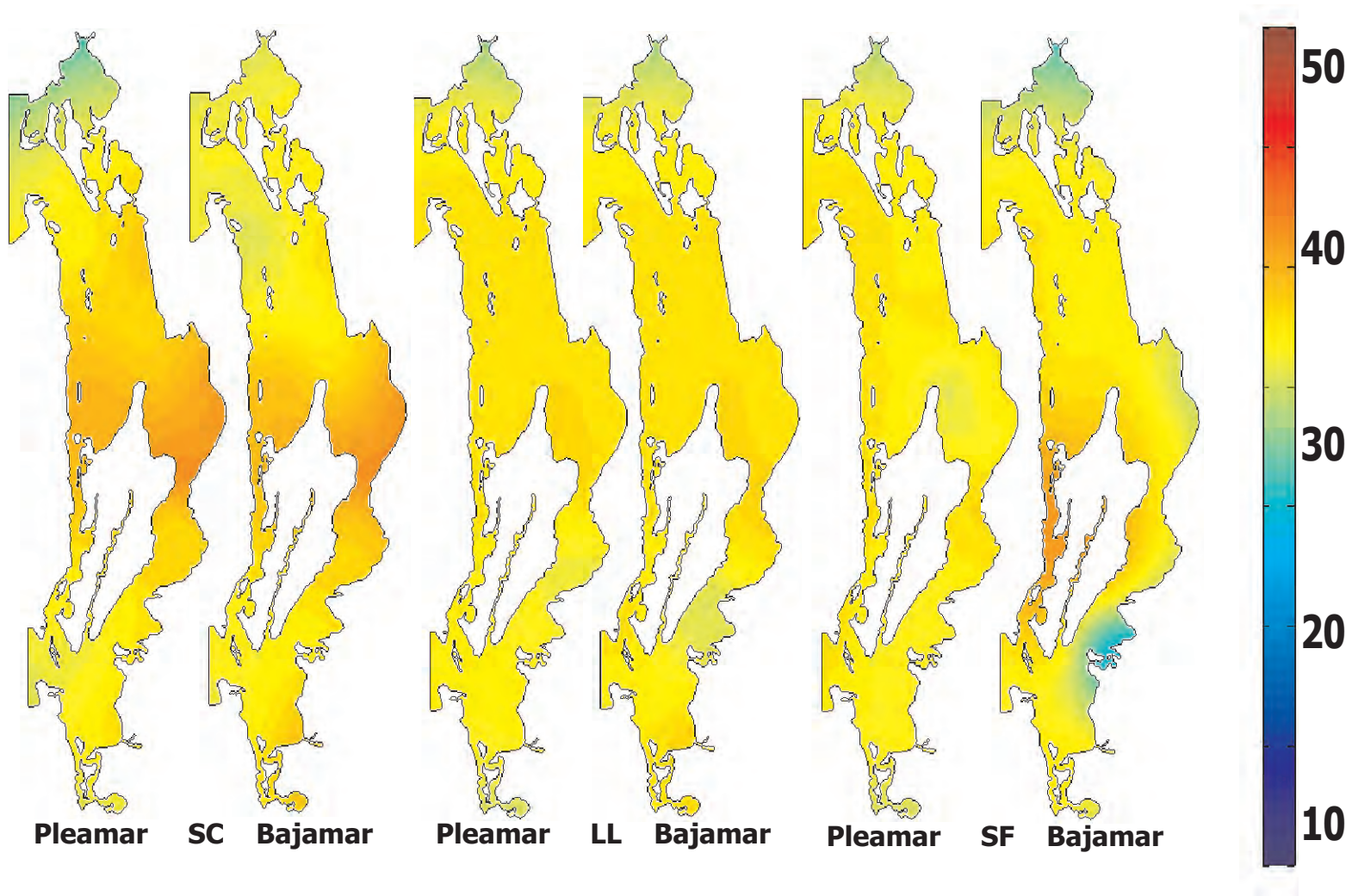


Fig. I.3 B. Distribución de la salinidad (ups) promedio de la columna de agua en pleamar y bajamar de la laguna de Santa María-La Reforma para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

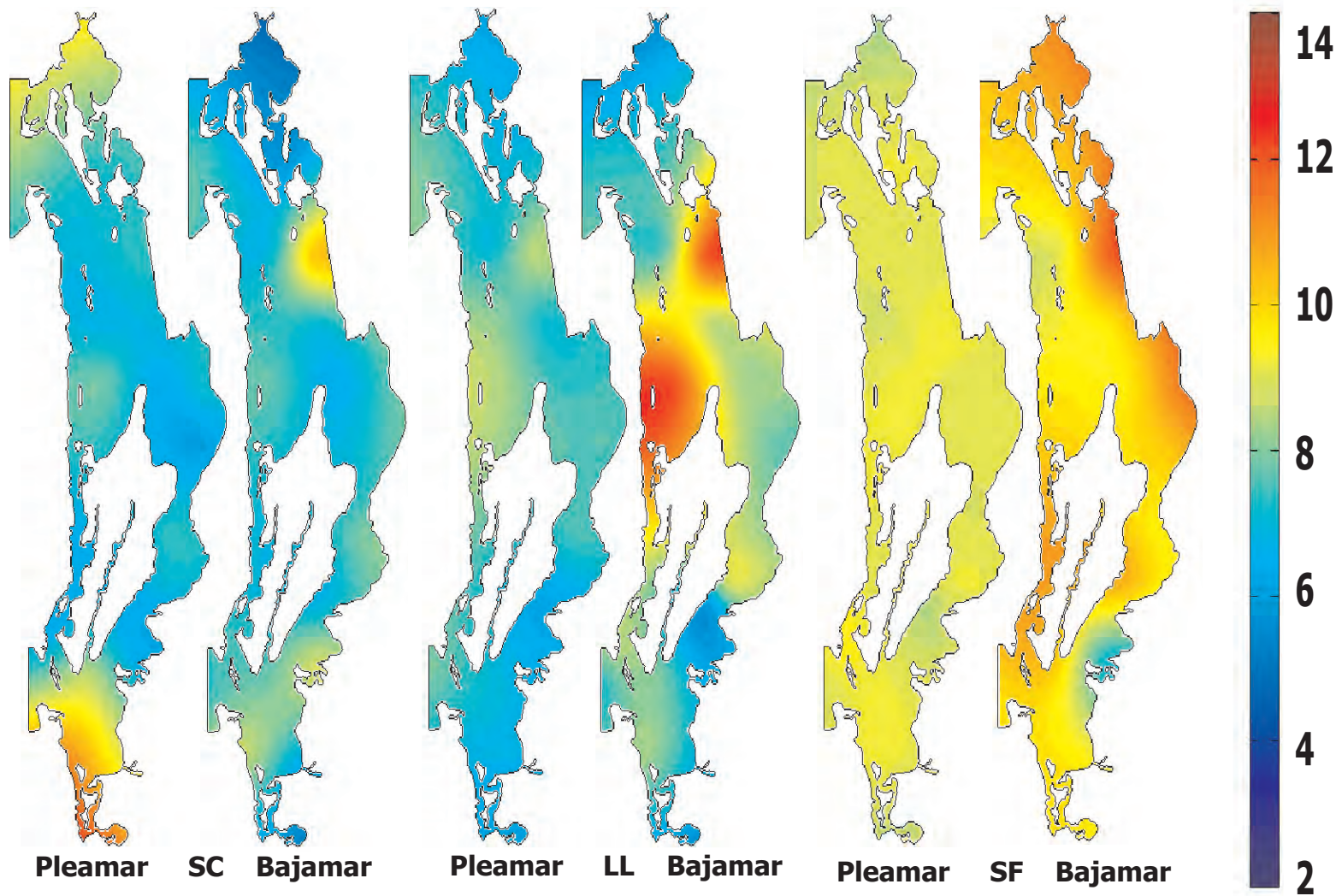


Fig. I.3 C. Distribución de la concentración de oxígeno disuelto (mg/L) en las aguas del fondo en pleamar y bajamar de la laguna de Santa María-La Reforma para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

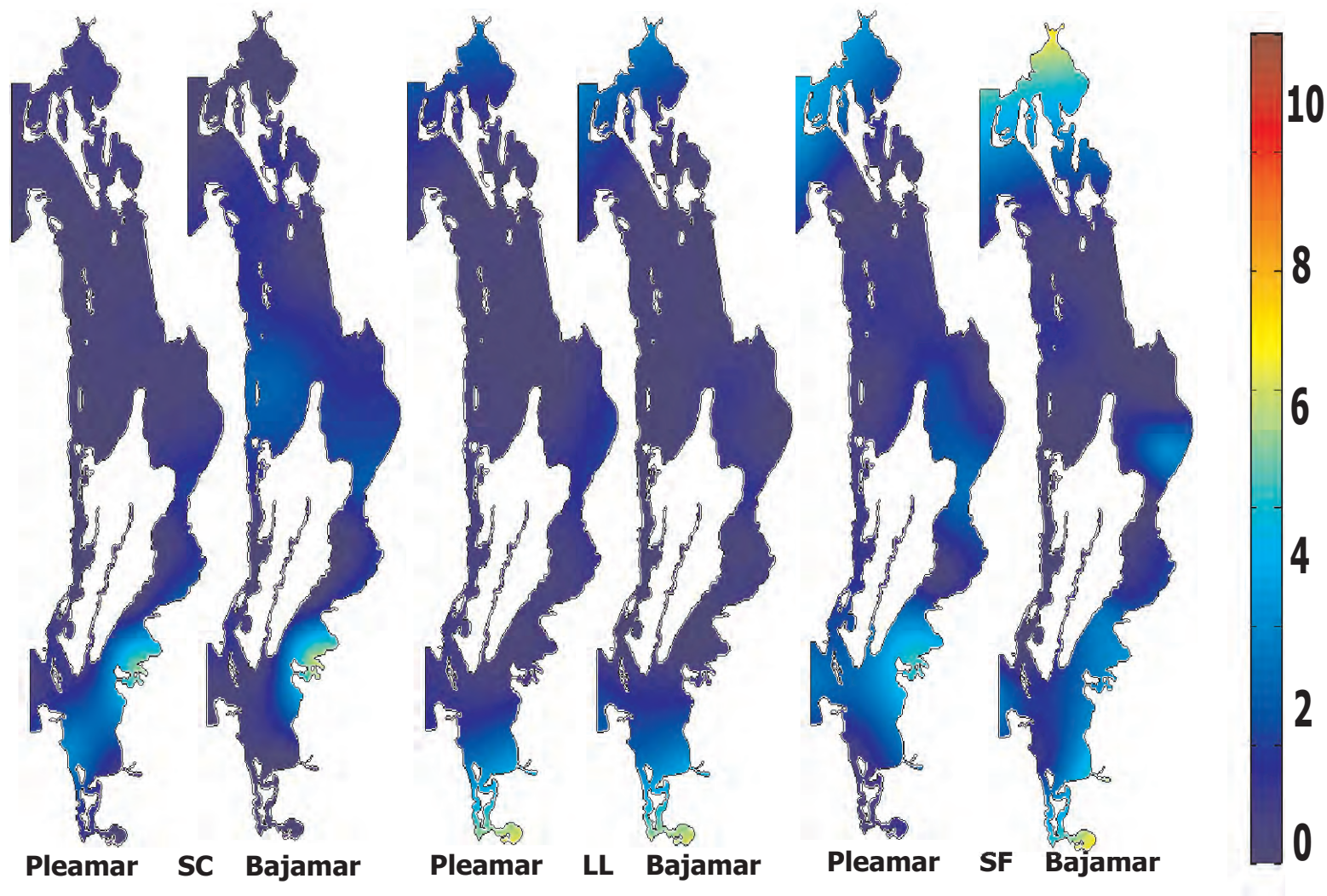


Fig. I.3 D. Distribución de la concentración de clorofila a ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) en las aguas superficiales en pleamar y bajamar de la laguna de Santa María-La Reforma para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

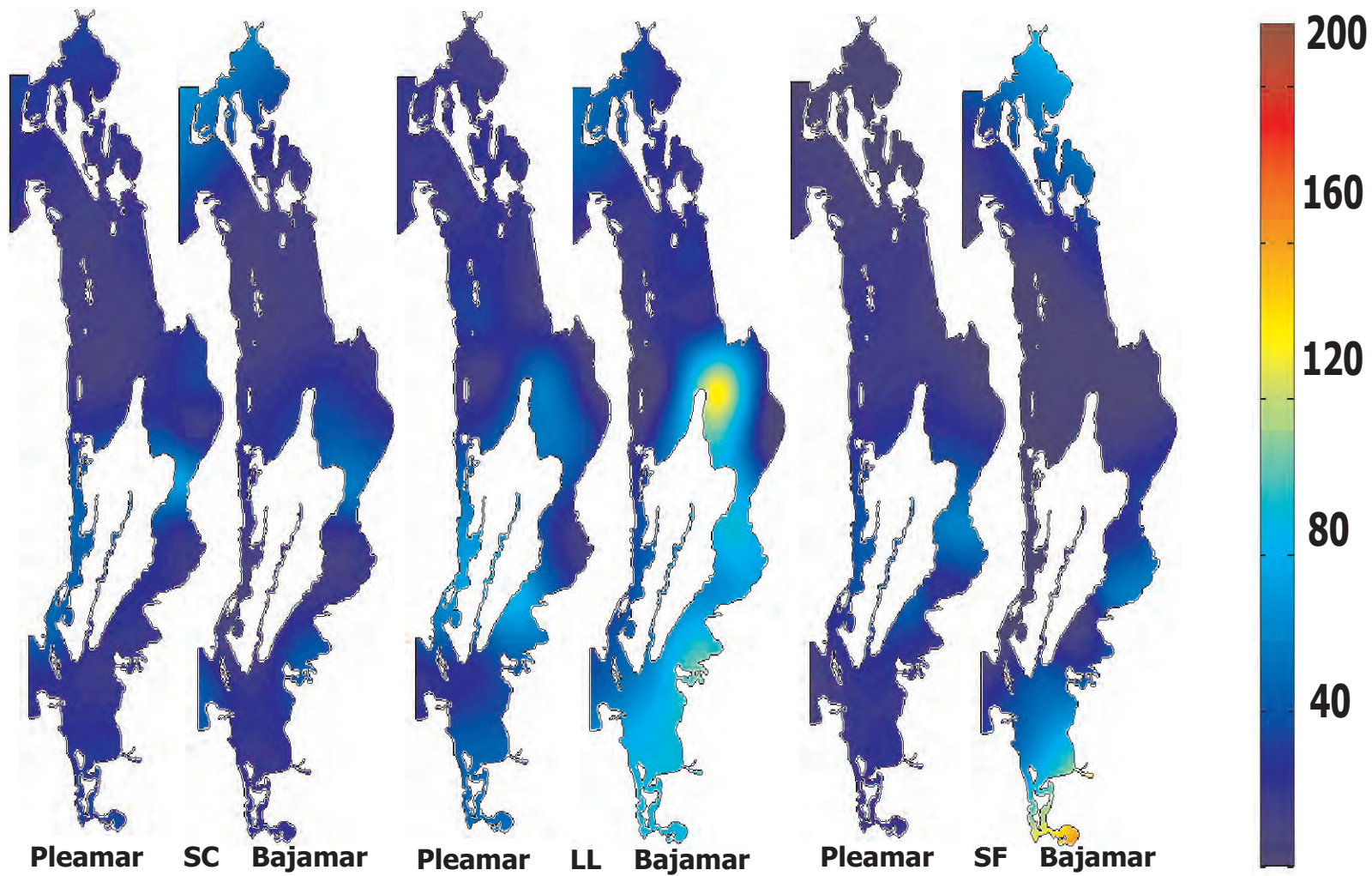


Fig. I.3 E. Distribución de la concentración de SST (mg/L) promedio en la columna de agua en pleamar y bajamar de la laguna de Santa María-La Reforma para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

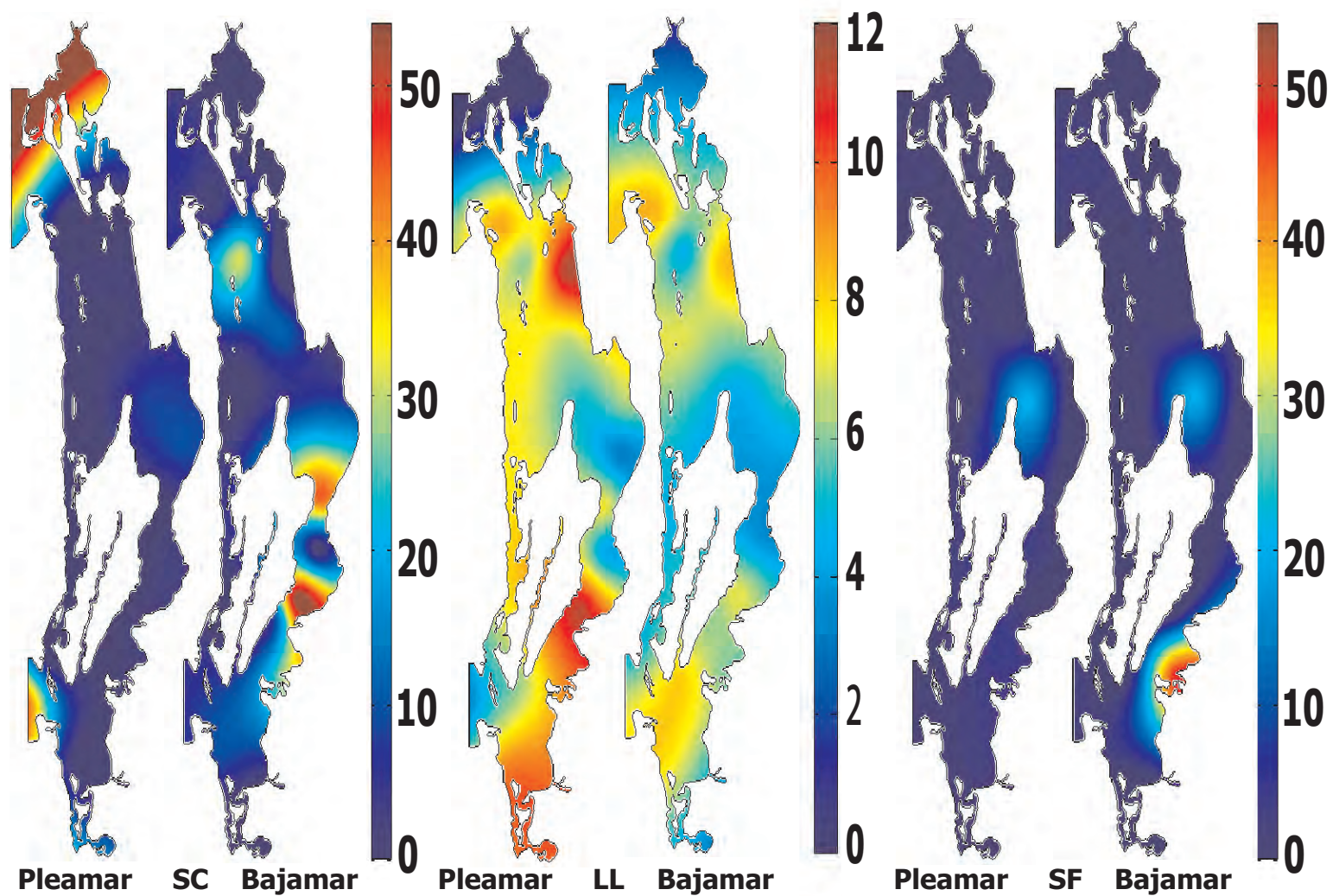


Fig. I.3 F. Distribución de la concentración  $N-NH_4^+$  ( M) promedio en la columna de agua en pleamar y bajamar de la laguna de Santa María-La Reforma para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

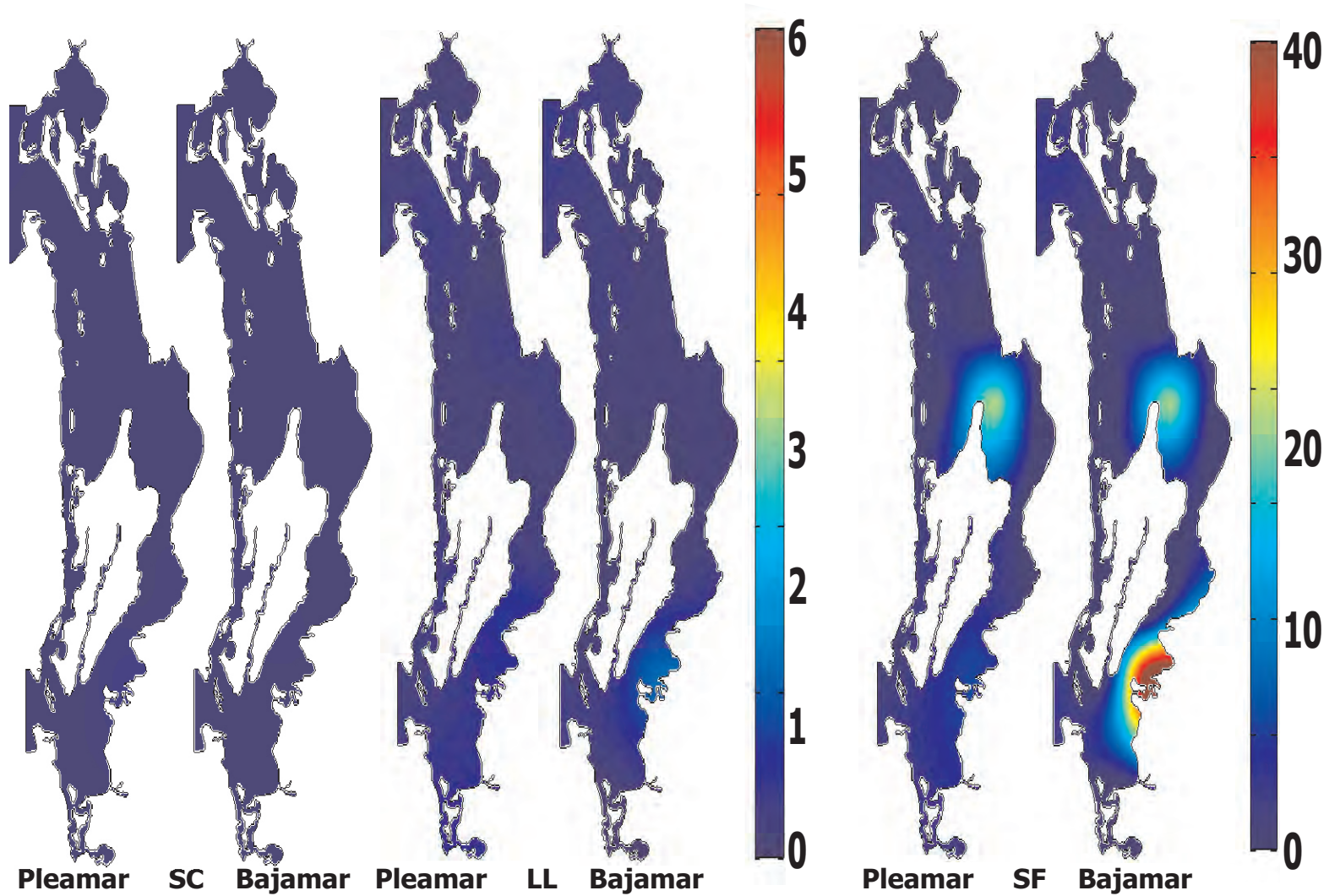


Fig. I.3 G. Distribución de la concentración  $N-NO_2^-$  (  $M$ ) promedio en la columna de agua en pleamar y bajamar de la laguna de Santa María-La Reforma para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

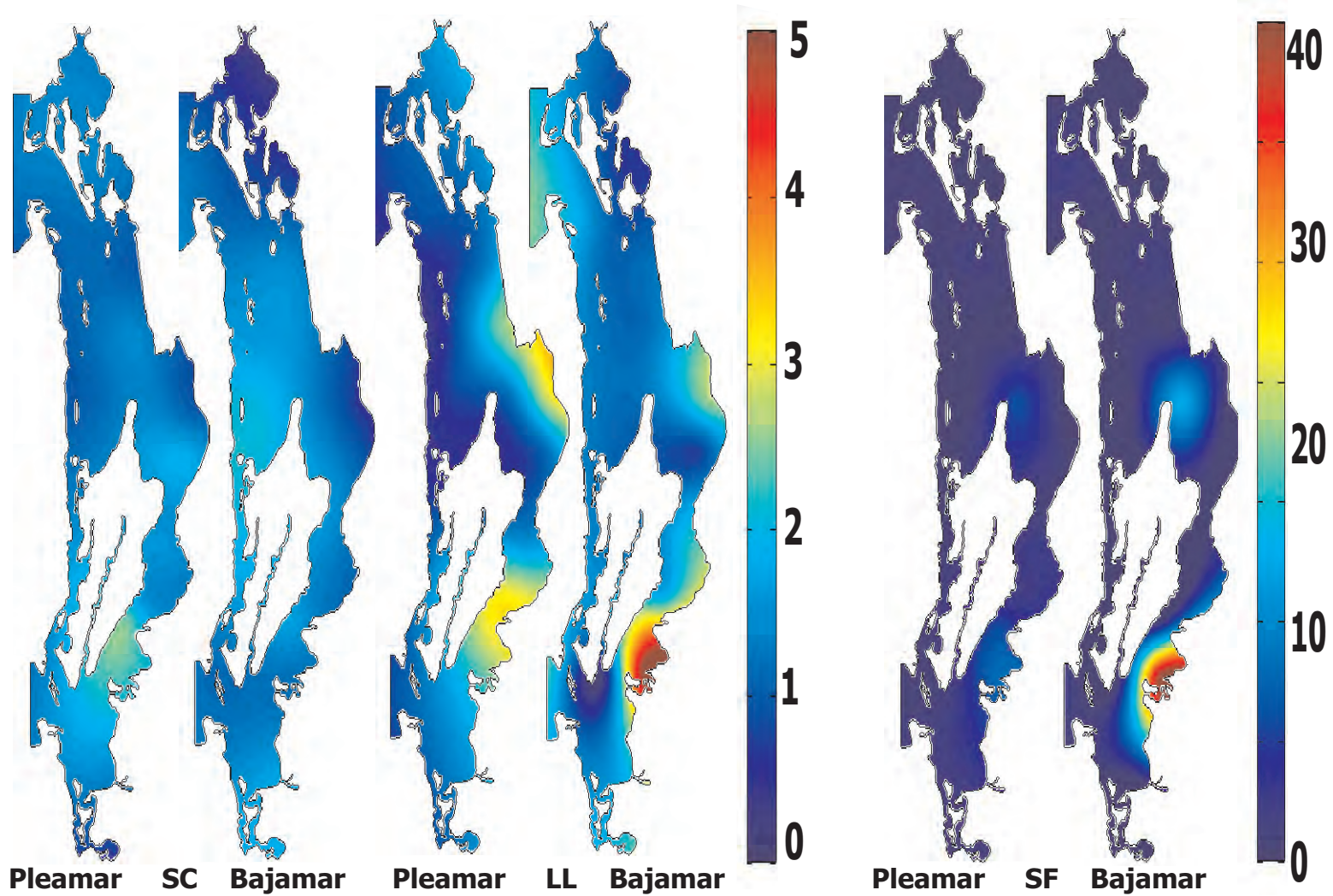


Fig. I.3 H. Distribución de la concentración  $N-NO_3^-$  ( M) promedio en la columna de agua en pleamar y bajamar de la laguna de Santa María-La Reforma para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

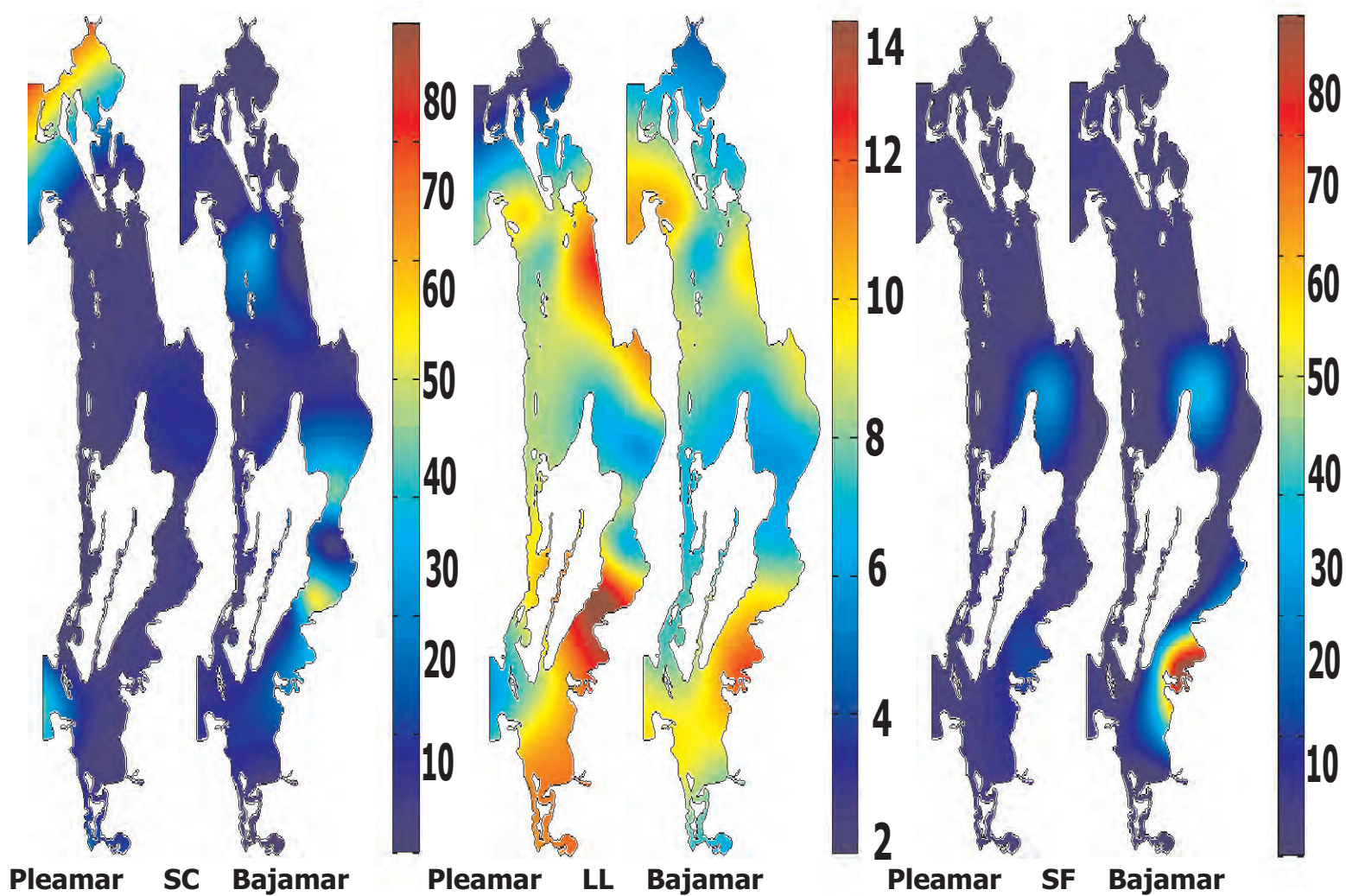


Fig. I.3 I. Distribución de la concentración nitrógeno inorgánico disuelto NID (  $\mu\text{M}$  ) promedio en la columna de agua en pleamar y bajamar de la laguna de Santa María-La Reforma para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).



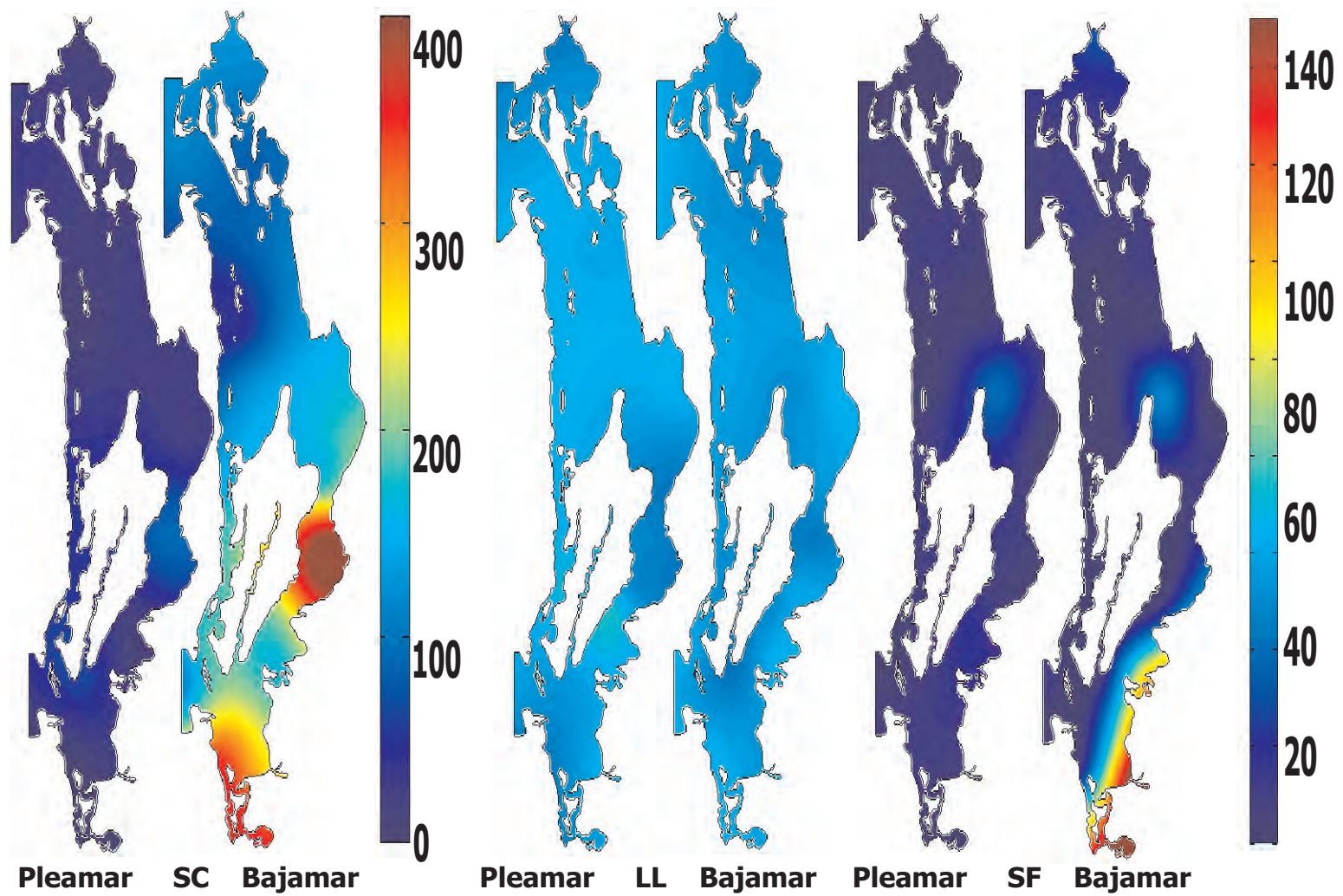


Fig. I.3 J. Distribución de la concentración nitrógeno total ( $M$ ) promedio en la columna de agua en pleamar y bajamar de la laguna de Santa María-La Reforma para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

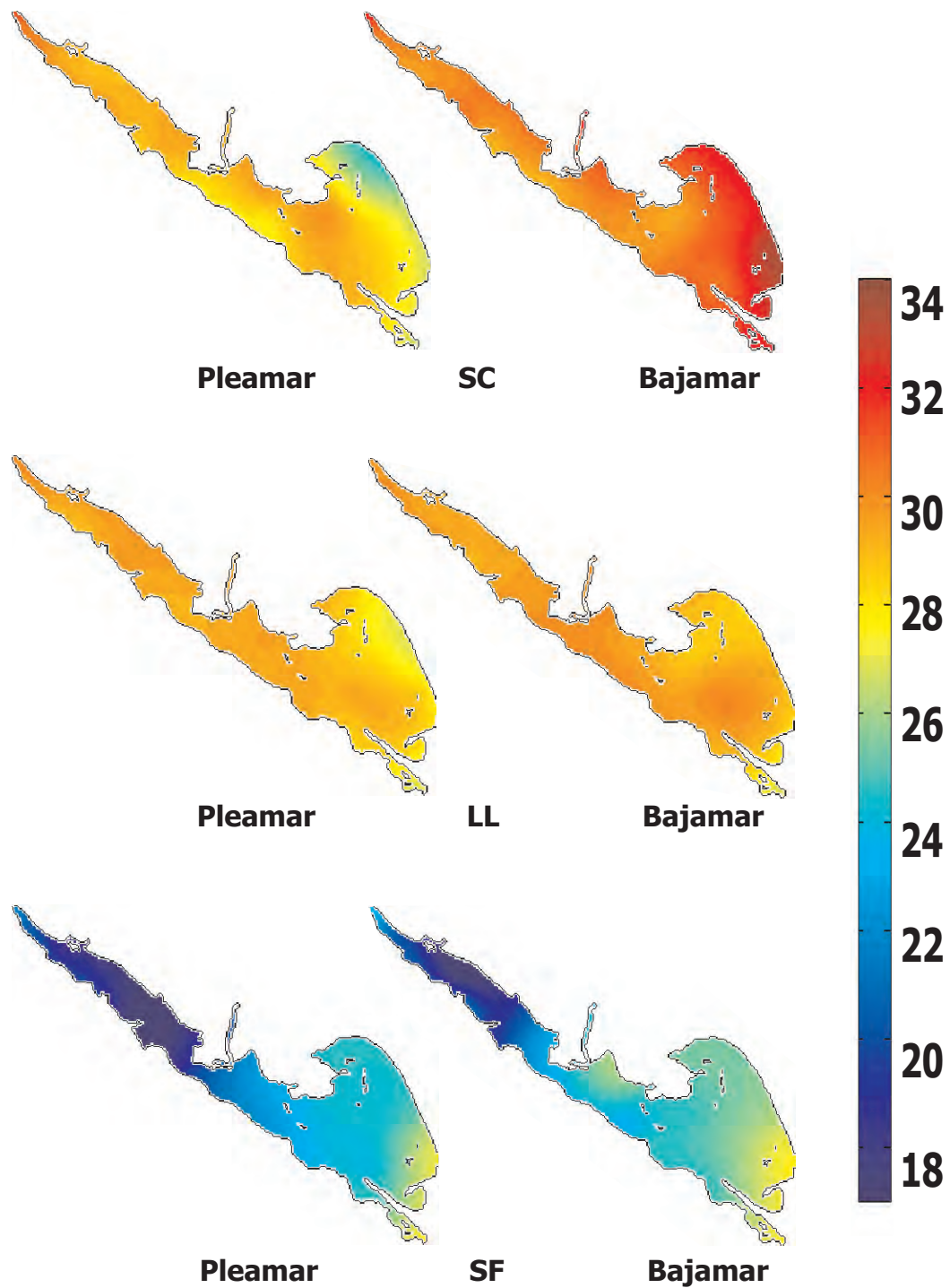


Fig. I.4 A. Distribución de la temperatura ( C) en las aguas superficiales en pleamar y bajamar de la laguna de Altata-Ensenada del Pabellón para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

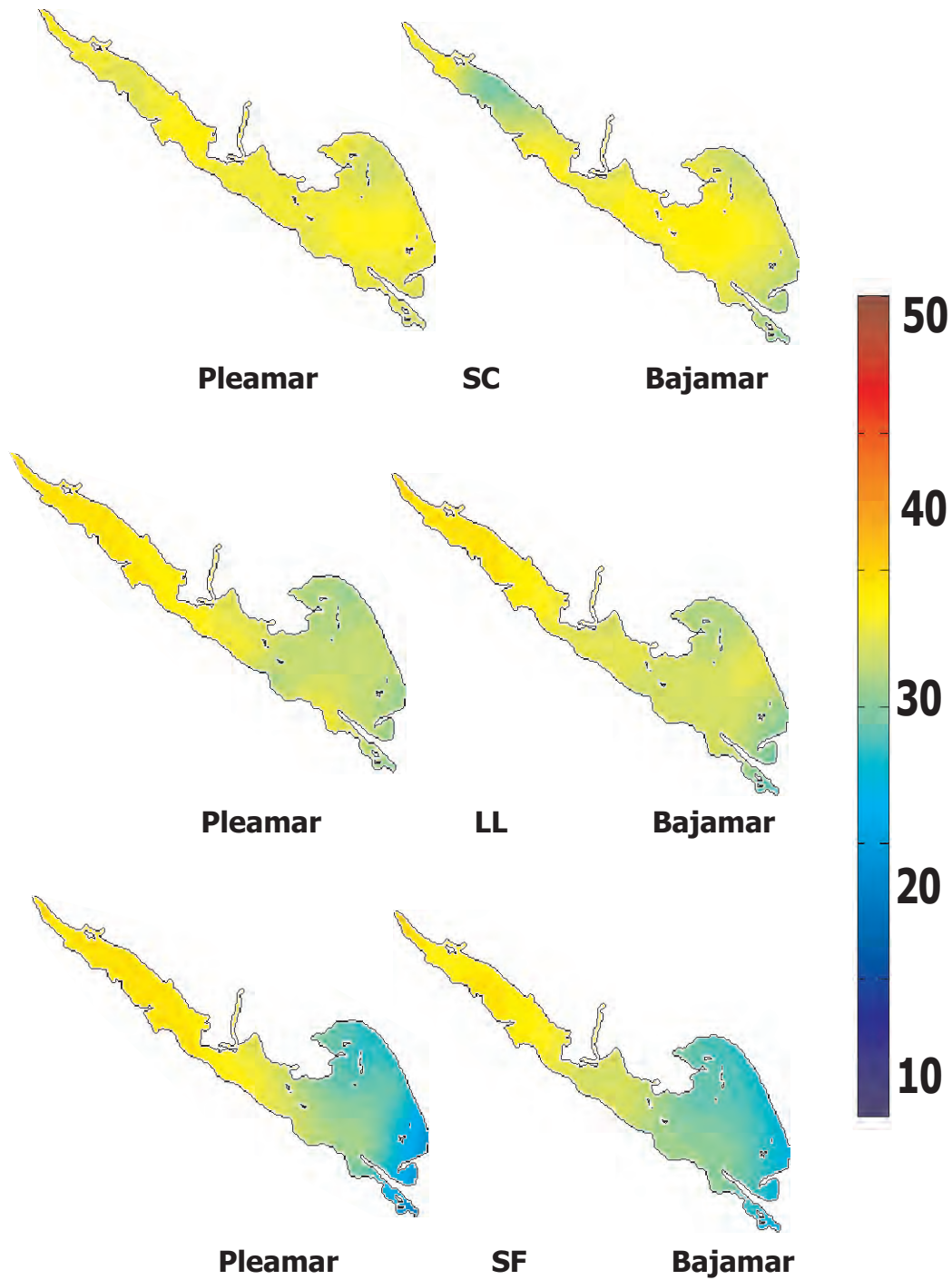


Fig. I.4 B. Distribución de la salinidad (ups) promedio en la columna de agua en pleamar y bajamar de la laguna de Altata-Ensenada del Pabellón para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

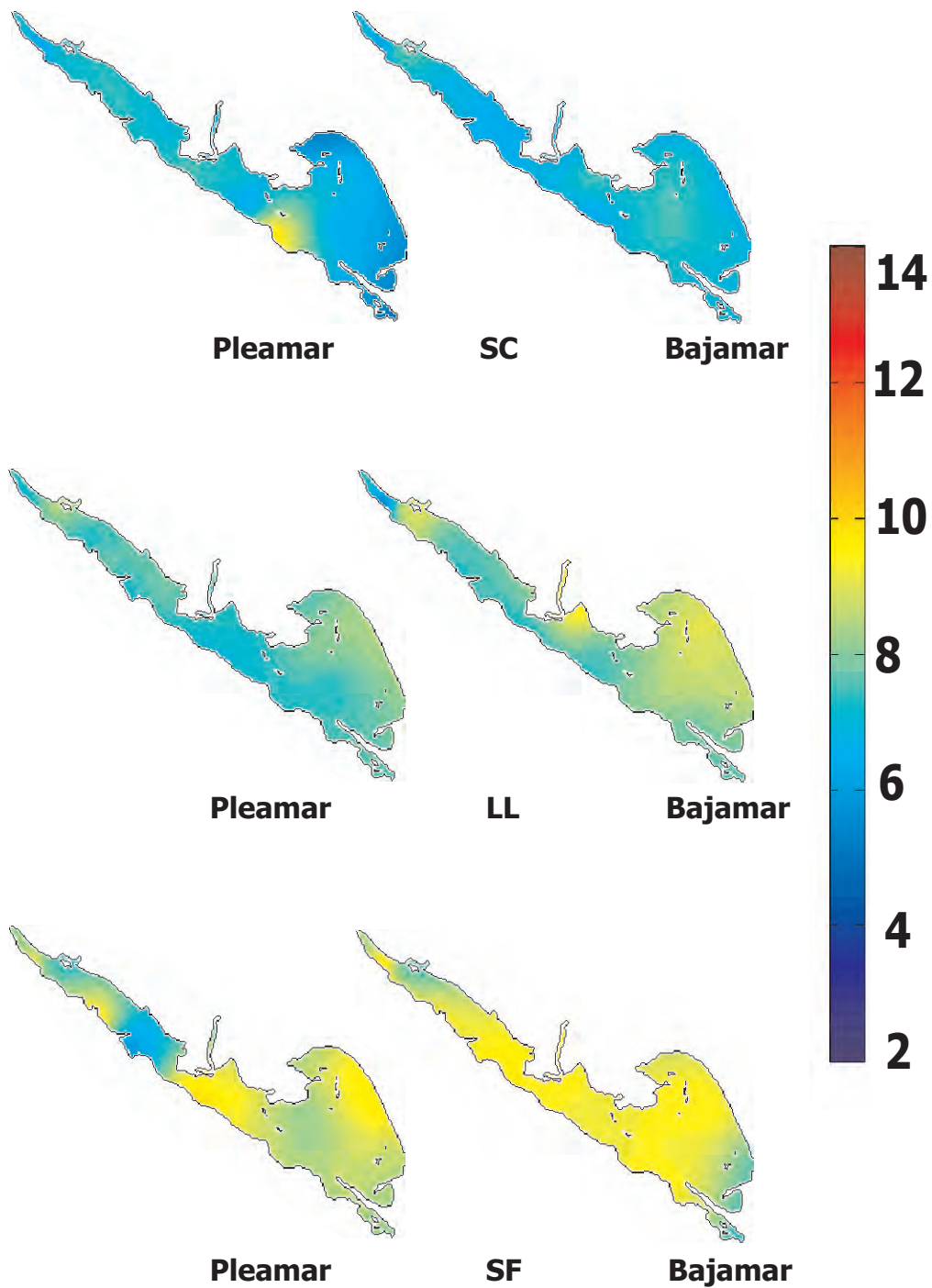


Fig. I.4 C. Distribución de la concentración de oxígeno disuelto (mg/L) en las aguas del fondo en pleamar y bajamar de la laguna de Altata-Ensenada del Pabellón para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

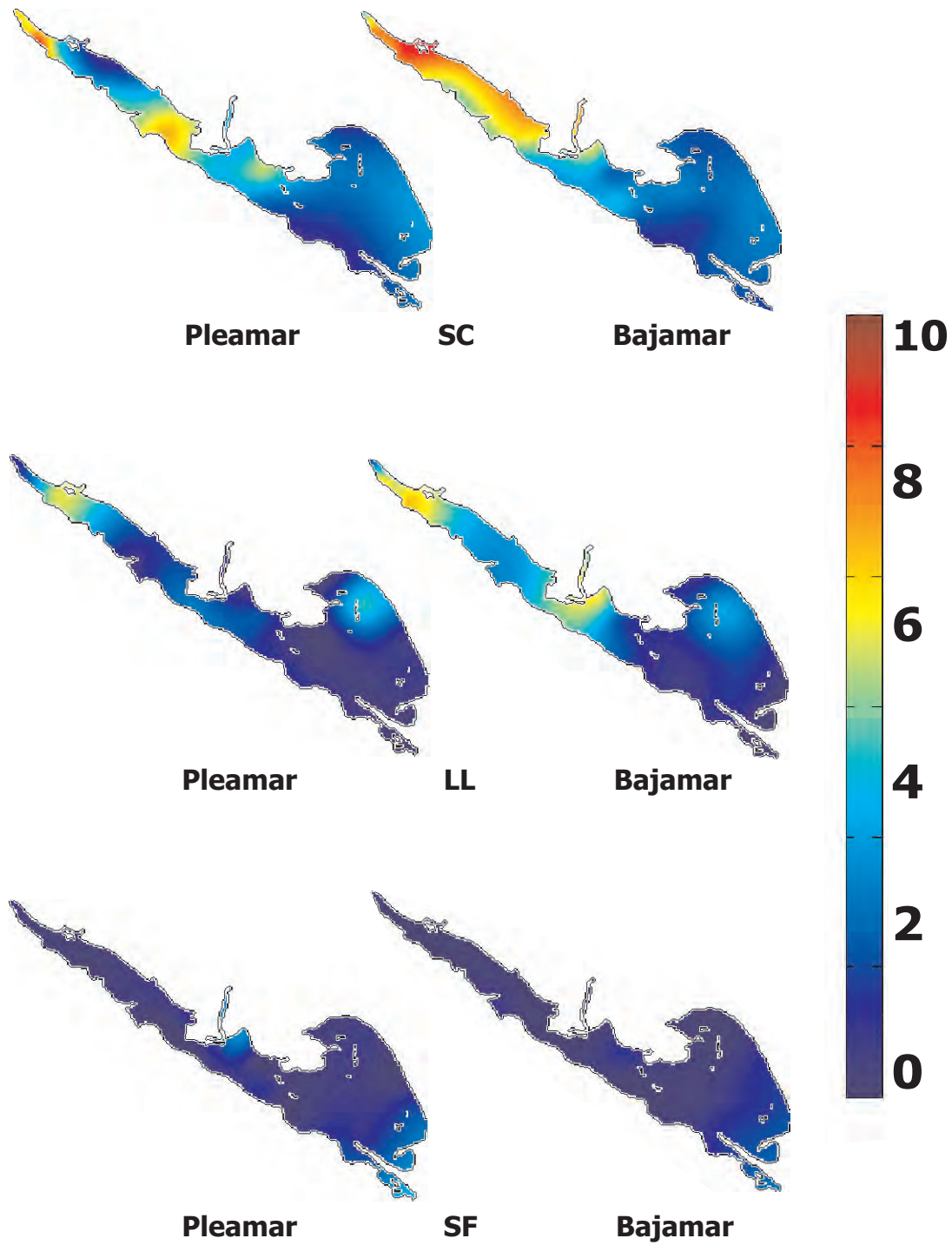


Fig. I.4 D. Distribución de la concentración de clorofila a ( $\text{mg/m}^3$ ) en aguas superficiales en pleamar y bajamar de la laguna de Altata-Ensenada del Pabellón para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

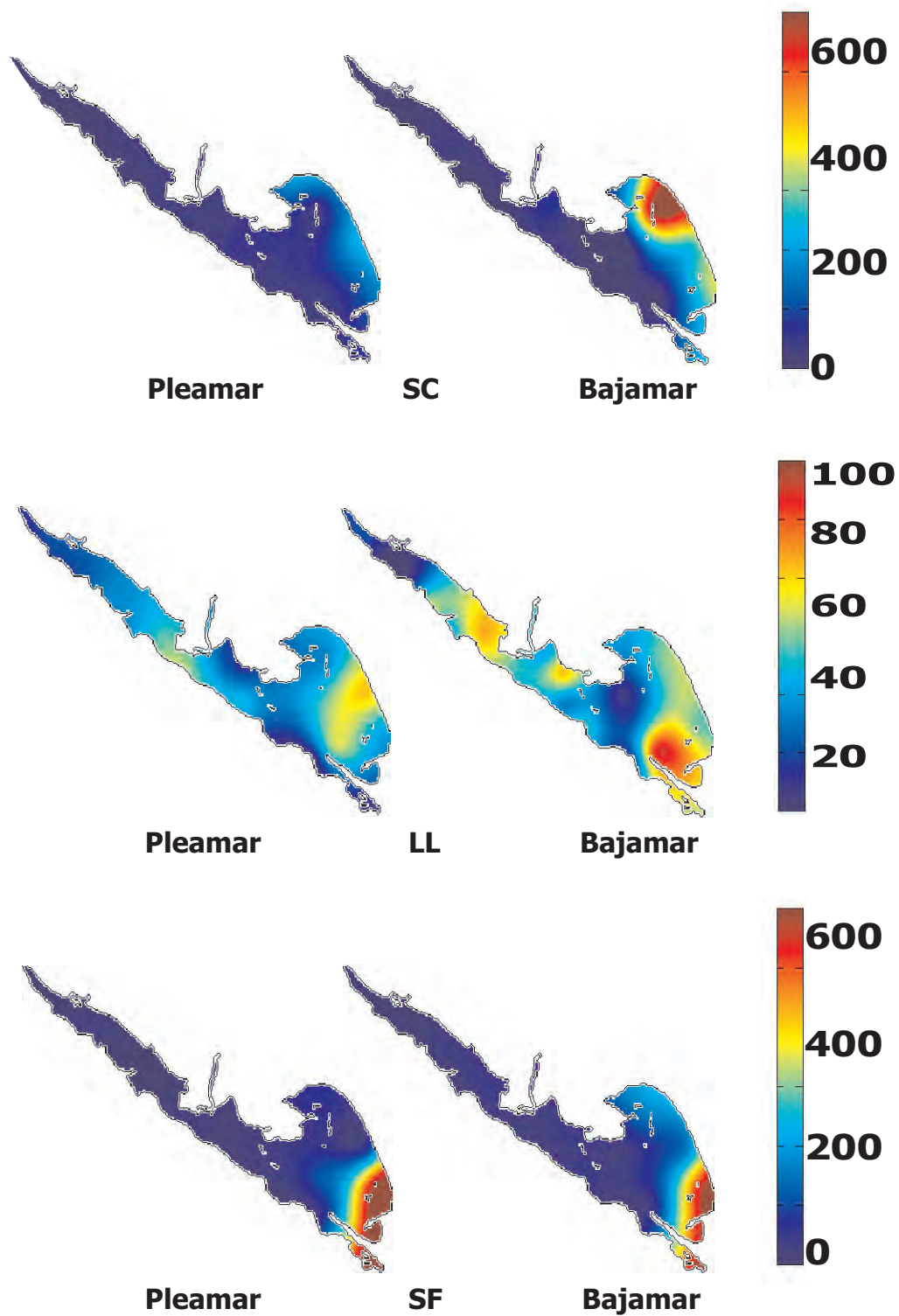


Fig. 1.4 E. Distribución de la concentración de SST (mg/L) promedio en la columna de agua en pleamar y bajamar de la laguna de Altata-Ensenada del Pabellón para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

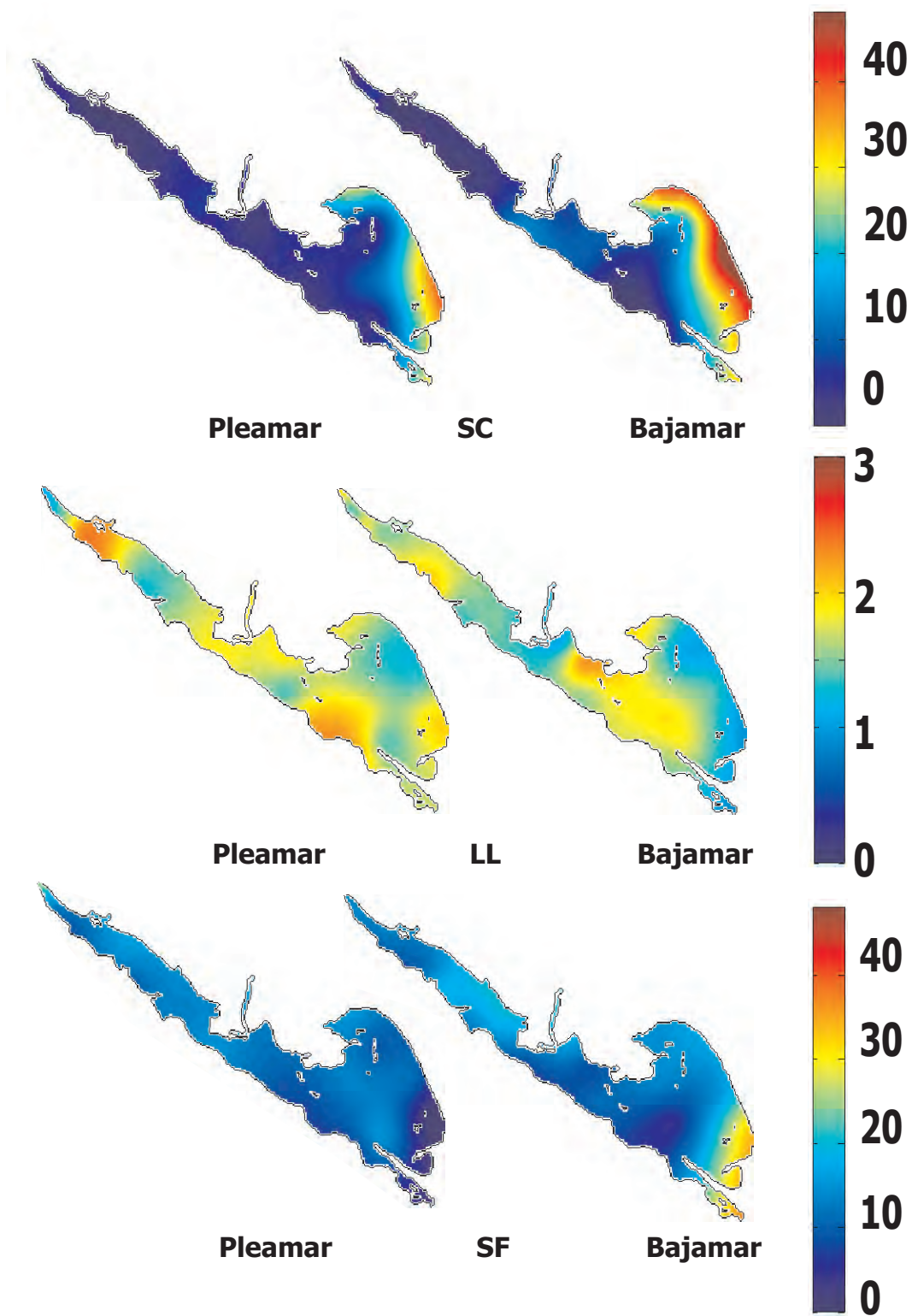


Fig. I.4 F. Distribución de concentración de  $N-NH_4^+$  ( M) promedio en la columna de agua en pleamar y bajamar de la laguna de Altata-Ensenada del Pabellón para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

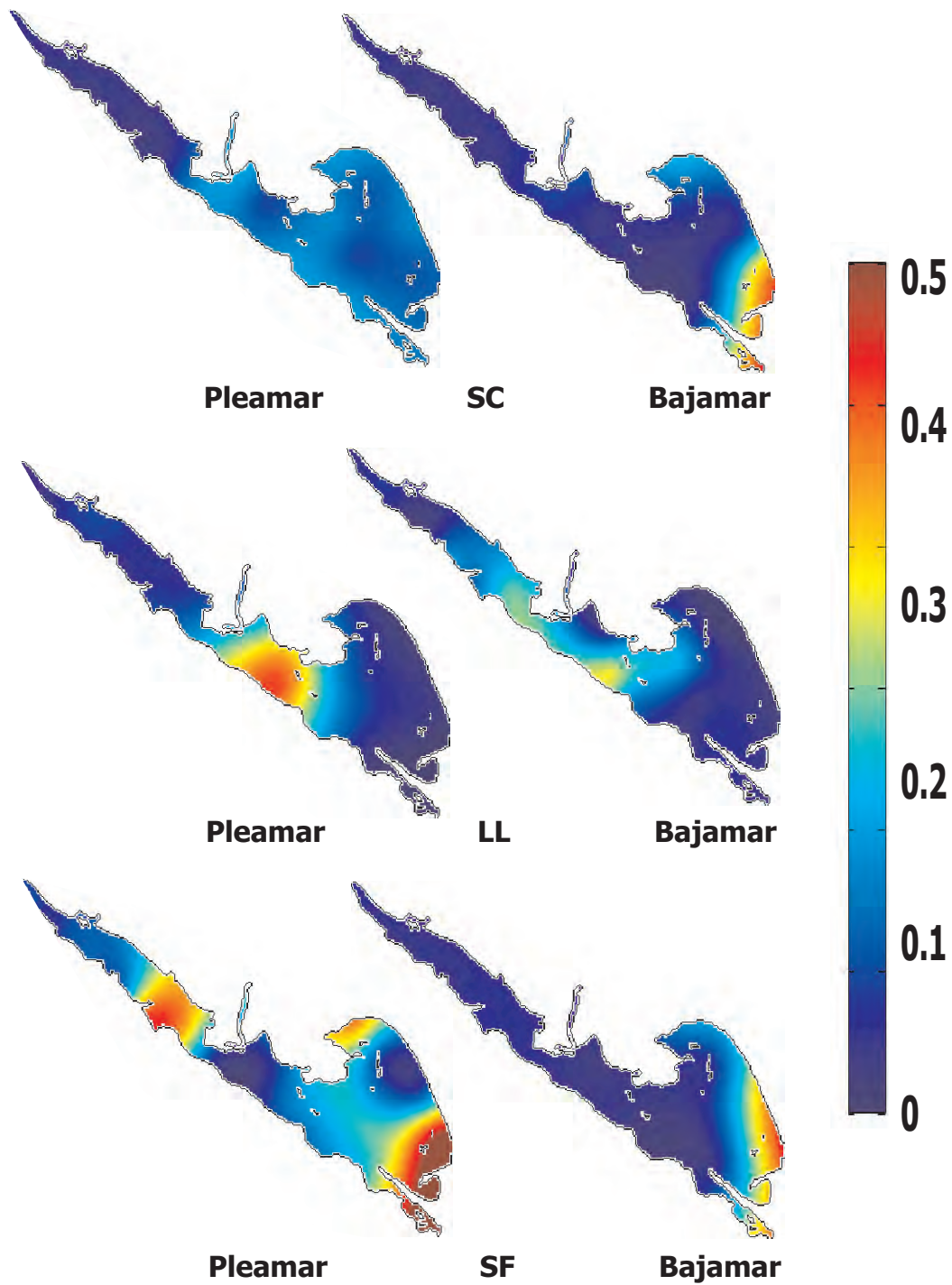


Fig. 1.4 G. Distribución de concentración de  $\text{N-NO}_2^-$  ( M) promedio en la columna de agua en pleamar y bajamar de la laguna de Altata-Ensenada del Pabellón para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).



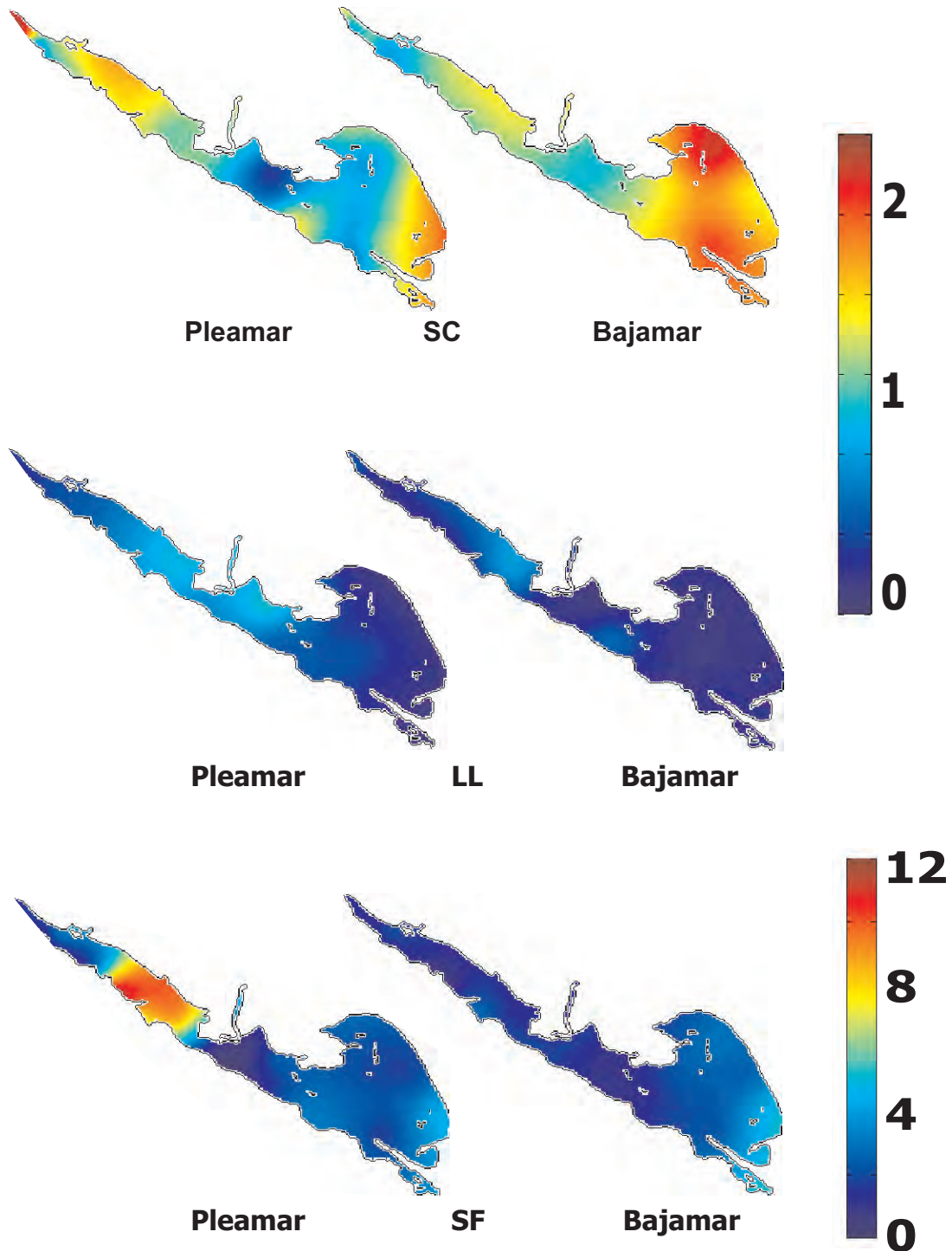


Fig. 1.4 H. Distribución de concentración de  $N-NO_3^-$  ( M) promedio en la columna de agua en pleamar y bajamar de la laguna de Altata-Ensenada del Pabellón para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

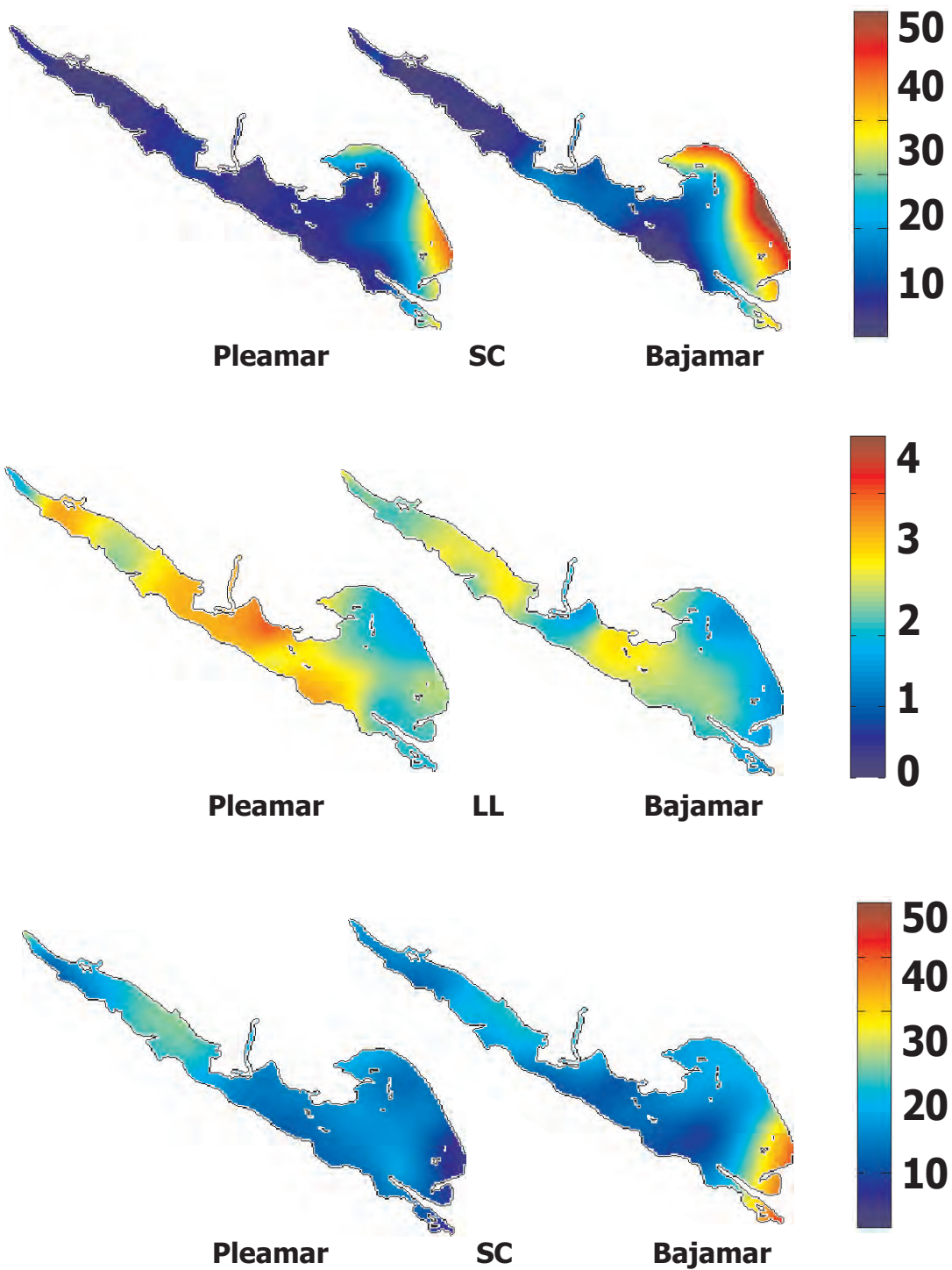


Fig. 1.4 I. Distribución de concentración de nitrógeno inorgánico disuelto NID ( M) promedio en la columna de agua en pleamar y bajamar de la laguna de Altata-Ensenada del Pabellón para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

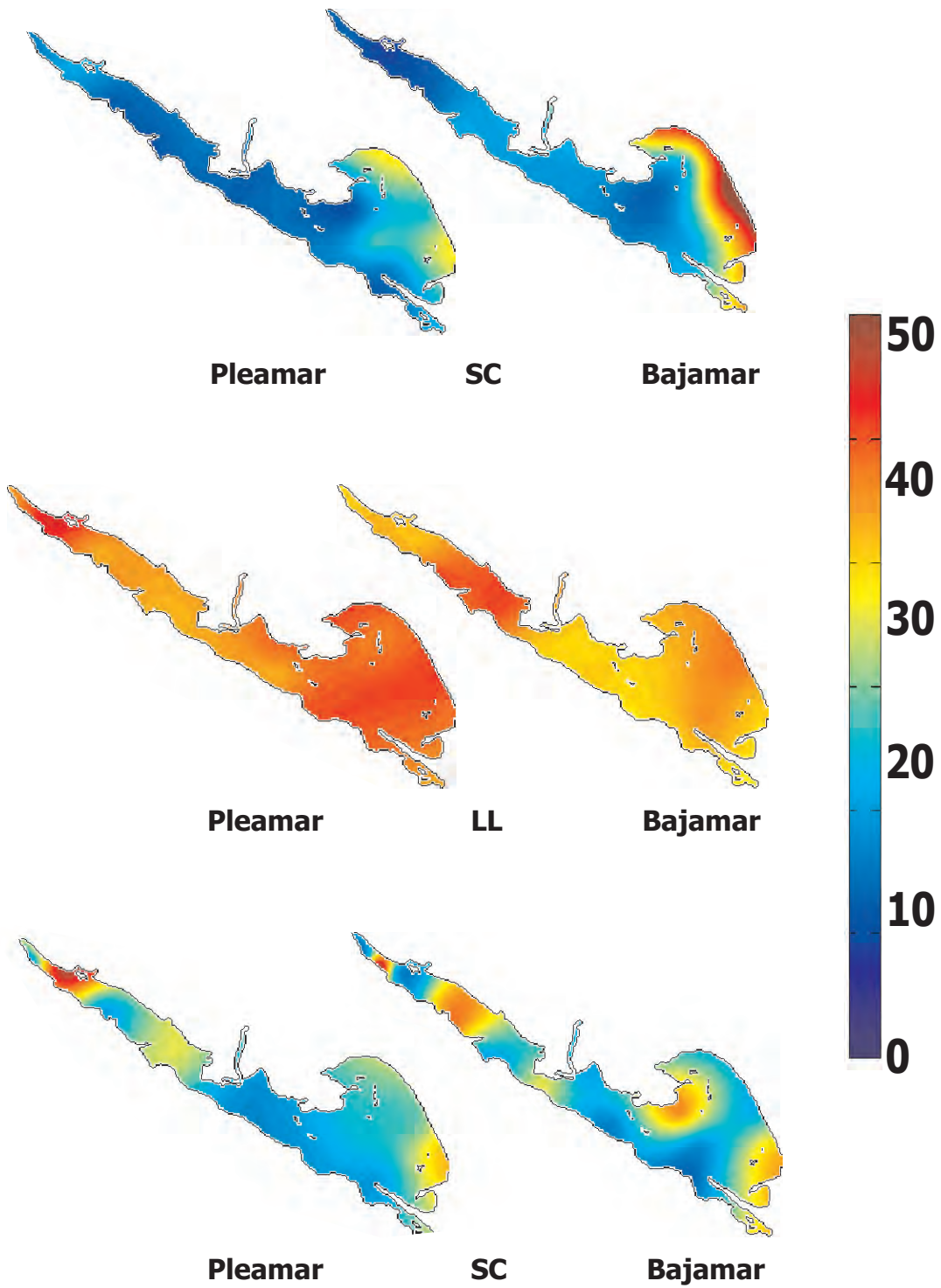


Fig. I.4 J. Distribución de concentración de nitrógeno total ( M) promedio en la columna de agua en pleamar y bajamar de la laguna de Altata-Ensenada del Pabellón para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

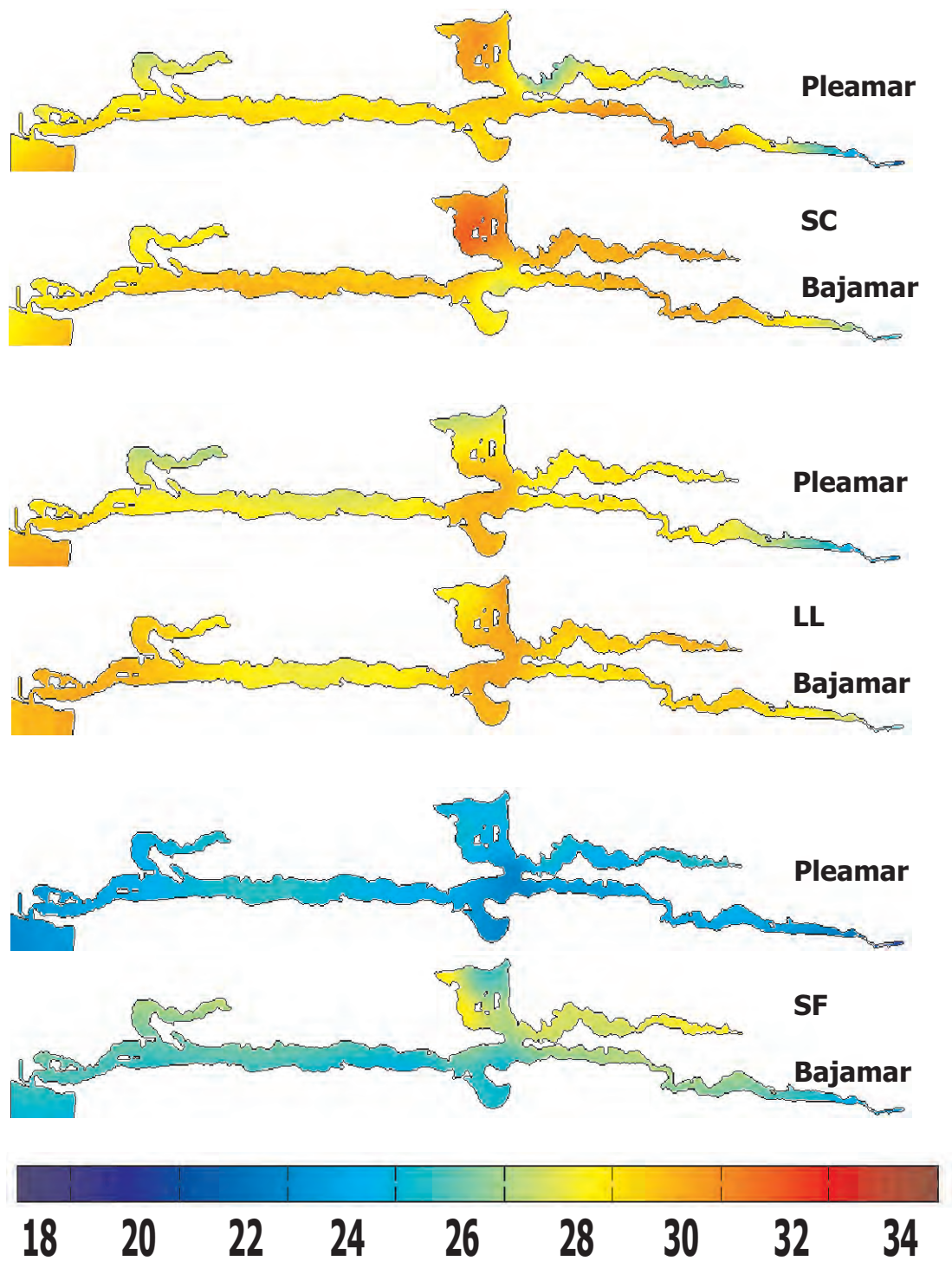


Fig. I.5 A. Distribución de la temperatura ( C) en las aguas superficiales en pleamar y bajamar de la laguna de Ceuta para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

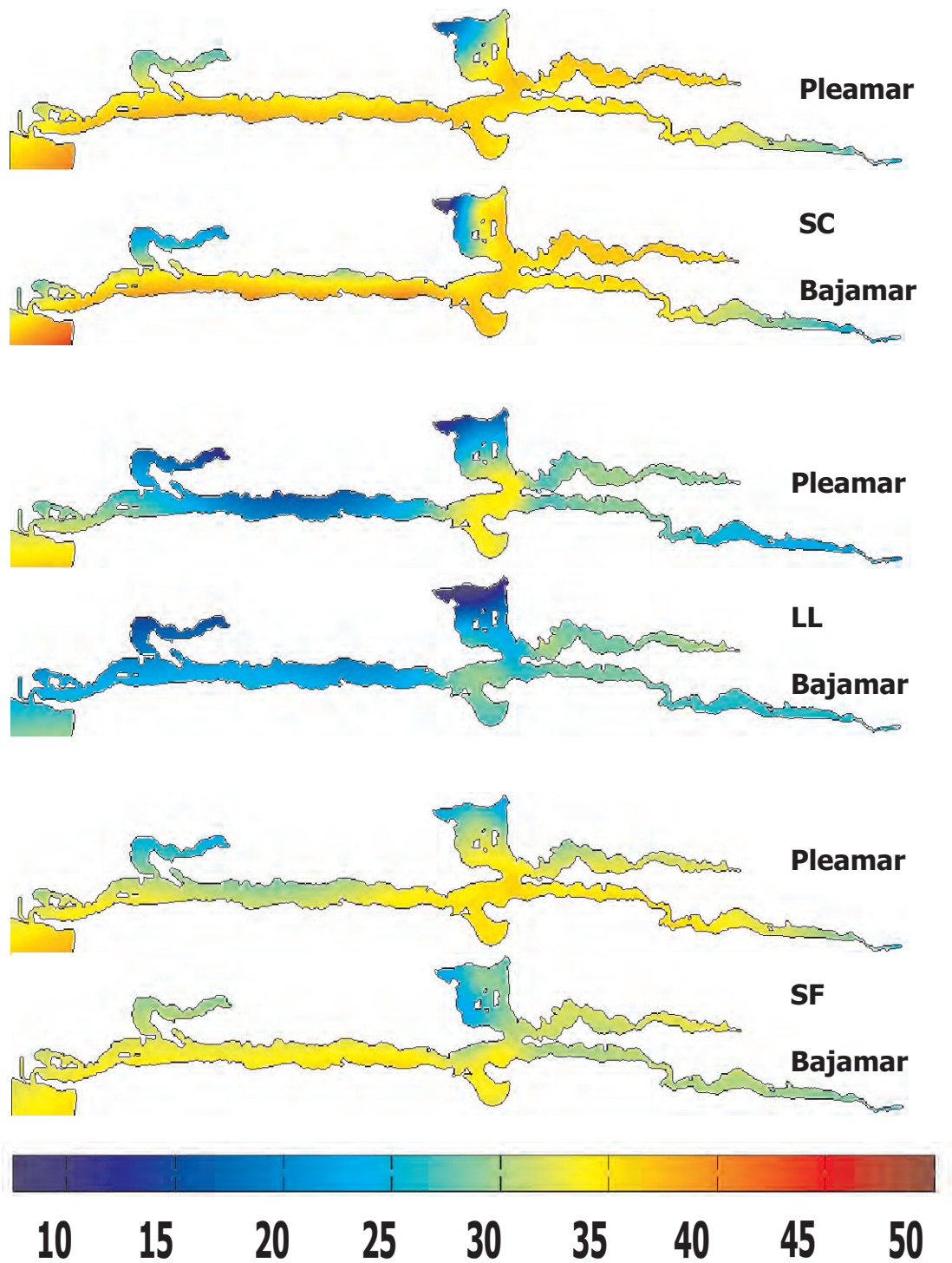


Fig. I.5 B. Distribución de la salinidad (ups) promedio en la columna de agua en pleamar y bajamar de la laguna de Ceuta para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

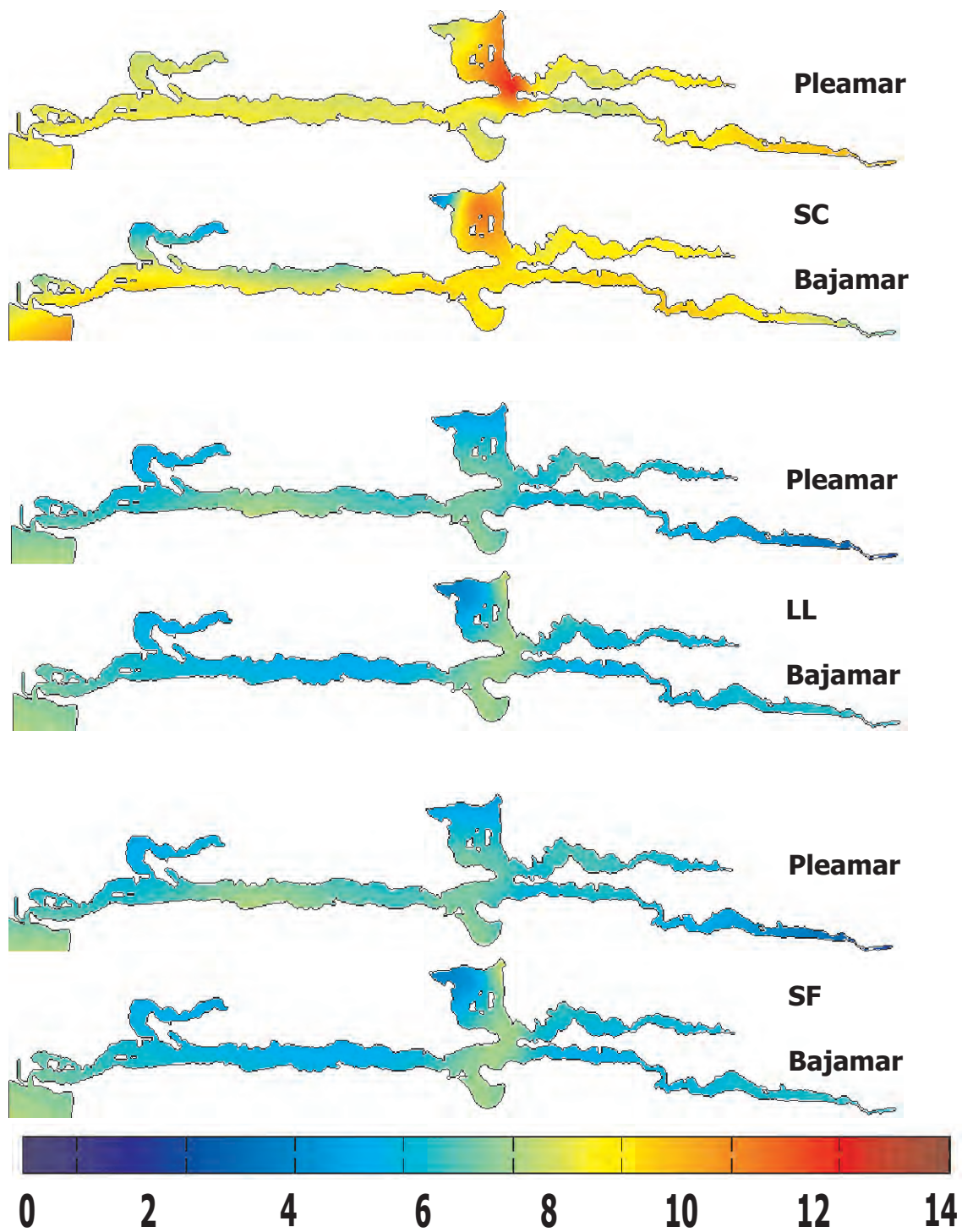


Fig. I.5 C. Distribución de la concentración de oxígeno disuelto (mg/L) en las aguas del fondo en pleamar y bajamar de la laguna de Ceuta para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

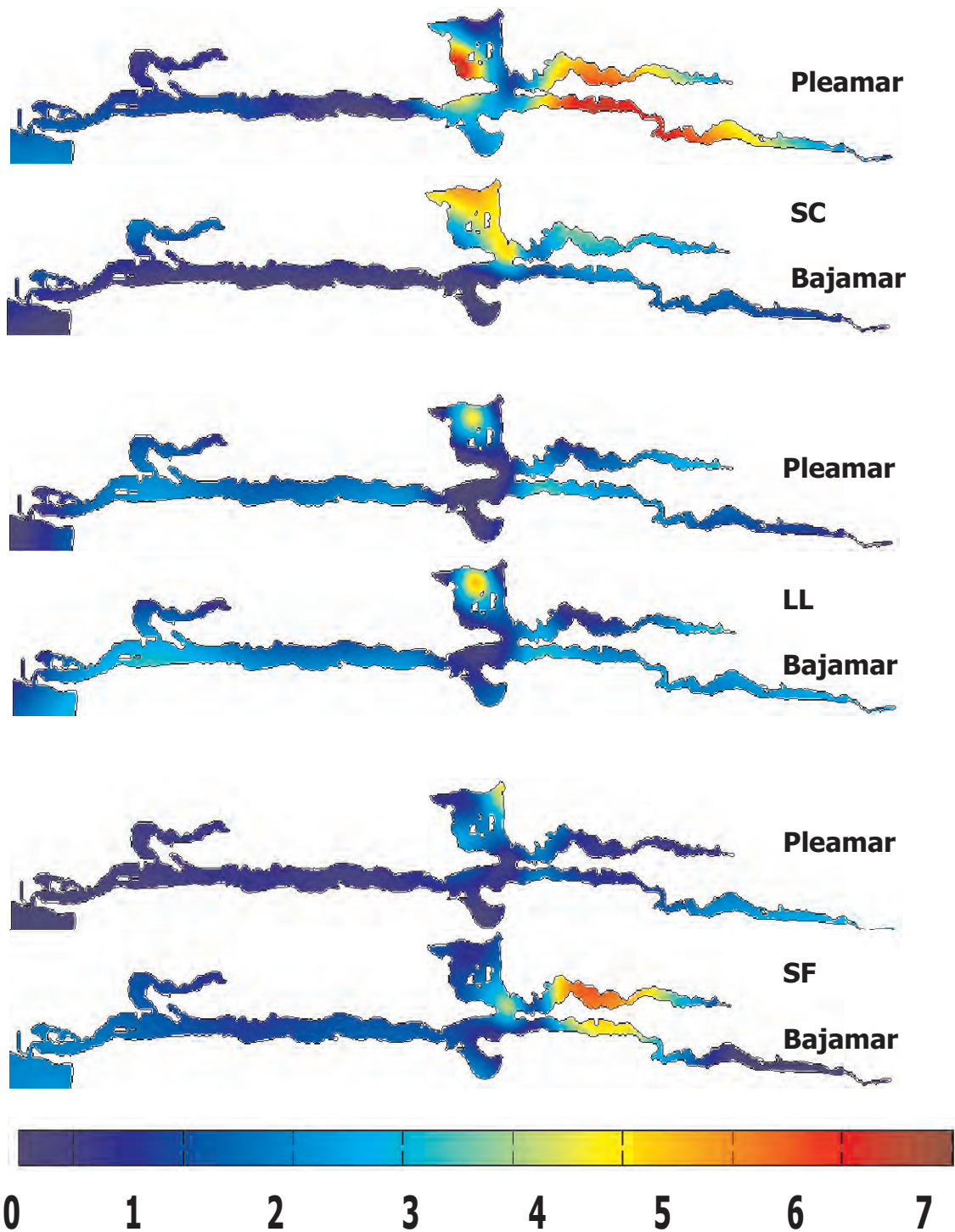


Fig. I.5 D. Distribución de la concentración de clorofila *a* ( $\text{mg/m}^3$ ) en aguas superficiales en pleamar y bajamar de la laguna de Ceuta para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

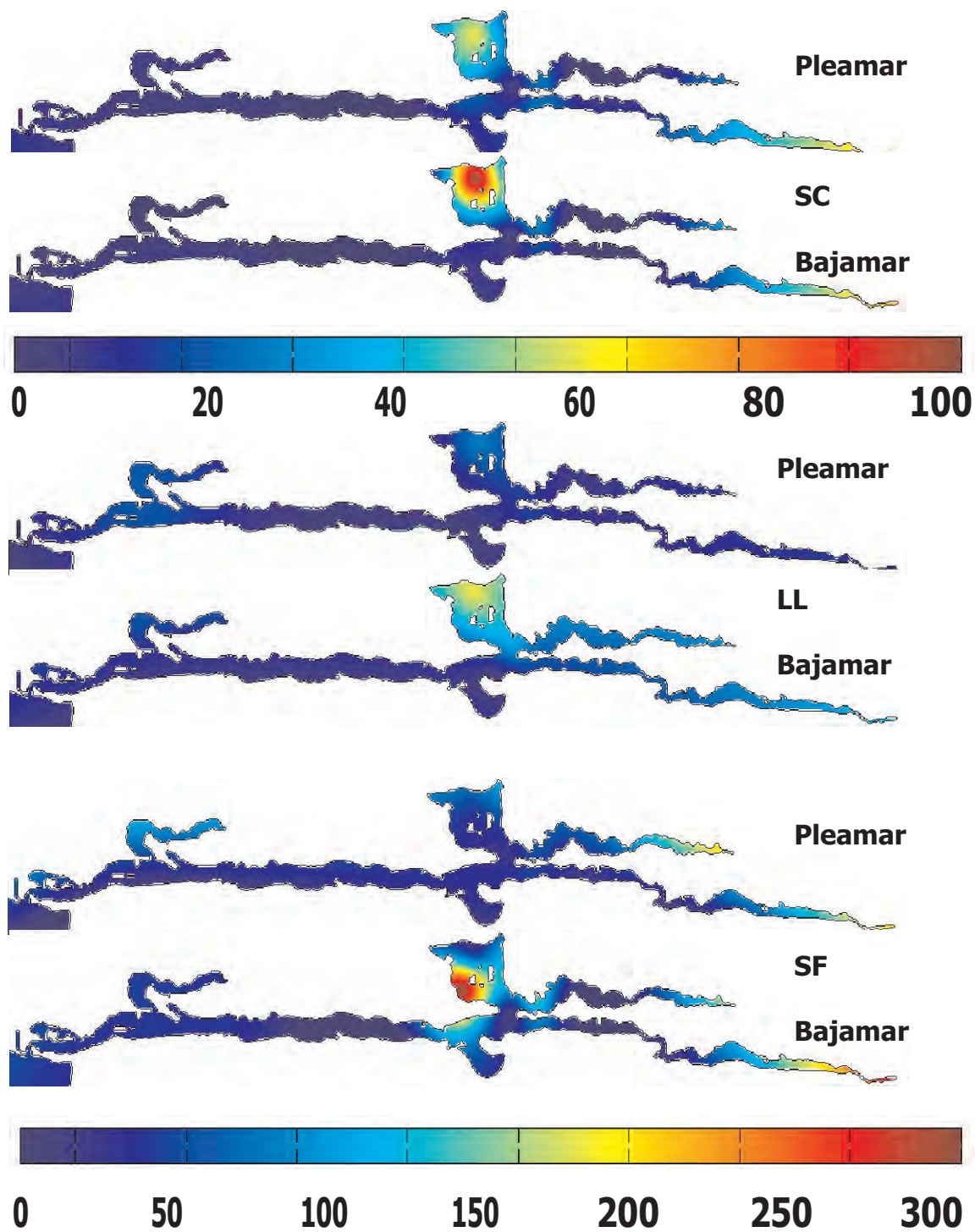


Fig. I.5 E. Distribución de la concentración de SST (mg/L) promedio en la columna de agua en pleamar y bajamar de la laguna de Ceuta para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).



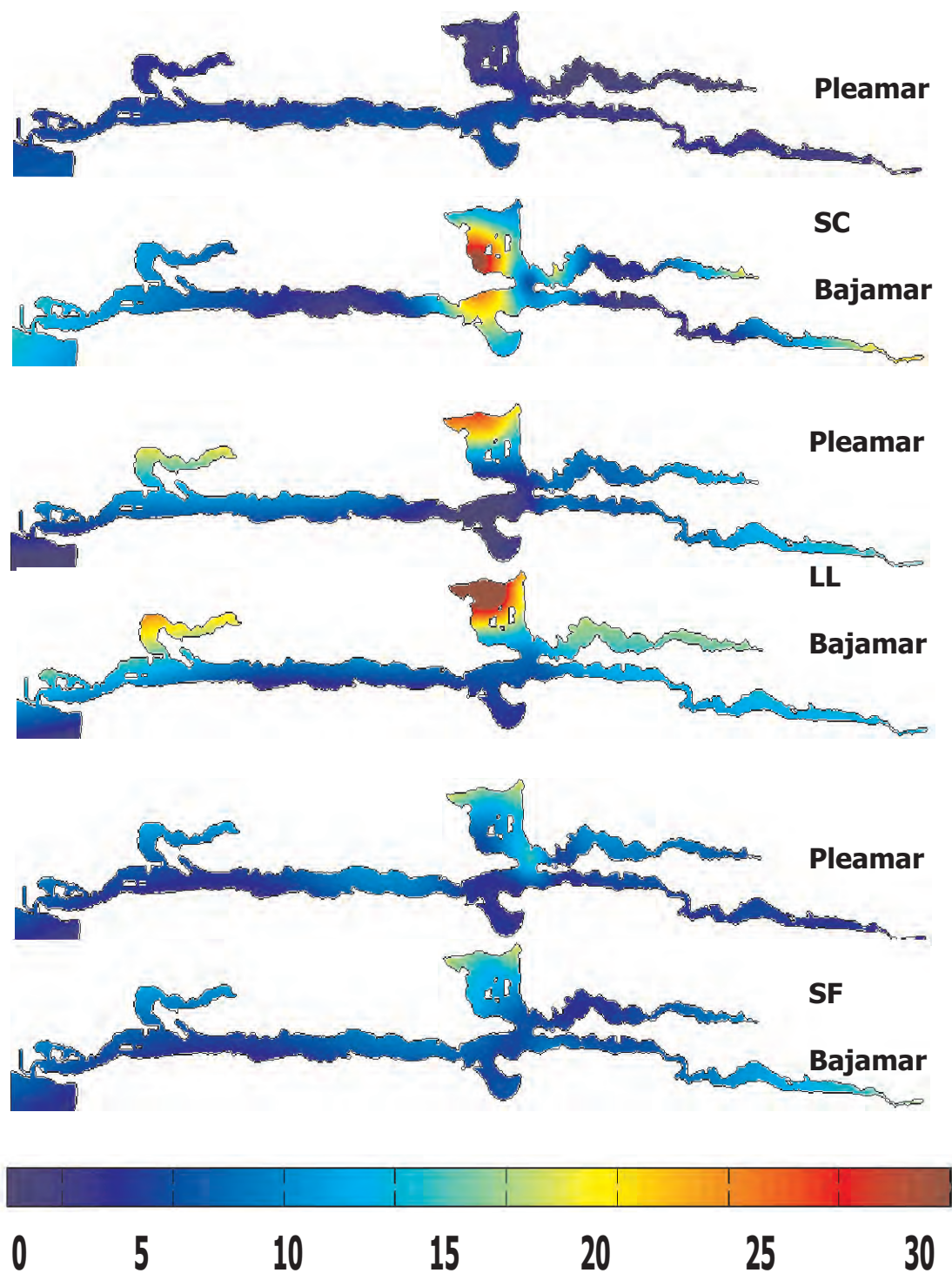


Fig. I.5 F. Distribución de concentración de  $N-NH_4^+$  ( M) promedio en la columna de agua en pleamar y bajamar de la laguna de Ceuta para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

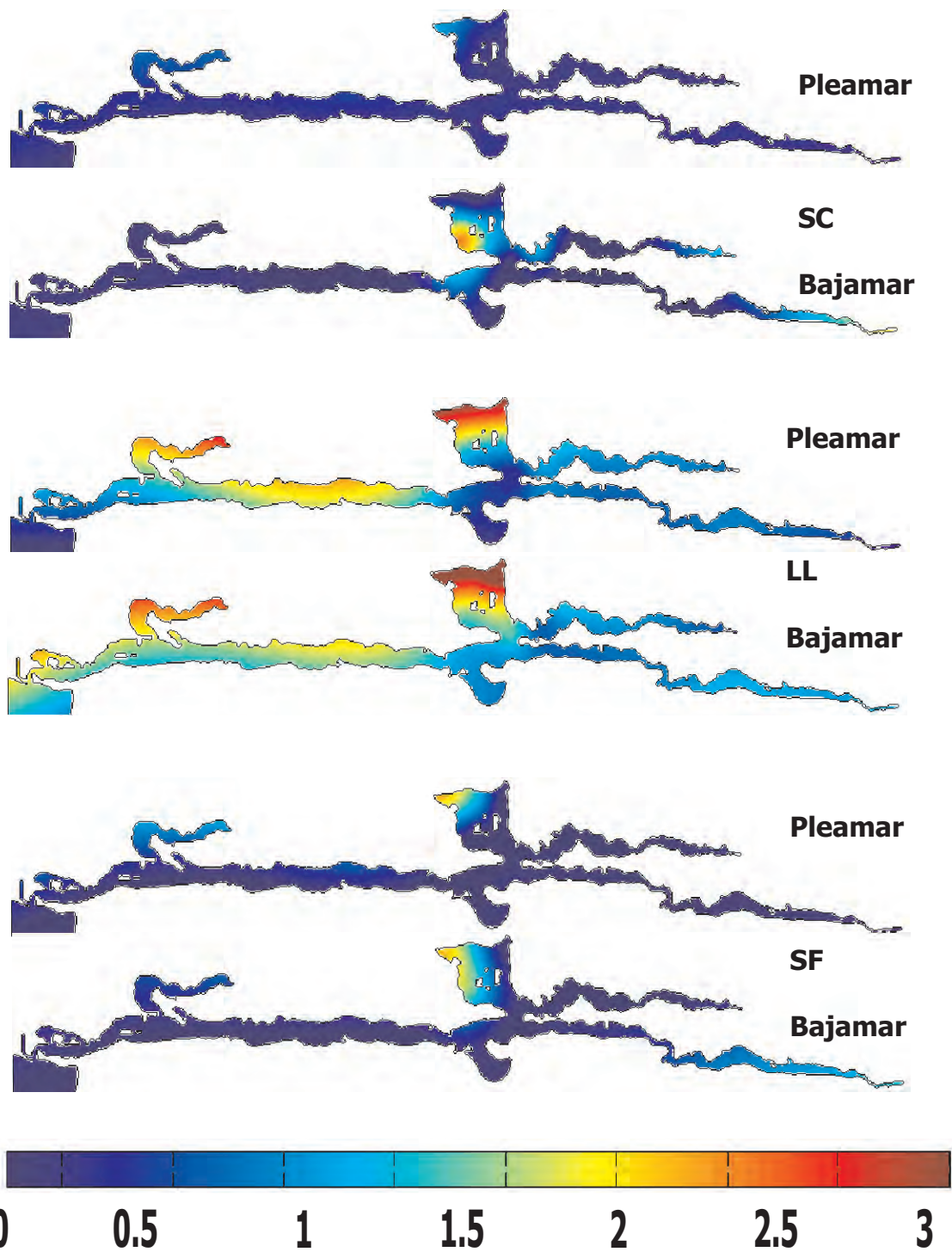


Fig. I.5 G. Distribución de concentración de  $\text{N-NO}_2^-$  ( M) promedio en la columna de agua en pleamar y bajamar de la laguna de Ceuta para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

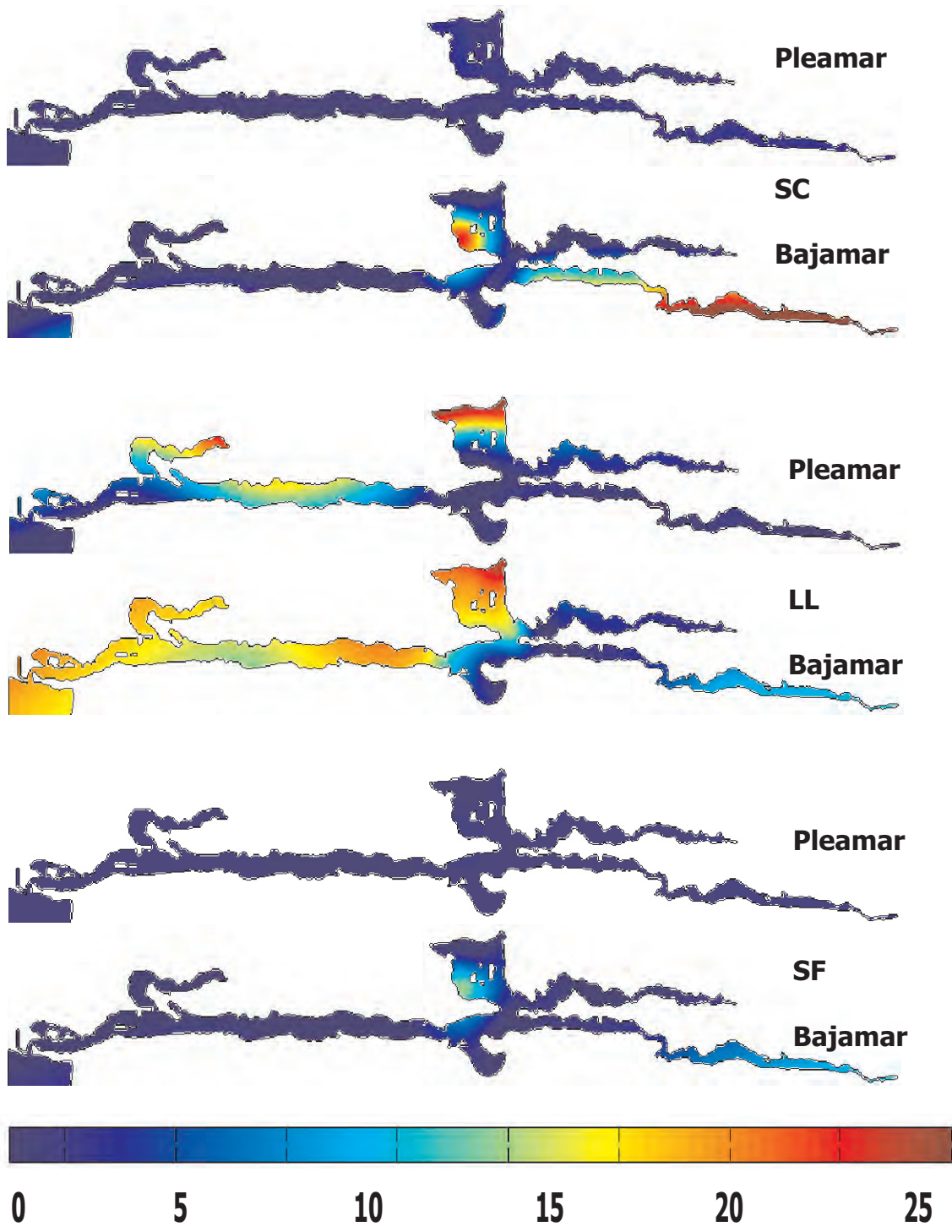


Fig. I.5 H. Distribución de concentración de  $N-NO_3^-$  ( M) promedio en la columna de agua en pleamar y bajamar de la laguna de Ceuta para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

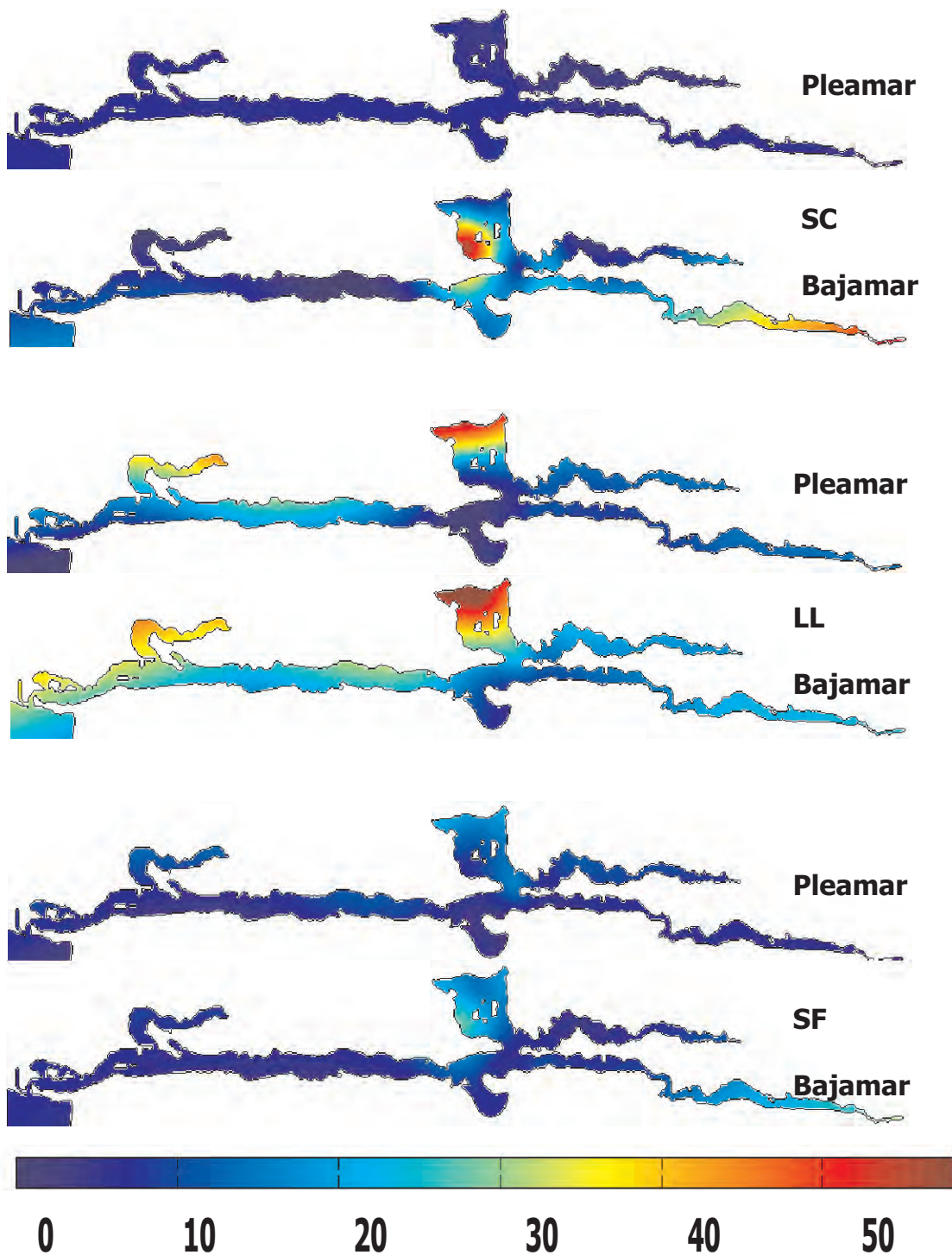


Fig. 1.5 I. Distribución de concentración de nitrógeno inorgánico disuelto NID ( M) promedio en la columna de agua en pleamar y bajamar de la laguna de Ceuta para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

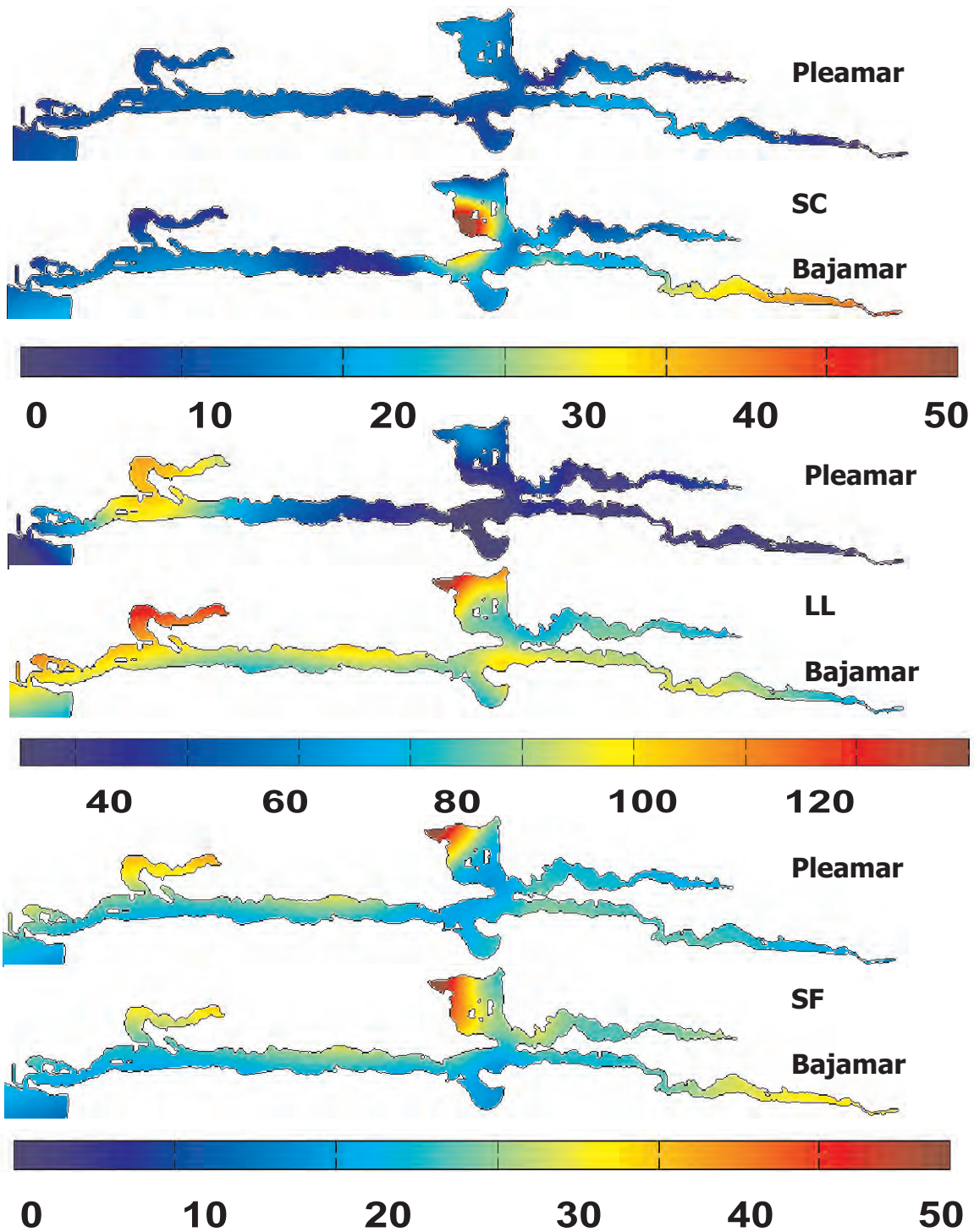


Fig. I.5 J. Distribución de concentración de nitrógeno total ( $\mu\text{M}$ ) promedio en la columna de agua en pleamar y bajamar de la laguna de Ceuta para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

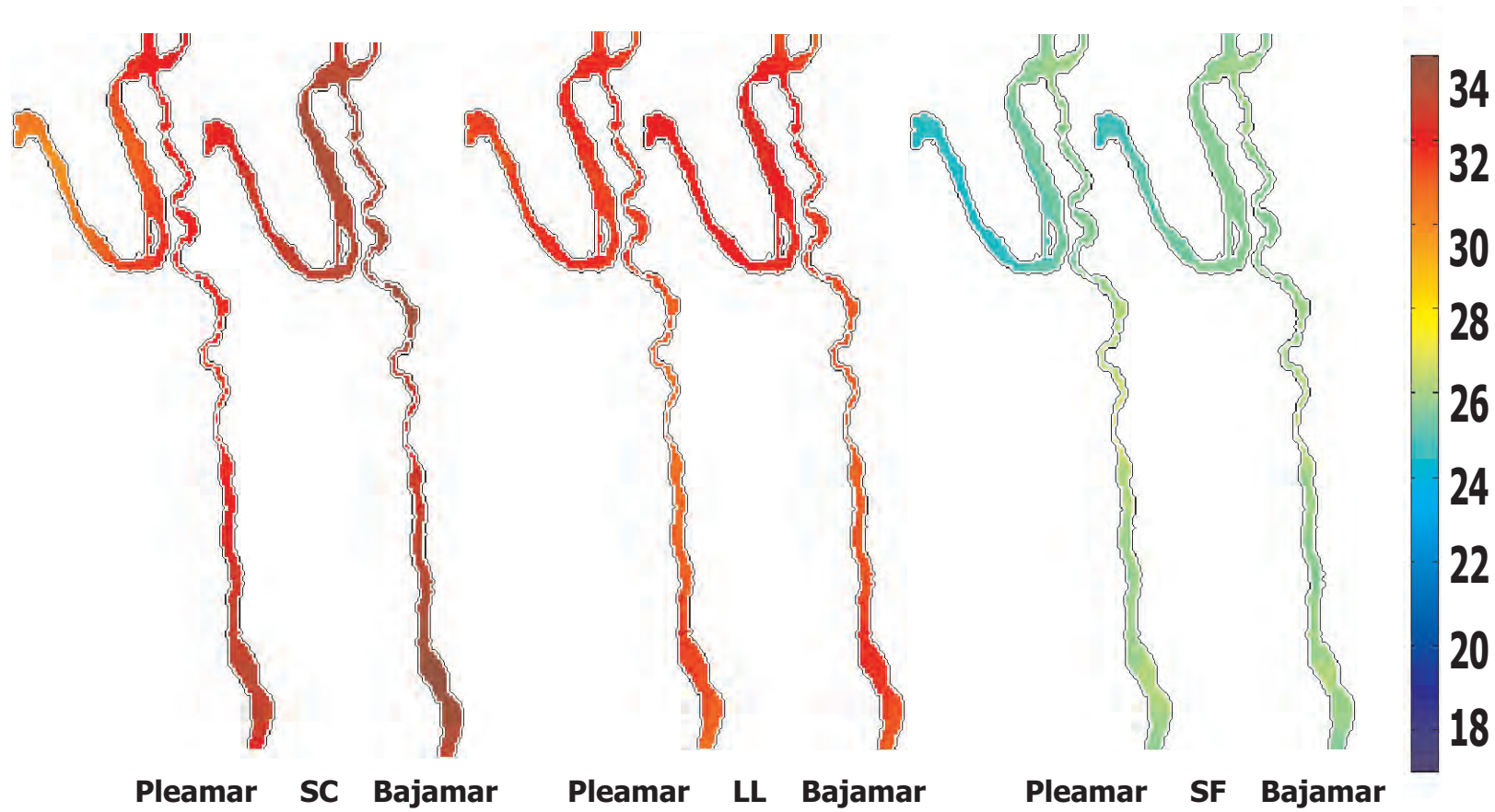


Fig. I. 6 A. Distribución de la temperatura ( C) en las aguas superficiales en pleamar y bajamar de la laguna de Teacapán-Agua Brava para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

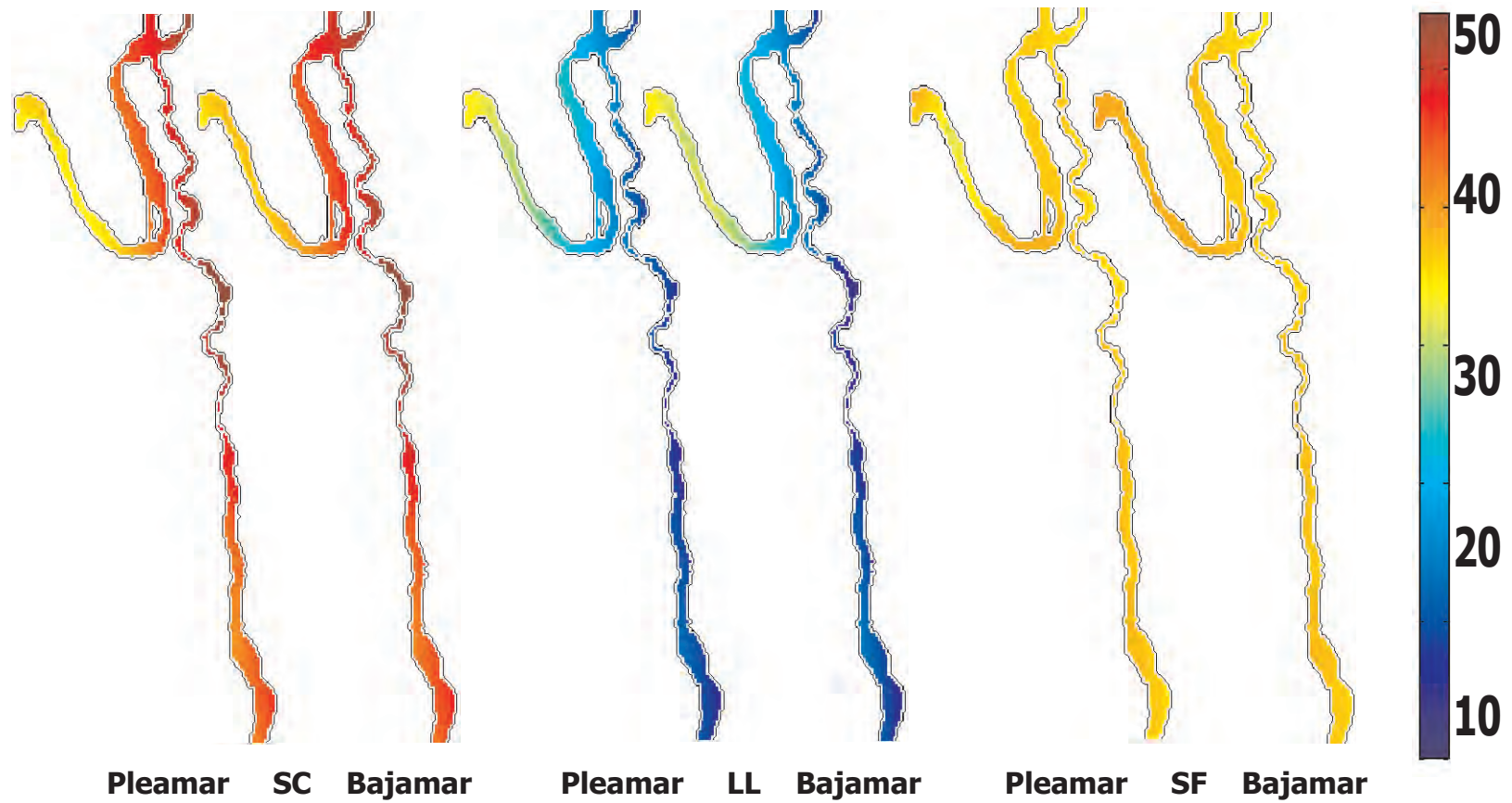


Fig. 1.6 B. Distribución de la salinidad (ups) promedio de la columna de agua en pleamar y bajamar de la laguna de Teacapán-Agua Brava para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

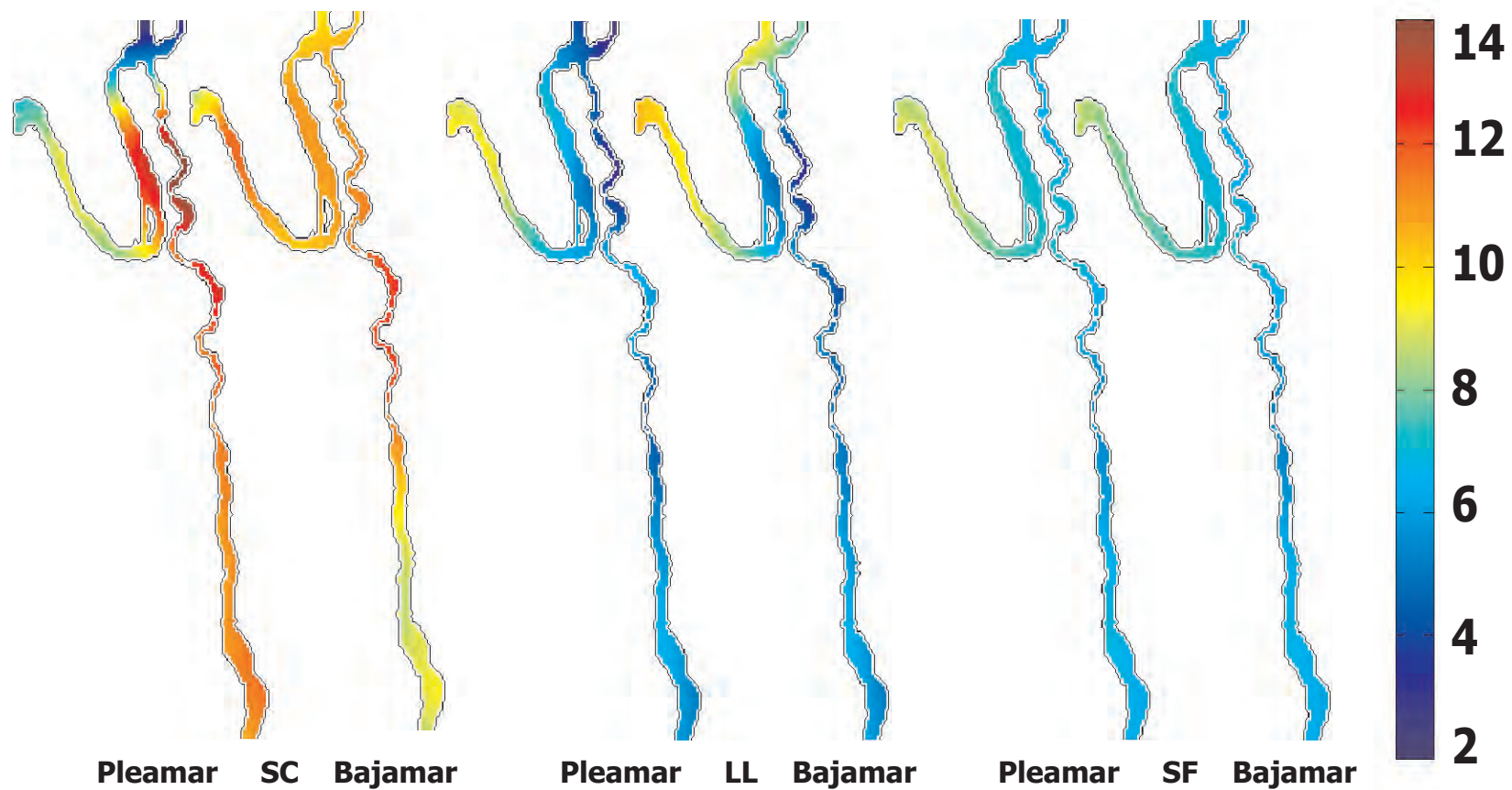


Fig. I.6 C. Distribución de la concentración de oxígeno disuelto (mg/L) en las aguas del fondo en pleamar y bajamar de la laguna de Teacapán-Agua Brava para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).



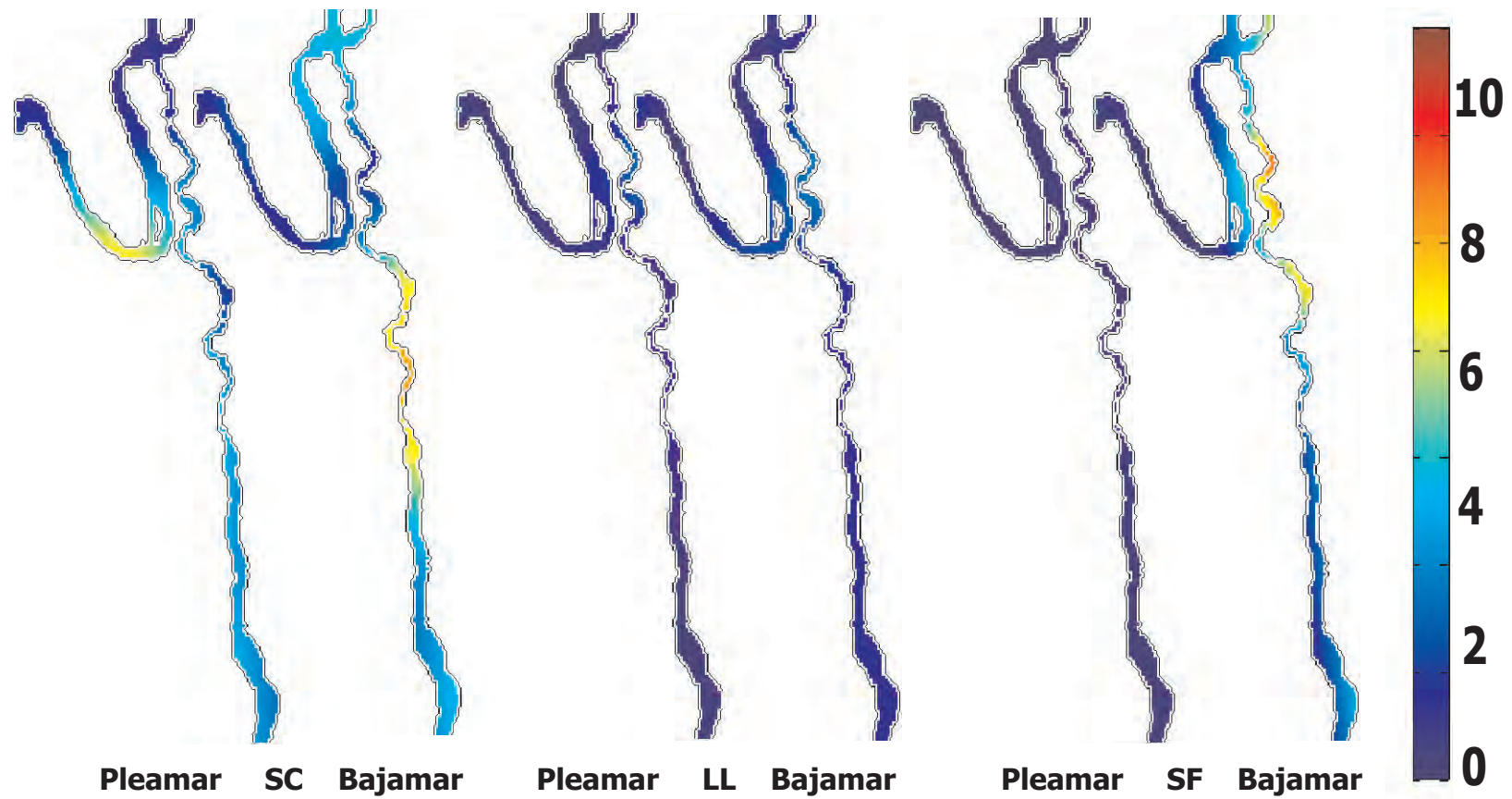


Fig. I.6 D. Distribución de la concentración de clorofila a (mg/m) en las aguas superficiales en pleamar y bajamar de la laguna de Teacapán-Agua Brava para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

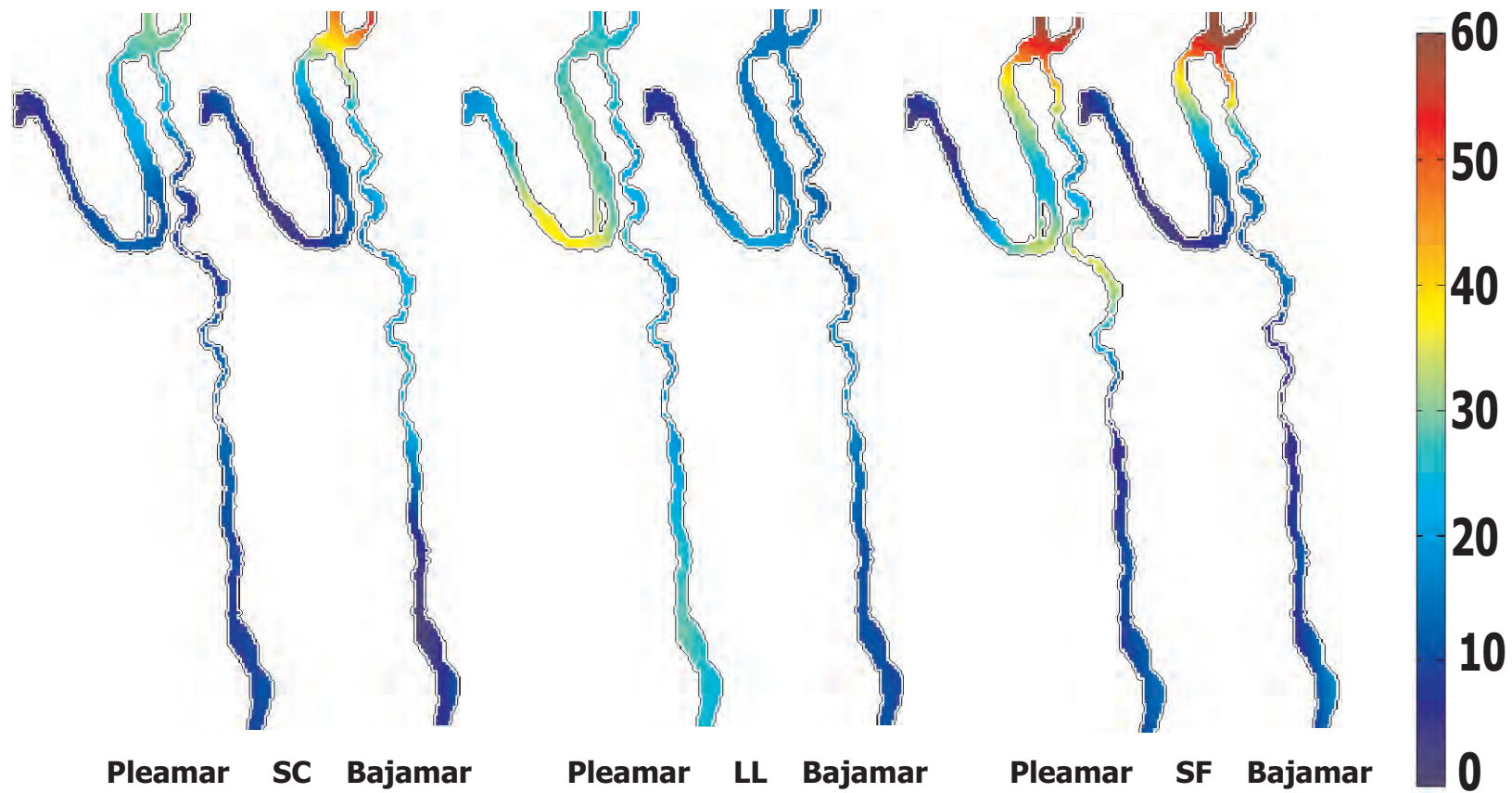


Fig. I.6 E. Distribución de la concentración de SST (mg/L) promedio en la columna de agua en pleamar y bajamar de la laguna de Teacapán-Agua Brava para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

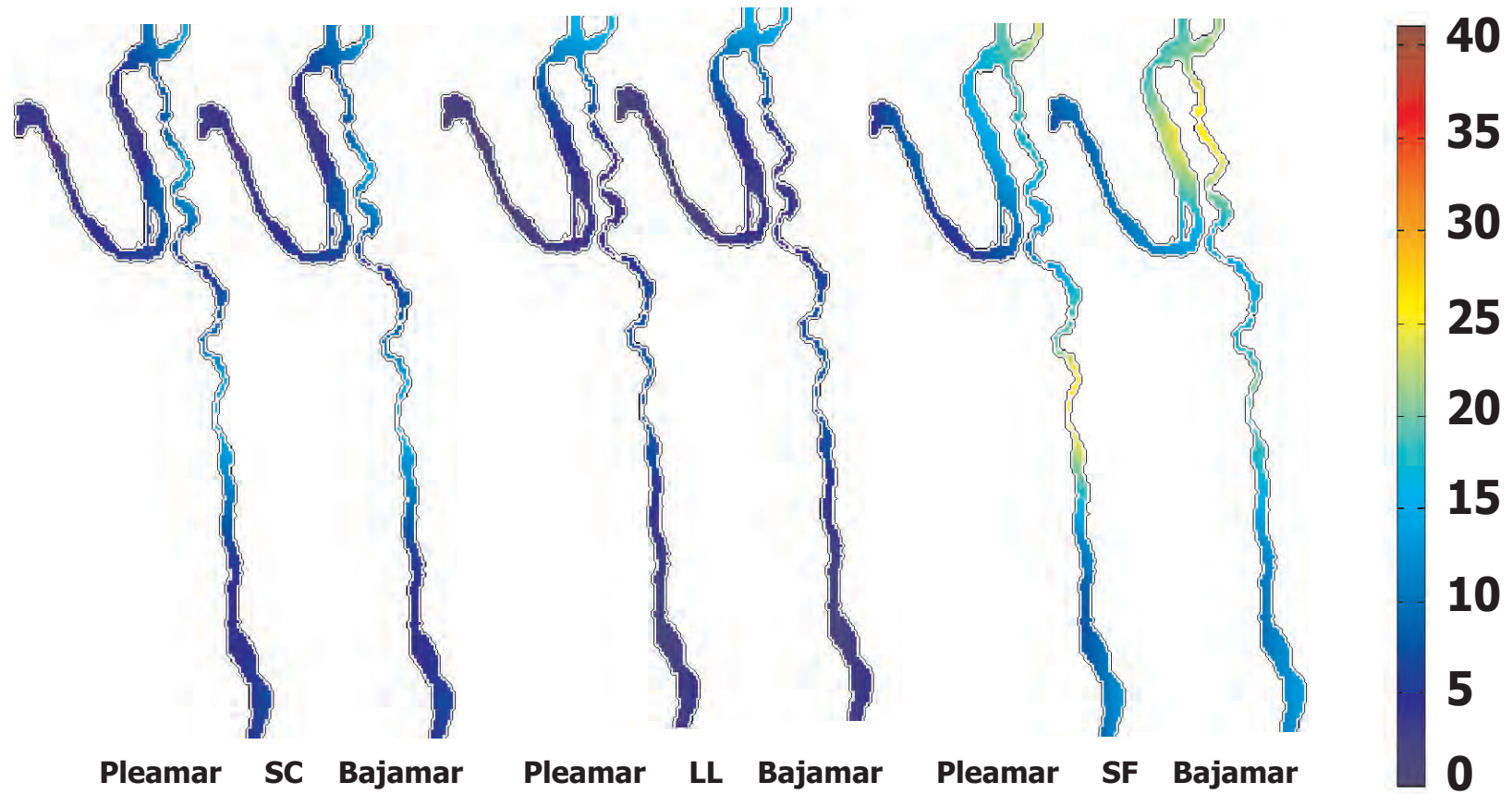


Fig. I.6 F. Distribución de la concentración  $N-NH_4^+$  ( M) promedio en la columna de agua en pleamar y bajamar de la laguna de Teacapán-Agua Brava para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

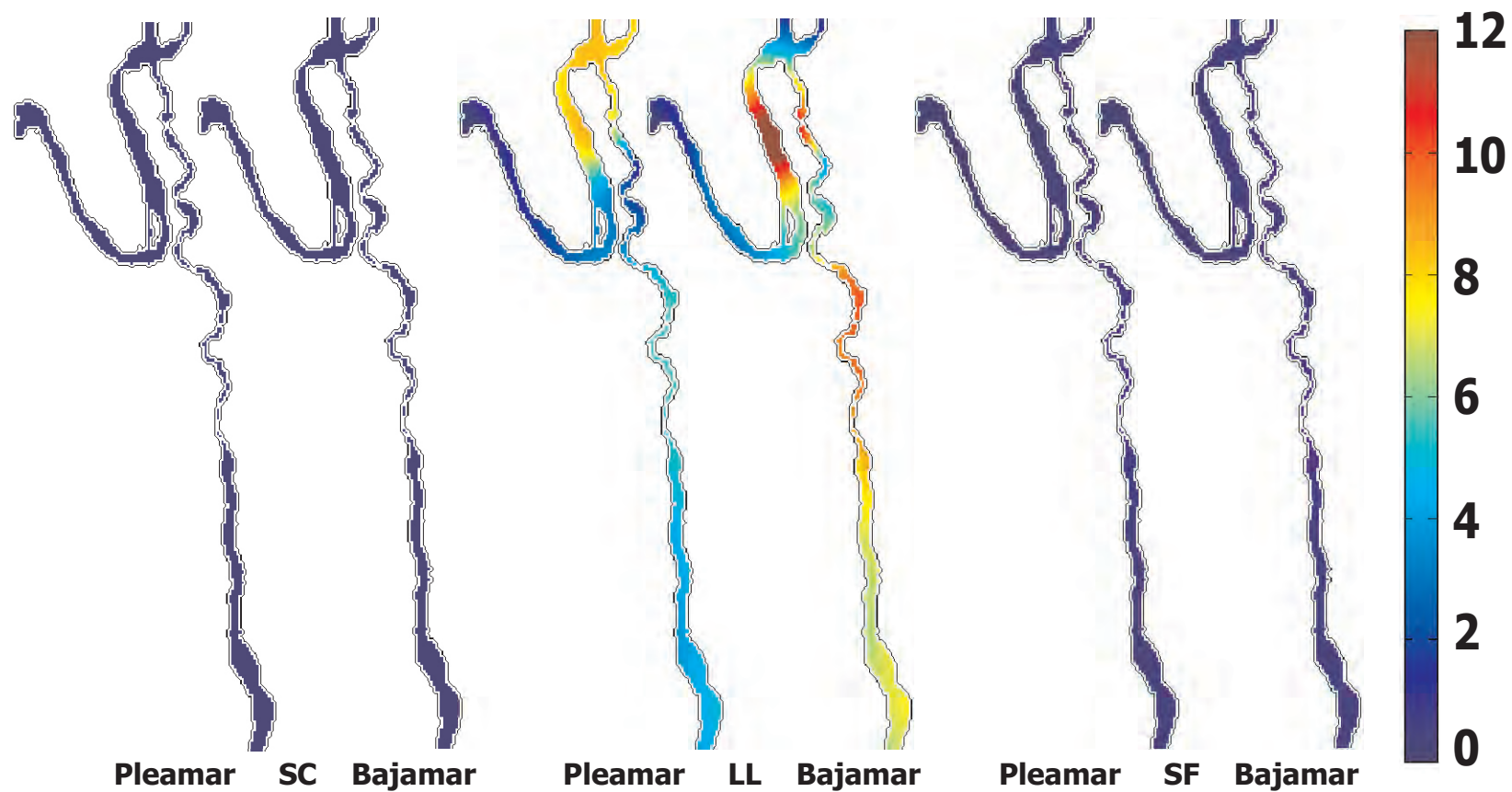


Fig. I.6 G. Distribución de la concentración  $\text{N-NO}_2^-$  ( M) promedio en la columna de agua en pleamar y bajamar de la laguna de Teacapán-Agua Brava para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

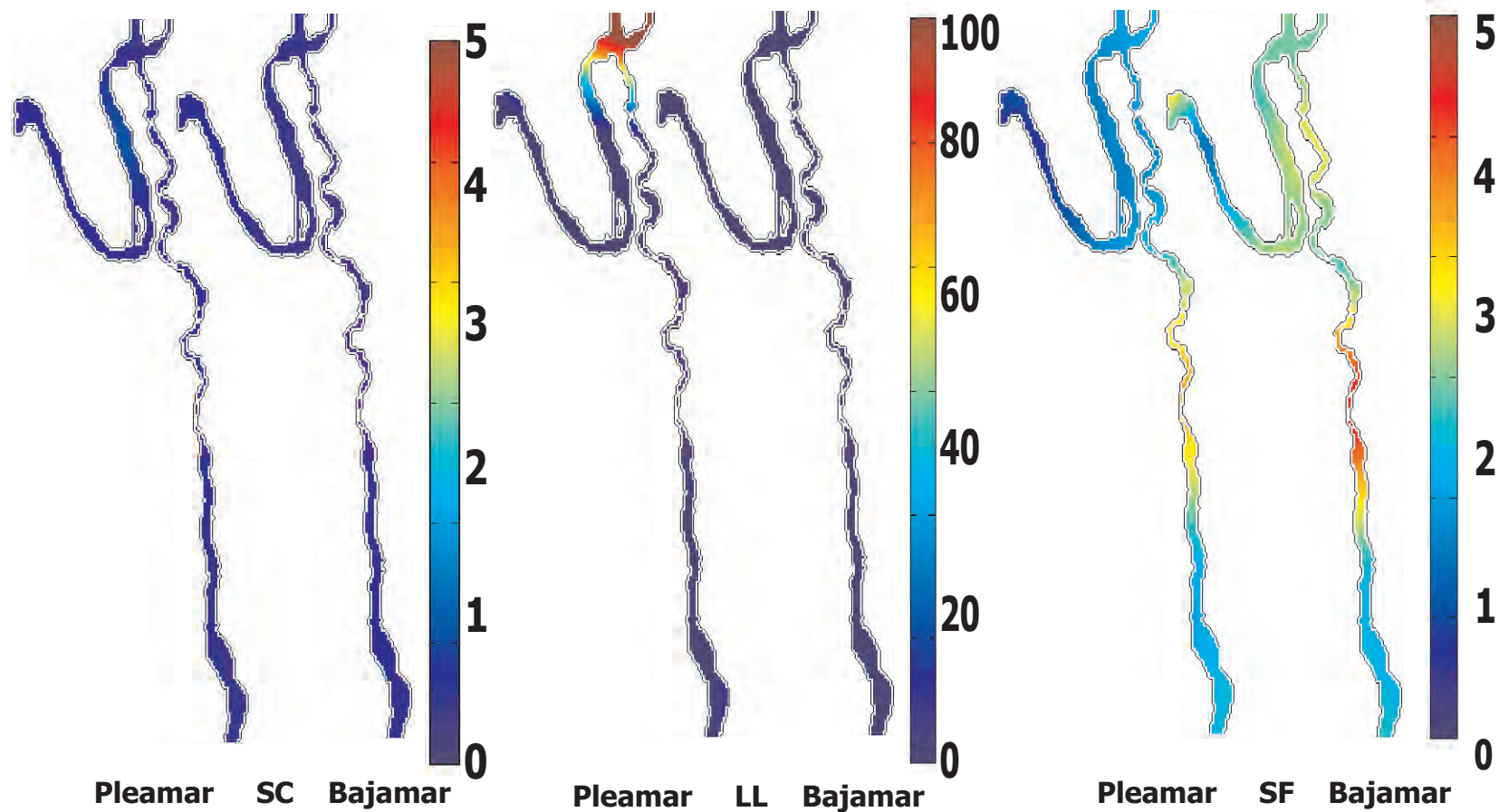


Fig. I.6 H. Distribución de la concentración  $N-NO_3^-$  ( M) promedio en la columna de agua en pleamar y bajamar de la laguna de Teacapán-Agua Brava para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

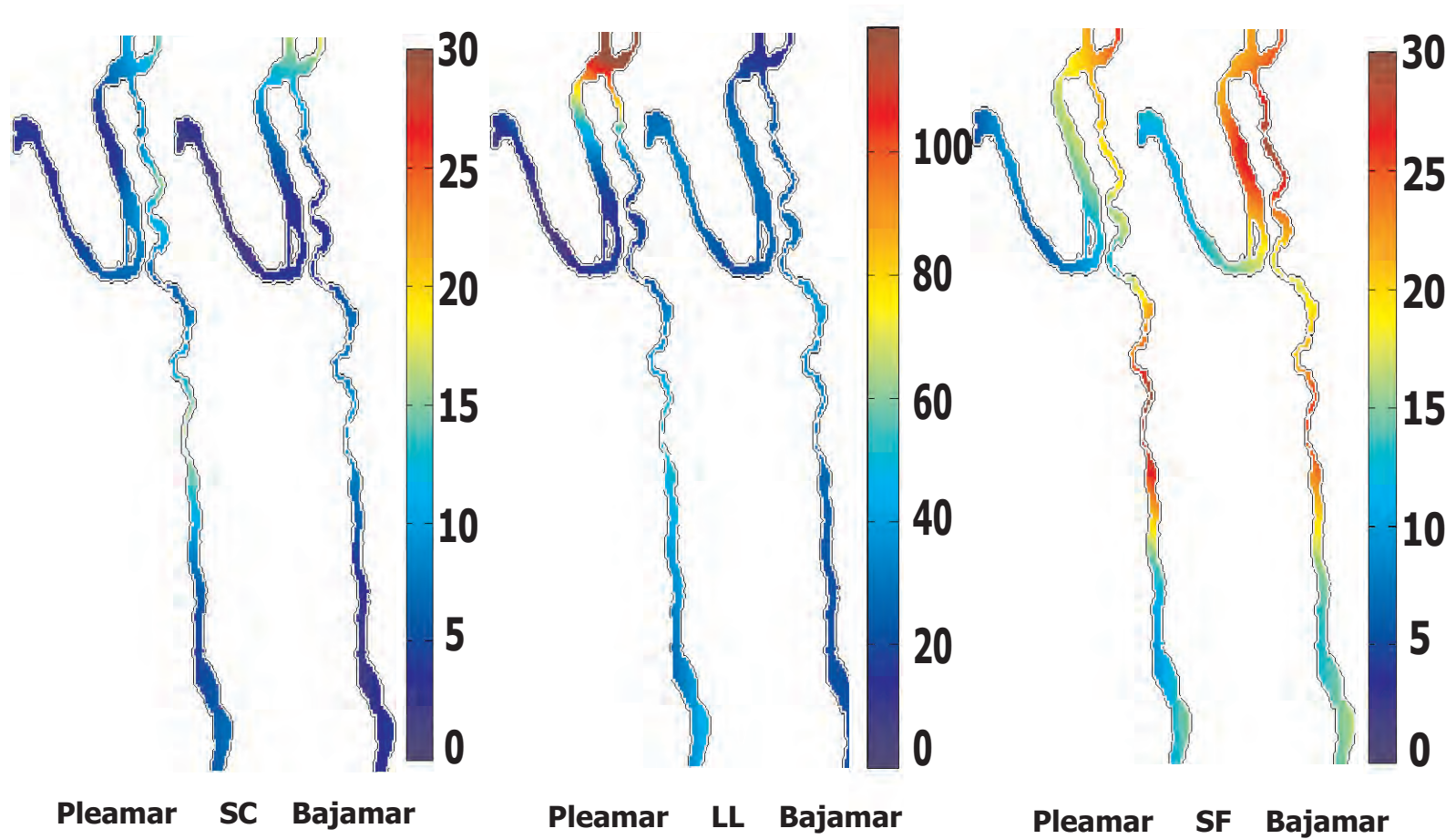


Fig. 1.6 I. Distribución de la concentración nitrógeno inorgánico disuelto NID ( $\mu\text{M}$ ) promedio en la columna de agua en pleamar y bajamar de la laguna de Teacapán-Agua Brava para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

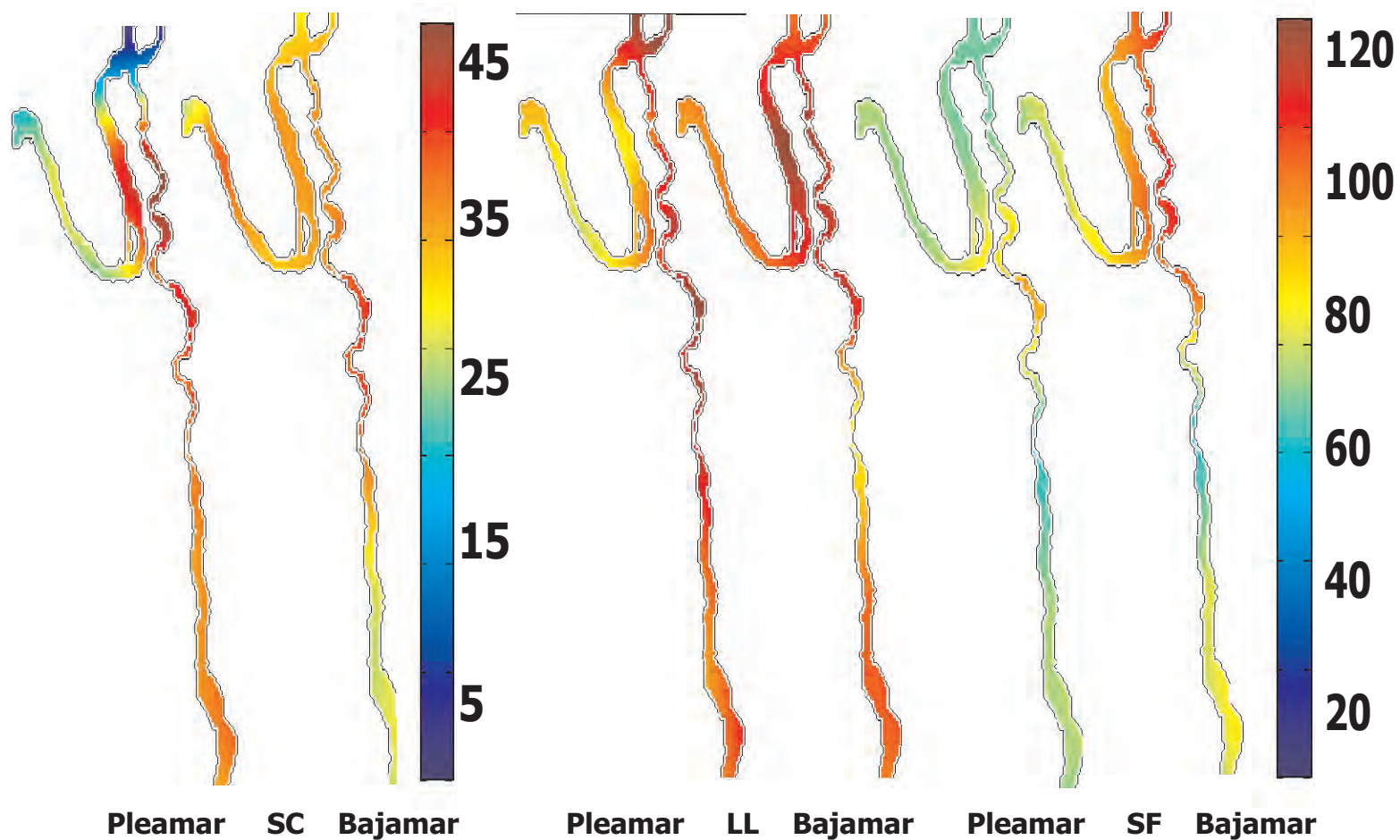
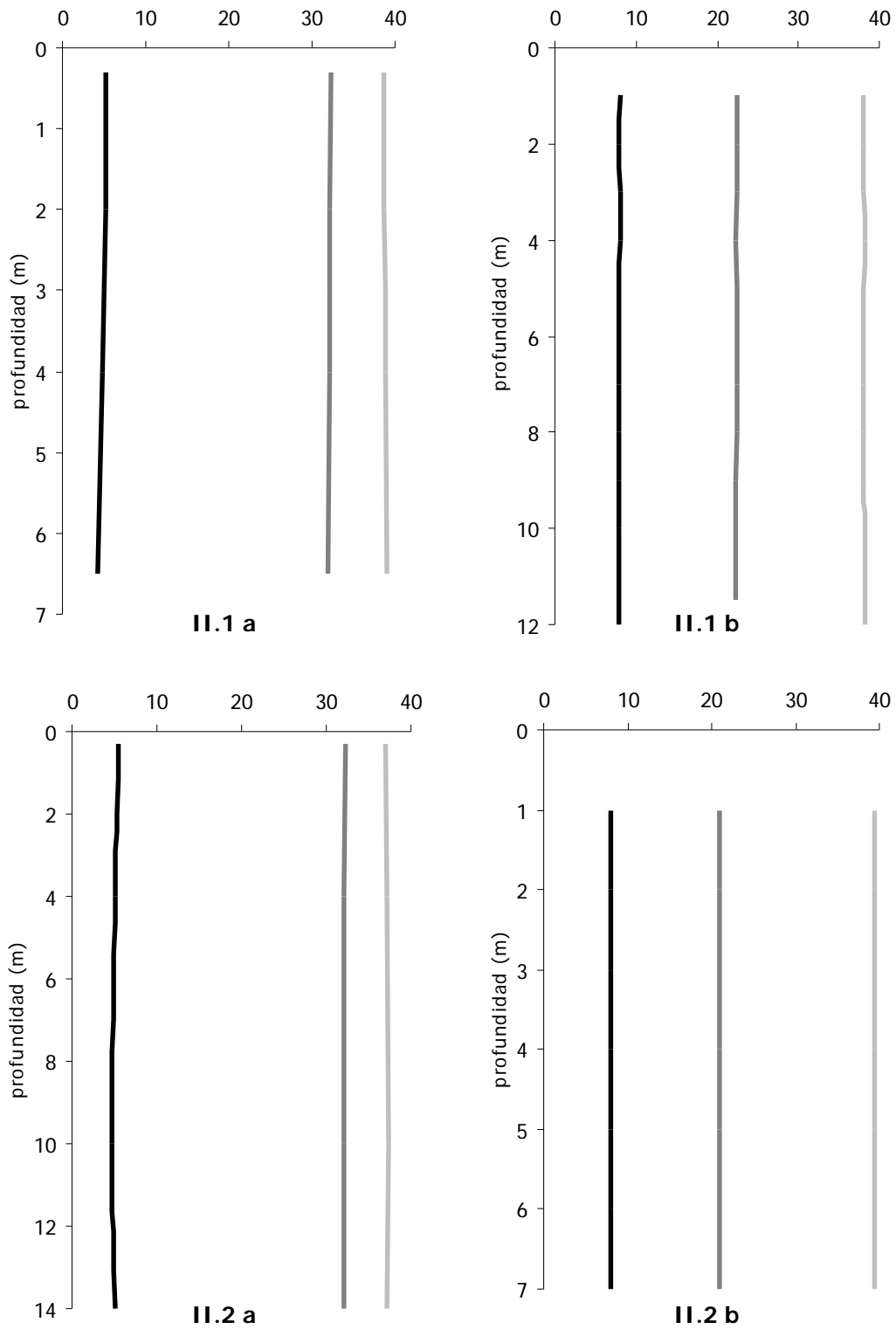


Fig. I.6 J. Distribución de la concentración nitrógeno total ( M) promedio en la columna de agua en pleamar y bajamar de la laguna de Teacapán-Agua Brava para las épocas climáticas de secas cálidas (SC), lluvias (LL) y secas frías (SF).

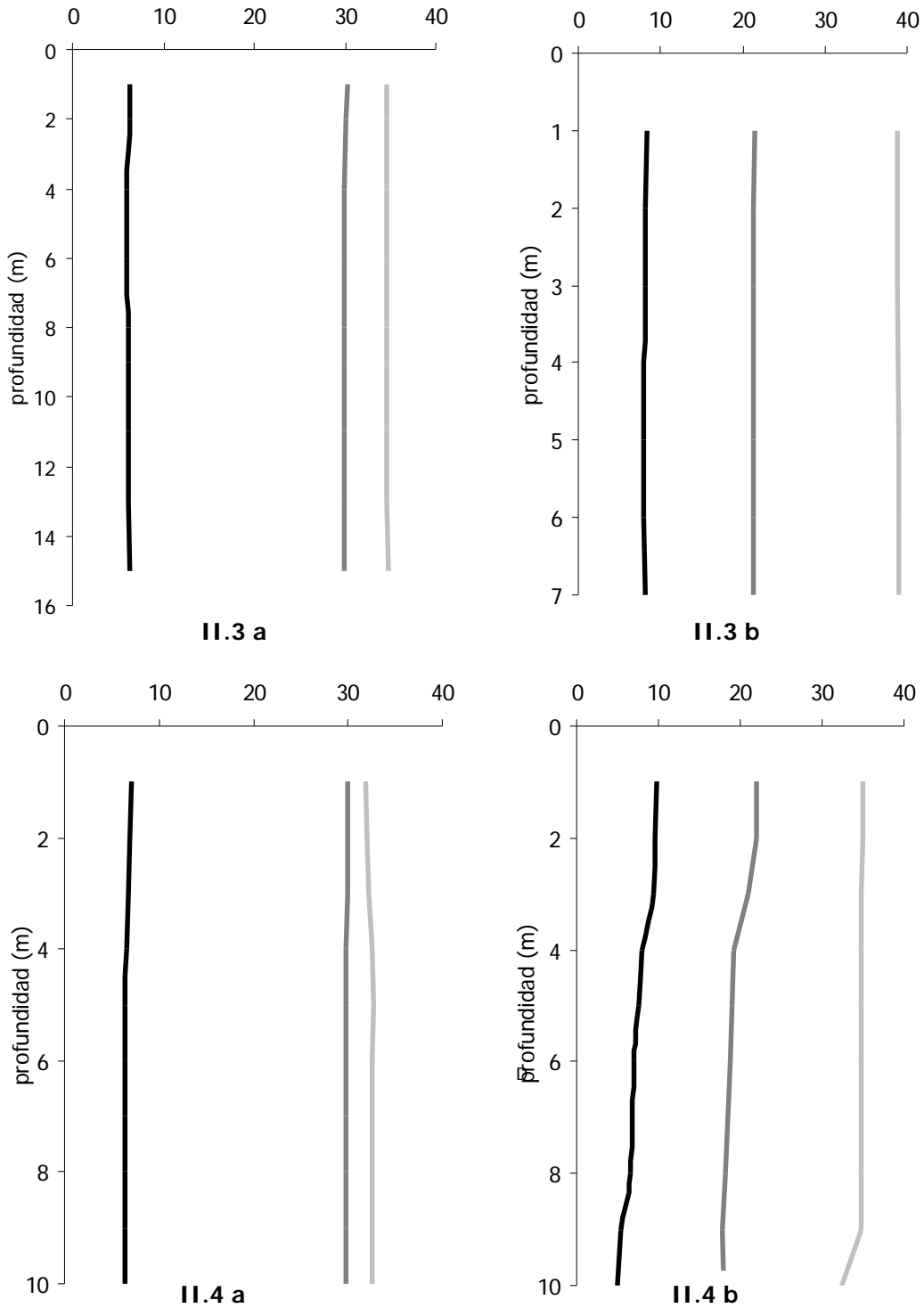
## **ANEXO II:**

**Perfiles de T, S, OD  
y  
Correlaciones entre *cl a* y otras  
variables**

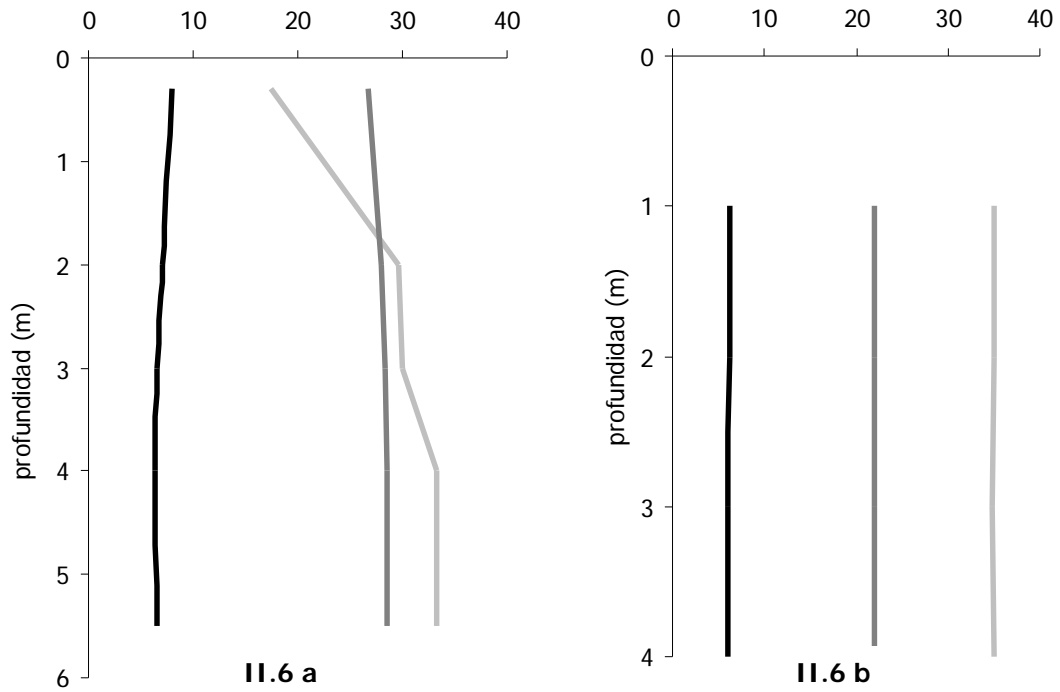
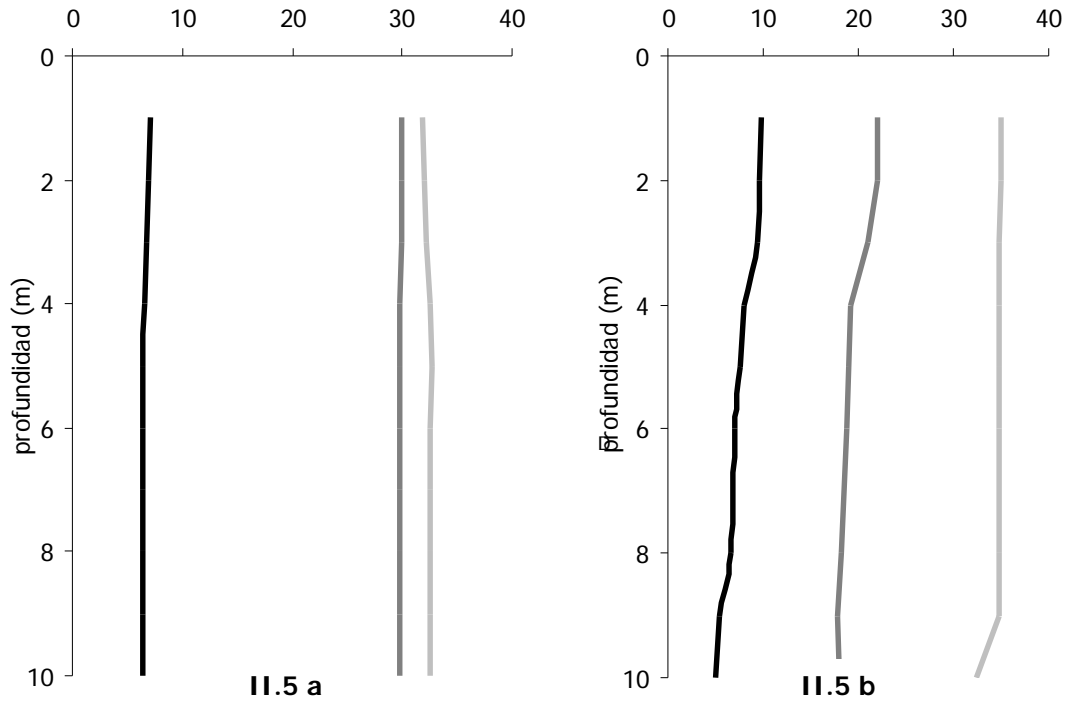




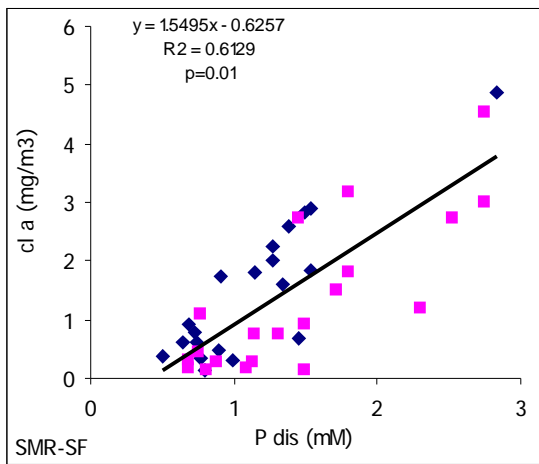
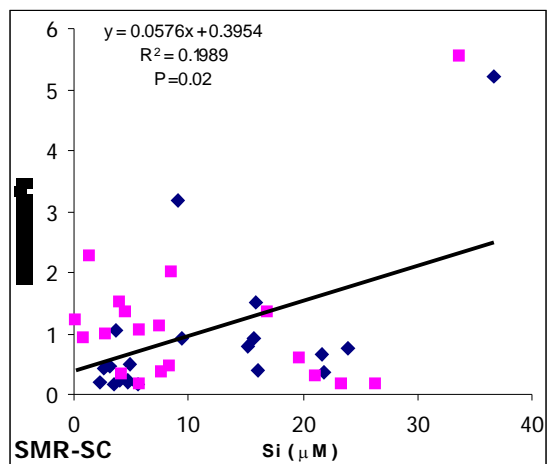
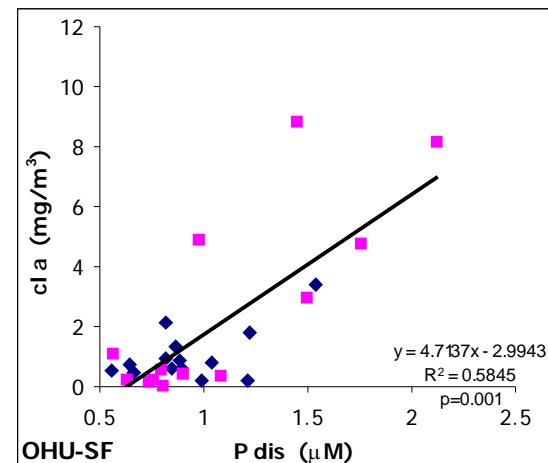
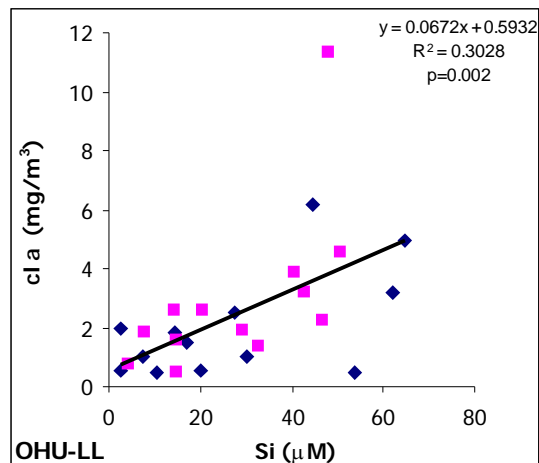
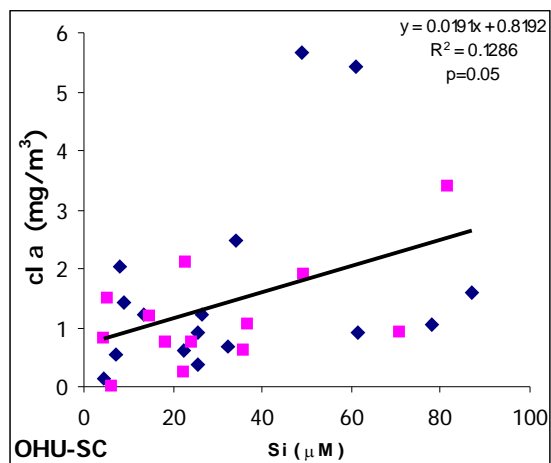
**Fig. II.1 y II.2.** Distribución vertical de oxígeno disuelto en mg/L (—), temperatura en °C (—) y salinidad en ups (—) en las épocas de lluvias (a) y secas frías (b) para las lagunas de Ohuira-Topolobampo-Santa María (II.1) y Navachiste-San Ignacio-Macapule (II.2).



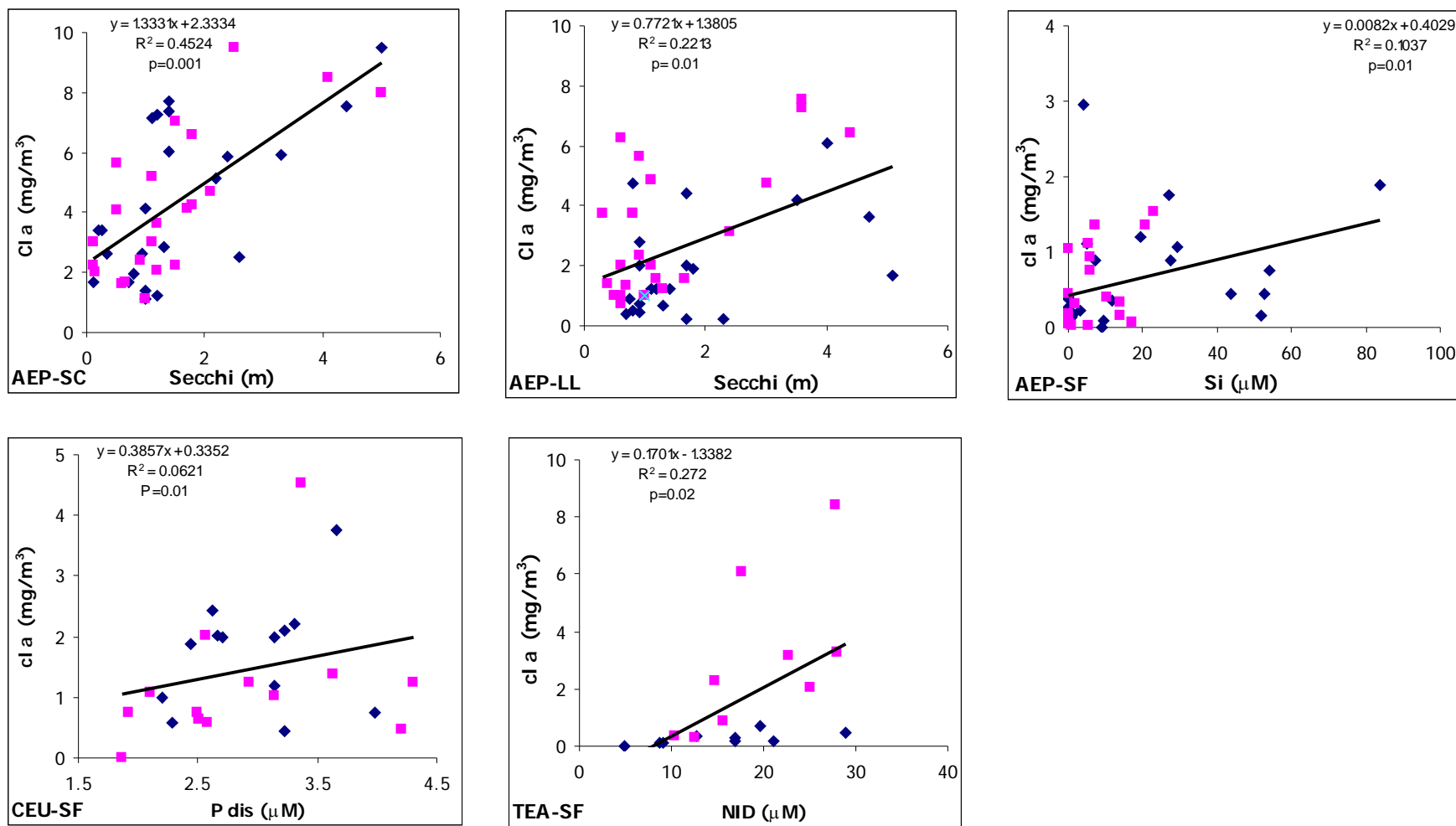
**Fig. II.3 y II.4.** Distribución vertical de oxígeno disuelto en mg/L (—), temperatura en °C (—) y salinidad en ups (—) en las épocas de lluvias (a) y secas frías (b) para las lagunas Santa María-La Reforma (II.3) y Altata-Ensenada del Pabellón (II.4).



**Fig. II.5 y II.6.** Distribución vertical de oxígeno disuelto en mg/L (—), temperatura en °C (—) y salinidad en ups (—) en las épocas de lluvias (a) y secas frías (b) para las lagunas Ceuta (II.5) y Teacapán-Agua Brava (II.6).



**Fig. II.7.** Correlaciones significativas entre la concentración de clorofila *a* en agua superficial y las diferentes variables medidas por época climática en cada una de las lagunas estudiadas (◆ indica valores medidos durante pleamar y ■ durante bajamar).

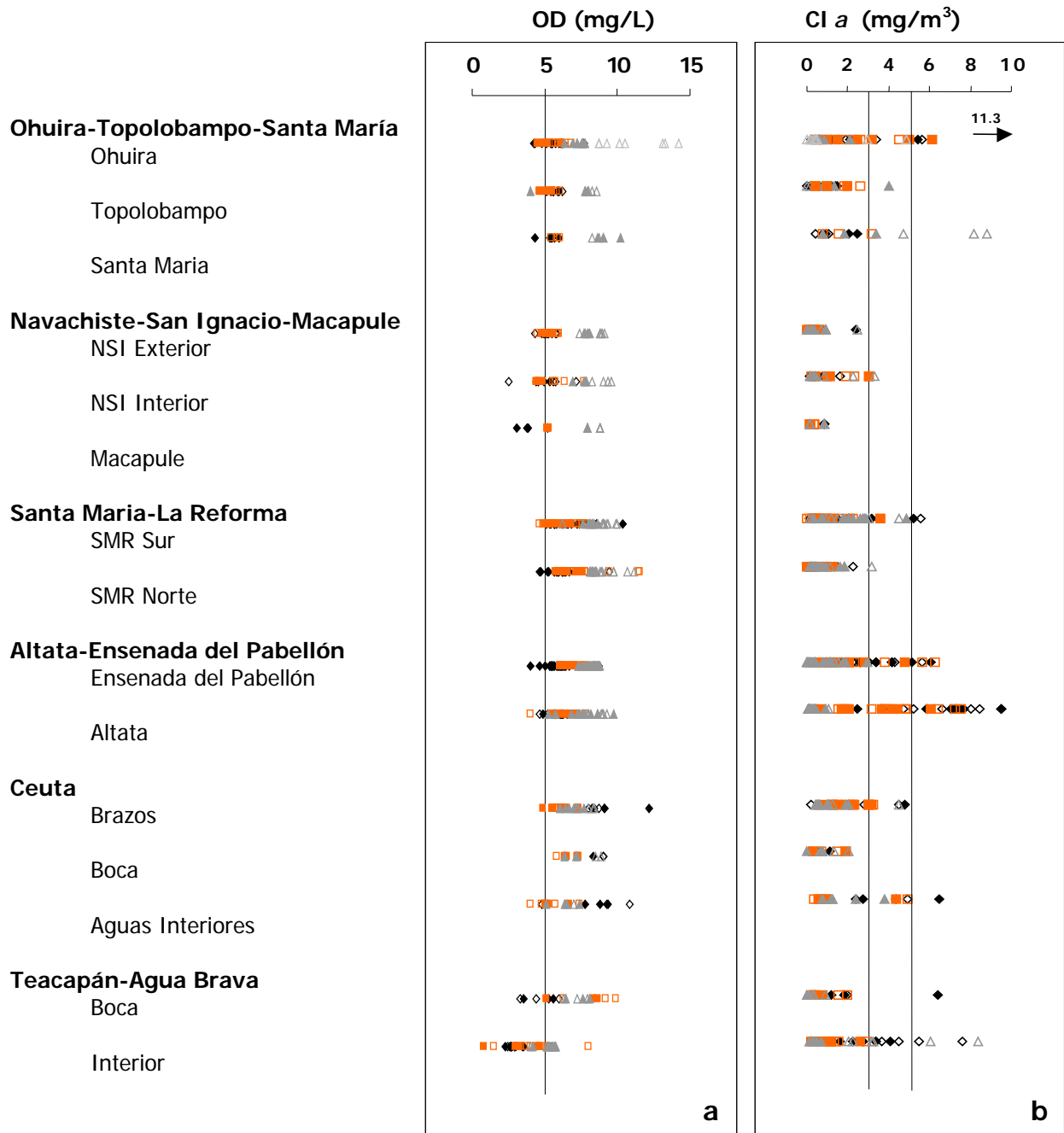


**Fig. II.7.** Correlaciones significativas entre la concentración de clorofila *a* en agua superficial y las diferentes variables medidas por época climática en cada una de las lagunas estudiadas (◆ indica valores medidos durante pleamar y ■ durante bajamar).

## **ANEXO III:**

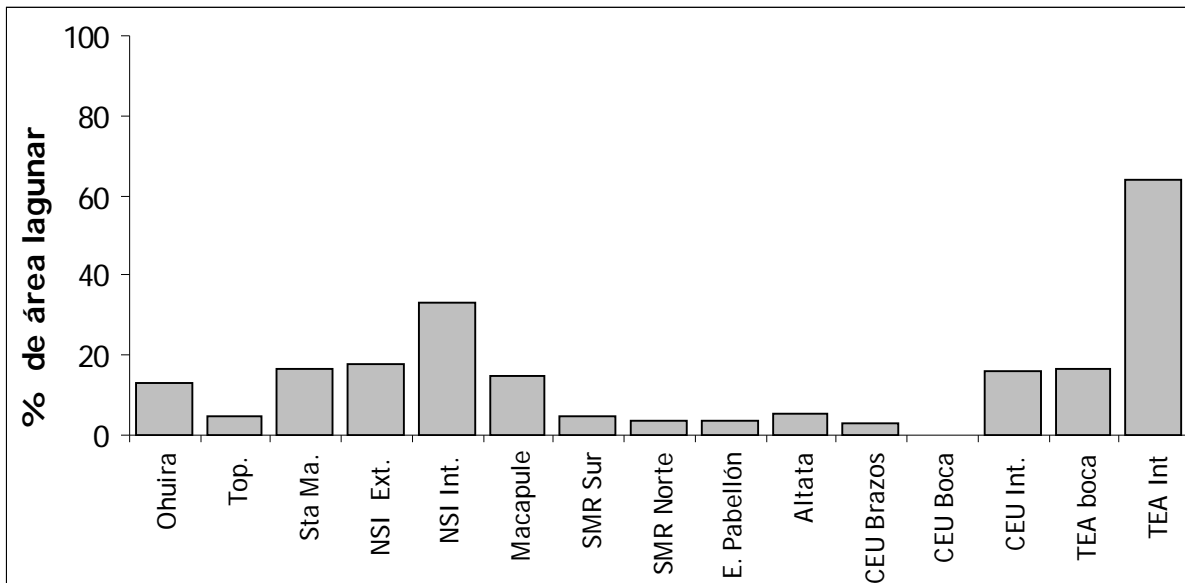
**Intervalos de concentración de las variables fisicoquímicas, clorofila *a* y especies nitrogenadas en las lagunas costeras**



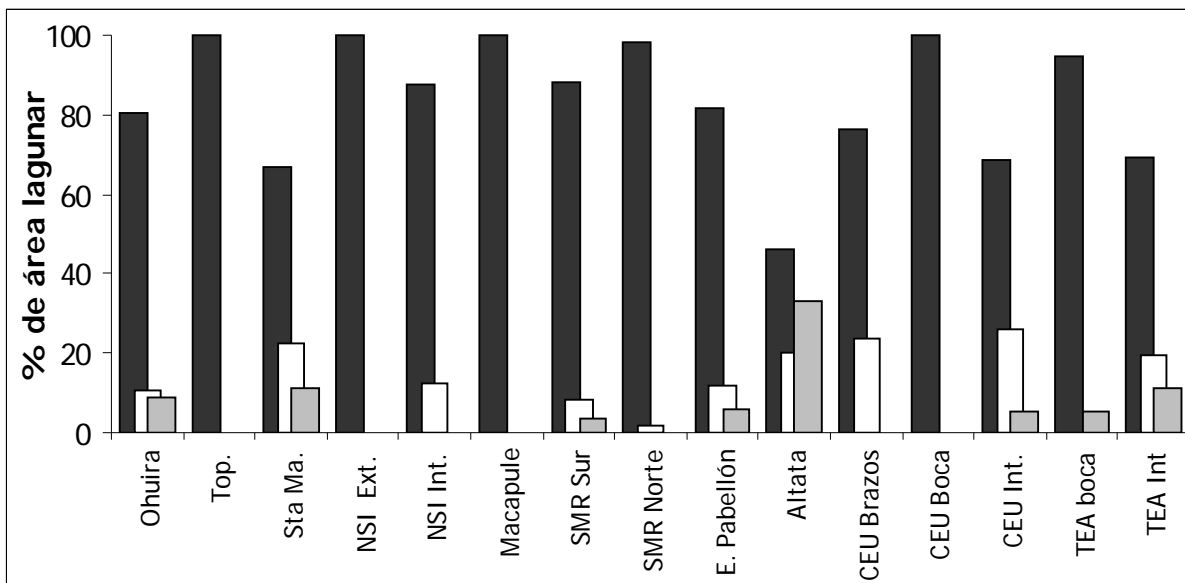


**Fig. III.1.** Intervalos de concentración de oxígeno disuelto (a) y clorofila *a* (b) para los diferentes periodos de muestreo (SC pleamar  $\blacklozenge$ , SC bajamar  $\diamond$ , LL pleamar  $\blacksquare$ , LL bajamar  $\square$ , SF pleamar  $\blacktriangle$  y SF bajamar  $\triangle$ ) en las lagunas costeras estudiadas. Las líneas verticales marcan el valor límite establecido en cada uno de los parámetros. Flechas indican valores fuera de escala.

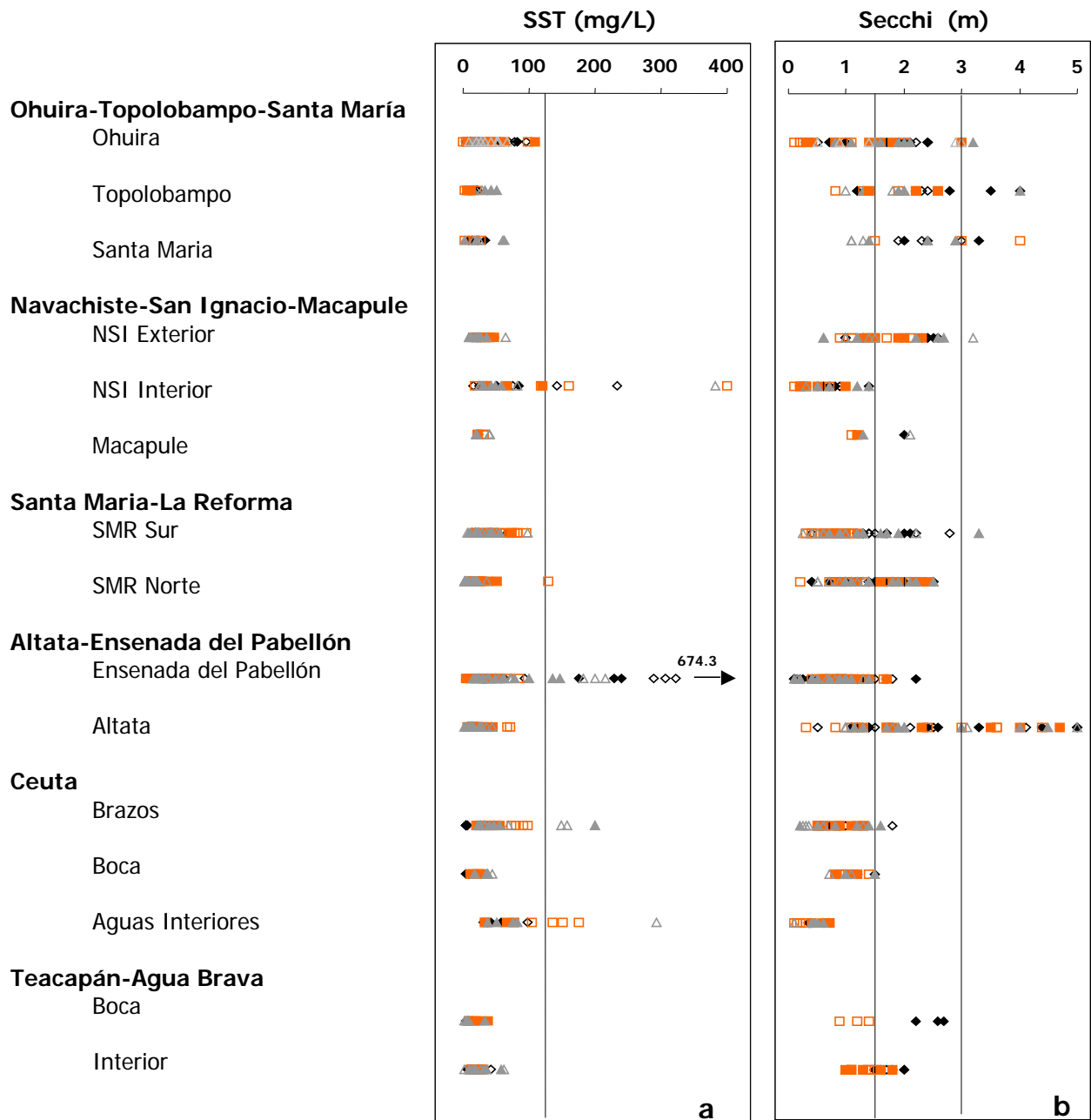




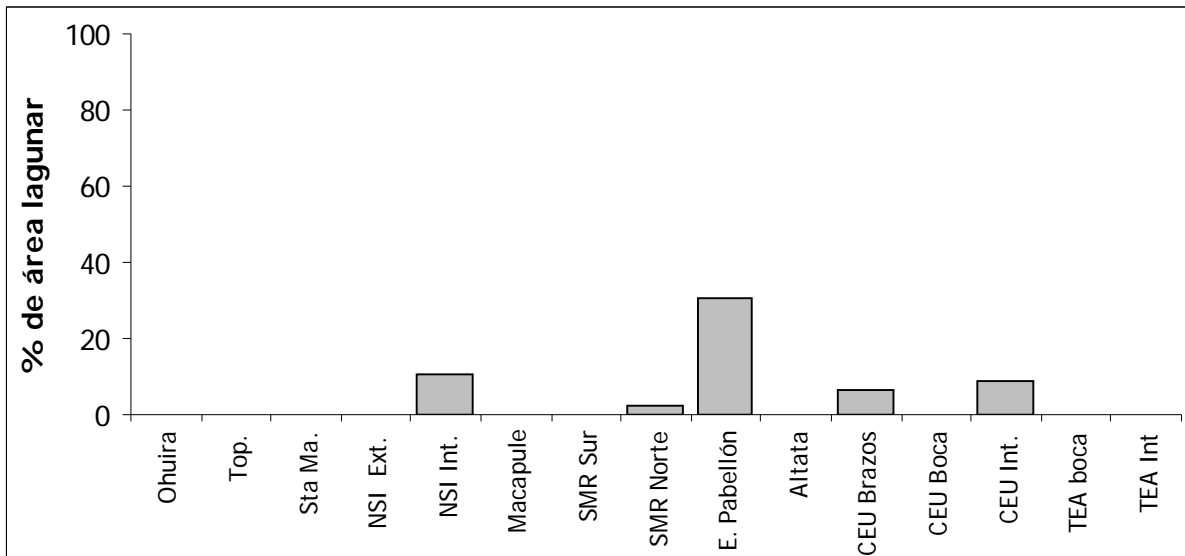
**Fig. III.1c.** Porcentaje de estaciones que presentan valores de oxígeno disuelto por debajo de 5 mg/L (NOM-001-ECOL-1996) para las diferentes lagunas costeras estudiadas.



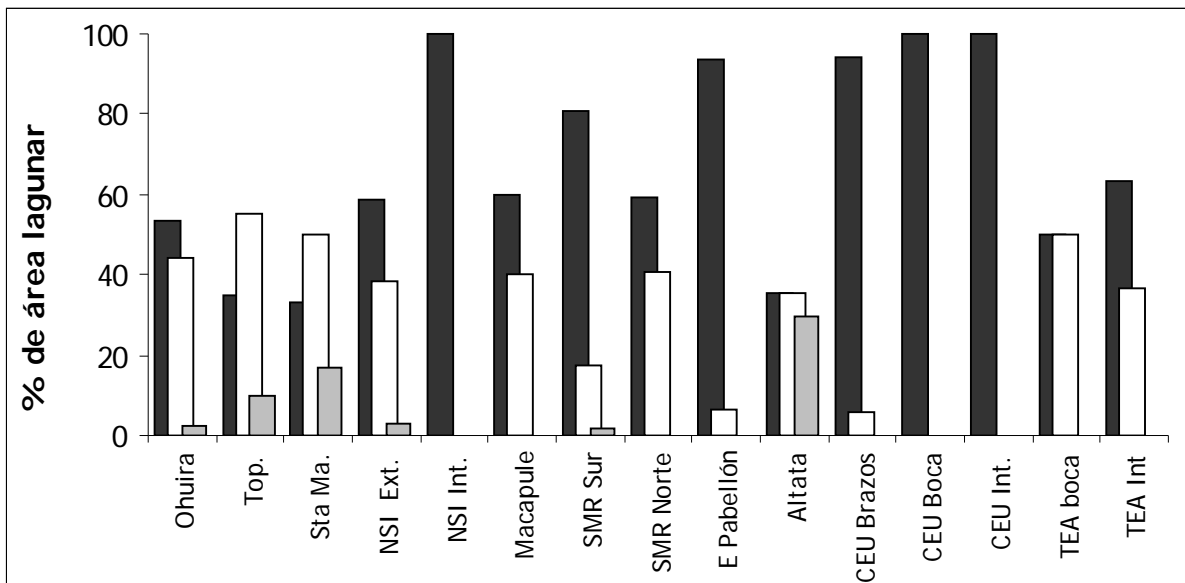
**Fig. III.1d.** Porcentaje de estaciones que presentan valores de clorofila  $a$  < 3 mg/m<sup>3</sup> (estado oligotrófico / mesotrófico ■); valores entre 3-5 (estado eutrófico □) y valores > 5 (estado hipertrófico ■) según Smith *et al.* (1999).



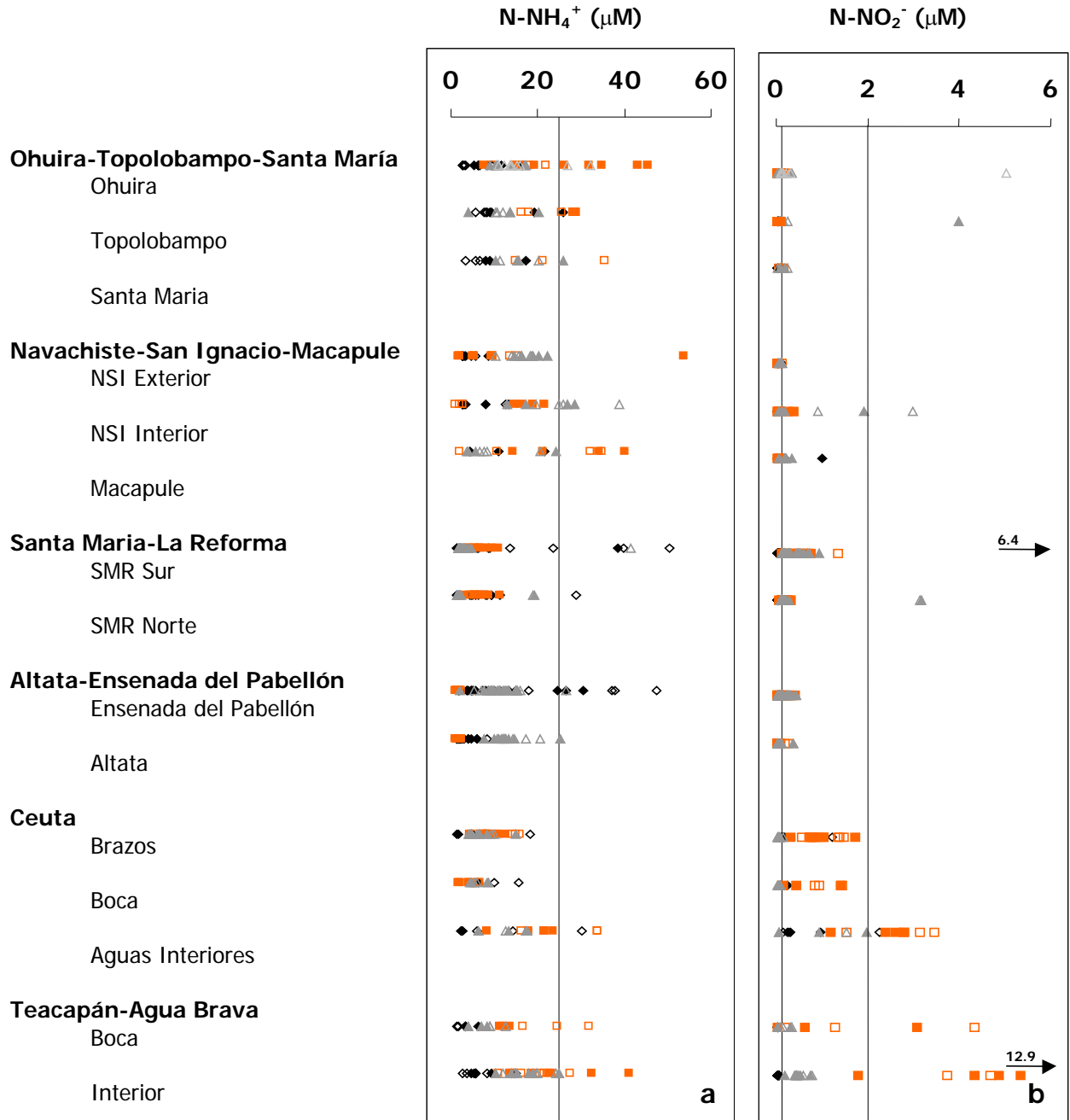
**Fig. III.2.** Intervalos de concentración de SST (a) y profundidad Secchi (b) para los diferentes periodos de muestreo (SC pleamar  $\blacklozenge$ , SC bajamar  $\diamond$ , LL pleamar  $\blacksquare$ , LL bajamar  $\square$ , SF pleamar  $\blacktriangle$  y SF bajamar  $\triangle$ ) en las lagunas costeras estudiadas. Las líneas verticales marcan el valor límite establecido en cada uno de los parámetros. Flechas indican valores fuera de escala.



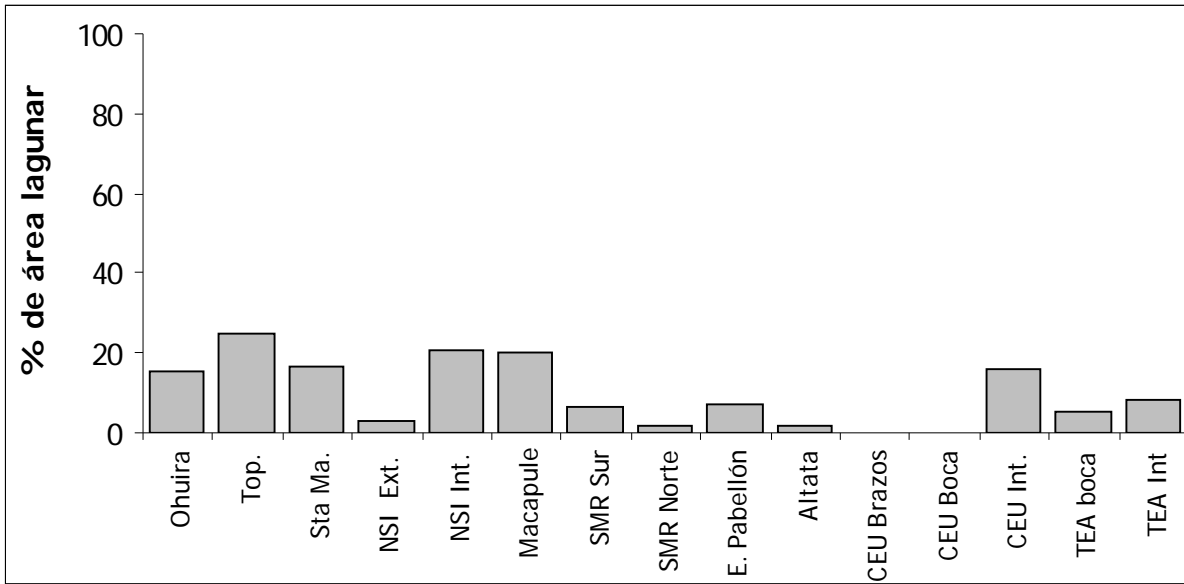
**Fig. III.2 c.** Porcentaje de estaciones que presentan valores de sólidos suspendidos disueltos por encima de 125 mg/L (NOM-001-ECOL-1996) para las diferentes lagunas costeras estudiadas.



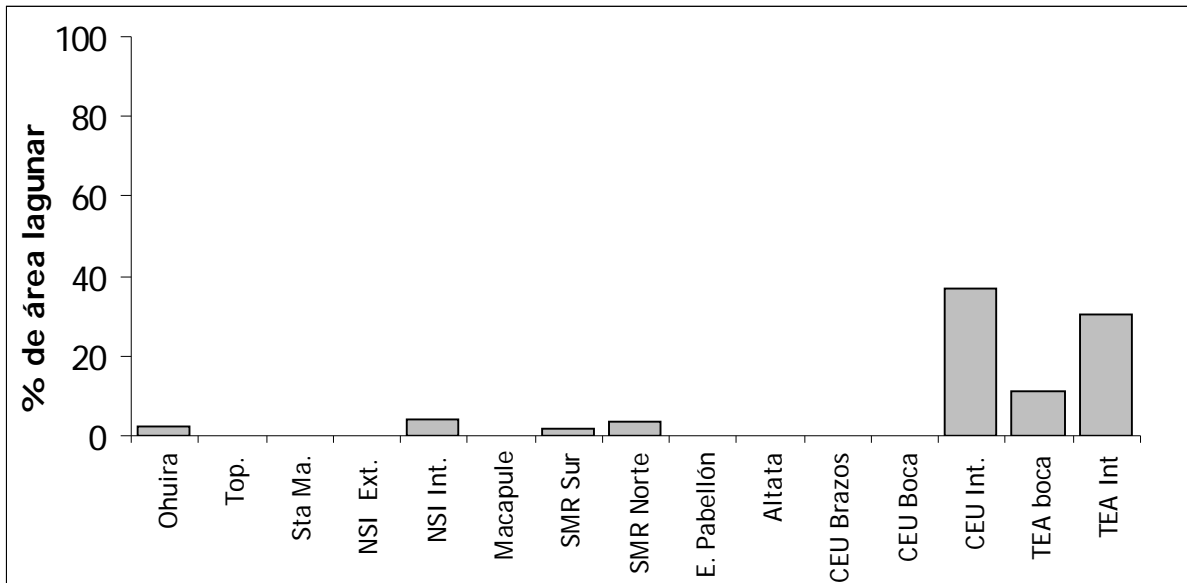
**Fig. III.2 d.** Porcentaje de estaciones que presentan profundidad Secchi < 1.5 m (estado hipertrófico ■); valores entre 1.5-3 (estado eutrófico □) y valores >3 (estado oligotrófico / mesotrófico ▒), según Smith *et al.* (1999).



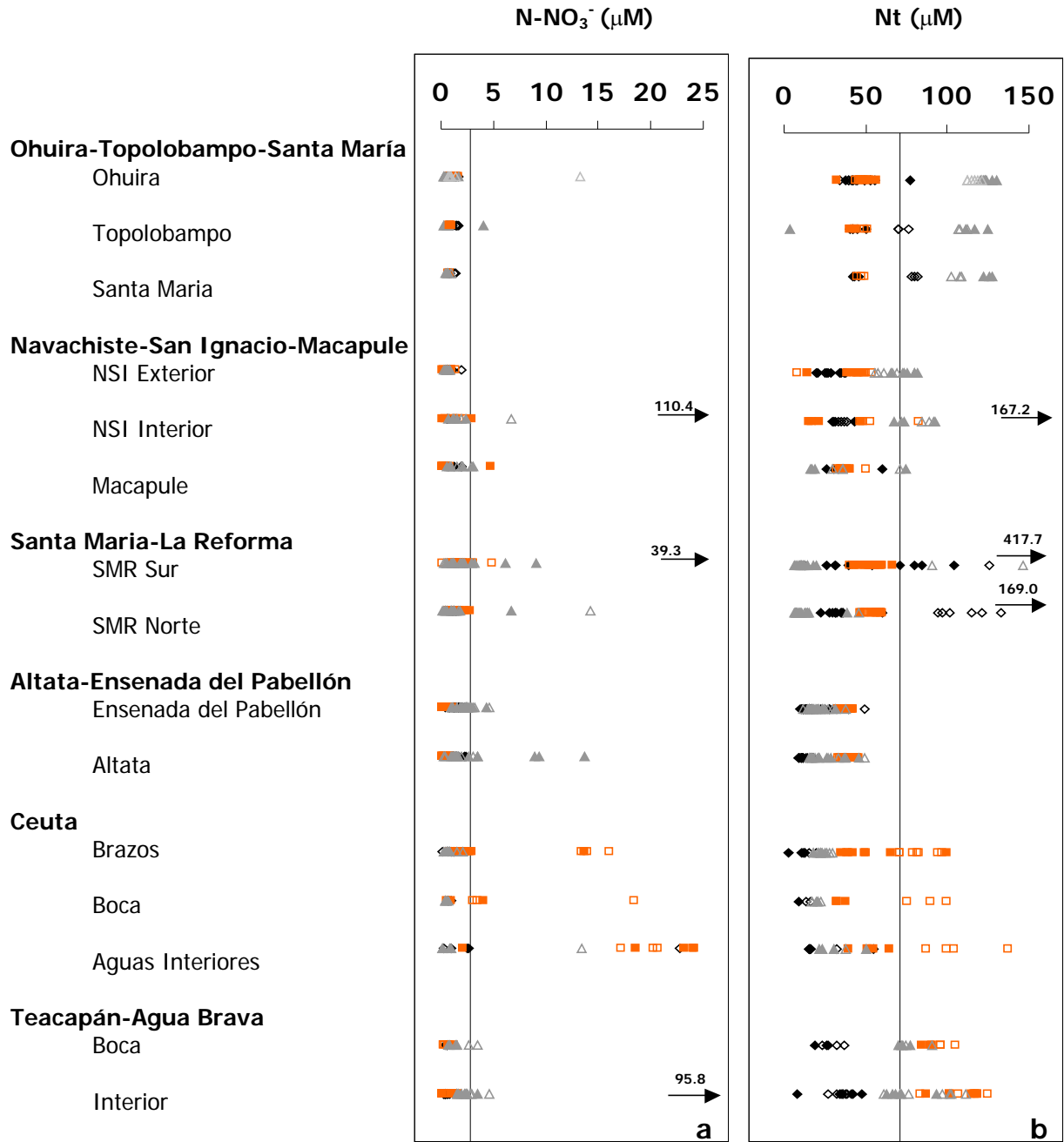
**Fig. III.3.** Intervalos de concentración de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (a) y N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (b) para los diferentes periodos de muestreo (SC pleamar  $\blacklozenge$ , SC bajamar  $\diamond$ , LL pleamar  $\blacksquare$ , LL bajamar  $\square$ , SF pleamar  $\blacktriangle$  y SF bajamar  $\triangle$ ) en las lagunas costeras estudiadas. Las líneas verticales marcan el valor límite establecido en cada uno de los parámetros. Flechas indican valores fuera de escala.



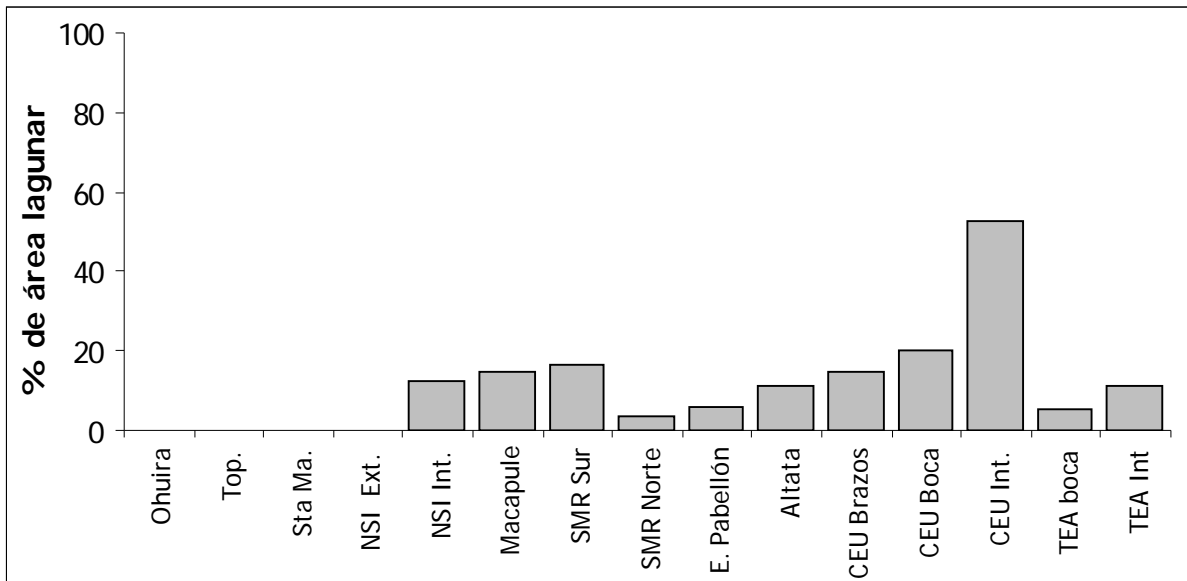
**Fig. III.3 c.** Porcentaje de estaciones que presentan valores de  $N-NH_4^+$  por encima del máximo para aguas marinas costeras ( $0-25 \mu M$ ) propuesto por Antia *et al.* (1991) para las diferentes lagunas costeras estudiadas.



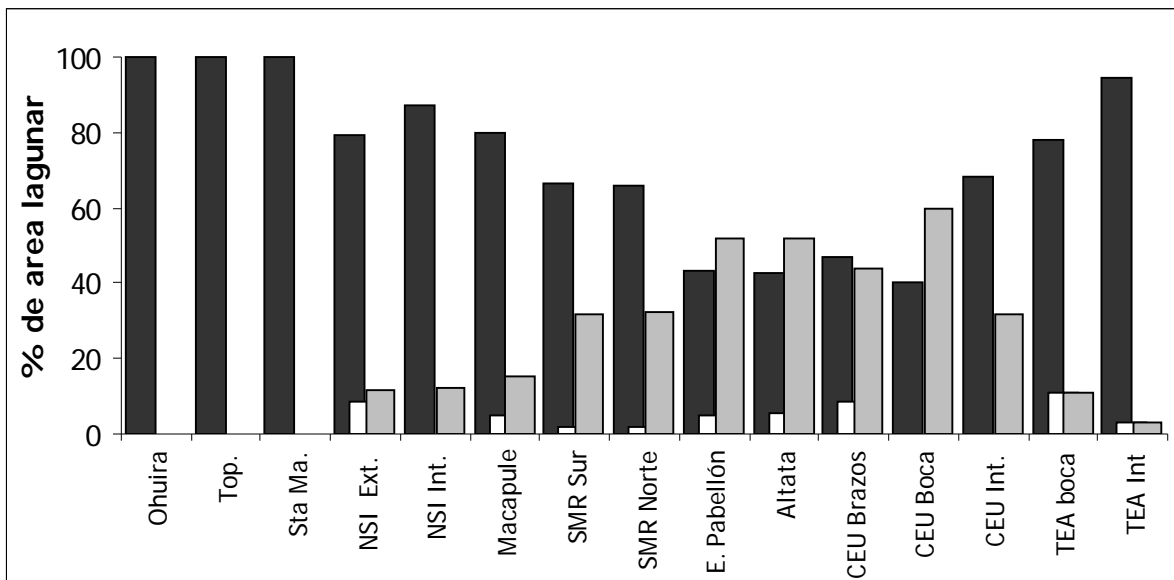
**Fig. III.3 d.** Porcentaje de estaciones que presentan valores de  $N-NO_2^-$  por encima del máximo para aguas marinas costeras ( $0-2 \mu M$ ) propuesto por Antia *et al.* (1991) para las diferentes lagunas costeras estudiadas.



**Fig. III.4.** Intervalos de concentración de  $N-NO_3^-$  (a) y Nitrógeno total (b) para los diferentes periodos de muestreo (SC pleamar  $\blacklozenge$ , SC bajamar  $\diamond$ , LL pleamar  $\blacksquare$ , LL bajamar  $\square$ , SF pleamar  $\blacktriangle$  y SF bajamar  $\triangle$ ) en las lagunas costeras estudiadas. Las líneas verticales marcan el valor límite establecido en cada uno de los parámetros. Flechas indican valores fuera de escala.



**Fig. III.4 c.** Porcentaje de estaciones que presentan valores de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> por encima del límite máximo propuesto por la NOM-001-ECOL-1996 para aguas marinas costeras (2.86 µM) para las diferentes lagunas costeras estudiadas.

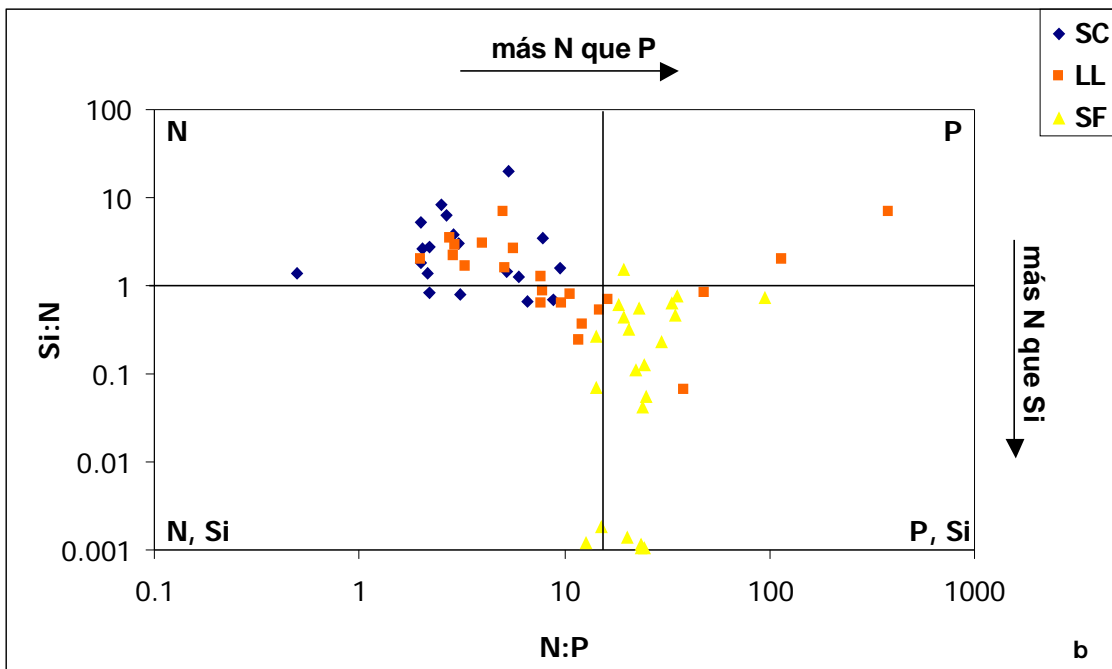
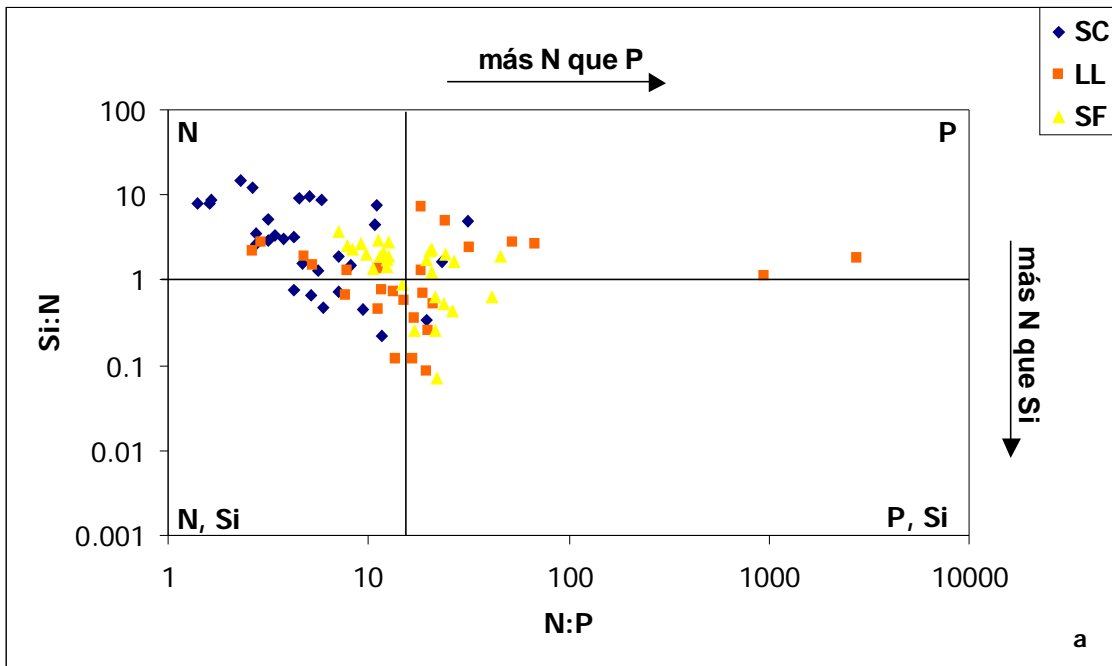


**Fig. III.4 d.** Porcentaje de estaciones que presentan valores de nitrógeno total > 28.6 µM (estado hipertrofico ■); valores entre 25 y 28.6 (estado eutrófico □) y valores > 25 (estado oligotrofico / mesotrofico ▒) según Smith *et al.* (1999).

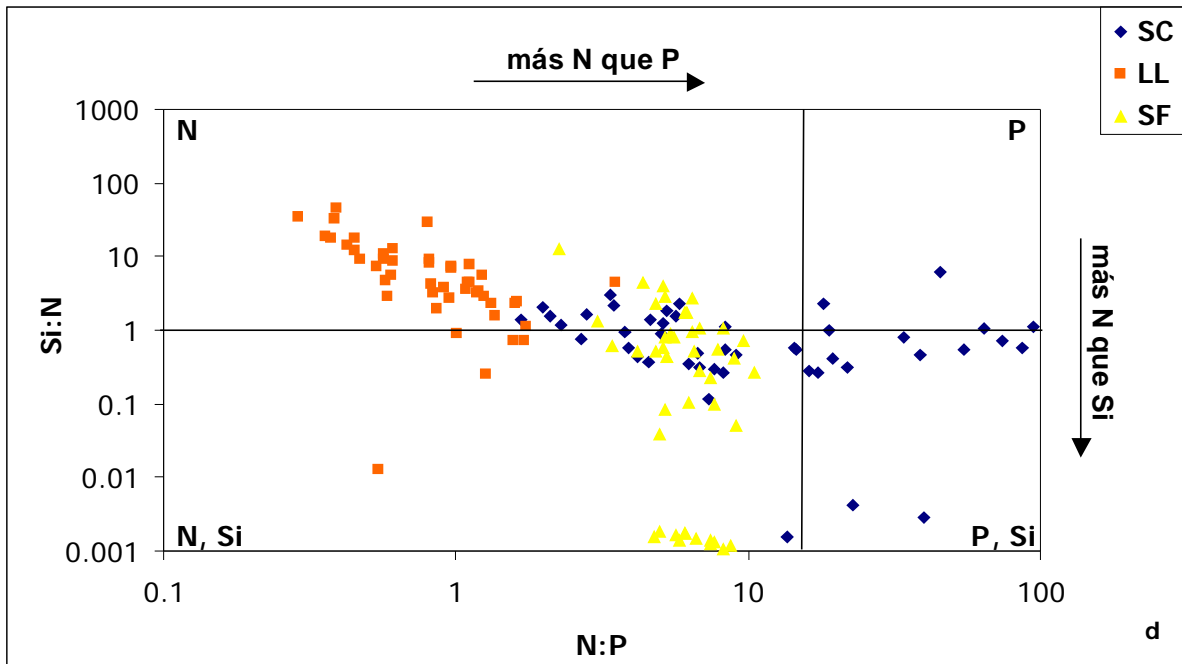
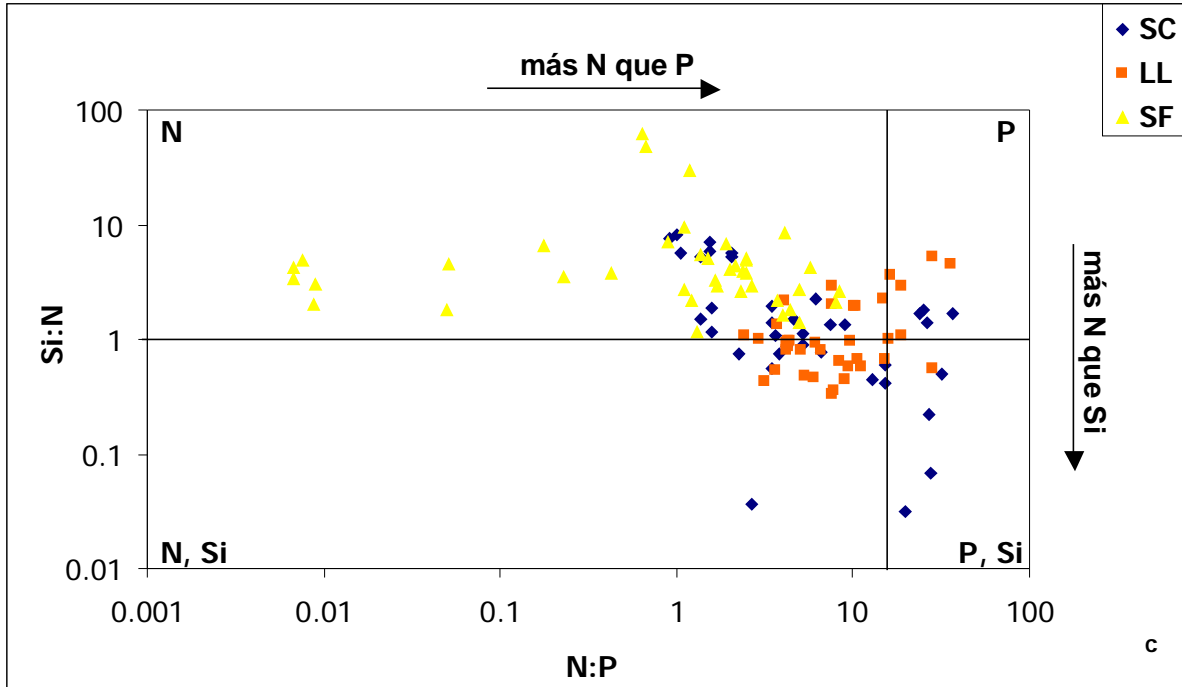
## **ANEXO IV:**

**Relación estequiométrica de nutrientes**

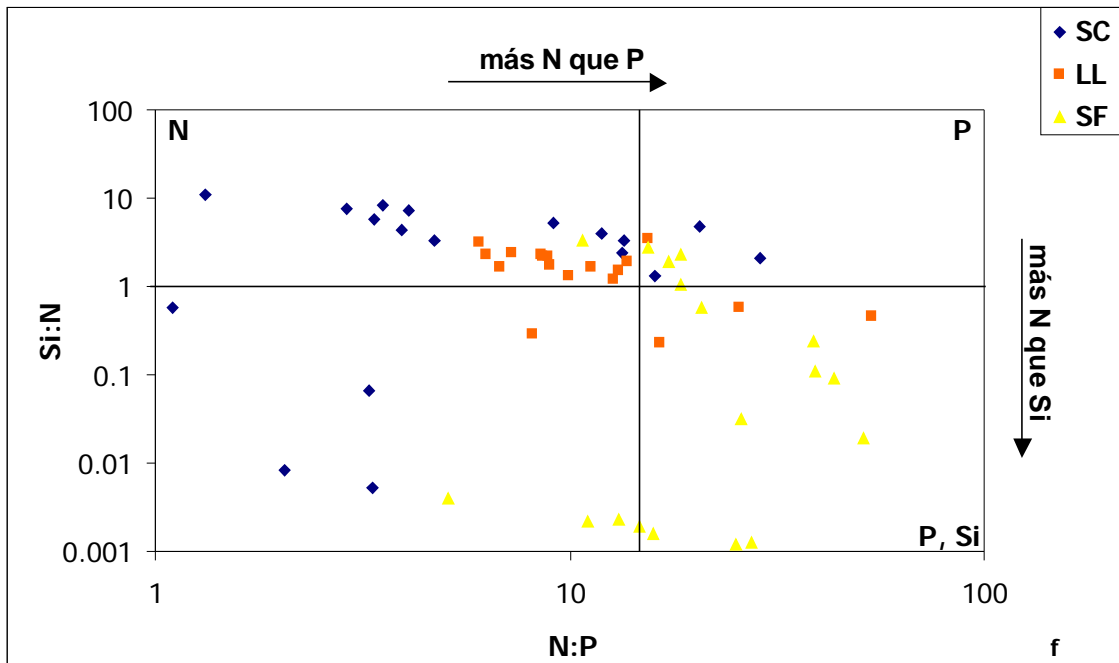
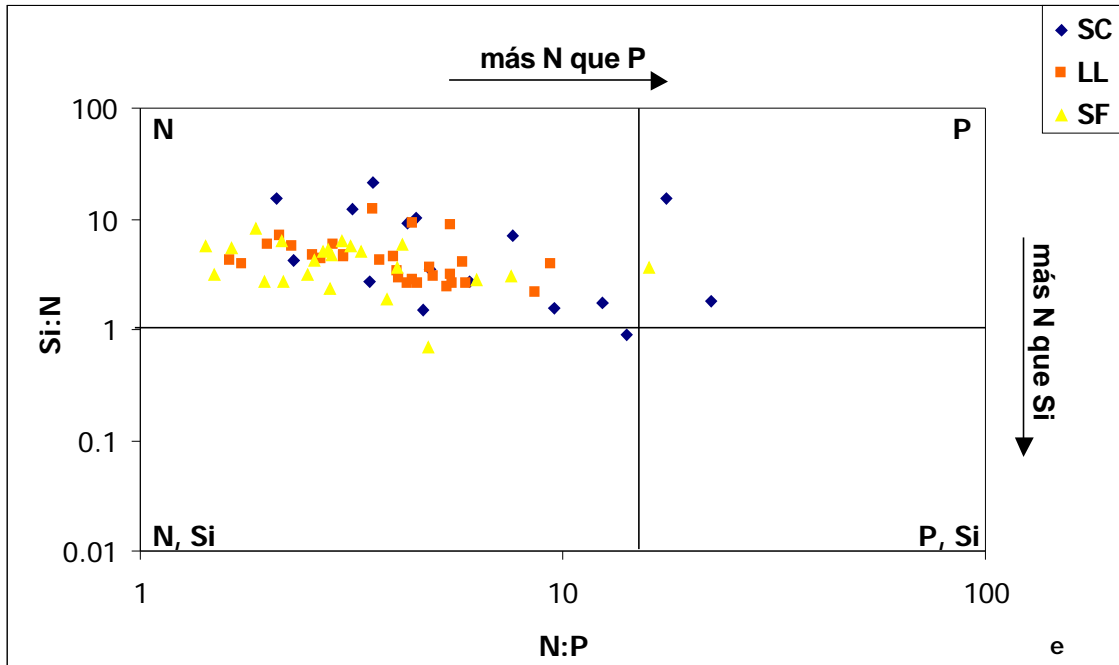




**Fig. IV.1.** Relaciones molares de nitrógeno inorgánico y fósforo disueltos (N:P) y de silicio y nitrógeno inorgánico disueltos (Si:N) para las lagunas de OHU (a) y NSI (b) para cada una de los periodos de muestreo. La relación atómica de N:P y Si:N de 16:1 y de 1:1 se indican en líneas horizontales y verticales. La limitación de nutrientes está indicada por las letras dentro de cada uno de los cuadrantes.



**Fig. IV.1.** Relaciones molares de nitrógeno inorgánico y fósforo disueltos (N:P) y de silicio y nitrógeno inorgánico disueltos (Si:N) para las lagunas de SMR (c) y AEP (d) para cada una de los periodos de muestreo. La relación atómica de N:P y Si:N de 16:1 y de 1:1 se indican en líneas horizontales y verticales. La limitación de nutrientes está indicada por las letras dentro de cada uno de los cuadrantes.



**Fig. IV.1.** Relaciones molares de nitrógeno inorgánico y fósforo disueltos (N:P) y de silicio y nitrógeno inorgánico disueltos (Si:N) para las lagunas de CEU (e) y TEA (f) para cada una de los periodos de muestreo. La relación atómica de N:P y Si:N de 16:1 y de 1:1 se indican en líneas horizontales y verticales. La limitación de nutrientes está indicada por las letras dentro de cada uno de los cuadrantes.