



Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología

Universidad Nacional Autónoma de México



Ciencias del Mar y
Limnología

“Distribución espacial y temporal de fósforo y silicio
en aguas de las lagunas costeras de Sinaloa”

T E S I S

que para obtener el grado académico de

Maestro en Ciencias

(Biología Marina)

p r e s e n t a

Alejandro del Río Chuljak

Director de Tesis: Dr. Federico Páez Osuna

Comité Tutorial: Dr. Martín Merino Ibarra

Dr. Jorge R. Ruelas Inzunza

Dr. Martín F. Soto Jiménez

Dra. Guadalupe de la Lanza Espino

Mazatlán, Sinaloa, julio de 2006



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

Este trabajo se realizó bajo la dirección del Dr. Federico Páez Osuna en el Laboratorio de Geoquímica y Contaminación Costera de la Unidad Académica Mazatlán del ICML, UNAM con el apoyo del Proyecto SEMARNAT-2002-C01-0161 titulado "Dinámica de los nutrientes en las lagunas costeras de Sinaloa: flujos, transporte, interacciones con sedimentos y organismos"

Agradecimientos

Al Dr. Federico Páez por darme la oportunidad de trabajar con él, por sus observaciones acertadas, su paciencia y entereza que demostró en todo momento.

Al comité tutorial:

Dr. Jorge R. Ruelas Inzunza

Dr. Martín F. Soto Jiménez

Dr. Martín Merino Ibarra

Dra. Guadalupe de la Lanza Espino

por las aclaraciones y correcciones de las dudas que iban surgiendo durante la elaboración del proyecto.

Al Químico Humberto Bojórquez Leyva por la ayuda en la determinación de las técnicas analíticas y análisis químicos y por su disposición mostrada en todo momento.

A la Dra. Rosalba Alonso Rodríguez, por sus comentarios y su enseñanza de unos organismos maravillosos y su relación con el proyecto.

Al Matemático Germán Ramírez Reséndiz y al LSCA Carlos Suárez por su apoyo en la elaboración de los gráficos y en las dudas concernientes a la edición del proyecto.

A Maria Clara Ramírez Jáuregui, responsable de la biblioteca y al LSCA Pedro Allende por el material bibliográfico prestado a lo largo de todo el trayecto para la elaboración de la tesis.

A Margarita Cordero, Diana Juárez, Chantal Ruiz Guerrero y Gabriela Almaraz, por ayudarme en todo momento con información, formatos y solicitudes correspondientes para agilizar los trámites de titulación.

A mis amigos, Alejandra Piñon, por ser tan paciente y guiarme a la calma en momentos tormentosos, a Roberto Rey, por estar conmigo en las buenas y en las malas, A Iván Martínez por contar siempre con su apoyo moral, A Korynthia López por las vivencias

mortales que nos aventábamos en los muestreos y por tu amistad (felicidades por tu chilpayate) y a Martin Jara, Daniel, Alberto, Einar, Wendy y demás por hacerme sonreír en todo momento.

A los vigilantes de la Unidad Académica, al personal de intendencia y a Lucio por tener en tan buenas condiciones la Unidad y por recibir a la gente siempre con una sonrisa, la cual agradezco demasiado.

A la buena música que siempre acompañó a mis oídos para relajarme cuando no todo se veía tan claro (IHWI).

Dedicatoria

*A mis padres por siempre haberme apoyado sin condiciones
y por el amor demostrado en todo momento*

*A mis abuelas Luisa y Lydia que en donde quiera que estén se
que están orgullosas por la labor realizada en este trabajo*

A mi abuelo Carlos por todo el apoyo a lo largo de la vida

*A mis hermanos Sayda y Miguel por estar siempre ahí y por
el cariño brindado desde que tengo uso de razón*

por eso y por todo gracias.

TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción	1
1.1. Fósforo	3
1.2. Silicio	4
1.3. Eutrofización.....	5
1.4. Fitoplancton y clorofila <i>a</i> en estuarios y lagunas costeras.....	6
2. Antecedentes	7
2.1. Fósforo	7
2.2. Silicio	8
2.3. Eutrofización.....	9
2.4. Fitoplancton y clorofila <i>a</i>	10
3. Objetivos	11
4. Área de Estudio.....	11
4.1. Laguna Topolobampo-Ohuira.....	12
4.2. Laguna Navachiste-San Ignacio	13
4.3. Laguna Santa María-La Reforma.....	13
4.4. Laguna Altata-Ensenada del Pabellón	14
4.5. Laguna Ceuta	<u>15</u>
4.6. Laguna Teacapán- Agua Brava.....	15
5. MATERIAL Y MÉTODOS.....	24
5.1. Muestreo y análisis químicos.....	24
6. RESULTADOS Y DISCUSION	29
6.1. Temperatura	29
6.2. Salinidad	36

6.3. Oxígeno disuelto	42
6.4. Sólidos suspendidos totales.....	48
6.5. Fósforo disuelto	56
6.6. Fósforo total	62
6.7. Silicatos.....	68
6.8. Clorofila <i>a</i>	74
7. Promedio anual para cada una de las variables durante pleamar y bajamar en los 6 sistemas lagunares.....	82
7.1. Temperatura	82
7.2. Salinidad	83
7.3. Oxígeno disuelto	86
7.4. Sólidos suspendidos totales.....	88
7.5. Fósforo disuelto	90
7.6. Fósforo total	92
7.7. Silicatos.....	94
7.8. Clorofila <i>a</i>	96
8. Clasificación de las lagunas costeras	98
9. Relación entre la clorofila <i>a</i> y el nutriente o factor limitante	107
10. Balance estequiométrico de nutrientes.....	107
11. Conclusiones.....	117
12. Literatura citada.....	121
13. Índice de Tablas.....	127
14. Índice de Figuras.....	130

Resumen

El presente estudio tiene como objetivo principal conocer la dinámica y las concentraciones promedio de fósforo, silicio y demás variables asociadas, como son temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales y clorofila *a*, para poder determinar su distribución y variabilidad estacional a lo largo de un año en seis sistemas lagunares de Sinaloa: Ohuira-Topolobampo-Santa María, Navachiste-San Ignacio-Macapule, Santa María-La Reforma, Altata-Ensenada del Pabellón, Ceuta y Teacapán. Se realizó durante los períodos climáticos de secas frías, secas cálidas y lluvias en sicigia durante la pleamar y bajamar, recolectando muestras de agua superficial y de fondo. Para las muestras de superficie se utilizó un tubo de plástico de 2 metros de longitud, mientras que para las de fondo se utilizó una botella tipo Niskin. La temperatura, el oxígeno disuelto y la salinidad fueron medidos *in situ* con una sonda YSI 556 MPS.

Para el caso de la temperatura, el sistema lagunar más cálido fue Teacapán, siendo el más frío Ceuta. La diferencia en la salinidad de las aguas de los seis sistemas lagunares estuvo marcada por zonas, es decir, los del norte son más salinos que los del sur, probablemente debido a que los sistemas del norte están más sujetos a la evaporación y a que los escurrimientos fluviales son más escasos. De los seis sistemas muestreados, el que presentó las concentraciones más altas de oxígeno disuelto fue Altata-Ensenada del Pabellón. El mínimo de oxígeno a nivel sistema se presentó en Teacapán, causado, en parte por el exceso de materia orgánica que utiliza éste para su oxidación, el mismo caso se dio para los sólidos suspendidos totales, mientras que para el caso del fósforo tanto total como disuelto, los máximos se encontraron en el sistema lagunar Ceuta y los mínimos en Navachiste. En el caso de los silicatos las concentraciones máximas se presentaron en el sistema lagunar Ceuta, mientras que las mínimas en Santa María-La Reforma. Nuevamente, el sistema lagunar que tuvo las concentraciones más altas de clorofila *a* fue Altata-Ensenada del Pabellón mientras que las concentraciones mínimas se encontraron en Navachiste y en Santa María-La Reforma.

1. Introducción

La productividad del fitoplancton en ecosistemas costeros puede ser limitada por varios factores, como son la luz, la temperatura y los nutrientes (Lara-Lara *et al.*, 1990; Downing, 1997; Mallin *et al.*, 1999). Los nutrientes han atraído mucho la atención debido a que los aportes pueden ser a veces controlados para disminuir los síntomas de la eutrofización cultural. El nutriente limitante particular varía de región a región. En general, el fósforo (P) es el principal nutriente limitante en ecosistemas de aguas dulces o continentales, mientras que el nitrógeno (N) lo es en aguas marinas (Howarth, 1988; Fisher *et al.*, 1992; Nixon *et al.*, 1996) y en algunos lagos tropicales y subtropicales (Lewis, 1978; Henry *et al.*, 1985; Dávalos *et al.*, 1989; Havens, 1994). Otros nutrientes como el hierro y los silicatos han sido reportados como limitantes en otras áreas como los parches oceánicos denominados HNLC (High Nutrient Low Chlorophyll) en el Pacífico Norte y en el Pacífico ecuatorial (Yolanda *et al.*, 1997). La limitación del nutriente esta determinada principalmente por el balance de masas entre elementos como C, N, P y Si y su relación con los requerimientos para el crecimiento del fitoplancton.

El enriquecimiento de nutrientes a partir de aportes antrópicos es una de las mayores presiones que impacta actualmente a los ecosistemas costeros de todo el mundo (Páez-Osuna, 2001). Actividades antrópicas relacionadas como la industria cervecera, azucarera, alimenticia, la camaronicultura, y los efluentes municipales, liberan material orgánico, el cual incrementa la demanda de oxígeno, altera la disponibilidad de los contaminantes y proporciona un aporte adicional de nutrientes. Este problema de contaminación en cuerpos de agua costeros está directamente relacionado con el continuo crecimiento poblacional, el cual genera grandes volúmenes de residuos que son descargados tanto directamente a las lagunas o estuarios, o bien, indirectamente a través de ríos que desembocan en ellas.

Los suministros de nutrientes hacia los ecosistemas acuáticos provienen de una amplia variedad de fuentes, incluyendo el manto freático, precipitación y el aporte atmosférico. La suma de estas tres fuentes puede ser nombrada como “carga externa o fuentes no puntuales”. Los suministros externos de ambos nutrientes (N y P) hacia un cuerpo de agua

pueden originar “fuentes directas o puntuales”, las cuales son fácilmente monitoreadas y controladas, y “fuentes no puntuales”, las cuales se esparcen y son mucho más difíciles de monitorear y regular (Carpenter *et al.*, 1998). Las fuentes directas o puntuales son aquellas que resultan de las actividades que se desarrollan dentro de la vecindad inmediata de las aguas costeras; i.e. en la planicie costera, incluyendo efluentes de aguas municipales (urbanas y rurales), descargas industriales, escurrimientos agrícolas y efluentes de las estanquerías acuícolas, donde lo común en la mayoría de estos aportes es el involucrar a la materia orgánica, los nutrientes y los metales pesados. Las fuentes no puntuales incluyen a los contaminantes que provienen de diversas actividades que se desarrollan tierra adentro, e involucra principalmente, a nutrientes y pesticidas procedentes de la agricultura y varios contaminantes atmosféricos (e.g. amonio, el dióxido de azufre, Hg y Pb) (Páez-Osuna *et al.*, 1998). La causa principal de la eutrofización se debe a las descargas que provienen de los efluentes municipales (tratados y sin tratar), industrias, de los suelos y los aportes agrícolas. En latitudes tropicales y subtropicales, las pérdidas asociadas con la erosión debidas a la deforestación es un factor concurrente adicional (Vollenweider, 1992). A escala mundial, se ha observado que las aguas municipales y el empleo de los fertilizantes constituyen la mayor parte de la carga de nutrientes hacia las aguas costeras (Cole *et al.*, 1993). Particularmente, en la región noroeste de México, se nota una mayor contribución de tales actividades en el presupuesto global estimado de la carga de ambos nutrientes (Páez-Osuna *et al.*, 1999).

Los nutrientes son importantes para el control de la producción primaria y secundaria de los estuarios y lagunas costeras. Entre los más importantes elementos químicos en el funcionamiento de los ecosistemas estuarinos son los nutrientes que sirven como materiales estructurales para la producción primaria de la materia orgánica. Las algas (organismos autótrofos), para su desarrollo, necesitan diferentes elementos (Hutchinson, 1967): C, N, P, Si, S, K, Mg, Na, Ca, Fe, Mn, Zn, Cu, Bo, Mo, Co, y vitaminas (tiamina, cianocobalamina y biotina). El C, N, P y Si son los más utilizados en el crecimiento de las algas y el Si es utilizado por las diatomeas y los silicoflagelados. El N, P y Si son encontrados eventualmente en cantidades insuficientes para los requerimientos algales y algunos autores los denominan macronutrientes limitantes. Las concentraciones de estos nutrientes en los estuarios varían constantemente en el tiempo y en el espacio debido a los variables aportes

procedentes de los ríos y otros flujos continentales, y por las salidas, debidas al intercambio oceánico y a la asimilación y regeneración biológica. Los nutrientes constantemente se encuentran dentro de un ciclo en formas químicas orgánicas e inorgánicas. La transformación de los nutrientes y los ciclos son fundamentales para el entendimiento de la ecología marina y costera de esos ecosistemas, de ahí la gran importancia para estudiarlos.

1.1. Fósforo

El fósforo es considerado como el factor más crítico y complejo en los ciclos biogeoquímicos, forma parte de compuestos vitales como los fosfonucleótidos, fosfoaminoazúcares, fosfolípidos y de los sistemas energéticos en la célula (ADP, ATP). Este nutriente se encuentra tanto disuelto como particulado, sea orgánico o inorgánico; según Kester y Pytkowicks (1967) en la forma disuelta inorgánica predomina el fosfato monoácido (HPO_4^{-2}) en un 87%, el fosfato u ortofosfato (PO_4^{-3}) en un 12% y el diácido (H_2PO_4) con un 1% en las aguas marinas a 20 °C de temperatura y un pH de 8. El pH del agua determina ampliamente la forma química del fósforo; para condiciones moderadamente alcalinas prevalece el fosfato de calcio, mientras que a pH alcalino se asocia el fosfato de sodio y en aguas ácidas en forma de fosfato férrico (Reid y Wood, 1976). El ortofosfato inorgánico fluvial proviene principalmente de la intemperización de las rocas y de la lixiviación de los suelos, adicionalmente de las descargas industriales y domésticas en forma de desechos orgánicos y fertilizantes. Dentro de los desechos se encuentran los polifosfatos contenidos en los detergentes que por hidrólisis y por actividad bacteriana redisponen al fósforo como fosfato. Los compuestos orgánicos e inorgánicos del fósforo pueden presentarse en altas concentraciones en aguas de las lagunas costeras y proceder de la descomposición de la materia orgánica y productos de excreción de los organismos acuáticos.

Para el estado de Sinaloa, Páez-Osuna *et al.* (1998) estimaron que el aporte municipal de fósforo por persona al día fue 1.9 g.

Dada la gran variedad de formas de este nutriente, es común cuantificarlo como ortofosfato o como fósforo total. La forma predominante de asimilación por los productores primarios

son los ortofosfatos, pero el fósforo orgánico de bajo peso molecular puede ser removido por el fitoplancton. Hay una variación espacial y temporal en el predominio de algunos compuestos de fósforo sobre otros en el ciclo biogeoquímico. Los consumidores (zooplancton y peces) regeneran el fósforo a través de sus excretas (orgánico e inorgánico). En verano se nota una predominancia del fósforo orgánico disuelto y del detritus, procedente del florecimiento fitoplanctónico primaveral, que gradualmente se convierte en ortofosfatos para ser la forma dominante entre invierno y primavera (Garay-Morán, 2002).

1.2. Silicio

El ciclo del silicio en los sistemas estuarinos ha sido enfocado a los efluentes litogénicos, flujos bentónicos y el reciclamiento de las diatomeas. Sin embargo, la vegetación, como manglares, la cual normalmente cubre una gran extensión y contribuye en gran parte con la biomasa de los sistemas estuarinos, también contiene silicio (Norris & Hackney, 1999). La variación en la concentración de este nutriente ha sido claramente relacionada con el suministro de éste desde ríos y el consumo por diatomeas. La variación entre silicio y el número de diatomeas también muestra que la producción de diatomeas puede ser temporalmente limitada por la falta de este nutriente y estimulada por un suministro del mismo (Vollenweider, 1992).

La mayor parte del silicio es removida por la depositación de testas silíceas formadas primordialmente por el plancton. El sílice biogénico también es producido por diatomeas y silicoflagelados, que forman parte del fitoplancton y por radiolarios, pertenecientes a los protistas. Algunas esponjas forman espículas silíceas, aunque constituyen una pequeña fracción del sílice biogénico (Libes, 1992). El silicio es considerado comúnmente como elemento micronutriente, ya que es esencial para su crecimiento. Éste se puede encontrar también en forma particulada principalmente como silicatos minerales (alóctonos o autóctonos) y disuelto como H_2SiO_4 y SiO_2 (Parsons & Takahashi, 1975).

1.3. Eutrofización

El problema de la eutrofización costera ha sido resaltado en años recientes a causa de la ocurrencia de cada vez más florecimientos de fitoplancton severamente tóxicos en muchas áreas costeras del mundo (Valiela, 1995). Hay evidencia que indica que se está dando un incremento global en los niveles de nutrientes en las aguas costeras a través de los sistemas lóticos y descargas de aguas municipales los cuales favorecen los florecimientos en número y frecuencia de mareas rojas (Hodgkiss y Ho, 1997).

La eutrofización de los sistemas marinos localizados entre los continentes y el océano abierto (i.e. la zona costera, estuarios y bahías) se ha incrementado rápidamente en las últimas dos décadas afectando a los procesos marinos que alteran el equilibrio dinámico natural y la composición de la biota de los respectivos ecosistemas. Así, la eutrofización se ha convertido en una amenaza para el funcionamiento de estos sistemas, al deteriorar su utilización racional como recurso para la recreación, turismo, pesquerías y la acuicultura. La descomposición de la materia orgánica, consume grandes cantidades de oxígeno, provocando una disminución en la concentración de éste, causando, en casos extremos, mortandad de peces, formación de aguas corrosivas y la presencia de sustancias indeseables tales como CO₂, CH₄, H₂S, NH₃, sustancias organolépticas (produciendo mal olor), ácidos orgánicos y toxinas algales que se pueden acumular en peces, particularmente en mariscos, siendo una amenaza para la salud humana (Vollenweider, 1992).

Debido a la contribución de nutrientes y los aportes de materia orgánica que se han incrementado cada vez más alrededor de las lagunas costeras, y tomando en cuenta las implicaciones ambientales que esto conlleva con respecto a la biodiversidad y otros factores ecológicos, es necesario conocer el suministro de nutrientes como un primer paso y a la vez verificar el grado de impacto que sufren las lagunas costeras por los desagües de las comunidades, industrias, drenes domésticos y la influencia de las granjas camaronícolas. En el caso del noroeste de México, las lagunas de Sinaloa constituyen un área de interés debido a que en sus cuencas de drenaje se presentan estas actividades económicas y su influencia es probablemente variable entre cuenca y cuenca (Páez-Osuna, 2001).

1.4. Fitoplancton y clorofila *a* en estuarios y lagunas costeras

La concentración de clorofila *a* es una estimación de la biomasa fitoplanctónica. Este pigmento no solamente se encuentra en cantidades variables en las células, dependiendo no solamente de la especie, sino posiblemente también de la etapa del ciclo reproductivo. Los niveles elevados se interpretan como evidencia de los florecimientos del fitoplancton, aunque existe una gran variabilidad, relacionada con la época del año, mareas y el clima (Alonso-Rodríguez y Páez-Osuna, 2001). La biomasa de los productores pequeños frecuentemente es mayor que la biomasa de las grandes comunidades. En las aguas del Pacífico tropical, por ejemplo, el picoplancton (<2µm) contribuye con el 39-63 % del total de la clorofila, siendo más frecuente el grupo de las cianobacterias, que es el dominante en abundancia, el nanoplancton (entre 2 y 20 µm) con el 27-42% y el microplancton (>20 µm) con el 9-16% (Peña *et al.*, 1990).

La productividad primaria anual presenta variaciones estacionales; como es la presencia de florecimientos fitoplanctónicos en la época de lluvias, causada por la utilización de nutrientes provenientes de los ríos y escurrimientos; posteriormente disminuye la biomasa fitoplanctónica con el aumento de la turbidez y debido a la disponibilidad de nutrientes, luego se presenta un segundo florecimiento el cual disminuye al inicio del invierno (Flores-Verdugo *et al.*, 1995).

La abundancia del fitoplancton decrece a lo largo de un gradiente de la costa al océano abierto. El fitoplancton alcanza diversos miles de células por mililitro en las proximidades de la costa y sobre la plataforma continental, mientras que en las aguas oceánicas se encuentra en el orden de cientos de células por mililitro. La fertilidad de las aguas marinas también afecta la composición taxonómica; las diatomeas, por ejemplo, pueden dominar en aguas costeras ricas en nutrientes, mientras que la abundancia relativa de los cocolitofóridos y los dinoflagelados se incrementa en las aguas oceánicas pobres en nutrientes (Valiela, 1995).

La composición taxonómica del fitoplancton en los cuerpos de agua naturales experimenta variaciones en el espacio y el tiempo provocados por factores físicos (luz, salinidad,

temperatura), la presencia de sustancias inorgánicas como son los nutrientes, el ciclo de vida de las especies presentes, depredación o por sucesión de especies dentro de la comunidad. Hay casos en que los florecimientos tienen una corta duración, pero un grupo taxonómico particular puede ser abundante, tal como ocurre con las llamadas mareas rojas en los estuarios y en aguas costeras, provocadas por el rápido crecimiento de dinoflagelados con pigmentación pardo-rojiza (Margalef, 1969).

2. Antecedentes

2.1. Fósforo

En el sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón, Sinaloa, se determinó una marcada variación espacial y temporal, siendo en agosto de 1990 de 1.2 a 7.6 $\mu\text{g-at/L}$ de fosfatos y en abril de 1991 de 3.1 a 25 $\mu\text{g-at/L}$ de fosfato, resultado, según los autores, de la influencia de las descargas de las actividades agrícolas y de los ingenios azucareros. También señalan, que este nutriente se puede exportar a través de los flujos de mareas, llegando a ser hasta un 25% de lo generado en la laguna (Conde-Gómez, 1991).

Páez-Osuna *et al.* (1990) estimaron que las concentraciones de fósforo disuelto para la boca y el canal de navegación de la laguna de Urías oscilaba entre 46.9 $\mu\text{g/L}$ a 137.5 $\mu\text{g/L}$ y las concentraciones de fósforo particulado de 1.6 $\mu\text{g/L}$ a 17.3 $\mu\text{g/L}$, así que el total de fósforo puede ser estimado en un intervalo de 48.5 – 154.8 $\mu\text{g/L}$ para este cuerpo lagunar.

Registros de tres décadas en la Laguna de Huizache-Caimanero permiten observar la constancia en el contenido de ortofosfatos que oscila entre 0.5 y 3.5 $\mu\text{g-at/L}$ (Arenas, 1969; Ortega-Salas y Stephenson, 1976). Sin embargo, a partir de los 80's el alto impulso a la actividad acuícola, que conlleva la fertilización y recambio de agua para el cultivo del camarón, representó un aumento del nutriente para este sistema lagunar. Se incrementó entre un 30 y 100% la concentración inicial de ortofosfatos como resultado de la influencia de la camaronicultura (De la Lanza y García-Calderón, 1992).

Un caso extremo de incremento de ortofosfatos por actividades humanas es el registrado en la Bahía de Guaymas, Sonora, con concentraciones máximas de hasta 116.8 $\mu\text{g-at/L}$ de fosfatos cercanas a la industria harinera de pescado y 75.6 $\mu\text{g-at/L}$ de fosfato determinados en las aguas cercanas a la descarga municipal dentro de la bahía (Ortíz-Gallarza *et al.* 1991).

En el Golfo de Tehuantepec se localiza la Laguna Superior en Oaxaca, donde Ortíz-Gallarza *et al.* (1991) cuantificaron contenidos de ortofosfatos de 0.05 a 0.37 $\mu\text{g-at/L}$, justificables por el escaso aporte fluvial y aparentemente nula contaminación. Este sistema lagunar es altamente salino, con concentraciones de hasta 54 ups y escasa vegetación circundante. Se puede mencionar que la concentración de ortofosfatos disueltos en las lagunas costeras puede oscilar desde lo indetectable hasta contenidos altos cercanos a 10 $\mu\text{g-at/L}$ de fosfatos, resultado de la complejidad local. Concentraciones mayores de 2.5 $\mu\text{g-at/L}$ de fosfatos no son frecuentes en las aguas de surgencias, sin embargo, si se encuentran valores altos en áreas más someras, éstos son causa de la remineralización de la materia orgánica (De la Lanza *et al.* 1991).

2.2. Silicio

Officer y Rither (1980) presentaron evidencia en la alteración de las comunidades de diatomeas hacia la aparición de flagelados probablemente debido a la falta de silicio en las aguas marinas. El sílice es acumulado durante la vida de las plantas, esto debido a que cuando este nutriente se ha depositado dentro de ésta, es inmóvil y no puede ser removido por otras partes de la planta como fuente de silicio (Lewin y Reimann, 1969).

Las concentraciones de silicio en la Bahía Perdido, Florida, fueron relativamente altas durante el periodo comprendido entre 1988 y 1991. Las máximas concentraciones ocurrieron durante este mismo periodo en Ensenada Elevenmile, no obstante, durante el periodo 1992-1993 se observó un decremento de este nutriente en toda la Bahía. En 1997, la concentración de silicio se incrementó nuevamente. La carga reducida de ortofosfato en verano de 1997 fue acompañada por una breve reducción de silicio en la bahía, seguido esto por otro incremento en 1998. Estas últimas concentraciones de silicio excedían tres veces

más a las concentraciones hechas durante los primeros tres años. Una comparación de la tendencia en la concentración de silicio con la carga de éste desde el Río Perdido y Ensenada Elevenmile indicó que la concentración del nutriente en la bahía en tiempo no era función de la carga de silicio. En 1992-1993 los decaimientos de la concentración de silicio coincidieron con el incremento en la concentración de ortofosfatos. La conexión de las concentraciones de silicio en toda la bahía con cambios temporales en la carga de ortofosfatos indicaron posiblemente un control en la tendencia interanual de la comunidad fitoplanctónica (Livingston, 2001).

2.3. Eutrofización

Históricamente, el concepto eutrofización nace del estudio de los cuerpos de agua dulce, sin embargo, en los últimos quince años se han incrementado los estudios de este fenómeno en las aguas costeras y el término se ha incorporado con sus acepciones. Eutrofización es un enriquecimiento de las aguas por nutrientes como el fósforo y nitrógeno principalmente, que sobre-estimula el crecimiento de las algas conduciendo esto a una disminución del oxígeno disponible en el medio, causando esto efectos diversos en las condiciones fisicoquímicas de los ecosistemas y en la biota, y en sus más diversas manifestaciones, mortalidad en organismos del medio marino (Smith *et al.* 1999; Páez-Osuna *et al.* 2001).

Vollenweider (1992) señala que eutrofización es un término que se aplica tanto en las aguas dulces como marinas y que se refiere al enriquecimiento de las aguas con nutrientes (primordialmente N y P) que estimula la producción acuática primaria y en sus más severas manifestaciones da lugar a los “blooms” algales, natas algales, aumento de la tasa de crecimiento algal béntico y a veces un crecimiento masivo de macrófitas sumergidas y flotantes, incrementando en el sistema la carga orgánica que provoca en el agua una reducción en la transparencia, manchas, hediondez y niveles altos de pigmentos clorofílicos. Además constituye una amenaza potencial para la salud humana.

La estructura de la cadena alimenticia de los sistemas acuáticos naturales esta moldeada por procesos de eutrofización, con interacciones complejas que dependen ampliamente de

múltiples procesos biológicos de los productores primarios y estrategias alimenticias altamente evolucionadas de los consumidores secundarios (Livingston *et al.* 1997).

2.4. Fitoplancton y clorofila *a*

Santoyo-Reyes (1994) afirma que las diatomeas constituyen cerca del 90% de la comunidad acuática en las lagunas costeras de México, sin embargo, los datos de la literatura revisada por el autor indican que las diatomeas constituyen cerca del 70%, tanto en número de especies como en abundancia relativa. En una revisión realizada por Santoyo-Reyes (1994) de las lagunas costeras de México, se tienen que los contenidos de clorofila *a* se ubican desde menos de 0.1 hasta 73.8 $\mu\text{g L}^{-1}$. A partir de los datos de 25 lagunas examinadas por este mismo autor se tiene que las concentraciones más frecuentes oscilan entre 0.1 y 19.9 $\mu\text{g L}^{-1}$. Esto permite augurar que el agua de suministro que proviene de las lagunas tendrá un nivel de este orden de magnitud; de hecho, Guerrero-Galván *et al.* (1999) encontraron concentraciones menores que 0.1 y 15 $\mu\text{g L}^{-1}$ para el período de estiaje y otras que van de 0.1 a 20 $\mu\text{g L}^{-1}$ para el período de lluvias, en el agua de ingreso de una granja semi-intensiva, cuyo canal de llamada se comunica con el sistema lagunar del Estero de Urías.

3. Objetivos

General

Determinar la dinámica térmica, salina y las concentraciones promedio de nutrientes (P y Si) de las aguas de las principales lagunas costeras de Sinaloa y determinar su distribución y variabilidad estacional a lo largo de un año.

Específicos

1.- Determinar la distribución del fósforo disuelto, fósforo total y silicatos en las aguas de las principales lagunas costeras de Sinaloa a través de muestreos representativos a lo largo de un año considerando las tres épocas climáticas de la región; secas cálidas, lluvias, secas frías.

2.- Determinar la variabilidad en la concentración de estos nutrientes (P y Si) tomando en cuenta la dinámica de las mareas; en pleamar y bajamar durante sicigia.

3.- Establecer una categorización del estado trófico de las aguas de las lagunas costeras, tomando en cuenta la concentración de cada nutriente, fósforo disuelto, fósforo total y silicatos.

4.- Identificar los principales flujos de entrada de nutrientes con el fin de evaluar y relacionarlos con el grado de eutrofización (contenido de clorofila *a*, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales, nitrógeno), esto con el objeto de predecir el impacto en escenarios con un mayor y menor aporte de nutrientes (fuentes de descarga).

4. Área de Estudio

En el noroeste de México, el estado de Sinaloa constituye un área de interés debido a que en sus cuencas de drenaje se encuentra un gradiente climático de norte a sur y están sujetas a los desagües de las comunidades, industrias, drenes domésticos y los drenes de las granjas camaronícolas, con una influencia que probablemente varía entre cuenca y cuenca (Páez-

Osuna *et al.*, 2001). Tomando en cuenta que los sistemas lagunares de Topolobampo-Ohuira, Santa María La Reforma, Altata-Ensenada del Pabellón, Ceuta y Teacapán han sido clasificados como regiones hidrológicas prioritarias de México por CONABIO considerando el insuficiente conocimiento que se tiene de estos sistemas lagunares, el presente trabajo contempla el estudio de nutrientes (P y Si) de estos seis sistemas lagunares debido a la importancia ecológica que estos representan.

4.1. Laguna Ohuira-Topolobampo-Santa María

Localizado en la costa noroeste de Sinaloa, entre los 25° 32' 00'' y 25° 36' 00'' latitud norte, esta laguna se encuentra en el municipio de Ahome (Fig. 1). La extensión de la Bahía de Topolobampo es de 60 km² conectada con el Golfo de California a través de una boca de aproximadamente 3 km de largo, y la extensión de la Bahía de Ohuira es de 125 km², esta conectada con la Bahía de Topolobampo a través de un canal. (Green-Ruiz, 2000). Se encuentra dentro de la clasificación I-C y II-A, de la clasificación de lagunas costeras de Lankford (1977). Este sistema tiene una marcada influencia de la descarga de agua caliente de la termoeléctrica de la CFE en la Bahía de Ohuira, los reflujos de mareas causan que la temperatura se disperse y se distribuya a la Bahía de Topolobampo. También recibe aportes de los efluentes urbanos e industriales generados en el mismo puerto. Es un área muy seca en cuanto al clima, cálida con temperatura media anual mayor de 22° C y la del mes más frío menor que 18° C, con régimen de lluvias en verano y un porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10.2% del total anual, siendo extremoso con oscilación térmica entre 7 y 14° C. Para la zona de Topolobampo la temperatura promedio anual es de 24° C con la máxima en julio, mientras que la precipitación promedio anual es de 240.9 mm, siendo septiembre el mes más lluvioso. La red hidrográfica de esta zona pertenece a la vertiente occidental de la Sierra Madre Occidental, en donde se presentan los ríos Fuerte y Sinaloa y algunos arroyos intermitentes que desembocan en el Golfo de California, a lo largo de los cuales se han construido presas de donde emanan un gran número de canales de riego. Algunos de estos canales desembocan en el sistema lagunar, además de tres drenes de aguas negras y de desechos industriales provenientes de la Ciudad de Los Mochis (parcialmente), Topolobampo, Paredones, Lázaro Cárdenas y Juan José Ríos (Green-Ruiz, 2000).

4.2. Laguna Navachiste-San Ignacio-Macapule

La Laguna costera de Navachiste-San Ignacio se encuentra localizada entre los 25° 22' 00'' y 25° 35' 00'' de latitud norte. Pertenece a los municipios de Ahome y Guasave (Fig. 2). La laguna abarca 26, 700 ha y comprende principalmente la Bahía de Navachiste con 21, 400 ha y como subsistemas la Bahía San Ignacio con 2, 700 ha y la Bahía de Macapule con 2, 600 ha. Tiene una profundidad media de 4 m, posee una barrera arenosa de 23 km de largo y 8 islas (Garay-Morán, 2002).

Pertenece a la clasificación III-A según Lankford (1977). En torno a este complejo lagunar se observan actividades agrícolas, pesqueras, acuícolas y turísticas. 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. Dentro de los principales efluentes se encuentran dos esteros importantes: El Colorado y El Caracol que reciben los aportes de drenes agrícolas y municipales del distrito de riego 063.

4.3. Laguna Santa María-La Reforma

Esta se localiza entre los 25° 20' 00'' y 24° 40' 00'' latitud Norte y los 108° 25' 00'', 107° 55' 00'' longitud Oeste con una extensión de 10, 900 ha (Fig. 3). Está compuesta por un diverso mosaico de manglares, planos intermareales, marismas de agua dulce, extensas zonas salobres y marismas emergentes salobres. La profundidad máxima es de 24 m y la profundidad media es de 7 m, se comunica al océano Pacífico a través de dos grandes bocas con más de 5 km de ancho y de 12 a 17 m de profundidad.

Entra en la clasificación tipo III-A y III-C (Lankford, 1977). La Bahía se encuentra dentro de la llanura del Pacífico con un clima semiseco a seco muy cálido, con una temperatura media anual de 24.2 °C y una precipitación promedio anual de 433.8 mm, con las mayores lluvias en verano y escasas en invierno. Es el sistema lagunar más grande del Estado de Sinaloa y uno de los más importantes en la región por la gran diversidad de flora y fauna silvestre. Este sistema forma parte del corredor de aves migratorias de Norte América. Los tipos de vegetación son: bosques de manglar localizados al borde de la línea costera y bordes de algunas islas e islotes, selva baja espinosa que se encuentra en las Islas de

Talchichitle y Altamura, así como algunos manchones muy cercanos a la costa; selva baja caducifolia que se localiza principalmente en la zona de cerril Angostura y Navolato. Otro tipo de vegetación existente son las asociaciones halófitas que están localizadas después de la vegetación de manglar, mezcladas con pastizales salinos o con suelos con alto contenido en sal. Comprende parte de los municipios de Angostura y Navolato. Las islas Talchichitle y Altamura dividen a la Bahía en dos, las Bahías de Santa María y Reforma (Garay-Morán, 2002).

4.4. Laguna Altata-Ensenada del Pabellón

El complejo estuarino de Altata-Ensenada del Pabellón esta localizado en la costa del océano Pacífico entre los 24° 18' 00'' y 24° 40' 00'' de latitud norte y 107° 27' 00'' y 108° 00' 00'' de longitud Oeste (Fig. 4). Esta laguna se extiende en un área de 360 Km² y esta comprendida por 2 cuencas: Altata y Ensenada del Pabellón las cuales tienen un área de 75 y 232 km² respectivamente y las lagunas internas de Caimanero (3 km²), Bataoto (2 km²) y Chiricahueto (23 km²), las cuales son remanentes de los ambientes antiguos al norte de Ensenada del Pabellón y que actualmente se encuentran conectados al sistema lagunar a través de meandros (Ruiz-Fernández *et al.*, 2003). La profundidad del sistema varía, aunque se estima un promedio de 3 m, el sistema esta separado del mar por una barrera de arena de 60 Km de largo y 1 – 2 km de ancho e interrumpida por 2 entradas: una pequeña y relativamente reciente (La Palmita) y una principal La Tonina (Lieberknecht, 2000).

La temperatura del agua varía de 20° C en enero a 32° C en agosto, la salinidad anual de este sistema era hasta hace unos cuantos años de aproximadamente 28 ups en promedio. Corresponde a la clasificación tipo II-A de las lagunas costeras según Lankford (1977). Este sistema colinda con el valle agrícola de Culiacán, extensa zona de cultivo que soporta la producción de dos ingenios azucareros (El Dorado y La Primavera) cuyos drenes pasan por el distrito de riego y se vierten directamente a la laguna. Adicionalmente la laguna recibe un impacto por aproximadamente 7,750 ha de estanquería de las granjas camaronícolas ubicadas alrededor del cuerpo lagunar.

4.5. Laguna Ceuta

La laguna de Ceuta esta localizada 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 (Fig. 5). Su área total aproximada es de 7, 140 ha 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 que mide aproximadamente 2 km, con una profundidad media de 13 m; la segunda es conocida como boca artificial o boca de la ensenada del mar y tiene un ancho de 475 m. (Garay-Morán, 2002).

Pertenece a la clasificación III-A según Lankford (1977). En la parte oriental de la laguna, después de la época de lluvias (agosto-octubre), no recibe aportes significativos de agua dulce, lo cual aunado a su profundidad, la longitud y la radiación solar origina una alta tasa de evaporación, la salinidad del agua en este brazo por lo tanto es de cerca de 35 ups cerca de la boca artificial y de 30 ups en el extremo oriental durante los meses de mayo, junio y julio. Esta particularidad es aprovechada por los lugareños para la producción de sal, durante los meses de febrero a septiembre en una zona de aproximadamente 2 km², dispuesta hacia un extremo más hipersalino. Además en la cuenca de drenaje asociada a la laguna se practica la agricultura (trigo, maíz, hortalizas y frijol), hay actividades pecuarias y acuícolas. El drenaje superficial que fluye hacia la laguna está constituido por el Río San Lorenzo y por los arroyos El Tapón, El Norote y El Tacuichamona, que se ha visto disminuido por la construcción de la presa El Comedero, en la cuenca del Río San Lorenzo (Garay-Morán, 2002).

4.6. Laguna Teacapán- Agua Brava

Se localiza en la planicie costera del norte de Nayarit y parte del sur de Sinaloa, entre los 22°4' latitud Norte y 105°35' longitud Oeste. Presenta una extensión de 40,000 ha, un perímetro de 83 km y 15,000 ha de manglar (Fig. 6). Pertenece a la clasificación tipo III-C (Lankford, 1977). En cuanto a las actividades que la rodean son: la agricultura, con un 28.5 %; la actividad ganadero-forestal abarca el 15.3 %, el pastizal representa un 15 %, los cuerpos de agua representan el 15 %, el mangle forestal abarca el 14.6 % y otros el 11.6 %, en esta última se encuentran tres granjas camaronícolas de tipo semi-intensivo, cubriendo

una superficie de 282 ha (Diario Oficial, 2000). Se comunica al mar por la Boca Teacapán (comunicación natural), con un ancho de 1000 m aproximadamente y con profundidades de 3 a 9 m de acuerdo con la época del año; otra comunicación con el mar es a través de un canal artificial en la Boca de Cuautla, de más de 2 km de ancho y con una profundidad superior a los 30 m. Los efluentes principales son los ríos que descargan en el sistema (Cañas, Rosa Morada y Bejuco (estacionales); Acaponeta, Santiago y San Pedro (sur) y Baluarte (norte)), pero solo dos ríos tienen flujos todo el año, con un flujo anual de $3000 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ para el Río Acaponeta y de $2456 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ por el Río San Pedro. Los otros ríos son estacionales con flujos por debajo de $180 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$. La precipitación es de 1459 mm/año y una tasa de evaporación de 1991 mm/año (Diario Oficial, 2000). La salinidad es de aproximadamente 20 ups (Smith, 1997).

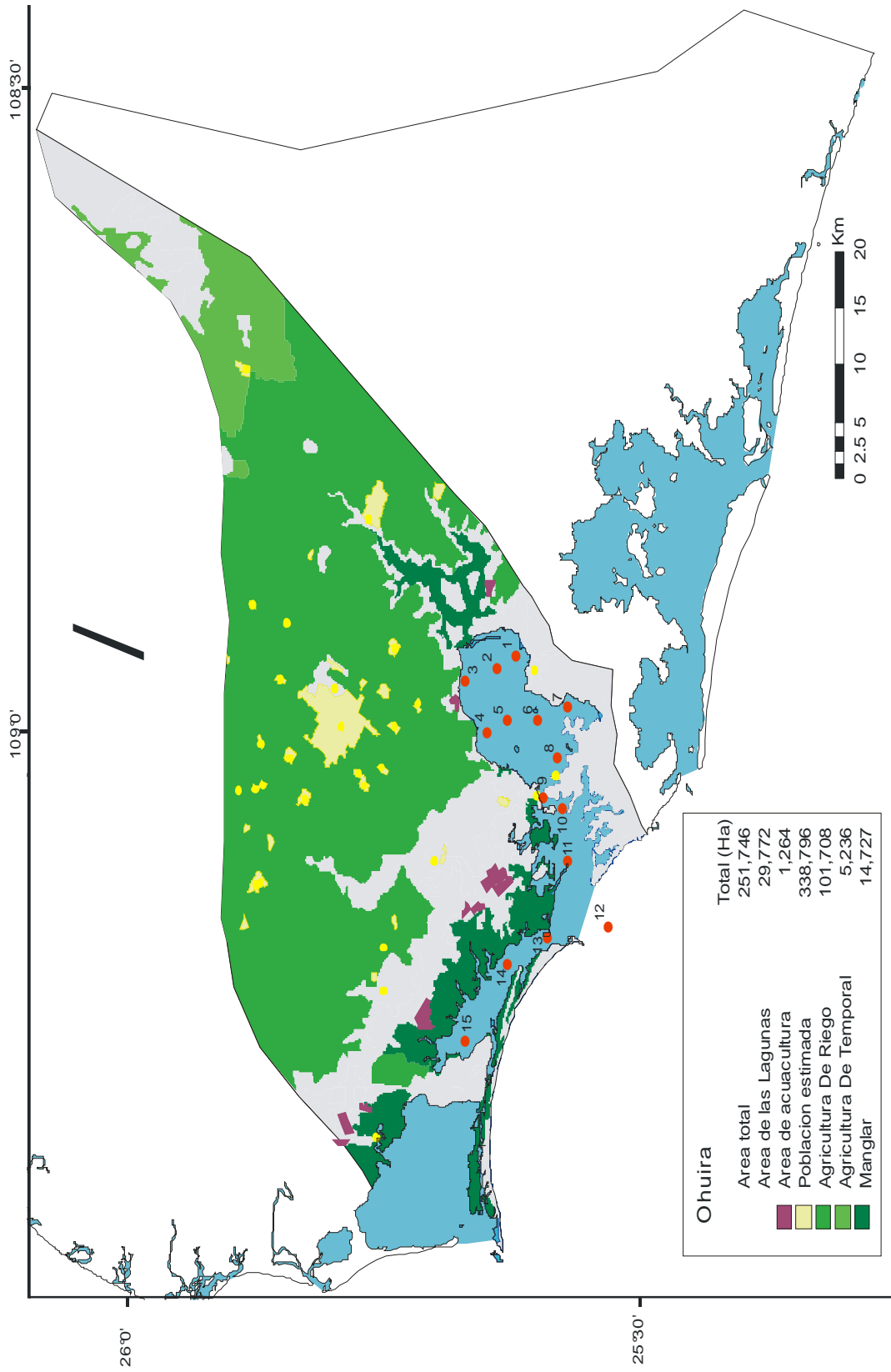


Fig. 1. Cuenca de Drenaje del Sistema Lagunar Ohuira-Topolobampo-Santa María con las estaciones de muestreo.

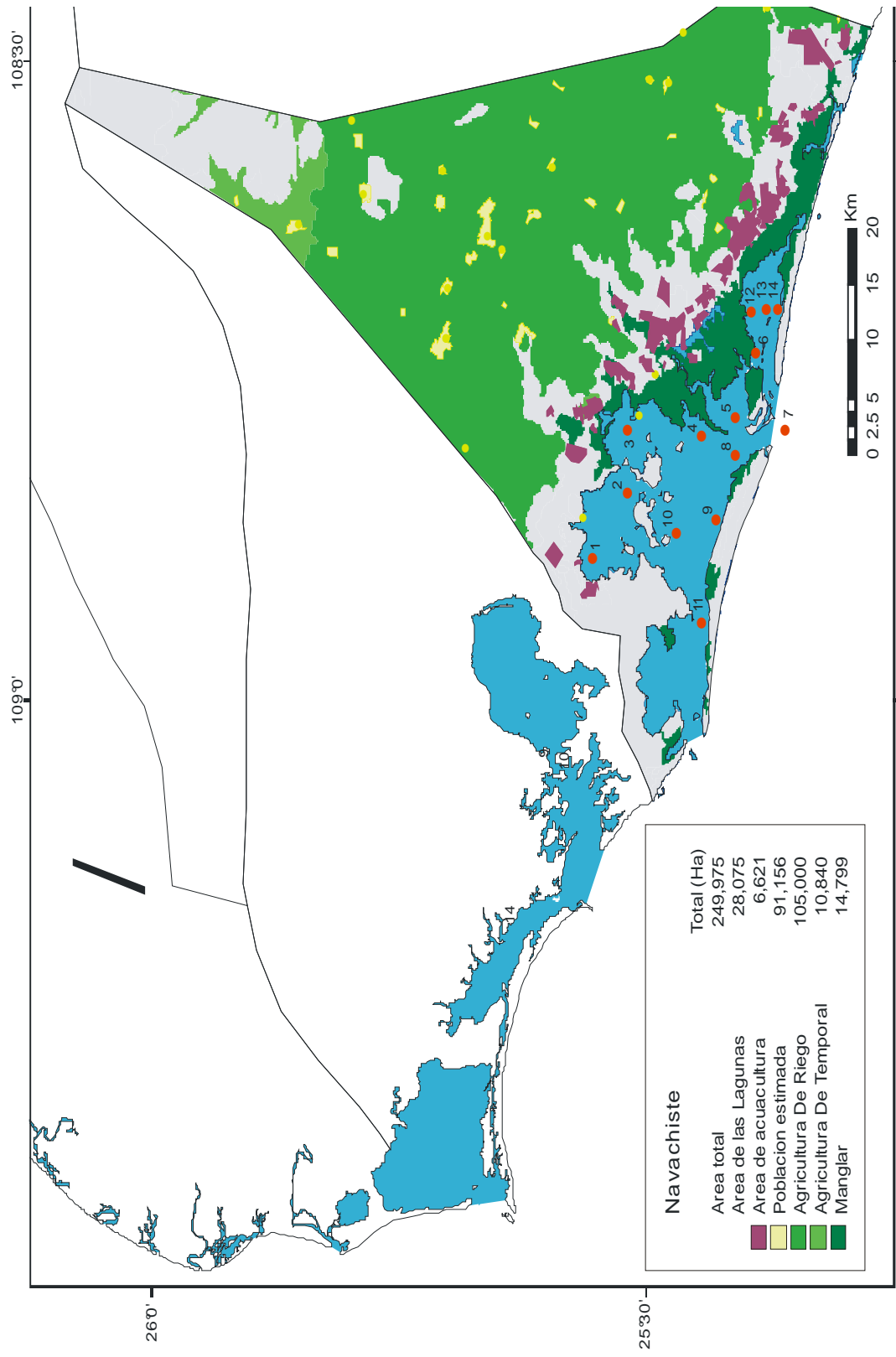


Fig. 2. Cuenca de Drenaje del Sistema Lagunar Navachiste-San Ignacio-Macapule con las estaciones de muestreo.

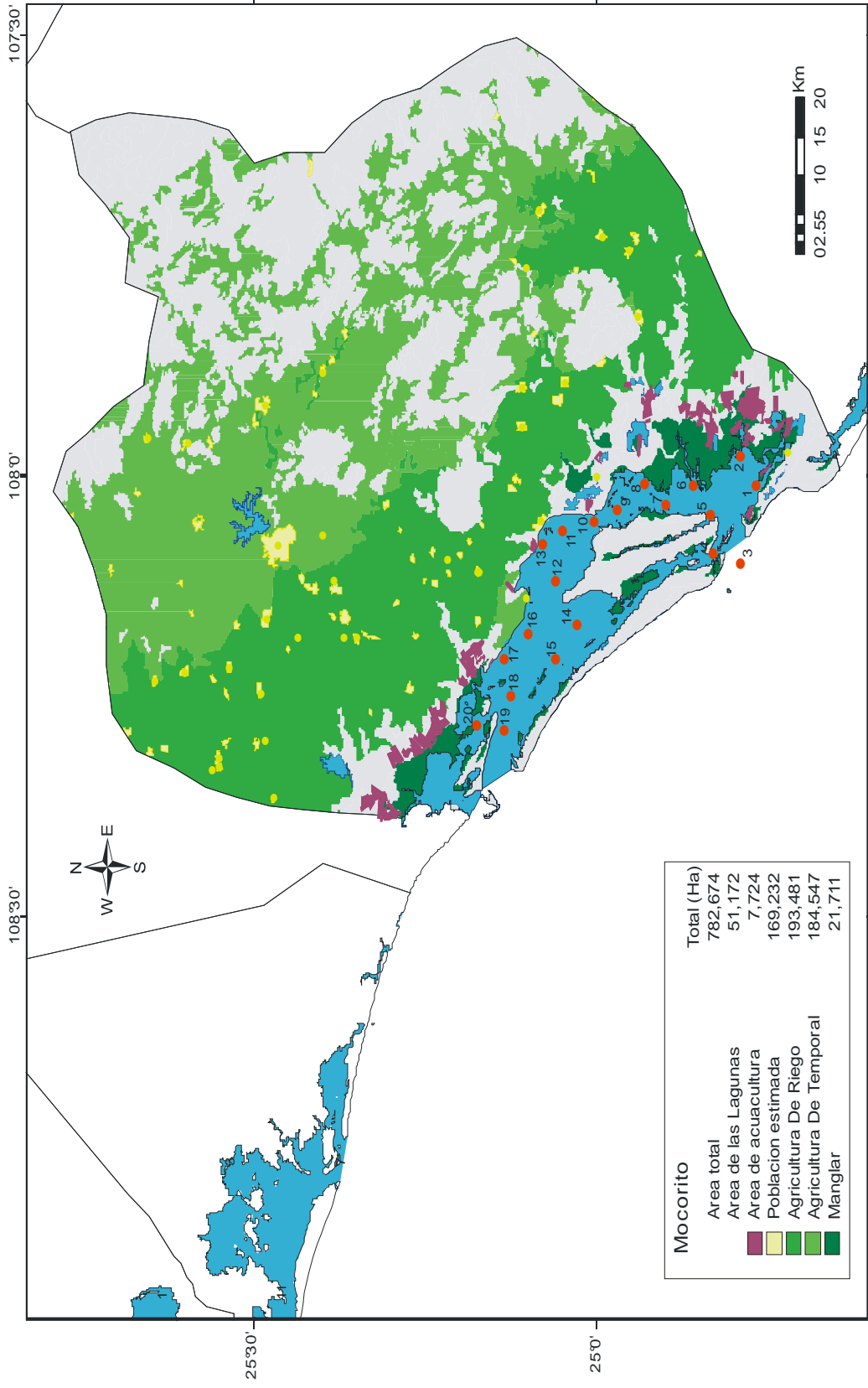


Fig. 3. Cuenca de Drenaje del Sistema Lagunar Santa María-La Reforma con las estaciones de muestreo.

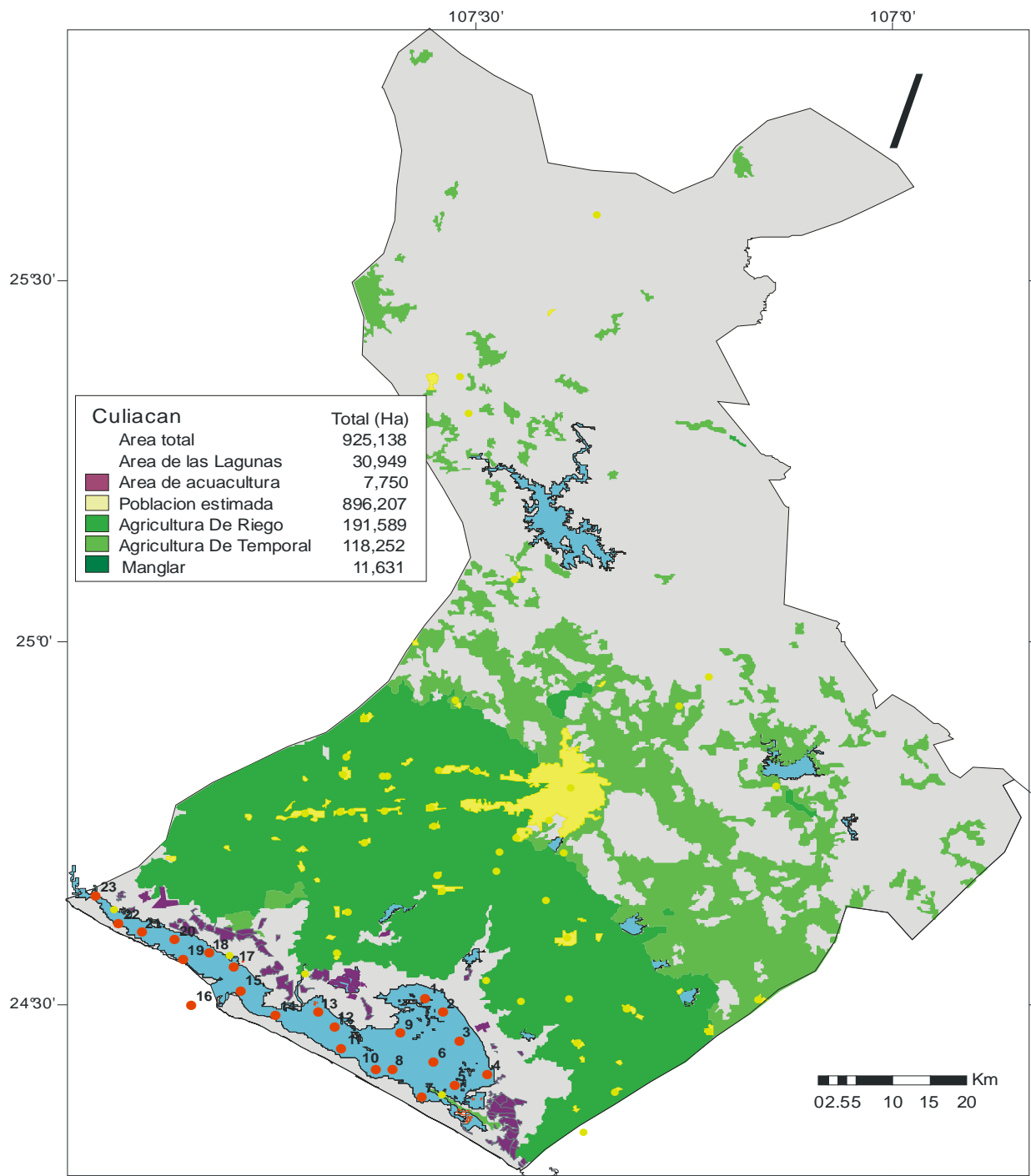


Fig. 4. Cuenca de Drenaje del Sistema Lagunar Altata-Ensenada del Pabellón con las estaciones de muestreo.

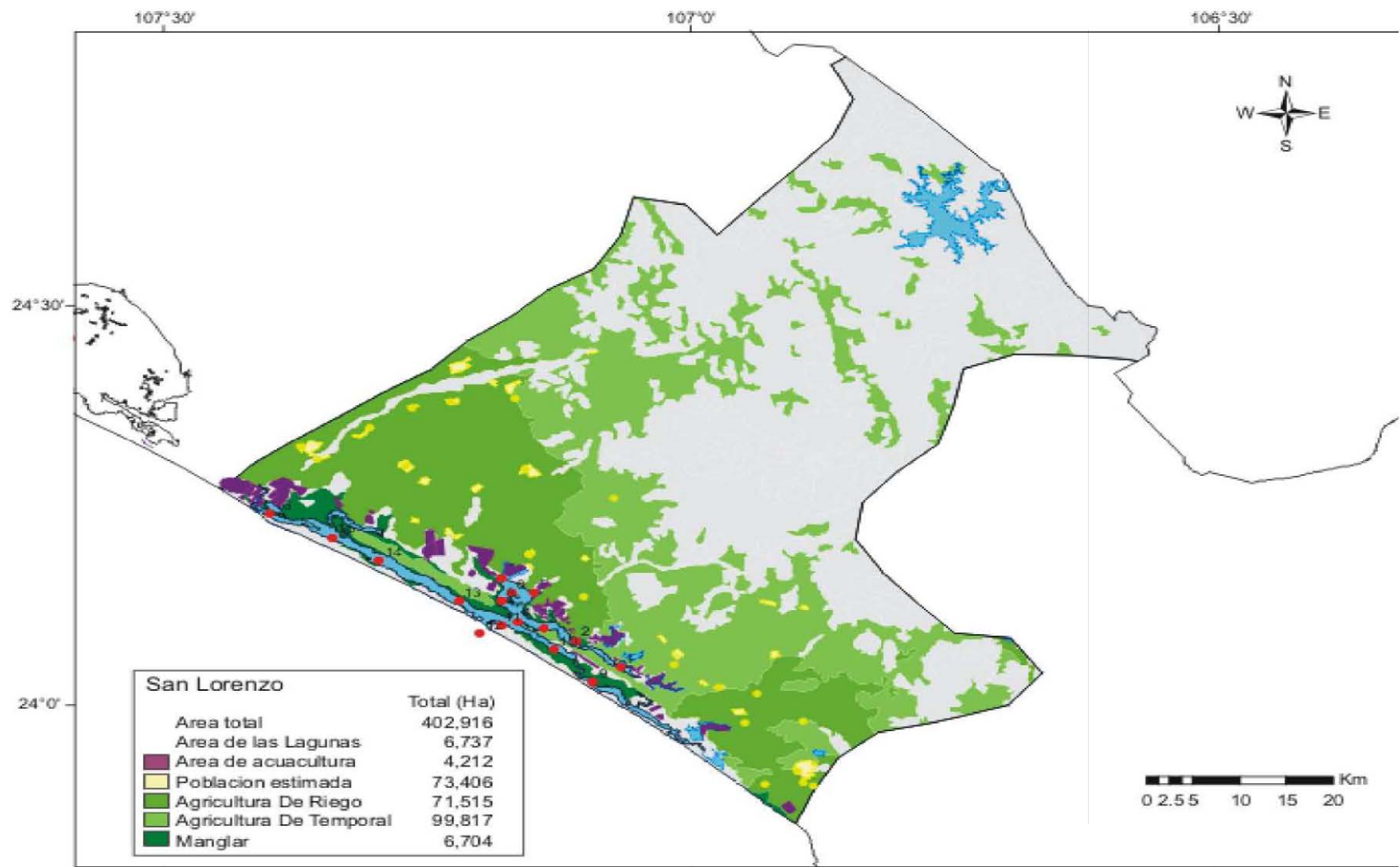


Fig. 5. Cuenca de Drenaje del Sistema Lagunar Ceuta con las estaciones de muestreo.

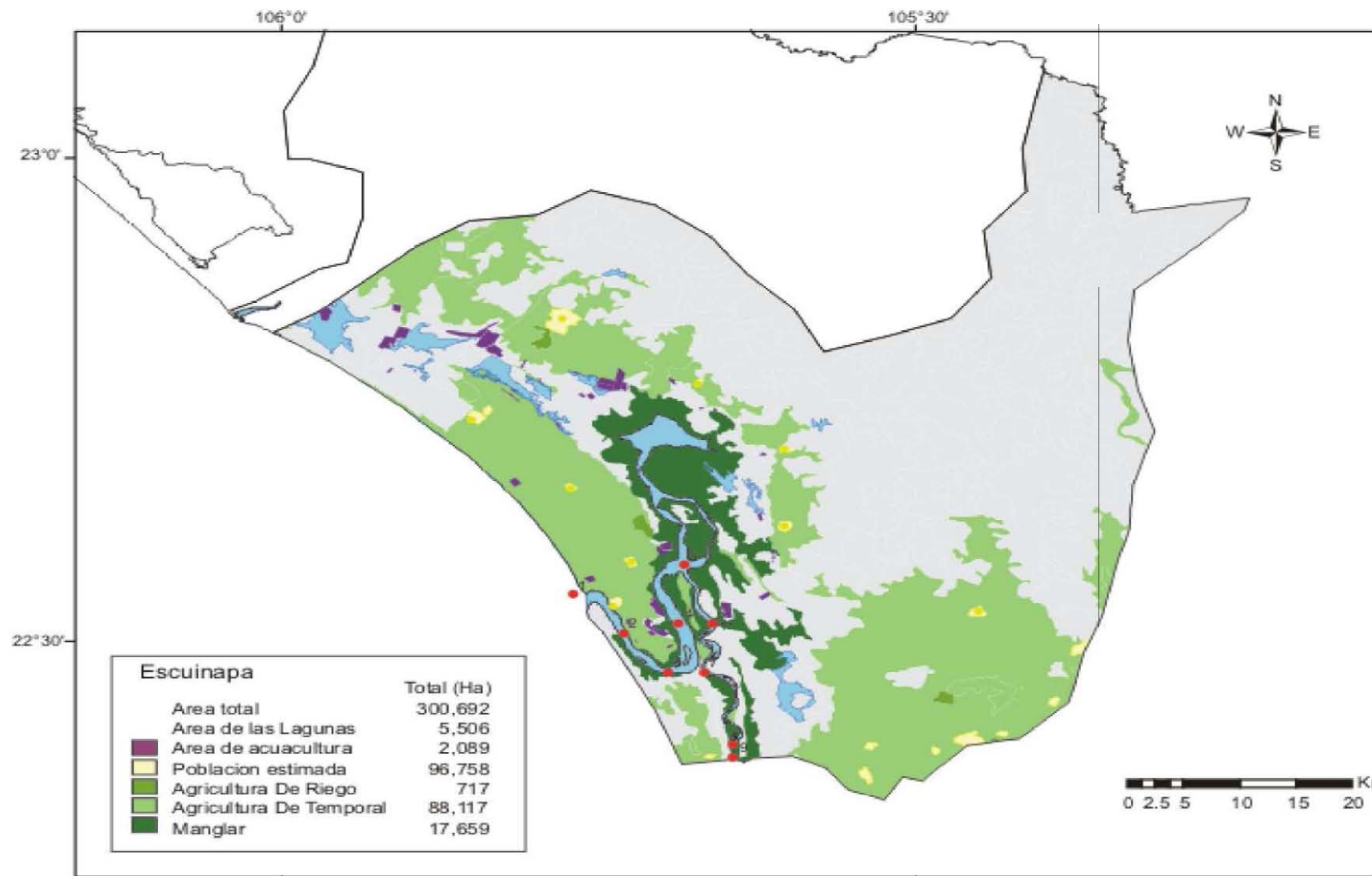


Fig. 6. Cuenca de Drenaje del Sistema Lagunar Teacapán-Agua Brava con las estaciones de muestreo.

5. MATERIAL Y MÉTODOS

5.1. Muestreo y análisis químicos

Se recolectaron entre 9 y 23 muestras de agua (superficial y de fondo) por cada laguna, representativas de cada uno de los sistemas lagunares durante los períodos climáticos de secas frías, secas cálidas y lluvias en sicigia durante la pleamar y bajamar. Para las muestras de superficie se utilizó un tubo de plástico de 2 metros de longitud (Sfriso y Marcomini, 1997) cuando la profundidad era cercana a los 2.5 metros o menor, mientras que para las de fondo se utilizó una botella muestreadora tipo Niskin para cuando la profundidad era mayor a los tres metros, tomándose aproximadamente a 50 cm por encima del fondo. La temperatura, el oxígeno disuelto y la salinidad fueron medidos *in situ* con una sonda YSI 556 MPS.

Los métodos analíticos para determinar nutrientes se adaptaron a partir de los propuestos por Strickland & Parsons (1972) con ciertas modificaciones, reduciendo los volúmenes y cantidades de reactivos. Para determinar clorofila *a*, primero se efectuó una filtración de agua empleando una membrana de fibra de vidrio Whatman GF/F con una bomba de vacío para posteriormente disolver los filtros con 3 ml de solución de metanol absoluto para después medir la absorbancia en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 665 nm (Holm-Hansen, 1978).

Sólidos suspendidos totales

Para el filtrado del agua se utilizaron filtros Whatman GF/F de fibra de vidrio de 0.7 μm , previamente secados en una estufa a 60° C y pesados en una balanza analítica. Se filtraron determinados volúmenes de agua para cada filtro, dependiendo de la estación hasta llegar a la saturación del mismo y agregando posteriormente en cada filtro entre 30 y 50 ml de agua destilada para remover las sales retenidas. Después se colocaron los filtros dentro de cajas Petri en una estufa a 60° C durante 72 horas, luego se pesaron y por diferencia se determinó la cantidad de sólidos suspendidos (Chanin *et al.*, 1958, APHA-AWWA-WPCF, 1989).

$$\text{SST (mg/L)} = \frac{\text{peso de membrana con muestra (g)} - \text{peso membrana sin muestra (g)}}{(1 \times 10^6) \text{ mL de muestra filtrados}}$$

Fósforo

El radical fosfato presente en la muestra reacciona con el molibdato para formar el complejo amonio molibdofosfato, una reducción controlada de este compuesto produce un complejo azul de molibdeno. En este método se agrega una disolución de molibdato de amonio en ácido sulfúrico y una disolución de ácido ascórbico a la disolución de la muestra. Primero se forma el complejo amarillo de ácido fosfomolibdico (amonio molibdofosfato), al tratar con un agente reductor como el ácido ascórbico, el complejo ácido se reduce a azul de molibdeno. Normalmente la reducción es lenta, pero la adición de un catalizador, en este caso tartrato de antimonio hace que se lleve a cabo rápidamente la reducción. La cantidad de azul de molibdeno formado es proporcional a la concentración de fósforo como ortofosfatos presentes en la muestra (Rosales-Hoz, 1980).

Cálculos

Se sustrajo la absorbancia de los blancos de la absorbancia de la muestra y se convirtió este valor de absorbancia a la concentración correspondiente de fósforo utilizando la ecuación resultante de regresión lineal de los datos obtenidos con estándares de fósforo en concentraciones de 1.25, 2.5, 5.0, 10.0 μM en agua Milli-Q.

Silicatos

El método actualmente usado es el de Fanning & Pikon (1973) donde el complejo del ácido β silicomolibdico se reduce a un complejo azul intenso, con absorbancia máxima a 815 nm. Es necesario controlar la acidez de la disolución cuidadosamente durante el proceso de reducción con objeto de evitar la formación del complejo de azul de molibdeno, ya sea por el exceso de molibdato del reactivo de los heteropoliácidos de otros elementos.

Para obtener resultados más precisos es necesario controlar el intervalo de tiempo antes de agregar el agente reductor debido a la inestabilidad del ácido β silicomolibdico. El método está sujeto al error, llamado error salino, el cual varía linealmente con la salinidad con una

variación de 10 % a salinidades de 34 ups (Rosales-Hoz, 1980). Por ello se prepararon los estándares con agua de mar envejecida baja en silicio.

Las muestras se guardaron en recipientes de polietileno, debido a que el vidrio puede dejar trazas de silicatos. La muestra se guardó en la oscuridad para evitar el efecto multiplicador de las diatomeas, por un periodo no mayor a un día (24 horas). Las muestras no deben congelarse, ya que la concentración de sílice disminuye al mínimo en un 10 %. Lo más recomendable es realizar el análisis lo más rápido posible.

El procedimiento que se llevó a cabo fue: (1) medir la muestra del reactivo de ácido molíbdico en una serie de frascos de plástico, (2) medir 20 ml de muestra o la cantidad del estándar diluido de silicatos necesaria para obtener una concentración equivalente de éstos; (3) mezclar y dejar reposar 10 minutos; (4) agregar 15 ml de agente reductor; (5) mezclar y llevar a un volumen final de 50 ml con agua destilada; (6) dejar reposar un mínimo de 3 horas; (7) medir la densidad óptica en celdas de 1 cm a 810 nm usando como blanco agua destilada.

Clorofila *a*

La extracción con metanol representa un método más eficiente y seguro teniendo la ventaja de hacer más corto el tiempo de extracción, y eliminar la necesidad de ebullición y homogenización de las muestras. Para la determinación espectrofotométrica, los extractos con metanol fueron acidificados con HCl a una concentración final de 3×10^{-3} M (Holm-Hansen, 1978).

Los coeficientes específicos de absorción para clorofila *a* en metanol son de $75 \text{ g L}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ (Lenz & Zeitzchel, 1968). Las lecturas se obtienen a 665 nm antes y después de la acidificación, corregidos por la lectura a 750 nm (blanco), así:

$$\text{Chl } a \text{ (mg/m}^3\text{)} = [75 \text{ g L}^{-1} \text{ cm}^{-1} (750 - (665o - 665a)) * v] / (V_f * 1)$$

donde:

75 es el coeficiente de absorción específico de clorofila *a* citado anteriormente;

750 es la absorbancia utilizada para corregir otros componentes no clorofílicos

665_o es la absorbancia antes de la acidificación

665_a es la absorbancia después de la acidificación

v es el volumen de metanol usado en la extracción = 3 ml

Vf son los litros de agua filtrados

l es la longitud de la cubeta (celda)

Procedimiento de acidificación

La determinación espectrofotométrica de clorofila *a* ocupa un tratamiento ácido en los pigmentos extraídos. Varios cambios químicos ocurren cuando los extractos clorofílicos son tratados con ácido, dependiendo del solvente utilizado para la extracción, la naturaleza del pigmento, la cantidad de ácido adicionado y el tiempo que el ácido reacciona con el extracto.

Usando HCl muy diluido (3×10^{-3} M en la extracción), la reacción se para dentro de tres minutos cuando se lee la absorbancia a 665 nm. En contraste con 1×10^{-1} M de HCl o mayor molaridad en la extracción acidificada, incrementan la reacción en una forma anormal, presentando reacciones químicas posteriores. La lectura a 750 nm es normalmente usada para corregir la absorción de otros componentes que no sean clorofílicos y no debe de exceder de 0.08 nm. Si la acidificación se realiza con una concentración final de 3×10^{-3} M de HCl, la adición de $MgCO_3$ es eliminada (Holm-Hansen, 1978).

Extracciones con metanol

Después de la filtración, el filtro se colocó en 3 ml de metanol absoluto. Para estas muestras, después de una hora de extracción, el filtro fue exprimido contra los lados del recipiente de vidrio utilizando una varilla de teflón y con la ayuda de un taladro rodillo y posteriormente se enjuagó 2 veces con metanol; la solución final fue entonces vaciada en un tubo de centrífuga de polipropileno de 15 ml y llevada a la centrífuga a 3000 rpm

durante 5 minutos para aislar los residuos del filtro de la solución final para entonces leer la concentración final a 750 y 665 nm en el espectrofotómetro uv-visible.

La precisión de las técnicas varió según el método analítico y el nivel de concentración encontrado. En la Tabla 1 se resumen los coeficientes de variación encontrados y los principios generales de cada determinación.

Tabla 1. Coeficiente de variación y límite de detección de las técnicas analíticas utilizadas para el análisis de las muestras.

Parámetro	Técnica analítica	Coeficiente de variación (C.V.)	Límite de detección (L.D.)	Referencia
Temperatura °C	Sonda YSI 556 MPS	0.2 %	0.15	-
Salinidad ups	Sonda YSI 556 MPS	0.1 %	0.1	-
OD mg/L	Sonda YSI 556 MPS	0.2 %	0.2	-
SST mg/L	Gravimetría	1.9 %	0.8	APHA (1989)
PO ₄ μM	Colorimetría	1.3 %	0.7	Strickland & Parsons (1972)
PT μM	Colorimetría	1.2 %	0.7	Strickland & Parsons (1972)
Si μM	Colorimetría	1.4 %	0.02	Fanning & Pikon (1973)
Clorofila <i>a</i> mg m ⁻³	Colorimetría	1.1 %	0.1	Holm-Hansen (1978)

$$C.V. = (\sigma_{n-1} / \text{promedio}) * 100$$

$$L.D. = 3\sigma_{n-1}$$

6. RESULTADOS Y DISCUSION

6.1. Temperatura

Durante la época de lluvias, se pudo observar cierta heterogeneidad en la temperatura a lo largo del sistema lagunar Topolobampo-Ohuira, tanto en pleamar como en bajamar (Fig. 7(LL)). En la pleamar el valor más bajo ($30\text{ }^{\circ}\text{C}$) se encontró en la cabecera, posiblemente debido a escurrimientos fluviales que traen consigo agua más fría, y también en la boca del sistema lagunar debido al constante recambio de agua de mar con un valor promedio de $31.7 \pm 0.7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Los valores más altos fueron encontrados cerca de la estación 7, en la cabecera y 14 y 15 en la parte norte, con valores que oscilan cerca de los $33\text{ }^{\circ}\text{C}$, probablemente ocasionado por el poco recambio de agua y por lo somero de esas zonas. Por otro lado, durante la bajamar, la temperatura fue más homogénea, donde los valores fueron cercanos a los $33\text{ }^{\circ}\text{C}$ casi a todo lo largo del sistema lagunar con un valor promedio de $32.5 \pm 0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Para la época de secas frías se pudo observar que la temperatura, en pleamar se mantuvo constante a lo largo de todo el sistema lagunar con un promedio estacional de $22.5 \pm 0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Fig. 7(SF)), cambiando drásticamente en bajamar en la parte de la cabecera de Ohuira, en las estaciones 2, 3, 4 y 5 ($26\text{ }^{\circ}\text{C}$), posiblemente por ser la parte más somera del sistema, y que tienden a calentarse mucho más rápido que las zonas más profundas cuyo promedio estacional fue de $24.0 \pm 1.1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Para el complejo lagunar Navachiste-San Ignacio (Fig. 8), la temperatura tuvo un comportamiento muy relacionado con el flujo y reflujo de la marea, es decir, las temperaturas más cálidas se presentaron durante la bajamar y las más bajas en pleamar. Para el caso de la época de lluvias (Fig. 8(LL)), las temperaturas más cálidas se presentaron en la zona sur del complejo lagunar (Macapule) tanto en pleamar como en bajamar. La distribución en la zona centro y norte del sistema fue homogénea, a excepción de las estaciones 1, 2 y 3, en la cabecera del sistema lagunar durante la pleamar, donde la temperatura promedio fue de $32.8 \pm 0.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ para la pleamar y $32.9 \pm 0.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ para bajamar.

Por otro lado, en la época de frías (Fig. 8(SF)) se pudo observar cierta homogeneidad durante la pleamar a lo largo de todo el complejo lagunar, con un promedio de 21.6 ± 0.6 °C. En bajamar, en la misma época, el comportamiento de esta variable fue diverso, presentándose las máximas en la estación 3 (26.4 °C) y nuevamente en las estaciones 12, 13 y 14, en la zona del Macapule, con un promedio de 23.6 ± 1.6 °C. La temperatura más baja se registró en la boca del sistema, en la estación 7 tanto en pleamar y bajamar con un valor para de 20.9 °C en pleamar y 21.1 °C durante la bajamar.

La hidrodinámica del sistema lagunar Santa María-La Reforma es uno de los factores que influyen sobre la temperatura, ya que las zonas más someras se encuentran en la zona más alejadas de las bocas, donde la temperatura es mayor y las tasas de recambio son menores. Para la época de secas cálidas (Fig. 9(SC)), las estaciones 10, 11 y 13, cercanas al poblado de La Reforma, fueron, durante la bajamar, las más cálidas (38 °C, 39 °C y 39.3 °C, respectivamente), promediando, para la pleamar 30.6 ± 0.7 °C y para la bajamar 30.9 ± 0.9 °C. Para la época de lluvias (Fig. 9(LL)), tanto para pleamar y bajamar, los valores más altos de temperatura se registraron en las estaciones 6 y 7, cerca del estero del Tule, con valores *ca.* de 32 °C.

La época de frías (Fig. 9(SF)) tuvo un comportamiento homogéneo durante la pleamar con un valor promedio de 21.2 ± 0.4 °C, mientras que en bajamar, al vaciarse el sistema con el reflujó, el agua estaba más propensa a calentarse en las zonas más someras, teniendo un promedio de 22.8 ± 0.8 °C.

Temperatura (° C) Topolobampo-Ohuira

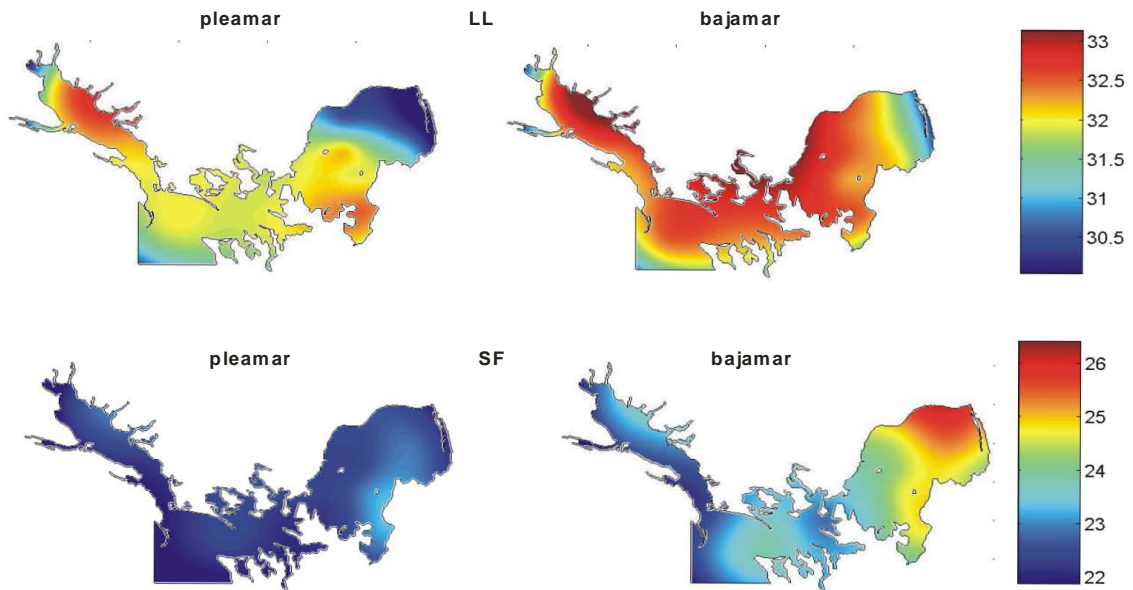


Fig. 7. Distribución de temperatura de las aguas superficiales del sistema lagunar Ohuira-Topolobampo-Santa María (LL = lluvias y SF = secas frías).

Temperatura (° C) Navachiste

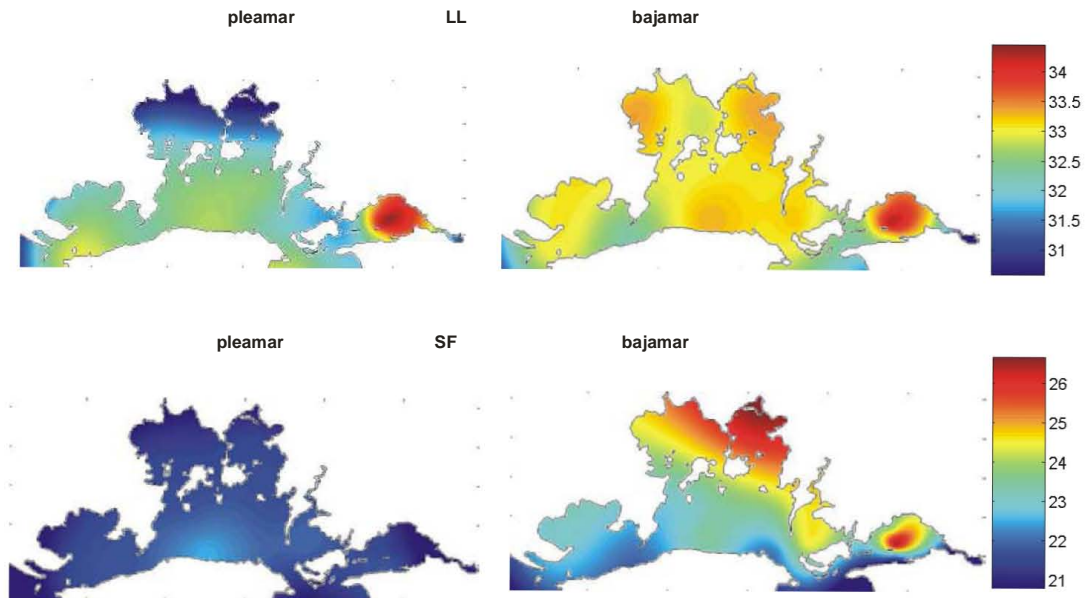


Fig. 8. Distribución de temperatura en las aguas superficiales del sistema lagunar Navachiste-San Ignacio-Macapule (LL = lluvias y SF = secas frías).

Temperatura (°C) Santa María -La Reforma

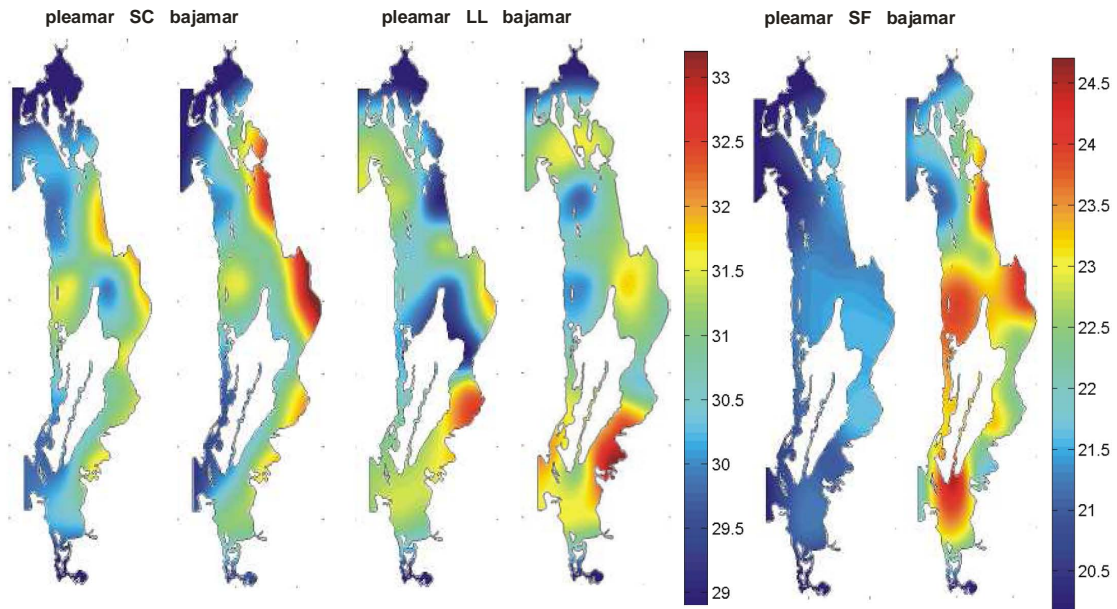


Fig. 9. Distribución de la temperatura en las aguas superficiales del sistema lagunar Santa María-La Reforma (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).

Temperatura (°C) Altata -Ensenada del Pabellón

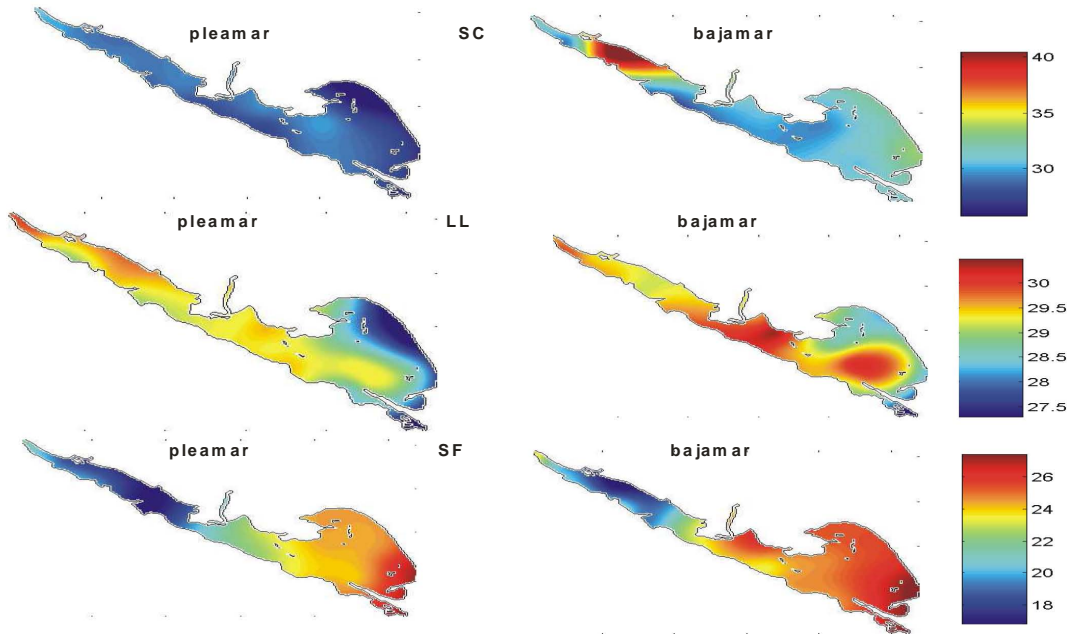


Fig. 10. Distribución de temperatura en las aguas superficiales del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).

El complejo lagunar Altata-Ensenada del Pabellón tiene una característica peculiar, debido a que en la zona sur, el agua es más estuarina, mientras que en la zona norte (Altata) es más marina. El comportamiento de la temperatura, en la estación de secas cálidas (Fig. 10(SC)) durante la pleamar fue homogéneo tanto en la zona sur como en la parte norte, teniendo un promedio de 28.2 ± 1.2 °C. La bajamar, sin embargo tuvo máximos en las estaciones 18 y 20, en la parte norte, alcanzando los 40 °C probablemente influenciados por los escurrimientos de drenes agrícolas, con un promedio de 30.8 ± 1.0 °C. Para la época lluvias (Fig. 10(LL)), la temperatura se distribuyó de una forma homogénea a lo largo de todo el sistema durante pleamar y bajamar con temperatura cercana a los 30 °C, encontrando los mínimos en la cabecera, de la estación 1 a la 4, en la parte sur del sistema, con valores menores de 26 °C hasta los 28 °C, con promedios de 29.1 ± 0.6 °C en pleamar y 29.5 ± 0.4 °C para la bajamar.

En el caso de secas frías (Fig. 10(SF)), se puede apreciar la variación entre la zona sur y la zona norte del sistema tanto para pleamar como para bajamar, encontrando valores que oscilan entre 24 y 26 °C en la zona sur, debido a que es más somera y los mínimos en la zona norte (Altata) que van de 18 a 20 °C, con un promedio para pleamar de 22.0 ± 2.5 °C y 23.7 ± 2.3 °C en bajamar.

La temperatura, para Ceuta durante secas cálidas (Fig. 11(SC)) se distribuyó heterogéneamente, encontrando las máximas durante pleamar en las estaciones 9 y 10 mayores a 30 °C y, durante bajamar en las estaciones 6, 7 y 8, en la cabecera del sistema, cercanas a los 31 °C con un promedio para pleamar de 27.9 ± 1.6 °C y en bajamar de 29.1 ± 1.1 °C. Durante la época de lluvias (Fig. 11(LL)) en pleamar, los valores máximos se encontraron en las estaciones cercanas a las bocas con valores mayores a 29 °C. Esto se puede deber posiblemente a que en estaciones el sistema recibe aguas provenientes de flujo pluvial, con valores menores a los 27 °C. Los promedios para esta época fueron, para pleamar, de 26.9 ± 1.3 °C y para bajamar 28.5 ± 0.8 °C.

En el caso de secas frías (Fig. 11(SF)), durante pleamar, la distribución de la temperatura fue homogénea a excepción de la estación 15, en la parte norte, donde la temperatura fue de

25 °C, con un promedio de 23.4 ± 0.9 °C. En bajamar las máximas temperaturas se encontraron en las estaciones 1, 2, 3 y 8, cercanas a la cabecera (27 °C), promediando, para este ciclo de marea en esta época 25.8 ± 1.3 °C

En Teacapán, la temperatura máxima en secas cálidas (Fig. 12(SC)), para el caso de pleamar, se encontraron en la estación 8 y 9, las cuales son las más alejadas de la boca (32.0 y 32.5 °C respectivamente), mientras que para bajamar, la temperatura se mantuvo casi constante en todo el sistema (33 °C) presentando la mínima en la boca (31.4 °C). Los promedios tanto para pleamar como para bajamar en esta época climática fueron de 31.4 ± 0.8 °C y 32.8 ± 0.7 °C respectivamente. Las lluvias (Fig. 12(LL)) presentaron una temperatura más homogénea en pleamar con un promedio de 31.31 ± 0.34 °C y en la bajamar, los valores máximos se encontraron en la estación 4 y 5 (32.9 y 32.8 °C respectivamente) con un promedio de 31.6 ± 0.4 °C.

El máximo tanto para pleamar como para bajamar en época de secas frías (Fig. 12(SF)) fue encontrado en las estaciones 8 y 9 con valores de 26 °C encontrando la mínima en la boca con un valor, para pleamar de 24.6 °C y para bajamar de 24.4 °C. Los valores promedio en frías fueron, para pleamar, de 25.4 ± 0.6 °C y para bajamar 25.5 ± 0.5 °C.

Temperatura (°C) Ceuta

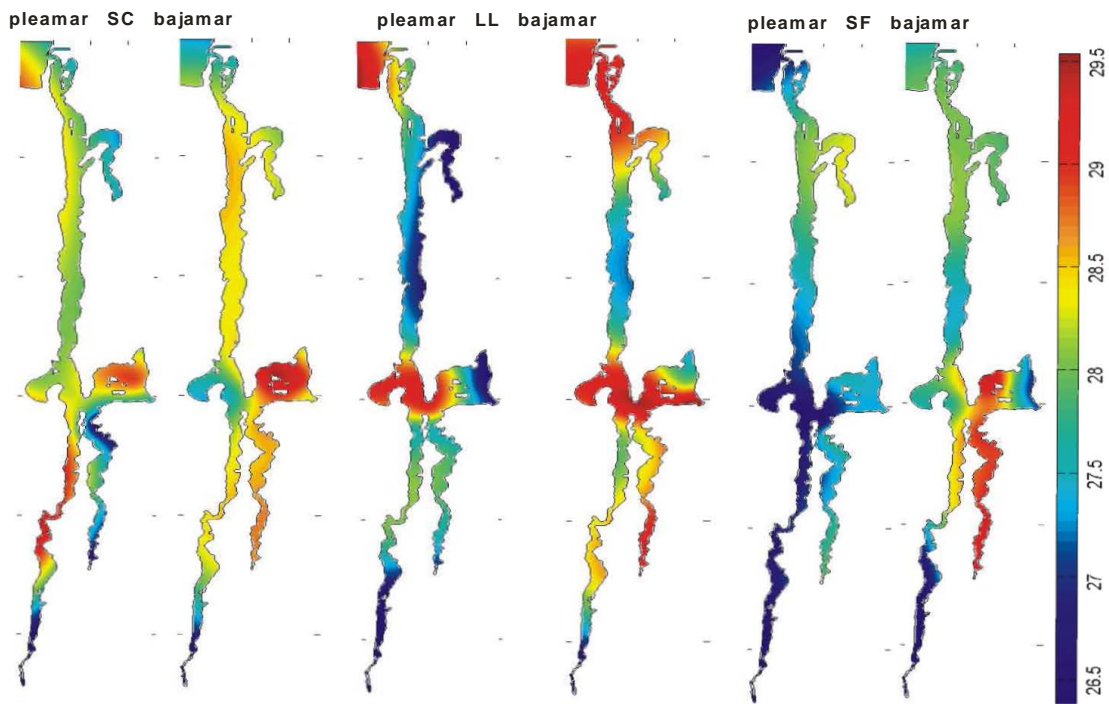


Fig. 11. Distribución de temperatura en las aguas superficiales del sistema lagunar Ceuta (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).

Temperatura (°C) Teacapán

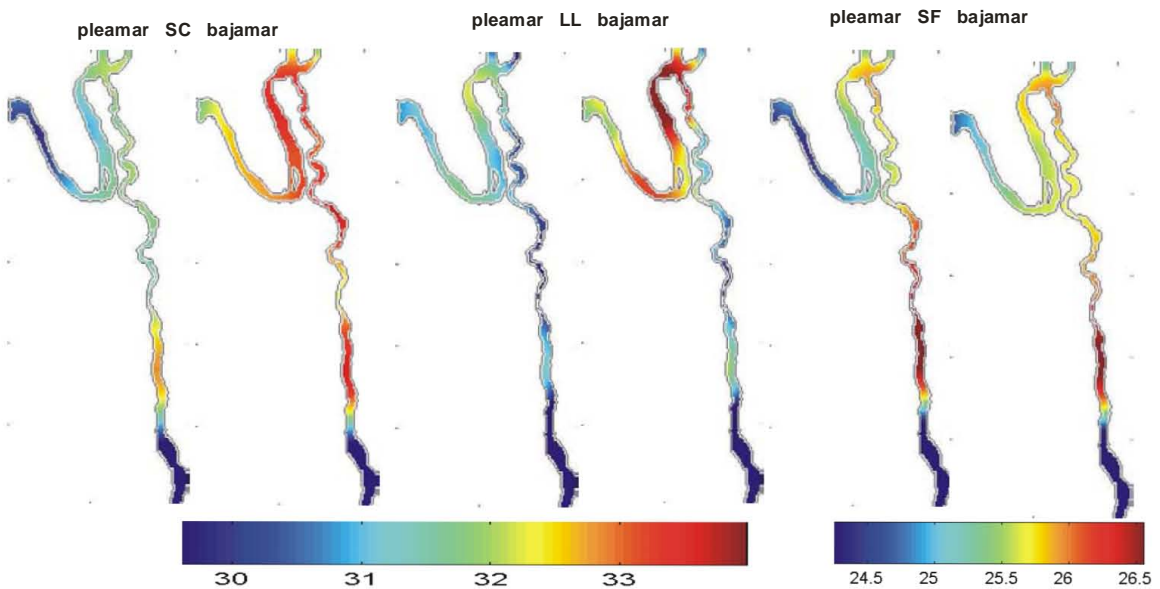


Fig. 12. Distribución de temperatura en las aguas superficiales del sistema lagunar Teacapán (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).

6.2. Salinidad

La salinidad es una variable muy dinámica en este tipo de sistemas, encontrando, en el sistema lagunar Ohuira-Topolobampo-Santa María, en la época de secas cálidas (Fig. 13(SC)) heterogeneidad a lo largo del sistema con valores similares durante pleamar y bajamar, que van desde 35 ups en la boca, hasta 41 ups en la cabecera con un promedio de 38.2 ± 1.9 ups y 37.7 ± 1.4 ups, respectivamente, presentándose un caso bastante similar para la época de lluvias (Fig. 13(LL)) con una media para la pleamar de 38.5 ± 0.9 ups y 38.9 ± 1.1 ups, durante la bajamar. Para la época de secas frías (Fig. 13(SF)) la distribución de esta variable fue homogénea durante los dos períodos de marea (pleamar y bajamar), encontrándose valores por arriba de los 36 ups, a excepción de la estación 3 ubicada en la cabecera del sistema durante la bajamar, presentando un valor cercano a 26 ups; probablemente debido a escurrimientos de agua dulce proveniente de drenes agrícolas. Los promedios de pleamar y bajamar durante esta época fueron de 37.3 ± 1.1 ups y 36.3 ± 3.2 ups respectivamente.

El comportamiento de la salinidad para el complejo lagunar Navachiste-San Ignacio durante las tres épocas climáticas tanto para pleamar como para bajamar fue muy heterogéneo, presentándose las máximas durante la bajamar en las estaciones de la cabecera (estación 1, 2 y 3) y en la zona sur (Macapule). Para secas cálidas, los valores máximos fueron de 40 a 46 ups en las estaciones 1, en la cabecera, 12, 13 y 14, en la parte sur del sistema (Fig. 14(SC)), probablemente debido a escurrimientos de aguas hipersalinas que descargan las granjas acuícolas. En pleamar se tuvo un promedio estacional de 36.4 ± 2.0 ups y 37.9 ± 1.9 ups para bajamar. En el caso de lluvias, tanto la pleamar como la bajamar tuvieron comportamientos similares, nuevamente presentándose los valores más altos en el Macapule y en la cabecera del sistema (Fig. 14(LL)), en las estaciones 1, 2, 12, 13 y 14 con valores que oscilan entre los 39 y 41 ups, con un promedio de 37.5 ± 1.1 ups en pleamar y 37.6 ± 1.0 ups durante bajamar. Durante la pleamar, en la época de secas frías (Fig. 14(SF)), la salinidad se mantuvo constante en todo el sistema, con un promedio de 39.7 ± 0.4 ups, mientras que la bajamar tuvo su valor máximo en la parte más somera del sistema (estación 1 (42.5 ups) y 2 (40.4 ups)), con un promedio tanto espacial como estacional de 39.3 ± 2.3 ups.

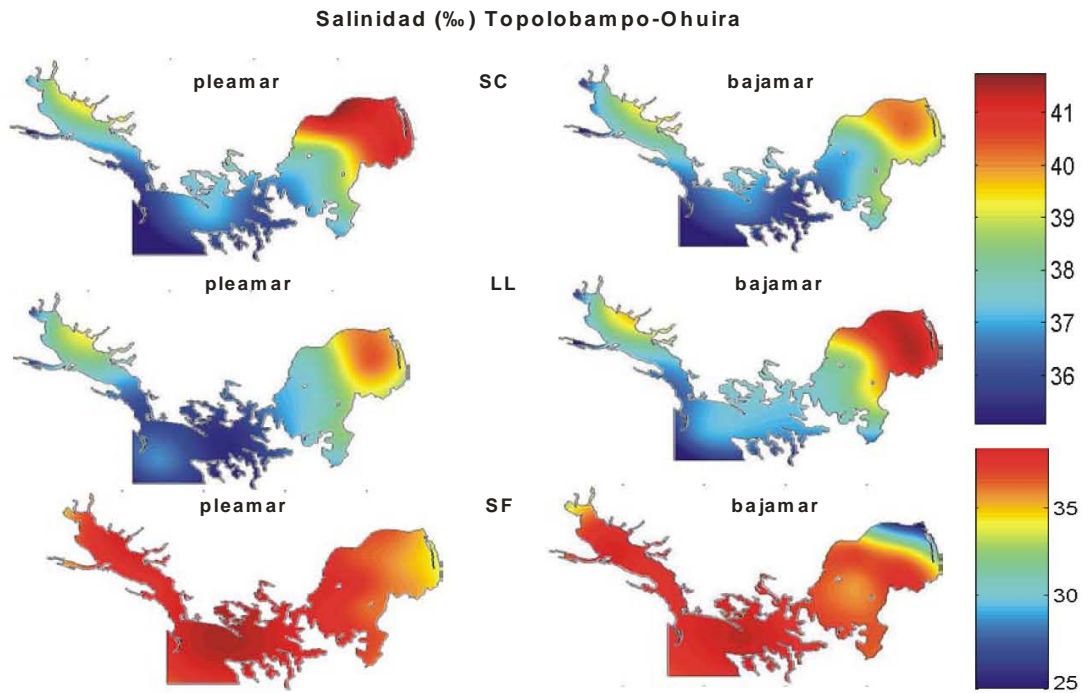


Fig. 13. Distribución de salinidad en las aguas del sistema lagunar Ohuira-Topolobampo-Santa María (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).

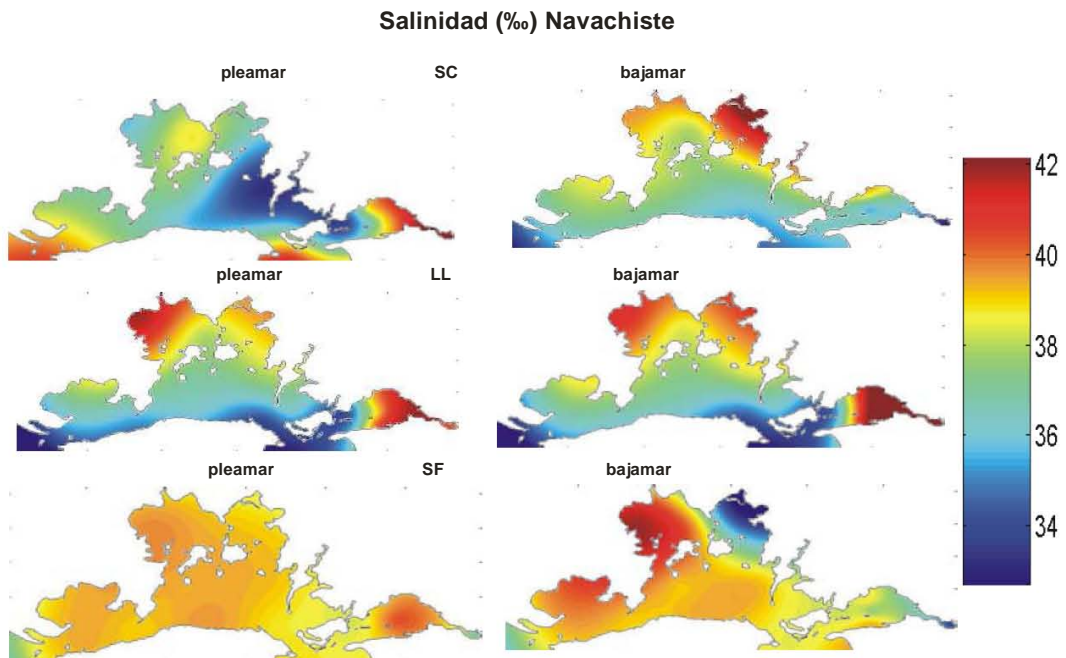


Fig. 14. Distribución de salinidad en las aguas del sistema lagunar Navachiste-San Ignacio-Macapule (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).

Las salinidades más altas para Santa María-La Reforma se presentaron en la época de secas cálidas (Fig. 15(SC)) en las partes más someras, cercanas a la cabecera del sistema, tanto en pleamar como en bajamar (estaciones 10, 11 y 13) con valores mayores de 39 ups, y las mínimas en las bocas con salinidades de 33 a 34 ups, con un promedio para pleamar y bajamar de 35.4 ± 1.9 ups y 34.9 ± 1.8 ups, respectivamente. Para el caso de lluvias (Fig. 15(LL)), la variable tuvo una distribución homogénea para ambos períodos de marea, con salinidades marinas, cercanas a las 35 ups a excepción de la estación 6 (31 ups) y 7 (32.5 ups) durante la bajamar, donde la salinidad fue menor probablemente debido a escurrimientos de agua dulce proveniente del estero del Tule. Durante esta época, la pleamar tuvo un promedio de 34.3 ± 0.6 ups y la bajamar 34.4 ± 0.9 ups.

La distribución de la salinidad durante pleamar y bajamar, para el caso de frías (Fig. 15(SF)), fue muy parecida, teniendo la mínima en las estaciones 1 y 12 con valores menores a 33 ups con un promedio, en pleamar de 34.2 ± 0.7 ups y en bajamar de 33.8 ± 2.0 ups.

La distribución de la salinidad en el complejo lagunar Altata-Ensenada del Pabellón, durante la época de secas cálidas (Fig. 18(SC)) se comportó de forma homogénea durante la pleamar, con un promedio de 32.9 ± 0.7 ups, mientras que en la bajamar se pudo observar una disminución de la misma en las estaciones 17, 18 y 20, en la parte media del sistema, con un promedio de 32.7 ± 1.1 ups. Para las dos épocas siguientes (lluvias y frías) (Fig. 18(LL) y 18(SF)), el comportamiento fue parecido tanto en pleamar como en bajamar, encontrando salinidades marinas en la zona Norte del sistema (Altata) con salinidades cercanas a 35 ups, mientras que en la zona Sur (Ensenada del Pabellón) la salinidad fue menor. Los promedios para lluvias durante pleamar y bajamar fueron de 32.8 ± 1.8 ups y 32.7 ± 1.8 ups, respectivamente. Para la época de secas frías, los promedios fueron de 31.5 ± 3.4 ups para pleamar y 31.2 ± 3.3 ups para bajamar.

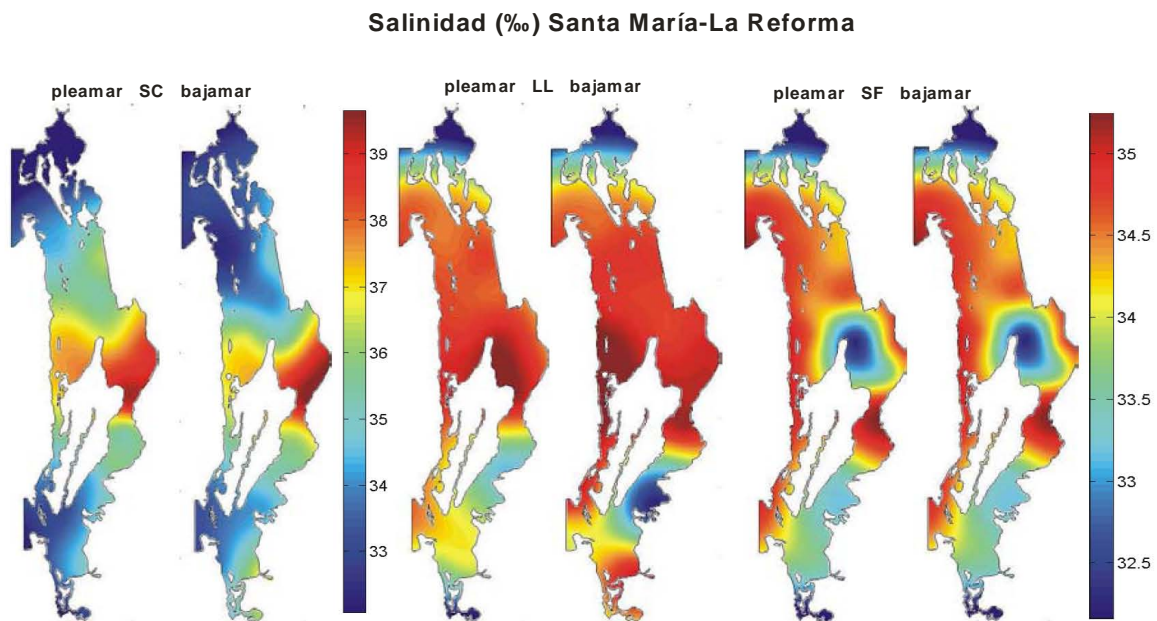


Fig. 15. Distribución de salinidad en las aguas del sistema lagunar Santa María-La Reforma (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).

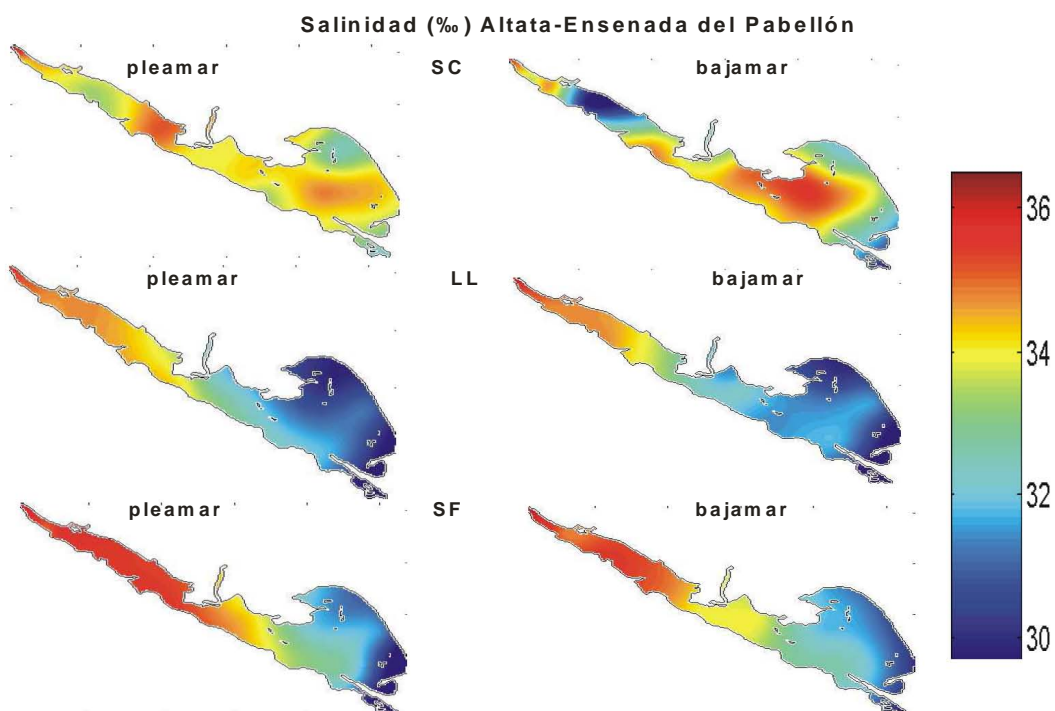


Fig. 16. Distribución de salinidad en las aguas del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).

En el sistema lagunar Ceuta esta variable tuvo, durante la época de secas cálidas (Fig. 17(SC)), una salinidad prácticamente marina a lo largo de todo el sistema (*ca.* 35 ups) a excepción de la estación 7, encontrada en la cabecera del sistema, que tuvo, durante la pleamar, una salinidad de 16.6 ups y en bajamar 7.5 ups debido al escurrimiento de aguas dulces hacia el sistema en esa zona. El promedio del sistema fue de 30.9 ± 7.4 ups para pleamar y 31.1 ± 9.5 ups durante la bajamar. En la época de lluvias (Fig. 17(LL)) se puede observar que la salinidad ya no es tan marina, debido a los escurrimientos pluviales provocando heterogeneidad a lo largo del sistema, siendo, en pleamar, las bocas las más salinas y teniendo un promedio general de 25.0 ± 6.1 ups a lo largo de todo el sistema. En bajamar el panorama es muy parecido al de la pleamar, a excepción que el refluo trae consigo agua más dulce proveniente de escurrimientos pluviales, con un promedio de 22.9 ± 7.8 ups. En la época de secas frías (Fig. 17(SF)), en pleamar, las salinidades más bajas se presentaron nuevamente en la cabecera del sistema en las estaciones 5, 6, 7, y en la estación 15, en la parte norte, presentándose las más altas nuevamente en las bocas con un promedio de 31.4 ± 3.7 ups ocurriendo lo mismo para bajamar, a excepción de que las máximas fueron encontradas en las estaciones 1, 2 y 3, en la parte sur, con valores por encima de 37 ups y un promedio de 31.4 ± 3.3 ups.

Para el caso de la salinidad en Teacapán, tanto para secas cálidas, así como para lluvias (Fig. 18(SC) y 18(LL)), en los dos períodos de marea su distribución fue similar, teniendo, en la primera (cálidas) la máxima en la estación 7 con un valor de 49 ups y la mínima en la boca (35.5 ups) tanto para pleamar como para bajamar, con una diferencia de ± 1.0 ups. Para la época de lluvias, los valores más altos se presentaron en la boca (estaciones 1, 2 y 3) (31, 29 y 25 ups), respectivamente, disminuyendo hacia el interior del sistema. Los promedios para secas cálidas fueron, para pleamar, de 42.1 ± 5.1 ups y 43.0 ± 5.1 ups para bajamar, mientras que para lluvias, la pleamar promedio un valor de 18.9 ± 10.25 ups y la bajamar tuvo un promedio de 20.4 ± 7.1 ups. Para la época de frías (Fig. 18(SF)), la pleamar y la bajamar tuvieron diferencia de salinidades, siendo la primera (pleamar) menos salina que la segunda (bajamar). La homogeneidad se puede apreciar en ambos casos, pero los promedios para cada período de marea son diferentes, siendo, para pleamar 31.3 ± 1.5 ups y para bajamar de 36.6 ± 1.1 ups.

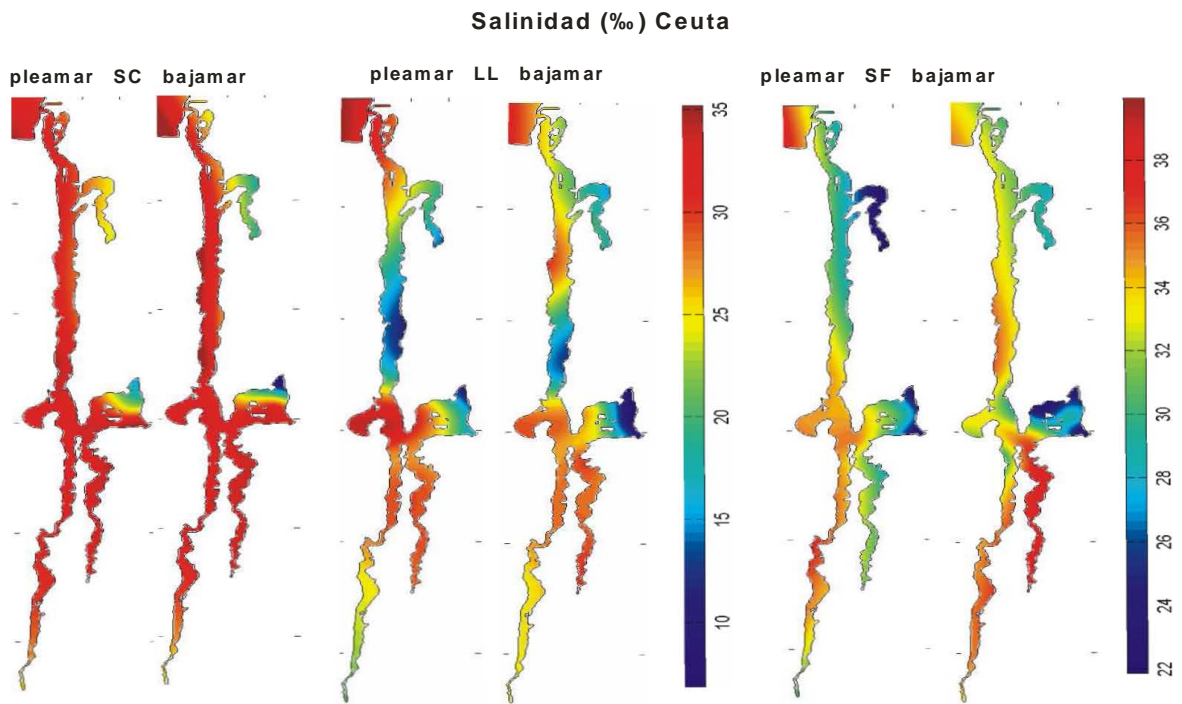


Fig. 17. Distribución de salinidad en las aguas del sistema lagunar Ceuta (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).

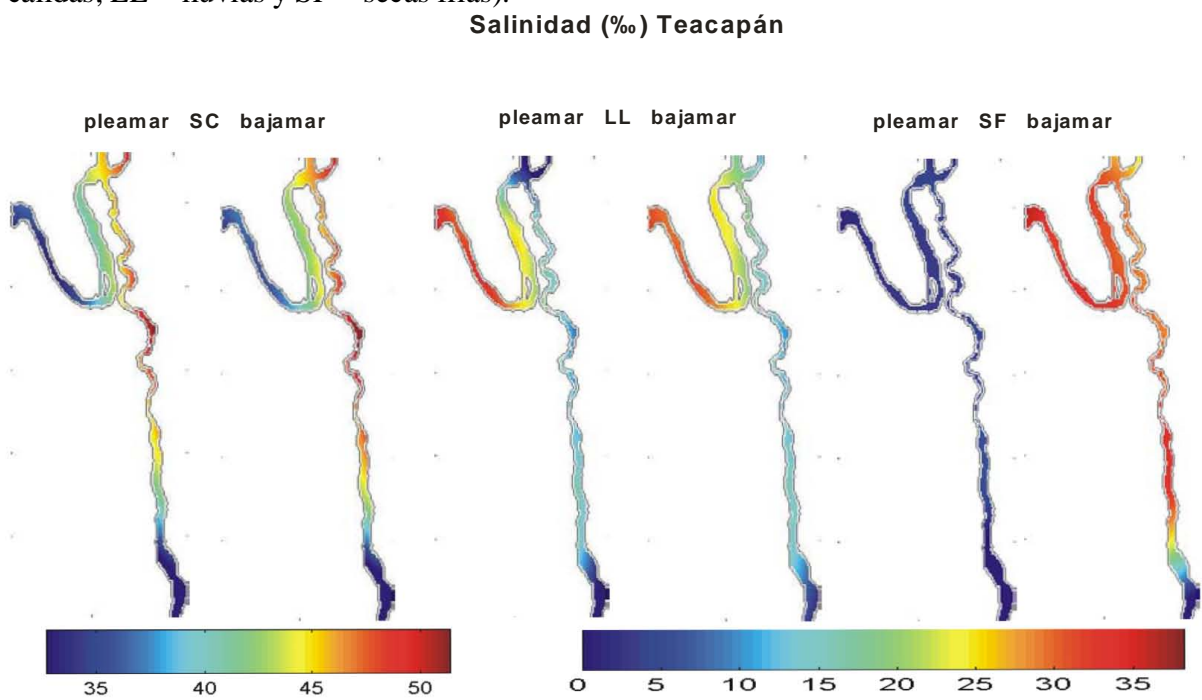


Fig. 18. Distribución de salinidad en las aguas del sistema lagunar Teacapán (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).

6.3. Oxígeno disuelto

En el caso del oxígeno disuelto, en el sistema lagunar Ohuira-Topolobampo-Santa María los valores fueron heterogéneos tanto espacial como estacionalmente, presentándose valores altos en bajamar para los tres casos (cálidas, lluvias y frías) (Fig. 19SC; 19LL y 19SF)). Esto se puede deber, básicamente a efectos físicos, como el viento y la marea en zonas someras, así como por la presencia de macroalgas que durante el día producen oxígeno, encontrando, para el caso de secas cálidas, el valor máximo en la estación 1 de 7.7 mg/L durante bajamar y el mínimo durante pleamar en la estación 2 con un valor de 4.3 mg/L y un promedio estacional de 5.9 ± 0.6 mg/L y 5.2 ± 0.6 mg/L, respectivamente. Para lluvias, el valor máximo encontrado se encontró en bajamar en la estación 6 (6.8 mg/L) con una media de 5.0 ± 0.4 mg/L en pleamar y 6.0 ± 0.4 mg/L, mientras que para frías, los valores máximos se encontraron en bajamar en las estaciones 1, 6 y 7 con 10.5, 13 y 13.2 mg/L, respectivamente con un valor estacional promedio de 7.8 ± 0.9 mg/L en pleamar y 9.9 ± 2.1 mg/L en bajamar.

En el caso de Navachiste-San Ignacio, para la época de cálidas (Fig. 20(SC)), el oxígeno disuelto tuvo dos escenarios diferentes entre pleamar y bajamar. En el primer caso fue más homogéneo que en el segundo, encontrando la mayor cantidad de oxígeno disuelto en la zona sur del sistema con valores mayores de 7 mg/L con un promedio de 5.0 ± 0.3 mg/L. Los valores máximos para la bajamar fueron encontrados en las bocas (7.2 mg/L) y en la estación 3, cercana de la cabecera del sistema (7.1 mg/L), posiblemente debido a las corrientes durante el reflujó de la marea aunado al viento, oxigenando el agua en estas zonas. El promedio para la bajamar fue de 5.2 ± 1.3 mg/L. La época de lluvias y de frías fue parecida refiriéndose a la cantidad de oxígeno (Fig. 20(LL) y 20(SF)), sin embargo, nuevamente los valores más altos se encontraron en bajamar en la zona de la cabecera (estación 2 y 3) con un promedio para lluvias de 4.9 ± 0.4 mg/L durante la pleamar y de 5.8 ± 0.4 mg/L durante la bajamar. Los valores más altos tanto espacial como estacionalmente se encontraron en la época de frías con valores que oscilan entre los 7 y 10 mg/L, cuando la temperatura del agua es menor, promediando en pleamar 7.8 ± 0.3 mg/L y para bajamar 8.8 ± 0.6 mg/L.

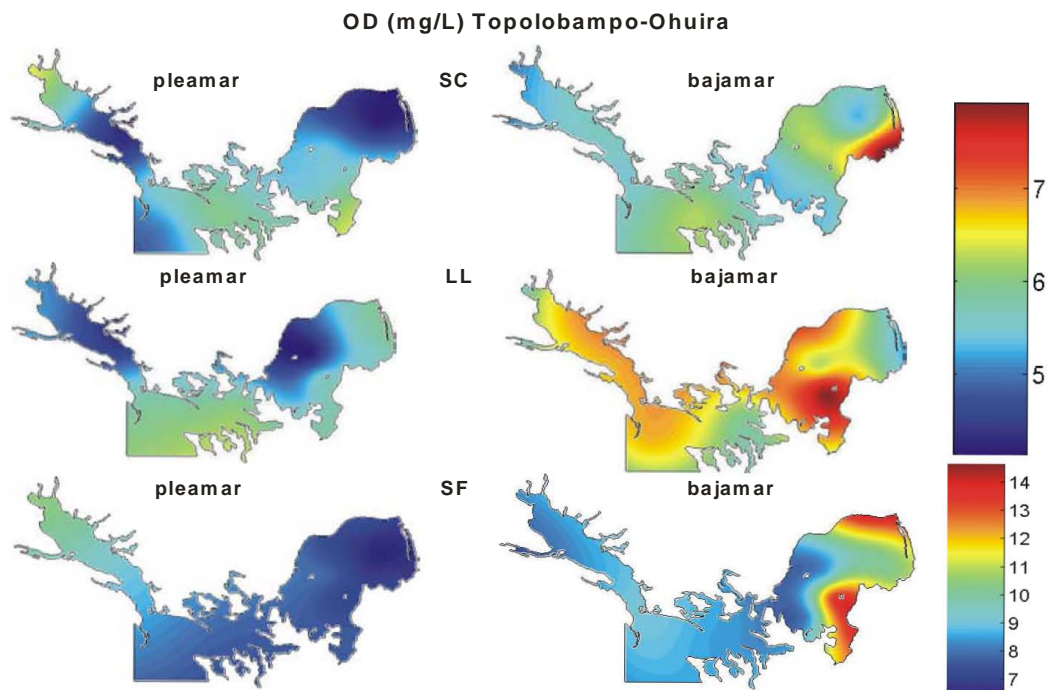


Fig. 19. Distribución de oxígeno disuelto en las aguas del fondo del sistema lagunar Ohuira-Topolobampo-Santa María (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).

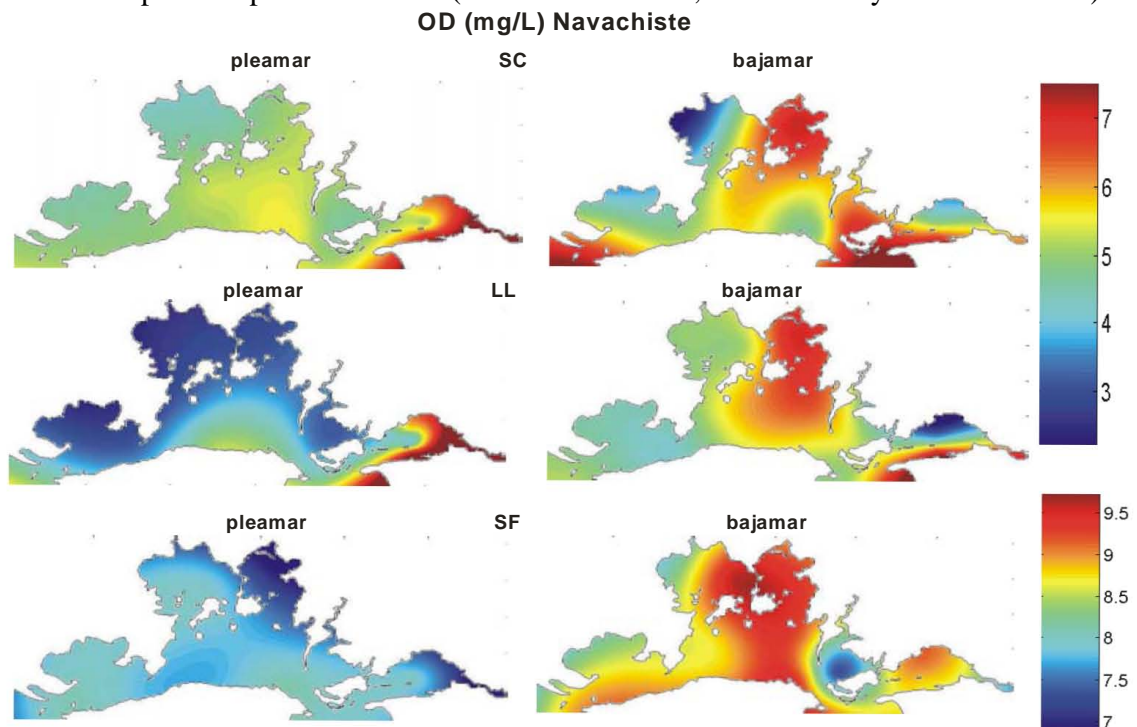


Fig. 20. Distribución de oxígeno disuelto en las aguas del fondo del sistema lagunar Navachiste-San Ignacio-Macapule (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).

En el complejo lagunar Santa María-La Reforma, ésta variable presentó variaciones marcadas tanto espacial como estacionalmente. No obstante, para secas cálidas (Fig. 21(SC)) la distribución fue homogénea a excepción de la estación 1, en la parte sur (10.4 mg/L) durante pleamar y la estación 17, en la parte norte (9.5 mg/L) durante la bajamar, probablemente debido al efecto físico del viento y la marea. Con un promedio de 6.3 ± 1.3 mg/L para pleamar y 6.4 ± 1.1 mg/L durante bajamar. En la época de lluvias (Fig. 21(LL)) la variación entre pleamar y bajamar fue mínima, encontrando homogeneidad a lo largo de todo el sistema, sin embargo, durante bajamar, en la estación 14 y 15, se presentó un pico de oxígeno disuelto mayor a 11.5 mg/L para ambas estaciones con promedio para pleamar de 6.2 ± 0.6 mg/L y para bajamar 7.7 ± 1.5 mg/L. En secas frías (Fig. 21(SF)), el escenario fue distinto entre la pleamar y la bajamar, siendo la primera más homogénea con respecto a la distribución de esta variable, con un promedio de 8.2 ± 0.2 mg/L, mientras que en bajamar la heterogeneidad es notoria con valores muy altos en las estaciones 11, 13, 16 y 17,, en la parte media y norte del sistema, con valores que rebasan los 10 mg/L, la mínima se encontró cerca del estero del Tule en la estación 6, con un valor de 6.2 mg/L.

La máxima de oxígeno disuelto en Altata-Ensenada del Pabellón, durante secas cálidas (Fig. 22(SC)) se presentó en pleamar, con un valor de 13.1 mg/L mientras que las demás estaciones se mantuvieron constantes con un promedio de 8.6 ± 1.6 mg/L en pleamar y 8.9 ± 0.6 mg/L en bajamar.

Para el caso de lluvias (Fig. 22(LL)) la pleamar presentó los máximos en la cabecera del sistema, nuevamente debido al efecto físico del viento y reflujos de la marea, y en la estación 13, durante bajamar, cerca del poblado del Castillo, trayendo consigo agua rica en oxígeno, promediando 6.5 ± 0.5 mg/L para pleamar y 7.2 ± 0.6 mg/L para bajamar.

En el caso particular de la época de secas frías (Fig. 22(SF)) la pleamar presentó un mínimo en la concentración de oxígeno en la boca del sistema (estación 16) con un valor de 5.3 mg/L manteniéndose constante la distribución de esta variable tanto en pleamar como en bajamar, con promedios de 7.8 ± 0.9 mg/L y 8.4 ± 0.5 mg/L, respectivamente.

OD (mg/L) Santa María-La Reforma

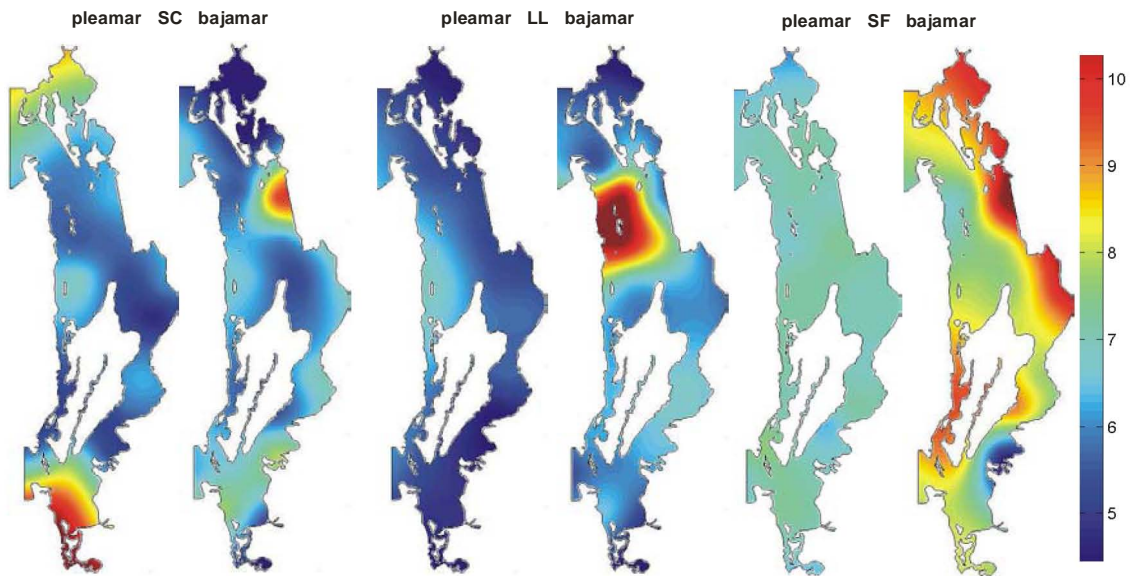


Fig. 21. Distribución de oxígeno disuelto en las aguas del fondo del sistema lagunar Santa María-La Reforma (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).
OD (mg/L) Altata-Ensenada del Pabellón

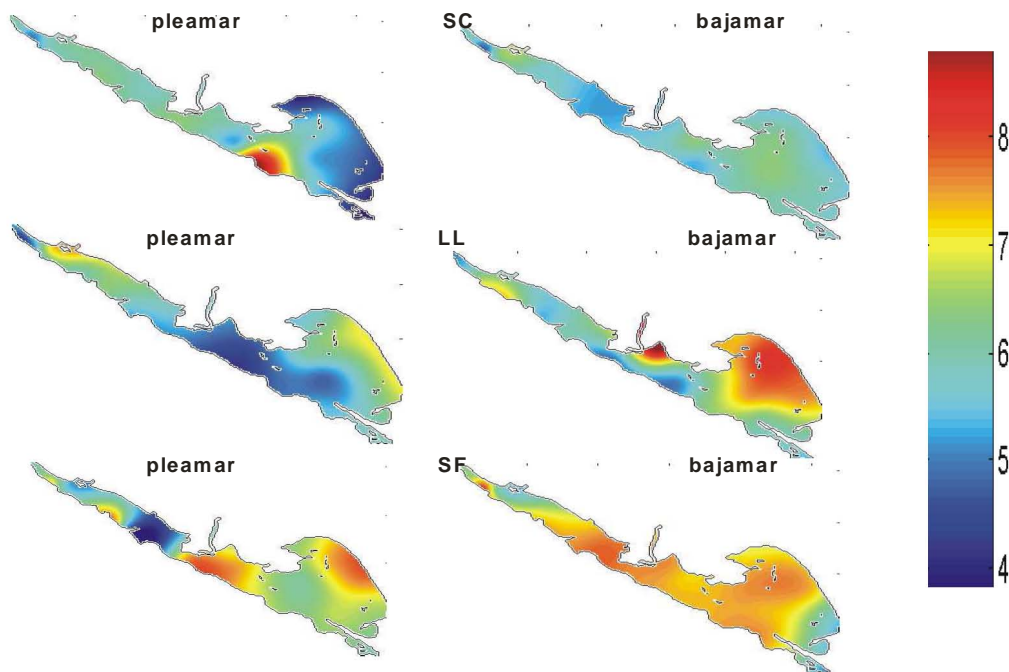


Fig. 22. Distribución de oxígeno disuelto en las aguas del fondo del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).

El oxígeno disuelto en Ceuta, en la época de secas cálidas, (Fig.23(SC)), durante pleamar, tuvo mayor concentración en la estación 4, en la parte media del sistema, con un valor de 12.2 mg/L, mientras que en las otras estaciones, la concentración se mantuvo constante, con un valor de 9.1 ± 1.4 mg/L. Durante la bajamar los valores mínimos se encontraron en las estaciones 13 14 y 15, en la parte norte, cercanos a los 8 mg/L, con un promedio de 8.5 ± 1.6 mg/L para bajamar. Para el caso de lluvias (Fig. 23(LL)) la concentración fue parecida entre la pleamar y la bajamar, teniendo, en ambos casos los máximos en las bocas del sistema > 7 mg/L y, aparte, para bajamar, en las estaciones 4 y 5, con valores de 7.3 y 7.5 mg/L respectivamente, con un promedio de 5.9 ± 0.7 mg/L para pleamar y 6.1 ± 1.0 mg/L para bajamar.

La época de secas frías (Fig. 23(SF)) tuvo sus valores máximos nuevamente en las bocas en la bajamar con un valor de 8.5 mg/L. Los mínimos en pleamar se encontraron cercanos a la cabecera del sistema (estación 7) con un valor de 5 mg/L, siendo este el valor más bajo para la época. Los promedios para ambos ciclos son de 6.5 ± 0.6 mg/L para pleamar y 7.8 ± 0.7 mg/L de OD.

La distribución del oxígeno disuelto en el sistema lagunar de Teacapán tuvo cierta homogeneidad estacional, sin embargo, en cada época, se puede observar que hay una tendencia espacial con valores mayores cerca de la boca del sistema. En secas cálidas (Fig. 24(SC)), las estaciones 1 y 2, en la boca, tuvieron los máximos de 5.5 y 5.2 mg/L, respectivamente, mientras que el resto de los valores disminuían hacia el interior del sistema. Los valores promedio de esta época fueron, para pleamar 3.5 ± 1.2 mg/L y para bajamar 3.7 ± 1.3 mg/L.

Para lluvias (Fig. 24(LL)), los valores más altos se encontraron en las estaciones de la boca y cercanas a ellas, con valores de 10 mg/L, disminuyendo hacia el interior del sistema, con promedios en pleamar de 5.2 ± 2.3 mg/L y 6.6 ± 2.2 mg/L para la bajamar.

En secas frías (Fig. 24(SF)) volvieron a disminuir los valores del oxígeno disuelto, pero presentándose nuevamente los máximos en la boca (7.5 mg/L) y los mínimos en el interior del sistema (4 mg/L). La pleamar promedió un valor de 6.0 ± 1.2 mg/L y la bajamar 5.8 ± 1.2 mg/L de OD.

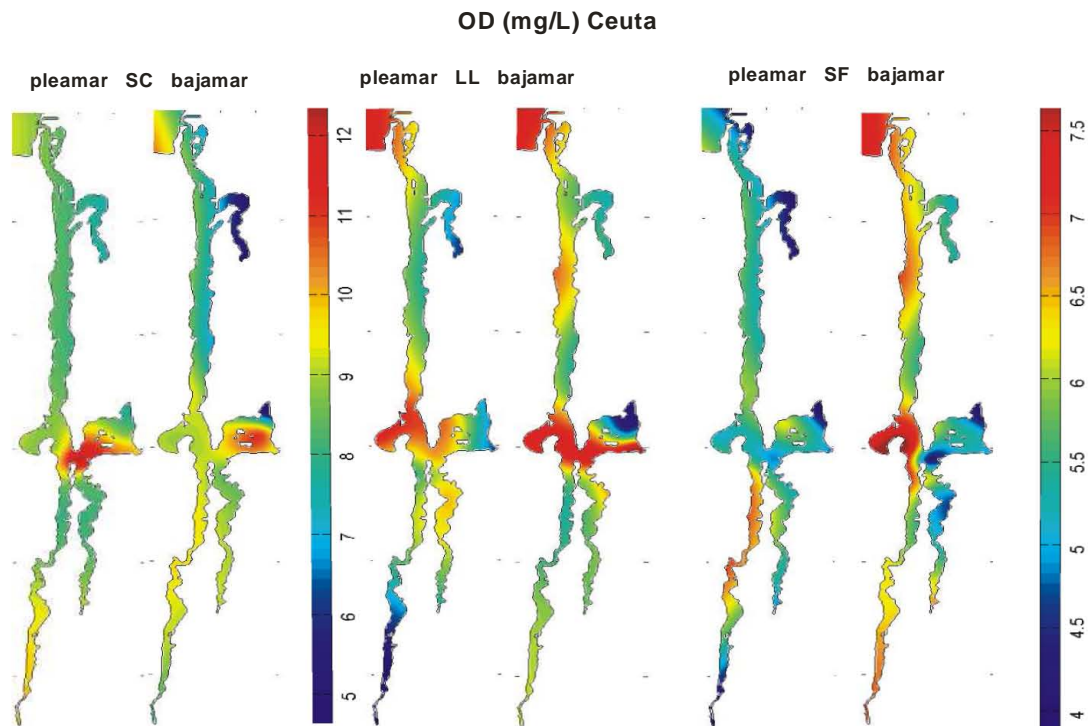


Fig. 23. Distribución de oxígeno disuelto en las aguas del fondo del sistema lagunar Ceuta (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).

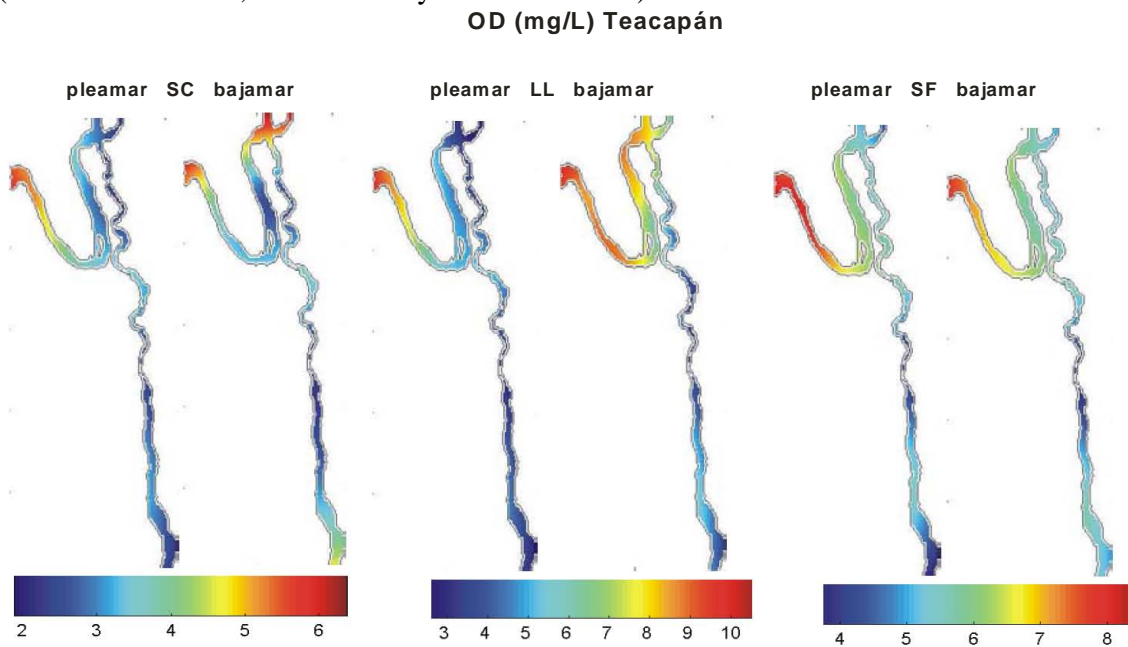


Fig. 24. Distribución de oxígeno disuelto en las aguas del fondo del sistema lagunar Teacapán (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).

6.4. Sólidos suspendidos totales

La mayor cantidad de sólidos suspendidos en el complejo lagunar Ohuira-Topolobampo-Santa María fueron encontrados en las tres épocas climáticas tanto en pleamar así como en bajamar en la cabecera del sistema, de la estación 1 a la 6 con valores que oscilan desde los 40 mg/L hasta los 100 mg/L (Fig. 25(SC), (LL) y (SF)); esto debido a la poca profundidad y a la resuspensión del sedimento debido a las corrientes de reflujos de la marea y al viento. También, para el caso de la época de frías en pleamar, se pudo observar que los valores más altos se encontraron en la estación 11 y 13 (51.7 y 61.7 mg/L, respectivamente), esto también debido al efecto físico del viento, oleaje y la poca profundidad encontrada en esas estaciones.

Los valores mínimos de esta variable siempre se encontraron en la boca del sistema durante los dos períodos de marea (pleamar y bajamar) para las tres épocas climáticas (secas cálidas: 2.2 mg/L). Los promedios para cada época climática fueron: para secas cálidas: 18.3 ± 21.8 mg/L; lluvias: 24.5 ± 29.3 mg/L y frías: 26.2 ± 15.9 mg/L de SST.

Siendo Navachiste un complejo lagunar que no se caracteriza por ser muy somero a excepción de la cabecera, los valores más altos de sólidos suspendidos se encontraron en esta última región, en las tres épocas climáticas justo durante la bajamar cerca de las primeras estaciones y del Macapule, nuevamente, parecen ser el resultado del viento y de las corrientes de marea, resuspendiendo el sedimento del fondo, arrastrando consigo el material terrígeno, sin embargo, la zona de Macapule tuvo valores elevados aún en pleamar, posiblemente, por ser una zona poco profunda, y a que en la época de secas cálidas se estaba dragando una porción de esta zona.

El promedio de pleamar y bajamar para cada época climática de sólidos suspendidos totales fue: para secas cálidas 41.2 ± 18.8 mg/L y 67.8 ± 80.8 mg/L respectivamente; para lluvias: 46.7 ± 26.5 mg/L y 78.4 ± 116.6 mg/L respectivamente y para secas frías de 28.3 ± 16.2 mg/L en pleamar y 65.5 ± 107.5 mg/L.

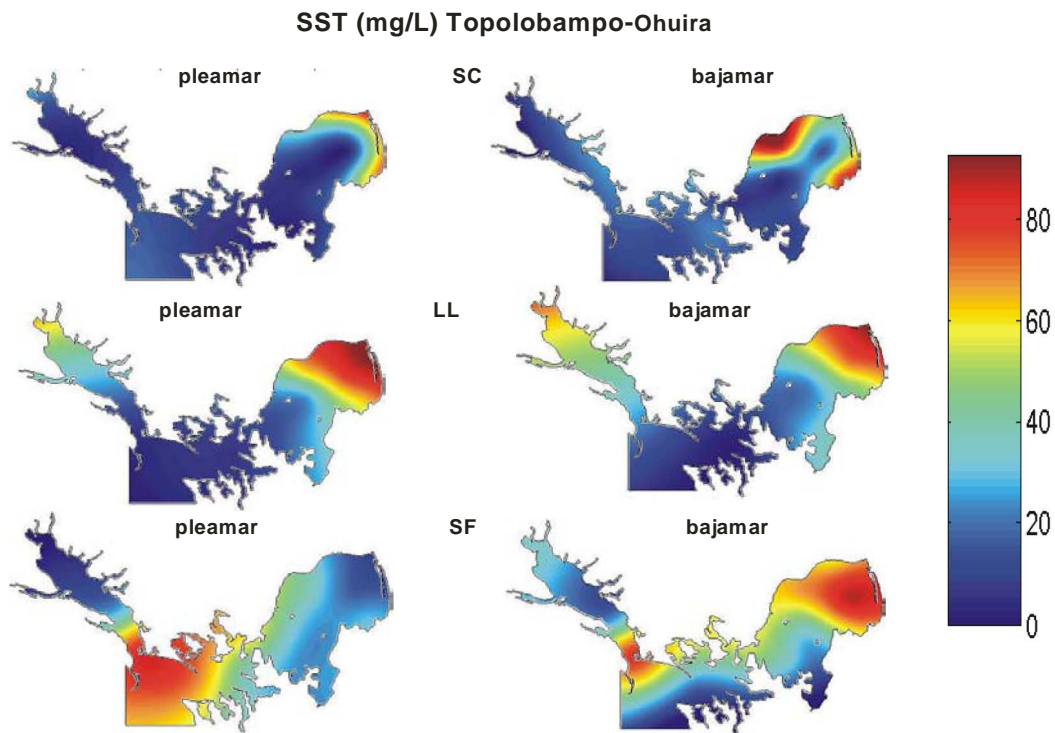


Fig. 25. Distribución de sólidos suspendidos totales en las aguas del sistema lagunar Ohuira-Topolobampo-Santa María (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).

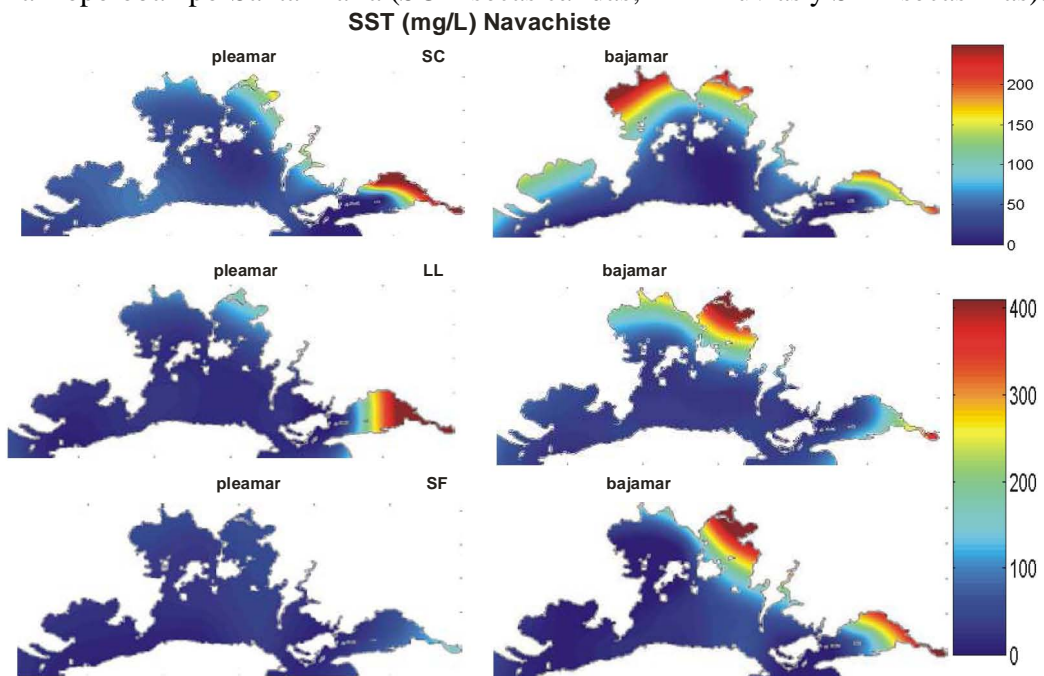


Fig. 26. Distribución de sólidos suspendidos totales en las aguas del sistema lagunar Navachiste-San Ignacio-Macapule (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).

Los valores máximos de sólidos suspendidos para Santa María-La Reforma fueron encontrados en la época de lluvias (Fig. 27(LL)), debido probablemente a los escurrimientos de agua, que arrastran consigo material en suspensión, con un valor en la estación 6 de 102.5 mg/L y en la estación 13 de 128.3 mg/L, con un promedio para la pleamar de 29.2 ± 17.9 mg/L y para la bajamar de 48.7 ± 34.6 mg/L.

Con respecto a la época de secas cálidas y secas frías (Fig. 27(SC) y 27(SF)), los valores fueron similares tanto en pleamar y bajamar con los máximos, para bajamar, en la cabecera del sistema, en la estación 1, cerca de Dautillos, con valores cercanos a los 80 mg/L para ambas épocas, mientras que en pleamar, los máximos se presentaron en la estación 10, en la parte media del sistema con un valor, para secas cálidas, de 67.3 mg/L y en frías de 50 mg/L de SST.

Los promedios para ambos períodos de marea en secas cálidas fueron de 21.6 ± 13.6 mg/L en pleamar y 18.4 ± 11.6 mg/L en bajamar, mientras que para la época de frías la pleamar tuvo un promedio de 19.3 ± 13.0 mg/L y la bajamar 22.9 ± 23.0 mg/L de SST.

Para el caso de las tres épocas climáticas en Altata-Ensenada del Pabellón, la mayor cantidad de sólidos suspendidos totales se encontraron durante la bajamar, en la cabecera del sistema. En el caso de secas cálidas (Fig. 28(SC)) la pleamar se distribuyó de una forma homogénea a lo largo de todo el sistema, con un promedio de 52.1 ± 63.4 mg/L, mientras que el pico más grande se dio durante la bajamar en la estación 2 con un valor de 1356 mg/L de SST, con un promedio de 118.6 ± 287.3 mg/L de SST.

En el caso de lluvias (Fig. 28(LL)), los dos períodos de marea fueron similares, teniendo, para ambos casos, los máximos en la cabecera del sistema, y en la estación 14, cerca del poblado del Castillo, con un promedio de 28.9 ± 15.8 mg/L para pleamar y de 35.6 ± 22.8 mg/L en bajamar.

El mismo caso se dio para la época de frías (Fig. 28(SF)), con similitud entre la pleamar y la bajamar, teniendo los máximos en la estación 4 y 5, con valores mayores a los 600 mg/L, con un promedio estacional de 67.3 ± 138.3 mg/L durante pleamar y 79 ± 123.7 mg/L para bajamar.

SST (mg/L) Santa María-La Reforma

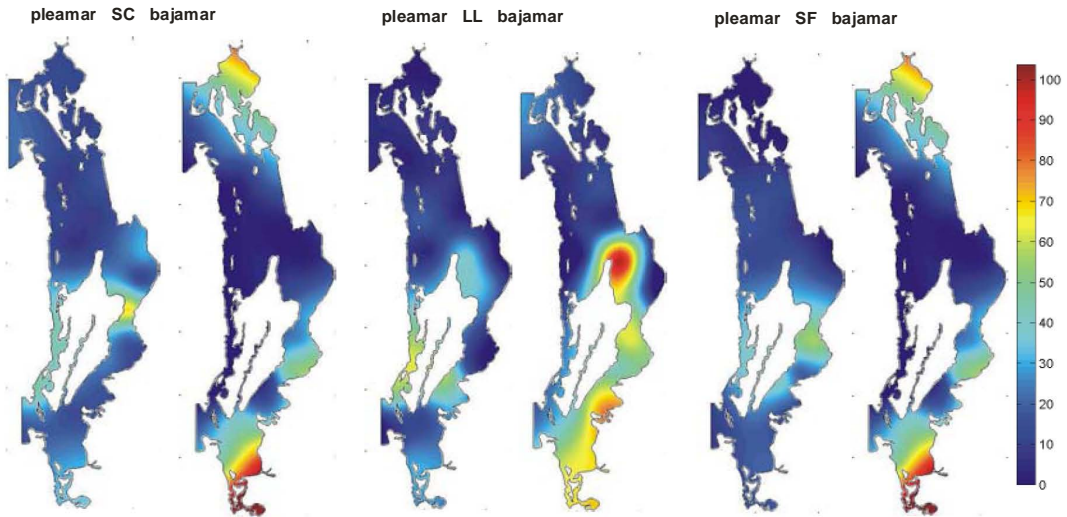


Fig. 27. Distribución de sólidos suspendidos totales en las aguas del sistema lagunar Santa María-La Reforma (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).

SST (mg/L) Altata-Ensenada del Pabellón

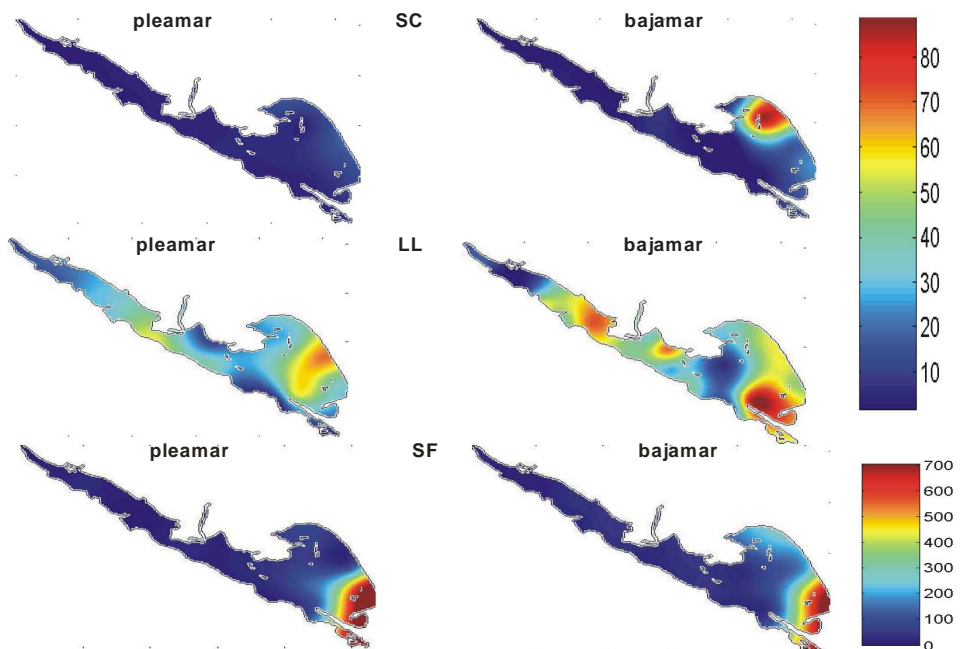


Fig. 28. Distribución de sólidos suspendidos totales en las aguas del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).

Los valores máximos para los sólidos suspendidos totales en Ceuta se encontraron, para las tres épocas climáticas (Fig. 29(SC), (LL) y (SF)) durante la bajamar, probablemente debido al efecto de las corrientes de refluo de la marea, y al viento teniendo un efecto de resuspensión en el fondo de la parte más somera del sistema lagunar, mientras que en pleamar, nuevamente para las tres épocas, el comportamiento de esta variable fue homogéneo.

Los promedios para cada época y para cada ciclo de marea fueron, en secas cálidas, durante pleamar de 25.6 ± 15.9 mg/L, y 25.5 ± 24.5 mg/L en bajamar; en lluvias: 37.9 ± 18.1 mg/L en pleamar y 76.4 ± 52.2 mg/L en bajamar; en frías: 56.2 ± 47.1 mg/L durante la pleamar y 87.4 ± 87.4 mg/L, durante la bajamar.

Para el sistema lagunar Teacapán, en la época de secas cálidas, (Fig. 30(SC)) los valores máximos de sólidos suspendidos se encontraron en bajamar, en la estación 5, en la parte media del sistema, con un valor de 43.3 mg/L y el mínimo durante pleamar, en la boca, con un valor de 1.7 mg/L, con un promedio estacional para pleamar de 12.1 ± 9.3 mg/L y de 20.54 ± 10.7 mg/L para bajamar. En el caso de lluvias (Fig. 30(LL)), el valor máximo se encontró en la estación 3 (38.6 mg/L) durante pleamar, con un promedio de 25.3 ± 6.6 mg/L, mientras que la bajamar mostró homogeneidad a lo largo de todo el sistema con un promedio de 14.3 ± 4.6 mg/L.

La época de seca frías (Fig. 30(SF)) fue parecida tanto en pleamar como en bajamar, teniendo, para ambos casos, la máxima en la estación 5 (57.5 mg/L en pleamar y 62.8 mg/L en bajamar), presentándose el mínimo en la estación 8, en la cabecera (9.7 mg/L durante pleamar y 2.2 mg/L en bajamar) con un valor promedio de 23.2 ± 17.6 mg/L para pleamar y 17.5 ± 18.8 mg/L durante bajamar.

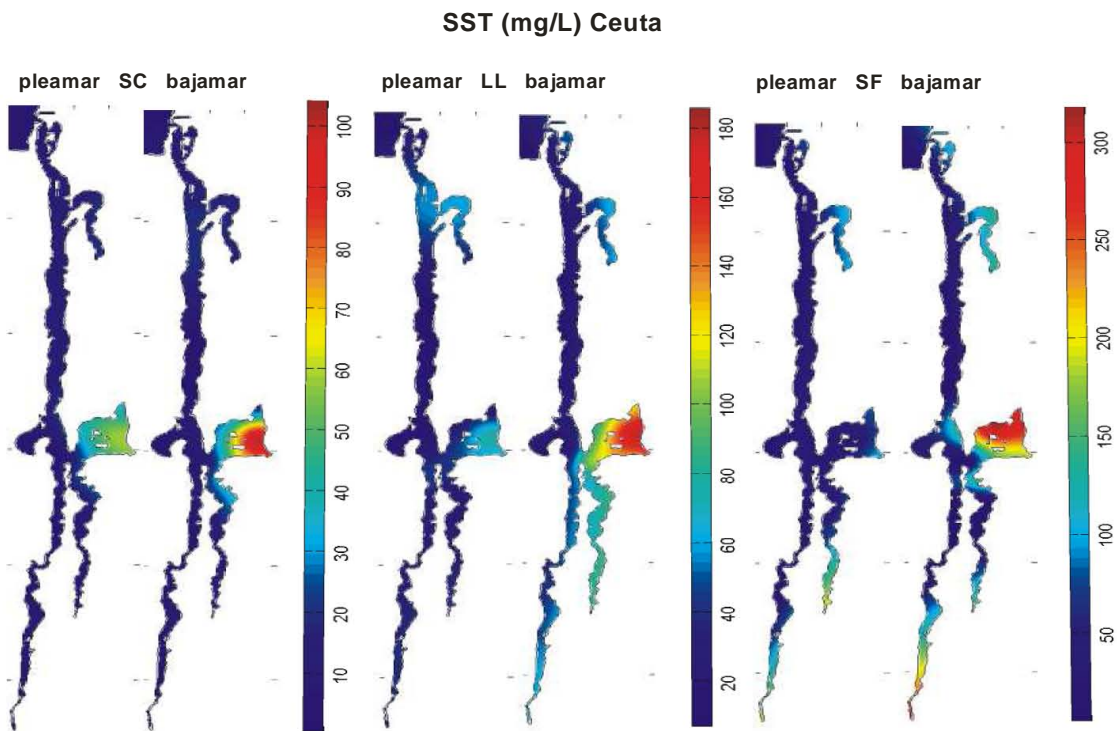


Fig. 29. Distribución de sólidos suspendidos totales en las aguas del sistema lagunar Ceuta (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).

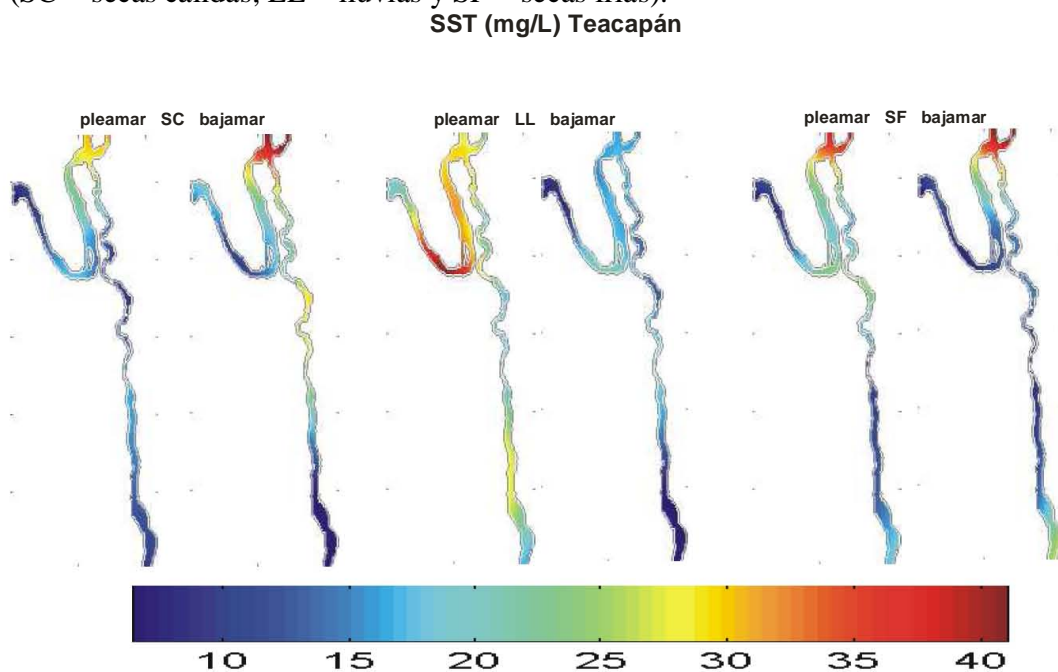


Fig. 30. Distribución de sólidos suspendidos totales en las aguas del sistema lagunar Teacapán (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).

Tabla 2. Promedios y desviaciones estándares para cada una de las variables fisicoquímicas en aguas de los 6 sistemas lagunares estudiados: OHU: Ohuira-Topolobampo-Santa María; NSI: Navachiste-San Ignacio-Macapule; SMR: Santa María-La Reforma; AEP: Altata-Ensenada del Pabellón; CEU: Ceuta; TEA: Teacapán.

			OHU			NSI			SMR		
			cal	lluvias	frías	cal	lluvias	frías	cal	lluvias	frías
Temp °C	p	media s	- -	31.7 0.7	22.5 0.4	- -	32.9 0.9	21.7 0.4	30.6 0.7	30.0 0.7	21.2 0.4
	b	media s	- -	32.5 0.3	24.0 1.1	- -	33.0 0.9	23.7 1.4	30.9 0.9	30.4 0.7	22.8 0.8
	p,b	media s	- -	32.1 0.5	23.3 0.7	- -	32.9 0.9	22.7 0.9	30.8 0.8	30.2 0.7	22.0 0.6
Salinidad ups	p	media s	38.0 2.0	38.5 0.9	36.7 1.1	36.4 2.0	37.5 1.1	39.7 0.4	35.4 1.9	34.4 0.7	34.2 0.7
	b	media s	38.0 1.0	39.0 1.1	36.3 3.2	37.9 1.9	37.6 1.0	39.3 2.3	34.9 1.8	34.4 0.9	33.9 2.0
	p,b	media s	38.0 1.7	38.7 1.0	36.5 2.2	37.2 2.0	37.6 1.1	39.5 1.3	35.2 1.9	34.4 0.8	34.0 1.3
OD mg/L	p	media s	5.2 0.6	5.0 0.4	7.8 0.9	5.00 0.33	4.92 0.40	7.77 0.30	6.27 1.30	6.20 0.57	8.21 0.21
	b	media s	5.9 0.6	6.0 0.4	9.9 2.1	5.22 1.35	5.80 0.42	8.81 0.58	6.37 1.05	7.67 1.52	9.18 0.98
	p,b	media s	5.6 0.6	5.5 0.4	8.9 1.5	5.1 0.8	5.4 0.4	8.3 0.4	6.3 1.2	6.9 1.0	8.7 0.6
SST mg/L	p	media s	18.4 21.8	24.5 29.3	26.2 15.9	41.2 18.8	46.7 26.5	28.3 16.3	21.6 13.6	29.2 18.0	19.3 13.0
	b	media s	28.2 28.4	26.2 29.1	35.0 18.1	67.8 80.9	78.5 116.6	65.5 107.6	18.4 11.6	48.8 34.6	22.9 23.0
	p,b	media s	23.3 25.1	25.3 29.2	30.6 17.0	54.5 49.8	62.6 71.6	46.9 61.9	20.0 12.6	39.0 26.3	21.1 18.0

continuación Tabla 2

			AEP			CEU			TEA		
			cal	lluvias	frías	cal	lluvias	frías	cal	lluvias	frías
Temp °C	p	media s	28.2 1.2	29.0 0.6	22.1 2.5	28.0 1.6	26.9 1.3	23.4 1.0	31.4 0.8	31.3 0.3	25.4 0.6
	b	media s	30.8 1.0	29.5 0.5	23.7 2.3	29.1 1.1	28.5 0.8	25.8 1.3	32.8 0.7	31.6 0.4	25.5 0.5
	p,b	media s	29.5 1.1	29.3 0.5	22.9 2.4	28.6 1.4	27.7 1.1	24.6 1.1	32.1 0.7	31.5 0.4	25.5 0.6
Salinidad ups	p	media s	32.9 0.7	32.8 1.8	31.6 3.5	31.0 7.4	25.0 6.1	31.4 3.7	42.1 5.1	18.9 10.3	31.4 1.5
	b	media s	32.8 1.1	32.7 1.8	31.2 3.3	31.1 9.5	23.0 7.8	31.4 3.3	43.0 5.1	20.4 7.0	36.6 1.1
	p,b	media s	32.8 0.9	32.8 1.8	31.4 3.4	31.0 8.5	24.0 7.0	31.4 3.5	42.6 5.1	19.7 8.7	34.0 1.3
OD mg/L	p	media s	8.6 1.6	6.6 0.5	7.8 1.0	9.1 1.4	5.9 0.7	6.6 0.7	3.5 1.2	5.2 2.3	6.0 1.2
	b	media s	8.9 0.6	7.2 0.6	8.4 0.5	8.6 1.6	6.2 1.0	7.8 0.7	3.7 1.3	6.6 2.2	5.8 1.2
	p,b	media s	8.8 1.1	6.9 0.5	8.1 0.7	8.8 1.5	6.0 0.8	7.2 0.7	3.6 1.2	5.9 2.3	5.9 1.2
SST mg/L	p	media s	52.1 67.4	28.9 15.8	67.4 138.3	25.7 15.9	37.9 18.1	56.2 47.1	12.1 9.3	25.3 6.6	23.2 17.7
	b	media s	118.6 287.3	35.6 22.8	79.0 123.7	25.5 24.6	76.4 52.2	87.4 87.4	20.5 10.7	14.3 4.6	17.5 18.8
	p,b	media s	85.3 177.3	32.3 19.3	73.2 131.0	25.6 20.2	57.2 35.2	71.8 67.3	16.3 10.0	19.8 5.6	20.4 18.2

6.5. Fósforo disuelto

El complejo lagunar Topolobampo-Ohuira tiene bien marcadas las entradas principales de fósforo disuelto, provenientes de la parte norte del sistema lagunar, esto, probablemente debido a las descargas de granjas camaronícolas encontradas en sus alrededores (1,264 Ha) y a las descargas agrícolas (101,708 Ha) y municipales que llegan a esa área. También se puede observar claramente que la bajamar tuvo niveles más elevados que la pleamar tanto en secas cálidas (Fig. 31(SC)), lluvias (Fig. 31(LL)) así como también en secas frías (Fig. 31(SF)). Algunas zonas, en pleamar, tienen concentraciones considerables, posiblemente debido a la regeneración de la materia orgánica macroalgal del nutriente al medio, alcanzando niveles de 3.5 y 4 μM como es el caso de la estación 7 durante secas cálidas (Fig. 31(SC)) en pleamar, época donde se encontraron las mayores concentraciones de fósforo disuelto, donde se encontraron también parches de macroalgas.

Las concentraciones más elevadas encontradas en el complejo lagunar Navachiste-San Ignacio-Macapule se dieron en la época de secas cálidas (Fig. 32(SC)) en la parte sur del sistema (alrededor de 8 μM), donde se encuentra una gran cantidad de estanquería de cultivo de camarón (6,621 Ha) las cuales descargan sus aguas directamente a esa zona. Otro factor concurrente durante esta época fue que se estuvo dragando el área y por ello puede liberar numerosos compuestos desde los sedimentos a la columna enriqueciendo, entre otro, a los nutrientes.

La época de lluvias (Fig. 32(LL)) también estuvo muy influenciada por la actividad de las granjas que se encuentran al sur del sistema (*ca.* 75%), donde se encontraron concentraciones de fósforo disuelto más altas, al igual que secas frías (Fig. 32(SF)), sin embargo en esta última se encontraron también valores altos en la parte de la cabecera del sistema, también influenciada tanto por granjas acuícolas, así como por la agricultura (105,000 Ha).

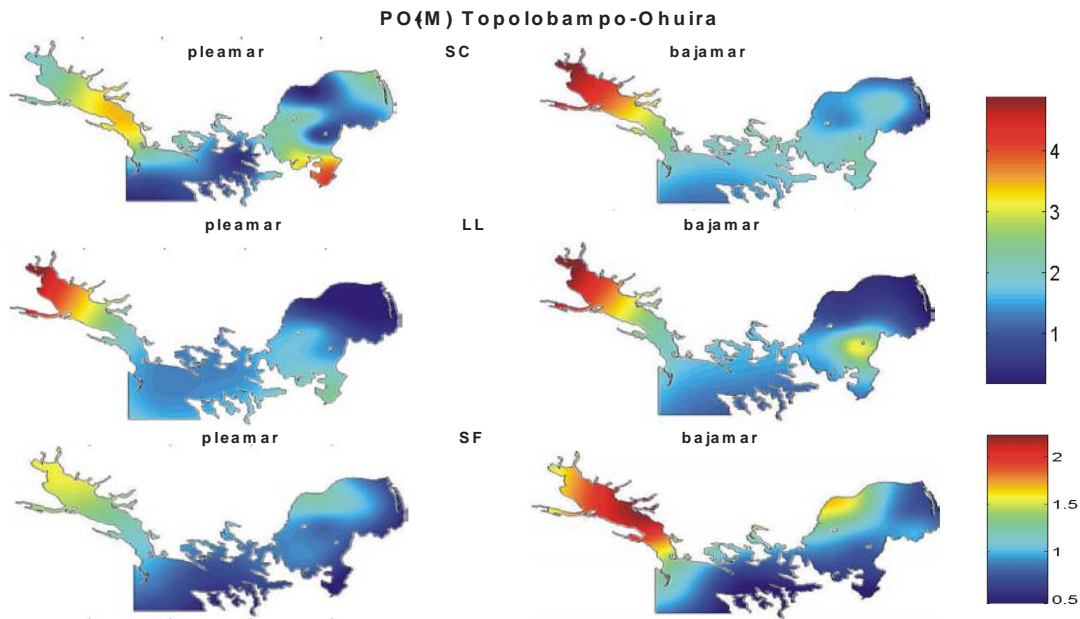


Fig. 31. Distribución de fósforo disuelto en las aguas del sistema lagunar Ohuira-Topolobampo-Santa María (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).

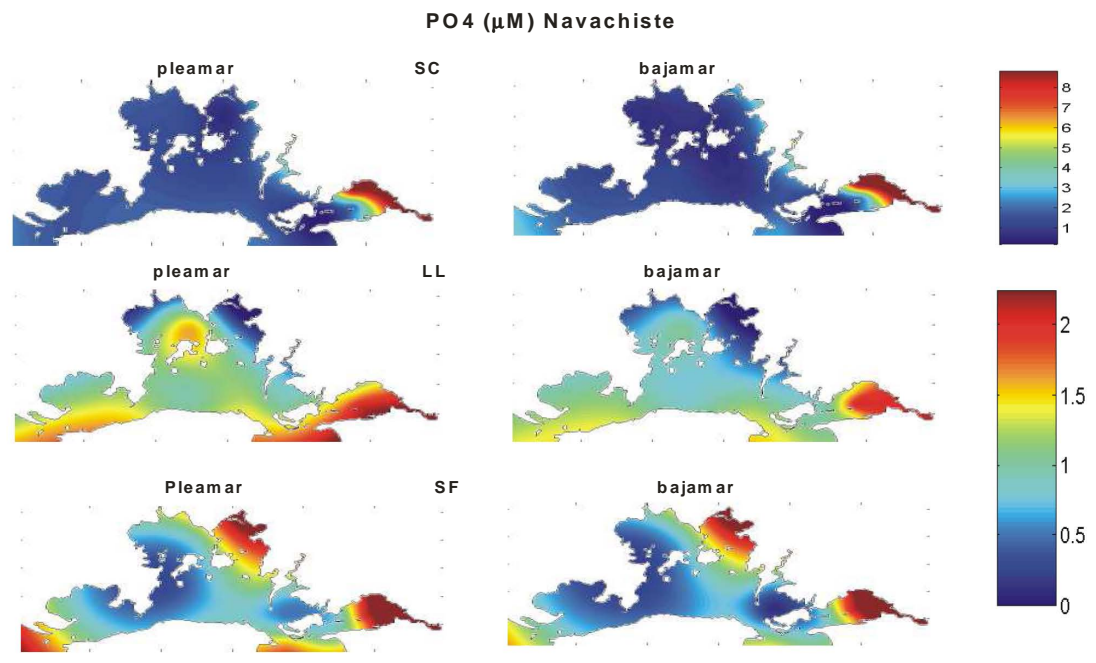


Fig. 32. Distribución de fósforo disuelto en las aguas del sistema lagunar Navachiste-San Ignacio-Macapule (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).

Para el caso del sistema lagunar Santa María-La Reforma se puede observar claramente que los valores más altos se encontraron en la época de secas cálidas, cerca de la desembocadura del estero del Tule, siendo la concentración más alta *ca.* 4.5 μM (Fig. 33(SC)).

Tanto en lluvias como en secas frías (Fig. 33(LL) y (SF)) las concentraciones fueron similares con un valor máximo de 3 μM en la misma zona que se encontraron para secas cálidas, en el estero del Tule, donde desembocan las aguas municipales tratadas de la Ciudad de Culiacán. También se puede observar una concentración elevada, para secas frías, en la parte norte del sistema, debido a la gran actividad acuícola (7,724 ha) que hay en esa zona.

Los valores mínimos para las tres épocas climáticas se encontraron en la parte media del sistema, cerca de punta Santa Rosa (estación 12) con valores muy bajos cercanos a 0.5 μM y en la cabecera del sistema, en la parte más somera, donde se encuentra el poblado La Reforma (estación 11).

La distribución del fósforo disuelto en el sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón tuvo zonas marcadas que difieren en cada una de las épocas climáticas, así como también entre pleamar y bajamar, a diferencia de la época de lluvias (Fig. 34(LL)) donde las concentraciones en los dos períodos de marea son semejantes encontrando, para ambos casos *ca.* 5 μM en la cabecera del sistema lagunar, área influenciada por drenes agrícolas y descargas provenientes de la camaronicultura (7,750 ha de estanquería).

En la época de secas cálidas (Fig. 34(SC)) las concentraciones más elevadas se encontraron en la parte norte del sistema, esto para el caso de la pleamar, mientras que en la bajamar, tanto en la parte norte como en la sur se encontraron valores similares, relativamente elevados.

Hay una clara semejanza en secas frías (Fig. 34(SF)) durante los dos períodos de marea, teniendo en ambos casos valores cercanos a 4 μM en la zona sur.

PO₄ (μM) Sta. María-La Reforma

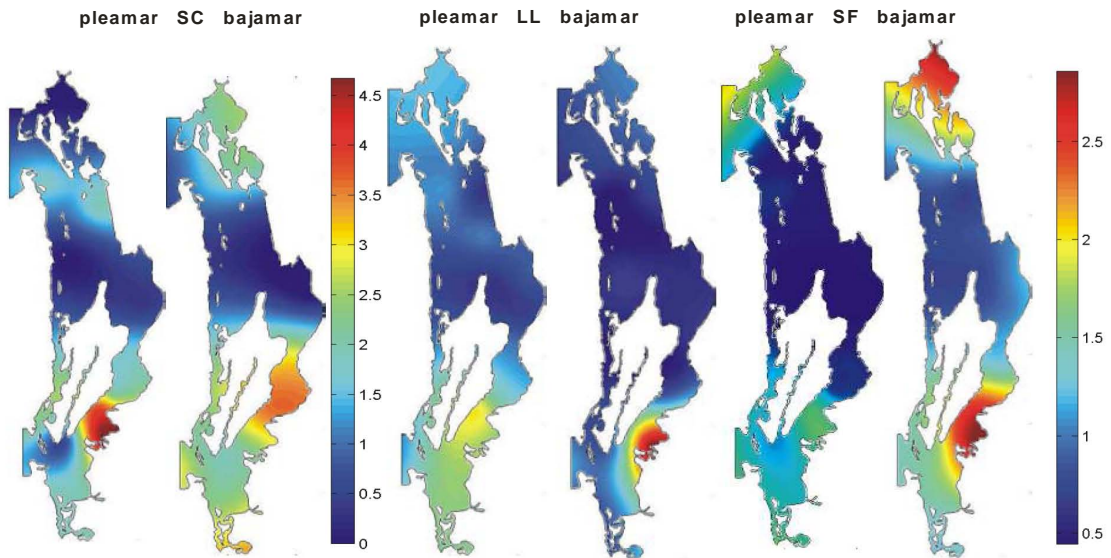


Fig. 33. Distribución de fósforo disuelto en las aguas del sistema lagunar Santa María-La Reforma (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).

PO₄ (μM) Altata-Ensenada del Pabellón

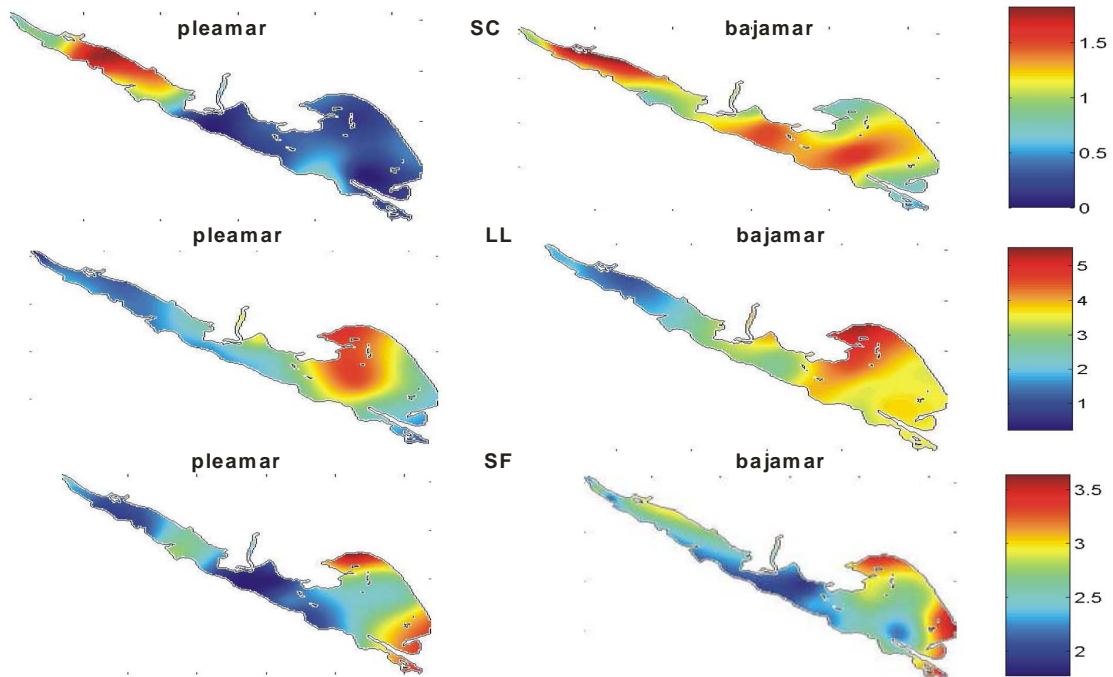


Fig. 34. Distribución de fósforo disuelto en las aguas del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).

En el sistema lagunar Ceuta las concentraciones de fósforo disuelto tuvieron los valores más altos en la época de lluvias (Fig. 35(LL)) de 12 μM encontrados en la cabecera del sistema mientras que los mínimos se presentaron en la boca. Para secas cálidas (Fig. 35(SC)) los valores máximos de este nutriente se encontraron durante la bajamar en la parte norte del sistema lagunar con valores de 3 μM .

En secas frías (Fig. 35(SF)) también se presentaron valores altos en la cabecera, con valores parecidos para los dos períodos de marea, encontrando el mayor durante la bajamar, con una concentración cercana a los 7 μM .

Este nutriente, en el sistema lagunar Teacapán, tuvo un comportamiento similar tanto en pleamar como en bajamar, así como para las tres épocas climáticas, teniendo concentraciones parecidas para secas frías y lluvias (Fig. 36(SC y LL)), donde la descarga de la granja que se encuentra en la zona intermedia del sistema fue la que contribuyó con más aporte al mismo (2,089 Ha), siendo el valor máximo de 5 μM , durante ambos períodos de marea para las dos épocas.

El mismo escenario es encontrado para la época de secas frías (Fig. 36(SF)), sin embargo, aquí se encontraron los valores más bajos comparado con las otras dos épocas, siendo durante la pleamar de 1.6 μM y entre 1 y 1.2 μM para la bajamar. Esto se puede deber primordialmente a que en esta época la mayoría de las granjas no operan.

Los valores mínimos para los dos períodos de marea y para las tres épocas climáticas se dieron en los puntos más cercanos a la boca, donde la influencia antrópica puede ser menor o nula.

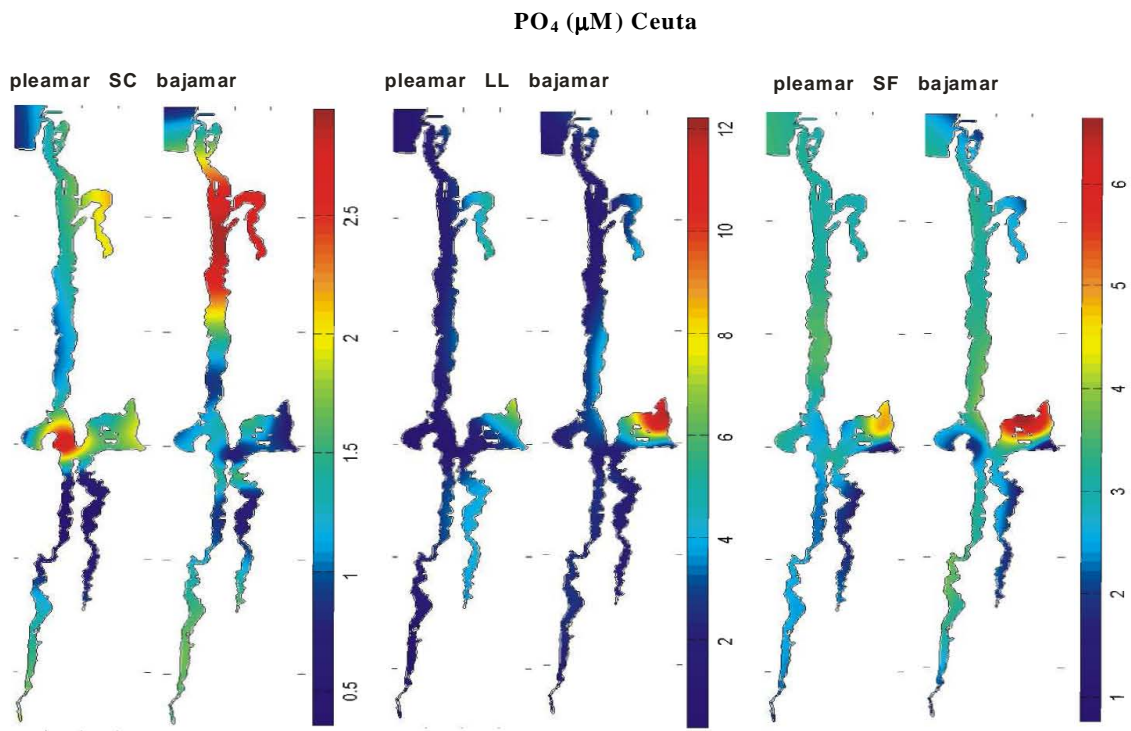


Fig. 35. Distribución de fósforo disuelto en las aguas del sistema lagunar Ceuta (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).

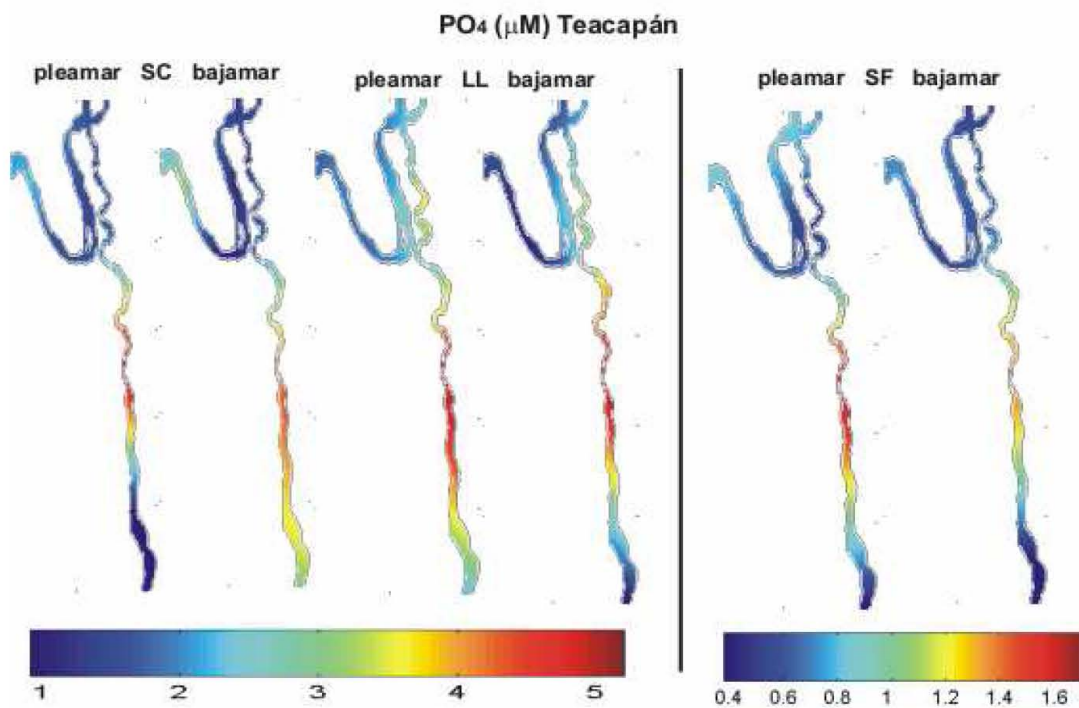


Fig. 36. Distribución de fósforo disuelto en las aguas del sistema lagunar Teacapán (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).

6.6. Fósforo total

Las entradas principales de fósforo total hacia el sistema lagunar Ohuira-Topolobampo-Santa María, provienen probablemente de las descargas de aguas municipales de Los Mochis, que se encuentra en la parte norte del sistema. En secas cálidas (Fig. 37(SC)) la concentración más elevada se encontró durante la pleamar en la estación 14 ($4.1 \mu\text{M}$) mientras que para la bajamar, la estación 15 tuvo una concentración de $5.1 \mu\text{M}$, teniendo, en bajamar, el mismo valor para lluvias ($5.1 \mu\text{M}$) (Fig. 37(LL)) mientras que en secas frías (Fig. 37(SF)) la concentración máxima se encontró en la estación 14 durante la bajamar ($2.3 \mu\text{M}$).

Las concentraciones máximas encontradas de fósforo total en el complejo lagunar Navachiste-San Ignacio-Macapule se encontraron durante la época de secas cálidas (Fig. 38(SC)) en la estación 8 durante bajamar ($2.4 \mu\text{M}$), probablemente debido al reflujó de aguas enriquecidas con este nutriente proveniente de la estanquería de cultivo de camarón (6,621 ha), mientras que para la época de lluvias, las concentraciones más elevadas se encontraron en la cabecera en la estación 1 y 2 ($1.5 \mu\text{M}$).

La época de lluvias (Fig. 38(LL)) estuvo aparentemente influenciada por la actividad de las granjas y los escurrimientos que provienen de la agricultura (10,840 Ha) y que se encuentran al sur del sistema, similar a lo que sucedió con el fósforo disuelto, donde se encontraron las concentraciones más altas de fósforo total. Para la época de secas frías (Fig. 38(SF)) los valores fueron homogéneos tanto en la pleamar, como en la bajamar con concentraciones que van de 1.1 a $1.6 \mu\text{M}$.

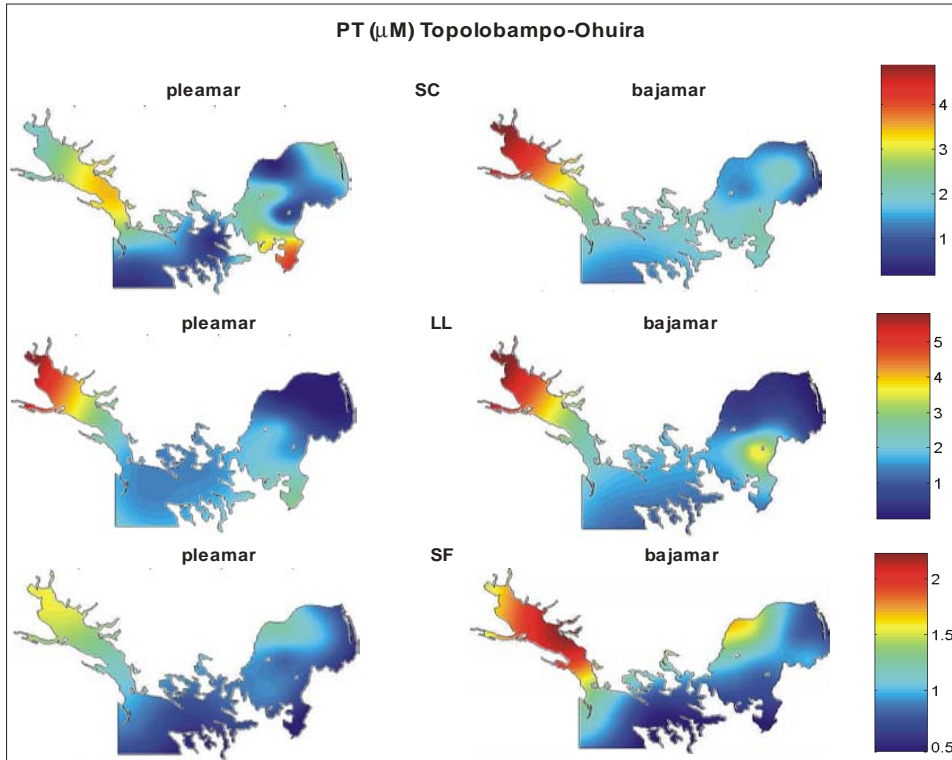


Fig. 37. Distribución de fósforo total en las aguas del sistema lagunar Ohuira-Topolobampo-Santa María: (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).

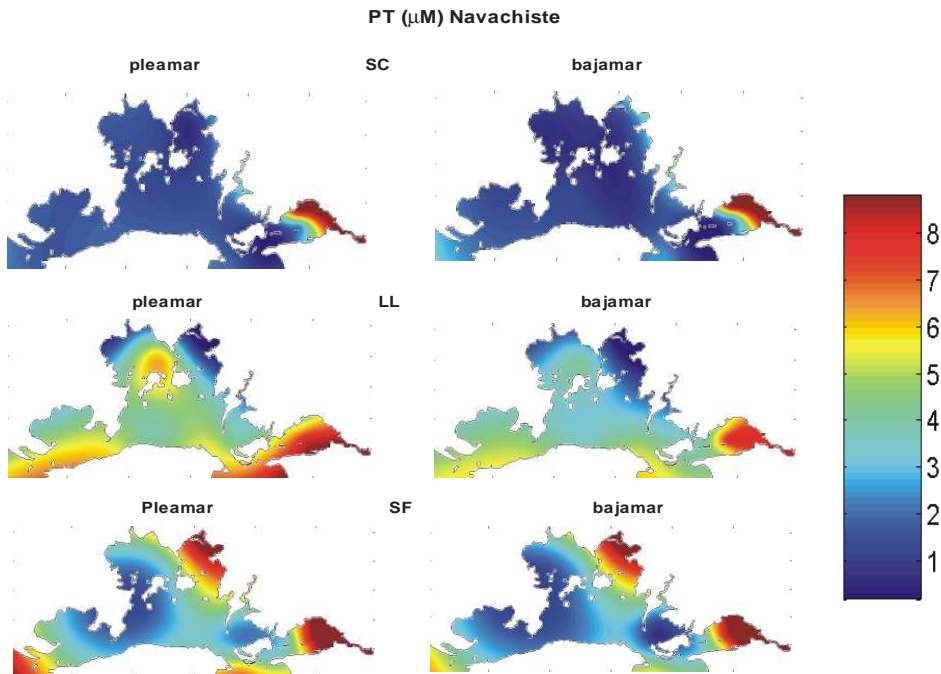


Fig. 38. Distribución de fósforo total en las aguas del sistema lagunar Navachiste-San Ignacio-Macapule: (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).

El sistema lagunar Santa María-La Reforma estuvo influenciado por descargas de aguas municipales tratadas provenientes del estero el Tule presentando concentraciones de fósforo total de 4.3 μM en la estación 6 durante la pleamar, y 6.0 μM en la estación 9 durante la bajamar, para el caso de secas cálidas (Fig. 39(SC)). En la parte norte del sistema lagunar (estación 12-20) se presentó homogeneidad en las concentraciones, fluctuando entre 2.8 y 3.8 μM , durante la bajamar y con variaciones pequeñas también para la pleamar, la cual presentó un comportamiento similar. El nivel de concentración más alto para lluvias (Fig. 39(LL)), fue encontrado nuevamente en la bajamar en la estación 6, justo en la desembocadura del estero el Tule con una concentración de 6.4 μM y la mínima en la parte sur del sistema en la estación 1 (1.2 μM). La época de secas frías (Fig. 39(SF)) fue la que presentó las concentraciones más bajas estacionalmente, encontrando, durante bajamar en la estación 6, la concentración más elevada, con un valor de 2.9 μM .

En el sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón, la concentración de fósforo total fue similar a la de fósforo disuelto, donde se encontraron zonas con una concentración elevada de este nutriente, especialmente de la estación 8 a la 13, con valores que van, para pleamar, de 2.4 a 4.3 μM , esto para el caso de secas cálidas (Fig. 40(SC)). En la época de lluvias (Fig. 40(LL)), las estaciones cercanas al estero el Tetuán fueron las que tuvieron las concentraciones máximas, encontrando, en la estación 20 una concentración de 5.6 μM durante la pleamar y de 3.6 μM durante la bajamar. Para la época de secas frías (Fig. 40(SF)) la concentración más elevada, tanto en pleamar como en bajamar se encontró en la estación 1, probablemente debido a las descargas agrícolas (191,589 Ha) y municipales, debido a que esa estación está muy cerca de la influencia de ambas.

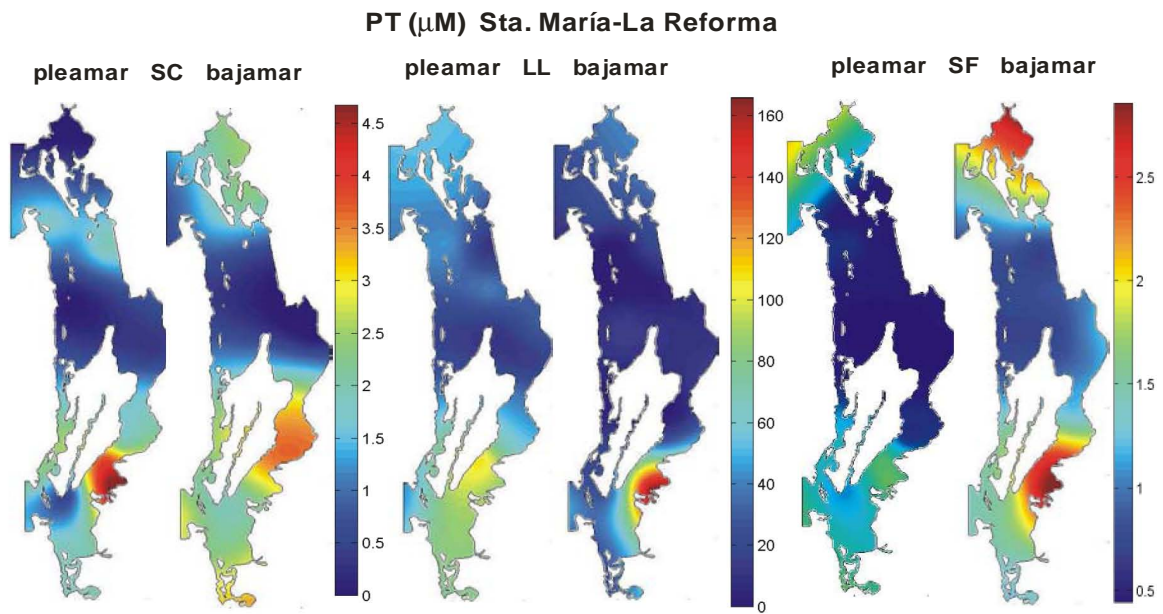


Fig. 39. Distribución de fósforo total en las aguas del sistema lagunar Santa María-La Reforma: (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).

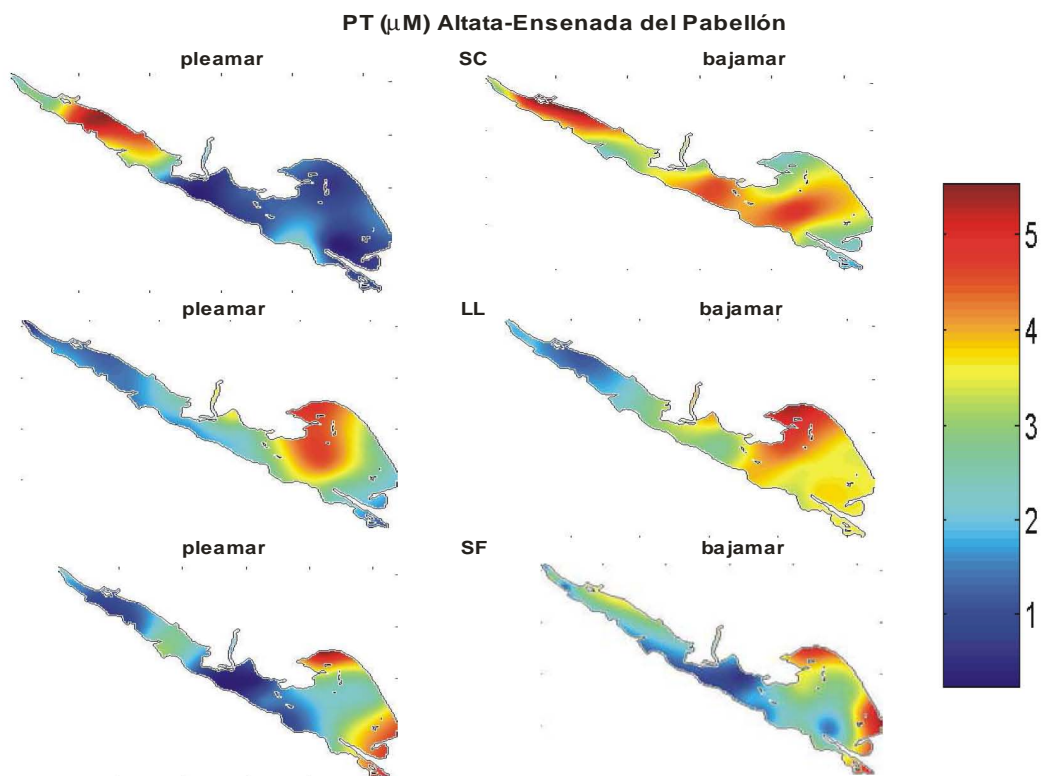


Fig. 40. Distribución de fósforo total en las aguas del sistema lagunar Santa María-La Reforma: (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).

Durante la época de secas cálidas (Fig. 41(SC)) el fósforo total, en el sistema lagunar Ceuta estuvo influenciado por los drenes municipales, ya que las concentraciones más elevadas se encontraron en la estación 2, cerca del poblado Cospita, para el caso de la bajamar y en la estación 4, para el caso de la pleamar, ambas cerca del poblado Cospita, con concentraciones de 2.1 μM y 2.2 μM , respectivamente. Sin embargo, las concentraciones máximas de este nutriente, durante la época de lluvias (Fig. 41(LL)), se encontraron en la estación 7, la cuál es la más cercana a la cabecera donde hay una fuerte influencia de escurrimientos fluviales. En la época de secas frías (Fig. 41(SF)) las concentraciones más elevadas se volvieron a presentar en la cabecera, en las estaciones 6 y 7 con los valores, durante la pleamar de 4.7 μM y los mínimos en la estación 1, que se encuentra en los tributarios con un valor de 2.0 μM .

El fósforo total en el sistema lagunar Teacapán, tuvo un comportamiento similar tanto en pleamar como en bajamar, así como también parecido en las tres épocas climáticas, donde las concentraciones máximas se encontraron en la época de secas cálidas y lluvias (Fig. 42(SC y LL)), en las estaciones 6 y 7, en la cabecera del sistema, (6.3 μM y 6.2 μM , respectivamente).

Para la época de secas frías (Fig. 42(SF)), se observó un gradiente positivo de la boca hacia el interior del sistema donde los valores más altos se encontraron de la estación 7 a la 9 (1.6 μM) mientras que las más cercanas a la boca es posible que hayan tenido menor influencia antrópica, por lo que los valores fluctuaron entre 0.6 y 0.9 μM .

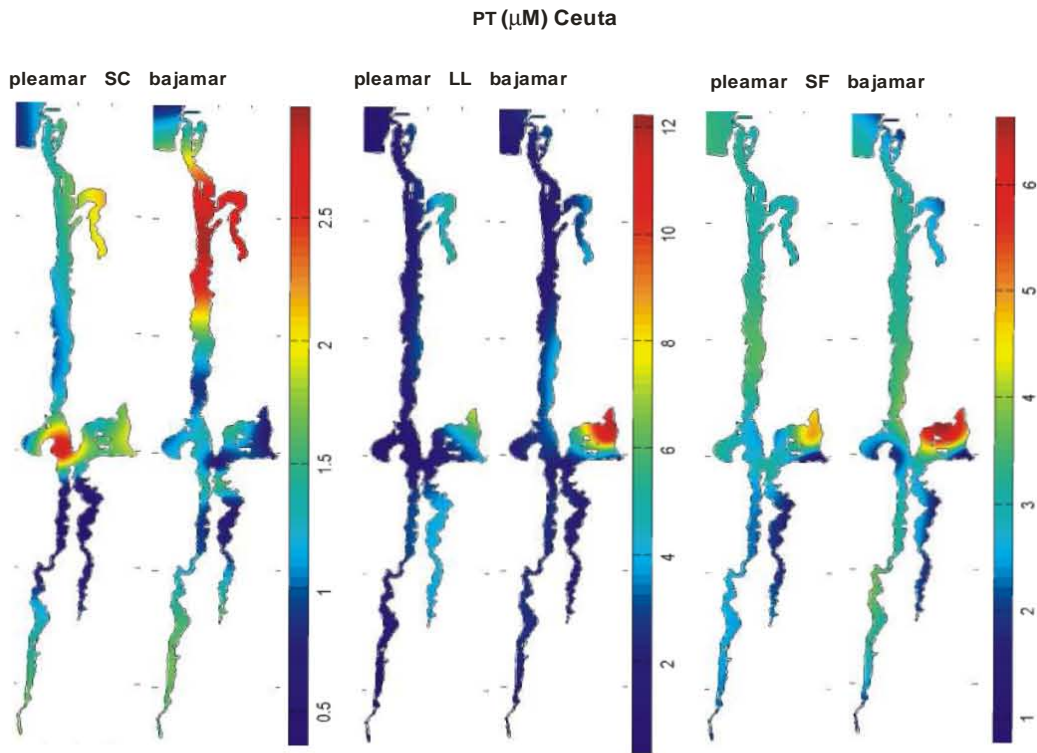


Fig. 41. Distribución de fósforo total en las aguas del sistema lagunar Ceuta: (SC secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).

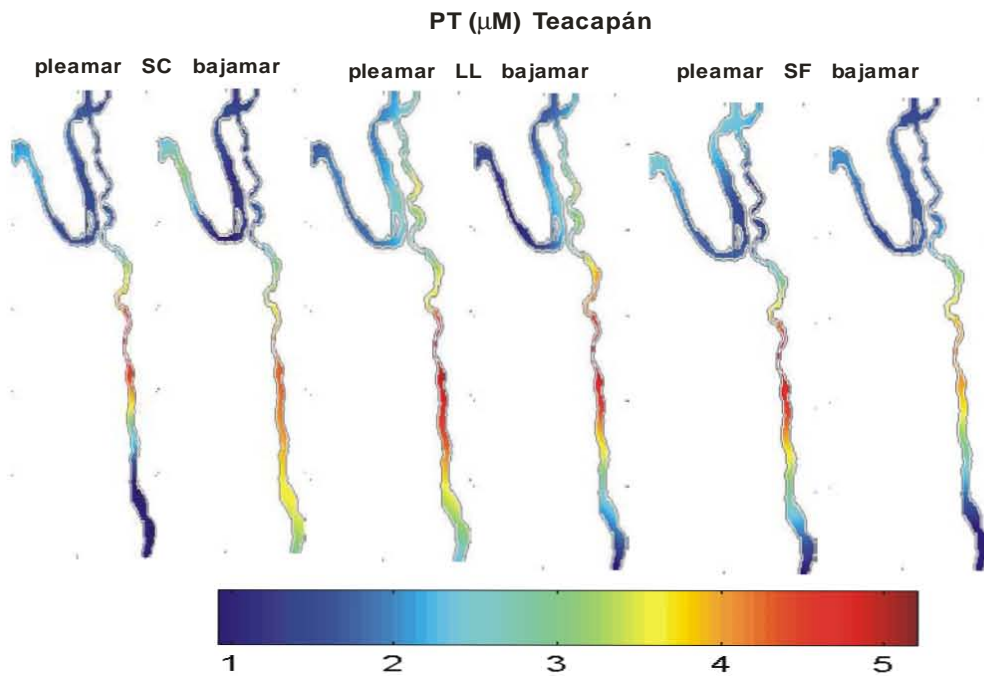


Fig. 42. Distribución de fósforo total en las aguas del sistema lagunar TEacapán: (SC secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).

6.7. Silicatos

En el sistema lagunar Topolobampo-Ohuira se pudo observar un gradiente bien definido durante la época de secas cálidas y lluvias (Fig. 43(SC y LL)) con valores que van aumentando de la boca hacia el interior del sistema, alcanzando los máximos en la cabecera con un valor máximo para secas cálidas de 87 μM en la estación 2 y de 64.9 μM para la misma estación durante lluvias. Los valores mínimos se encontraron en la boca del sistema con 3.5 μM y 2.7 μM , respectivamente. Esto es probable debido a que la zona más alejada de la boca no recibe directamente los escurrimientos producidos por el intemperismo. En el caso de secas frías (Fig. 43(SF)) los valores fueron homogéneos en casi todo el sistema, esto para la pleamar, mientras que en bajamar los valores más altos se presentaron nuevamente en la cabecera en la estación 1 (84.4 μM), mientras que el más bajo nuevamente se presentó en la boca con un valor de 2.2 μM .

Los valores mínimos de silicatos para Navachiste-San Ignacio se presentaron durante la pleamar, tanto para secas cálidas, lluvias y secas frías (Fig. 44(SC) (LL) y (SF)), con el máximo para secas frías de 70 μM en la estación 3 y el mínimo en la boca del sistema de 4.8 μM . Para lluvias y secas frías los máximos se encontraron en la misma estación con valores de 43.4 μM y 46 μM respectivamente y los mínimos en la boca de 0.8 μM y de 8.6 μM respectivamente, esto para la pleamar.

Para la bajamar se presentó un escenario con un gradiente positivo de la boca hacia el interior del sistema. En este caso, en la zona sur fue donde se encontraron los valores más altos, los cuales rebasan los 100 μM y nuevamente presentándose en la estación 3, la cual es somera, y donde el refluo de la marea aunado al viento y el aporte terrígeno elevó las concentraciones de este nutriente hacia el sistema, con valores de 48.3 μM para secas cálidas, 34.3 μM para lluvias y 108.5 μM para secas frías.

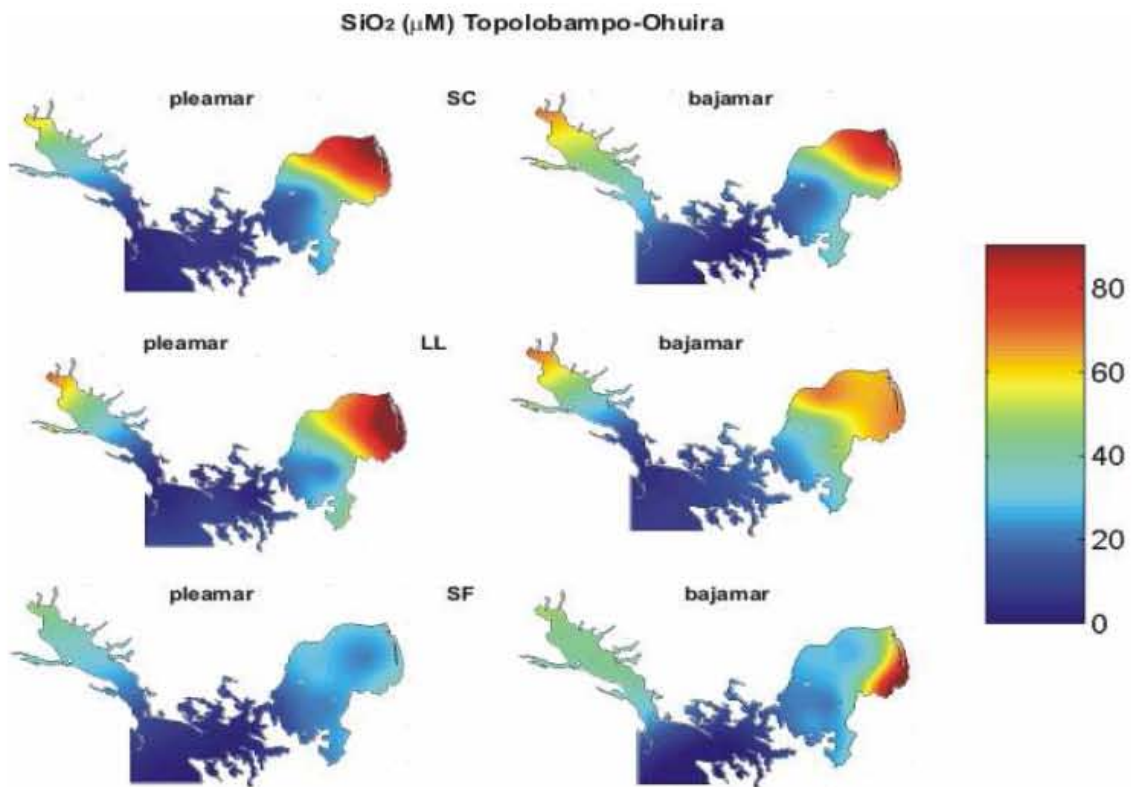


Fig. 43. Distribución de silicatos en las aguas del sistema lagunar Ohuira-Topolobampo-Santa María (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).

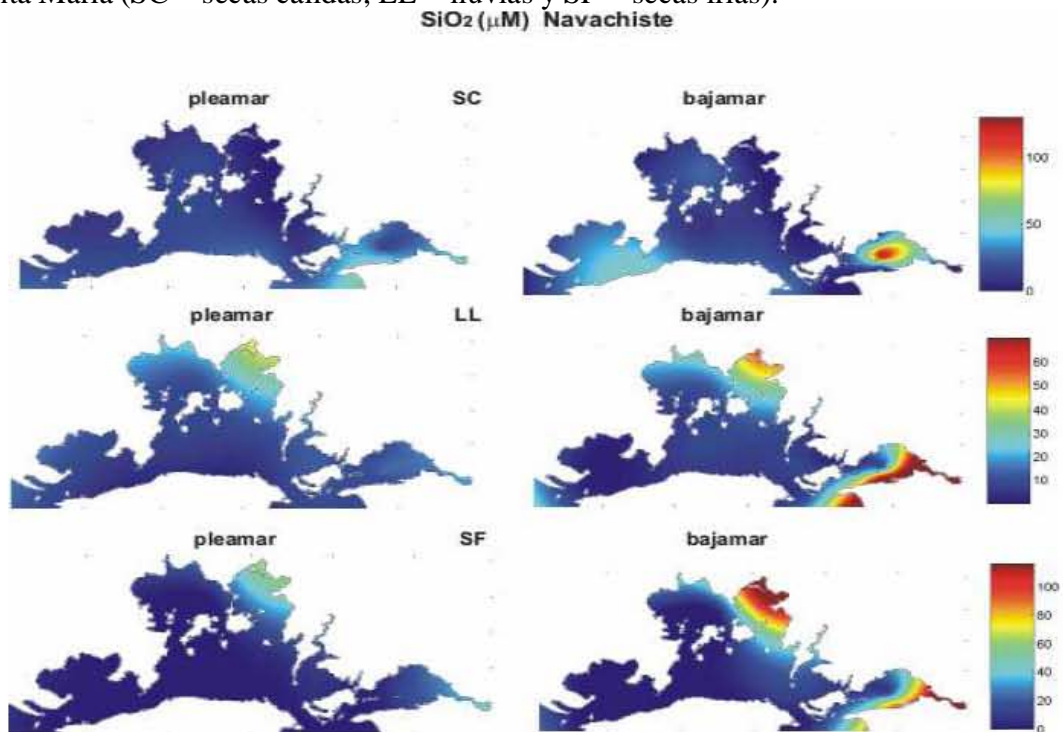


Fig. 44. Distribución de silicatos en las aguas del sistema lagunar Navachiste-San Ignacio-Macapule (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).

En secas cálidas, en el sistema lagunar Santa María-La Reforma (Fig. 45(SC)) se pudo observar que las concentraciones tanto para pleamar, así como para bajamar tuvieron un comportamiento similar, encontrándose las máximas en la estación 6 donde los escurrimientos provenientes del estero del Tule juegan un papel importante, aportando silicatos al sistema, con valores de 36.7 μM para pleamar y 33.6 μM para la bajamar.

Para la época de lluvias (Fig. 45(LL)), las concentraciones más elevadas se encontraron también en el interior del sistema en la estación 10 (16.8 μM) para pleamar y en la bajamar en la estación 9, también en la parte media del sistema, con un valor de 32.5 μM . Para este último período de marea se puede observar una gran cantidad de silicatos en la estación 13, cerca del poblado La reforma, con una concentración de 27.4 μM , probablemente por ser una zona poco profunda en la cual se resuspende material terrígeno con alto contenido de este nutriente, sin embargo las máximas fueron encontradas durante secas frías (Fig. 45(SF)) en la bajamar, teniendo como valor máximo nuevamente el área enfrente del estero del Tule (estación 6) de 106 μM , donde llegan escurrimientos pluviales. Para la pleamar, en esta misma época se pudo observar un comportamiento homogéneo a lo largo de todo el sistema con un promedio de 10.8 μM debido posiblemente a que el agua proveniente del mar no tiene una carga de silicatos elevada como el aporte continental.

Para el sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón (Fig. 46) se puede observar que las concentraciones más altas se localizan en las estaciones más cercanas al continente, aunado esto, se tiene que es la zona más somera del complejo lagunar, pudiendo observar claramente que la zona más profunda (zona norte) esta poco influenciada por el continente y por ende las concentraciones de este nutriente son mucho más bajas que en la zona sur. Aunque el panorama en las tres épocas climáticas es similar, los valores máximos fueron encontrados en secas frías (Fig. 46(SF)) en la parte más lejana a la boca (estación 4) con valores para pleamar de 83.4 μM y 90.8 μM para bajamar y los mínimos en la parte norte del sistema en la estación 19 con valores de 0.58 y 0.7 μM para pleamar y bajamar respectivamente.

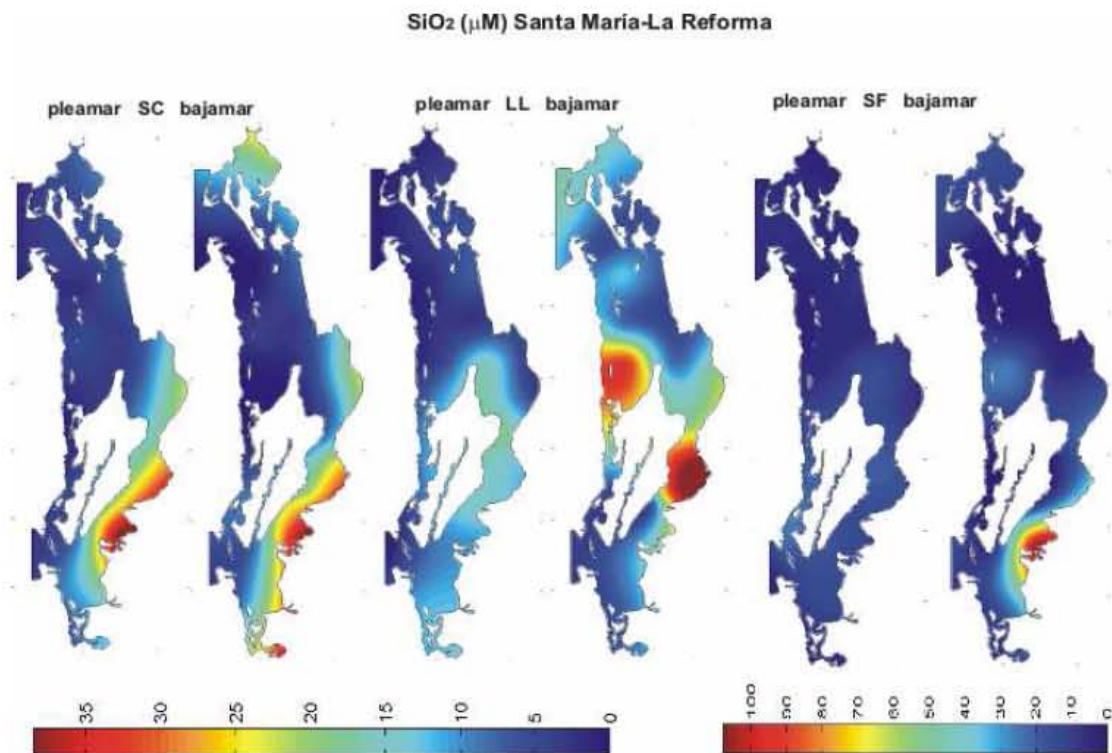


Fig. 45. Distribución de silicatos en las aguas del sistema lagunar Santa María-La Reforma (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).

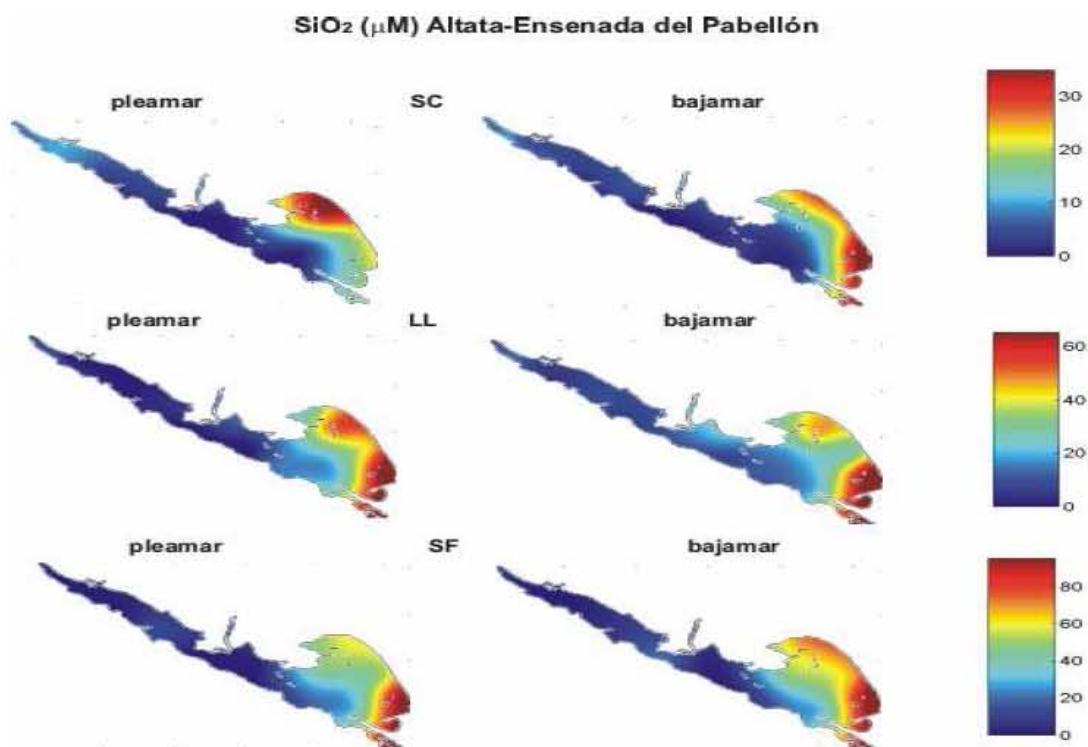


Fig. 46. Distribución de silicatos en las aguas del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).

En secas cálidas para el sistema lagunar Ceuta (Fig. 47(SC)) los valores máximos se encontraron en la estación 7, donde hay entrada de agua dulce, con concentraciones de 55.4 μM y 80.9 μM para pleamar y bajamar, respectivamente, mientras que los escurrimientos de las lluvias (Fig. 47(LL)) introdujeron una cantidad mayor de este nutriente al medio con un valor en la estación 7, en la cabecera del sistema, de 143.9 μM para la pleamar y de 170 μM para bajamar con mínimos en la boca cercanos a los 10 μM .

El sistema se comportó de una forma homogénea en secas frías (Fig. 47(SF)) a excepción de la cabecera, nuevamente presentando esta zona los máximos valores que van de 114 μM para pleamar y de 83.4 μM para bajamar, constatando nuevamente la entrada de este nutriente por esta zona. Esto puede reflejar que el agua dulce proveniente de la cabecera trae una cantidad rica en nutrientes, primordialmente silicatos.

A pesar de que Teacapán se caracteriza por ser un sistema angosto y poco somero, las concentraciones de silicatos en esta laguna tuvieron valores elevados, donde el escurrimiento debido a las lluvias, en esa misma época (Fig. 48(LL)) tuvo los máximos, los cuales se presentaron en la parte media del sistema en la estación 6 para pleamar con una concentración de 65 μM y en la estación 8 para bajamar con un máximo de 70.3 μM , encontrando nuevamente los mínimos en la boca, que van de 3.7 μM y 5.4 μM para pleamar y bajamar, respectivamente.

Los valores para secas cálidas y secas frías (Fig. 48(SC y SF)) fueron similares, donde hay un gradiente que va en aumento conforme uno se va internando al sistema. Los mínimos, encontrados en la boca son, para secas cálidas, de 0.3 μM en pleamar y 0.02 μM para la bajamar, mientras que los máximos, ambos se presentaron en la estación 8 con concentraciones de 51.5 μM y 50.5 μM , respectivamente. Para secas frías, los mínimos desde la boca hasta la estación 5 no rebasaron los 0.02 μM , y los máximos fueron encontrados en la estación 8, en el interior del sistema, de 53.6 μM y 55.5 μM para pleamar y bajamar, respectivamente.

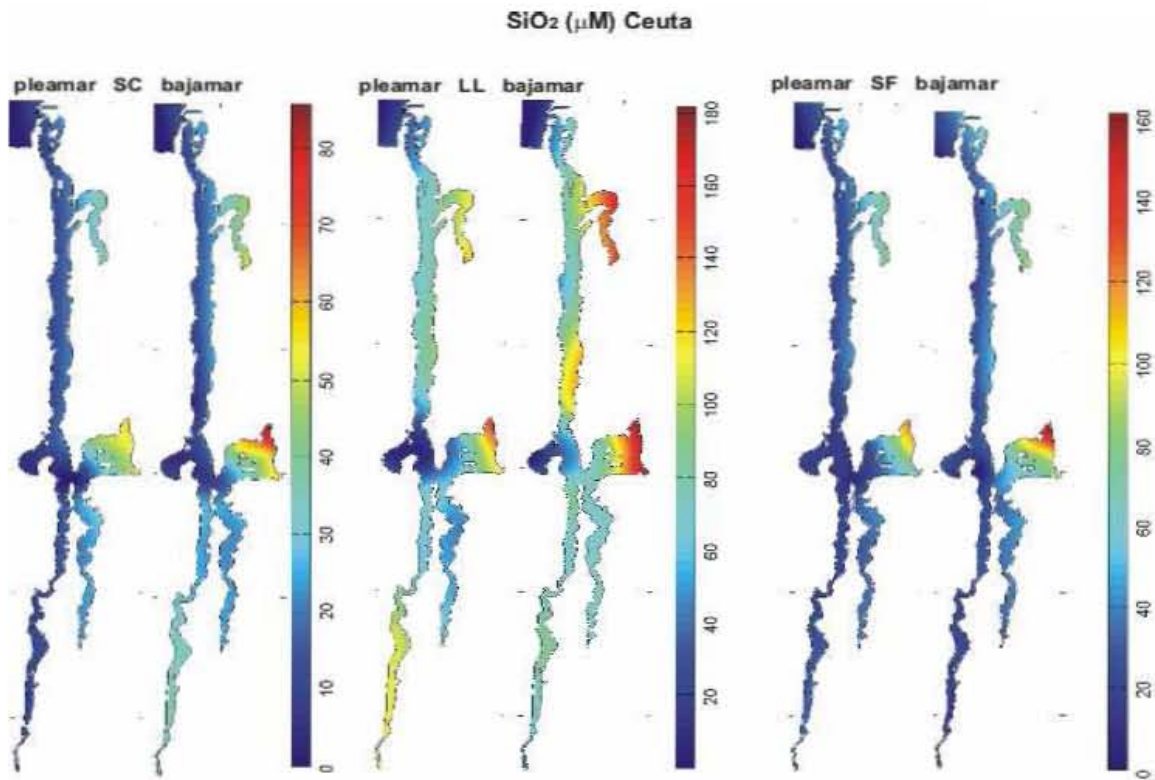


Fig. 47. Distribución de silicatos en las aguas del sistema lagunar Ceuta (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).

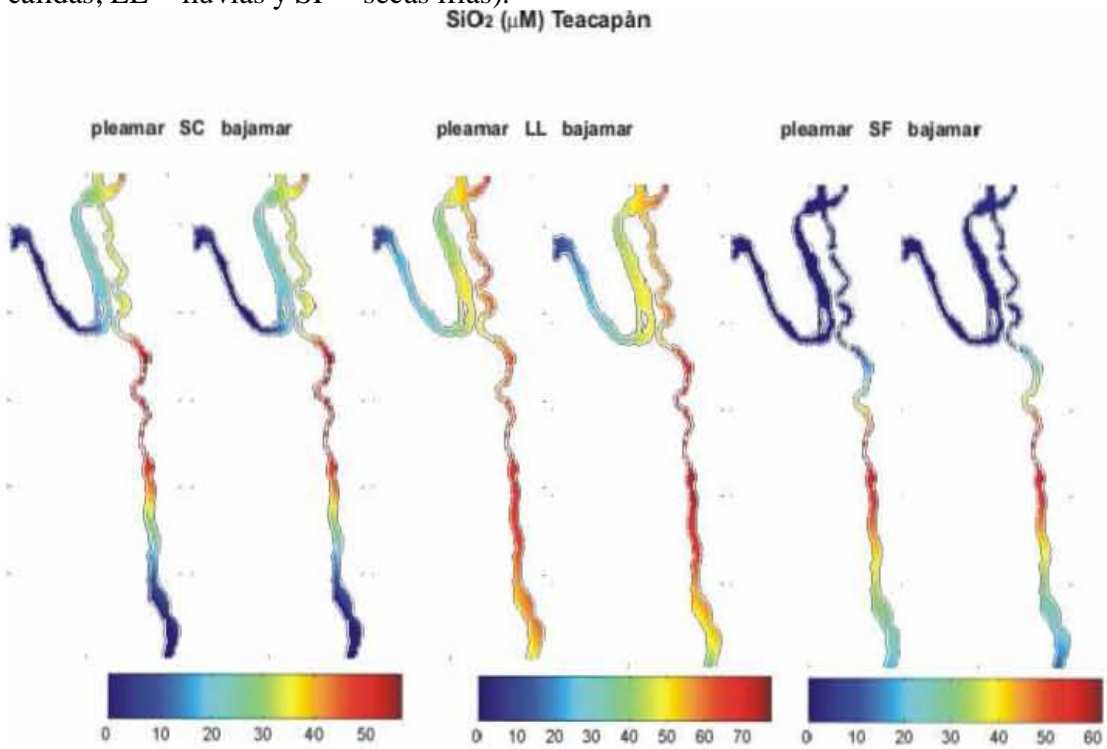


Fig. 48. Distribución de silicatos en las aguas del sistema lagunar Teacapán (SC = secas cálidas; LL lluvias y SF = secas frías).

6.8. Clorofila *a*

Para el caso de secas cálidas en el sistema lagunar Topolobampo-Ohuira (Fig. 49(SC)) la variación diurna de clorofila *a* fue mínima, registrando los valores más altos en la cabecera del sistema, en la estación 1, en la cabecera, posiblemente provocado por las descargas agrícolas cercanas a esa zona (101,708 Ha), con valores de 5.4 mg/m³ y 5.7 mg/m³ para pleamar y bajamar respectivamente. En lluvias (Fig. 49(LL)) se encontraron valores altos, esto para el caso de la bajamar, con una concentración, en la estación 1 de 11.3 mg/m³ con los mínimos, para las tres épocas, en la boca del sistema, donde los valores no rebasan 1 mg/m³, en cambio para secas frías (Fig. 49(SF)), el escenario fue distinto, y se pudo observar que los valores más altos se encuentran en la parte norte del sistema, en bajamar, de 8 mg/m³.

En el caso de Navachiste se puede apreciar claramente que tanto en pleamar como en bajamar las concentraciones más altas de clorofila *a* están distribuidas en la parte sur del sistema, donde los valores máximos se encontraron durante la época de secas cálidas (Fig. 50(SC)), con valores mayores a 10 mg/m³ posiblemente debido a la influencia de la gran actividad acuícola (6,621 Ha) que se presenta en esa región, dando florecimientos algales elevados, mientras que la mayor parte del sistema se mantuvo con una concentración homogénea (*ca.* 2 mg/m³).

Lo mismo se puede observar para las otras dos épocas, tanto para lluvias, así como para secas frías (Fig. 50(LL) y (SF)) encontrando valores que rebasan los 4 mg/m³ y también se pueden observar concentraciones elevadas en la cabecera lagunar, es decir, en el interior del sistema en la estación 1, (3 mg/m³) para pleamar y bajamar. Esto probablemente debido a la influencia de las descargas de drenes agrícolas, ya que en esa zona no se encuentra gran actividad acuícola, mientras que para secas cálidas los valores más altos de la cabecera se dieron en la estación 3, cerca del pueblo El Huitussi que descarga sus aguas sin tratar directamente al sistema. Las mínimas, por su parte, se encontraron en la boca del sistema lagunar.

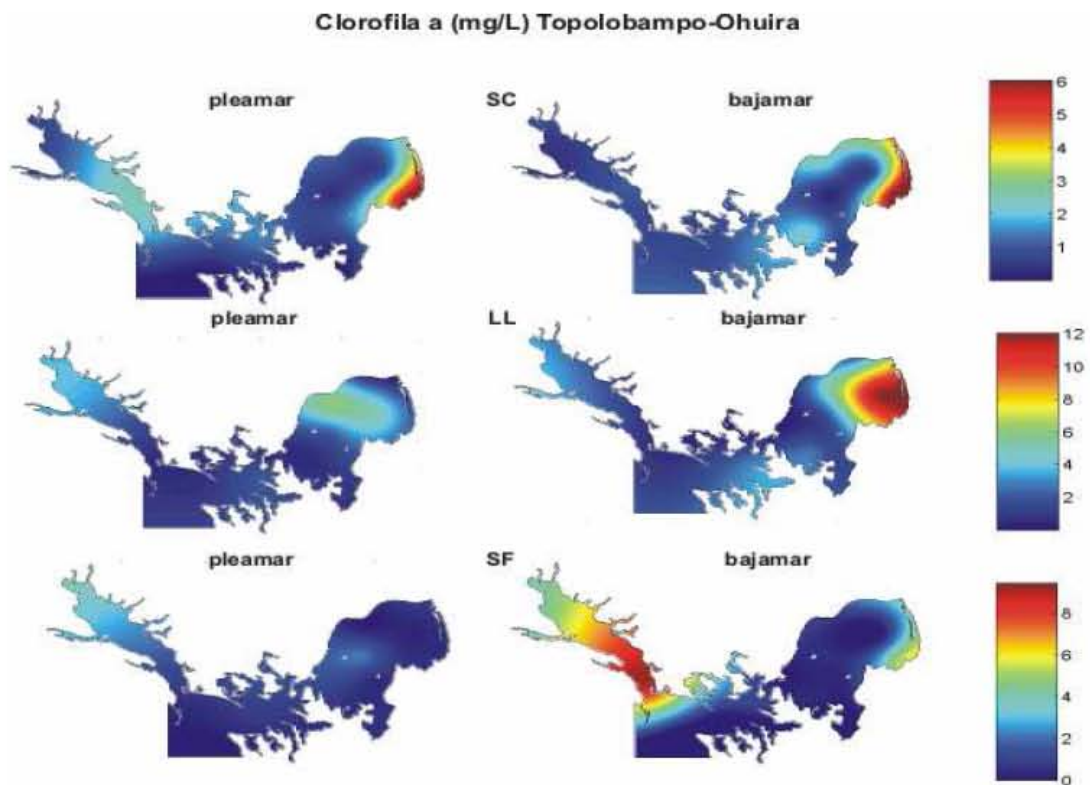


Fig. 49. Distribución de clorofila *a* en las aguas superficiales del sistema lagunar Ohuira-Topolobampo-Santa María (SC = secas cálidas; LL lluvias y SF = secas frías).
Clorofila a (mg/L) Navachiste

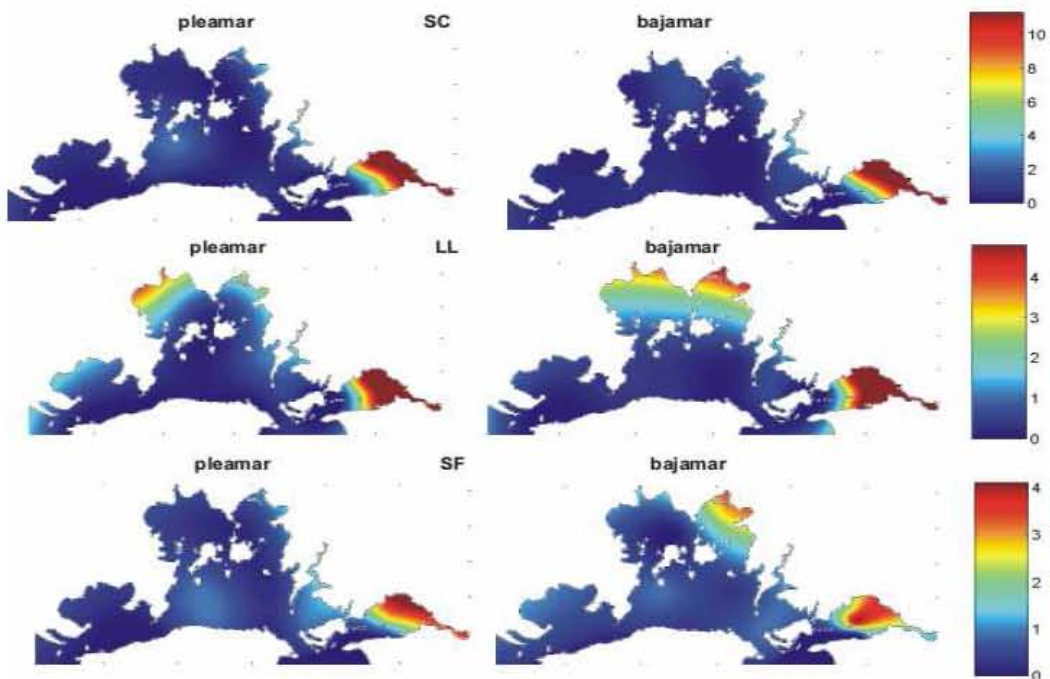


Fig. 50. Distribución de clorofila *a* en las aguas superficiales del sistema lagunar Navachiste-San Ignacio-Macapule (SC = secas cálidas; LL lluvias y SF = secas frías).

Las concentraciones más altas de clorofila *a* para el caso del sistema lagunar Santa María-La Reforma fueron encontrados, en secas cálidas (Fig. 51(SC)) cerca de la estación 6, en el estero del Tule, donde desembocan las aguas municipales provenientes de Culiacán con un valor máximo para pleamar de 5.2 mg/m^3 y 5.5 mg/m^3 para el caso de la bajamar, encontrándose los mínimos de la estación 11 a la estación 20, en la zona norte del sistema. Para la época de lluvias (Fig. 51(LL)), los valores máximos se encontraron en la bajamar, cerca de la estación 8, con valor de 5 mg/m^3 y en la estación 14 con un valor de 3.5 mg/m^3 mientras que la pleamar se comportó de forma homogénea, con valores menores a 2 mg/m^3 .

Un caso peculiar se dio en secas frías (Fig. 51(SF)), donde en la parte sur y en la parte norte se encontraron los valores más altos, probablemente debido a la gran actividad acuícola de esas zonas (7,724 Ha) y posiblemente a que las descargas se estaba llevando a cabo en el momento del muestreo. Para pleamar, la máxima se encontró en la estación 4, siendo de 4 mg/m^3 mientras que en bajamar en la estación 2 tuvo una concentración de 4.5 mg/m^3 .

La parte norte de Altata-Ensenada del Pabellón tiene un comportamiento que difiere bastante al de la parte sur, es decir, Altata (norte) se caracteriza por tener un comportamiento más marino, mientras que Ensenada del Pabellón (sur) tiene un comportamiento más estuarino. La concentración más grande de granjas acuícolas se encuentra aglomerado en la parte sur del sistema, sin embargo en la zona norte también se encuentran varias granjas y asentamientos urbanos que descargan directamente sus efluentes domésticos sin tratar lo cual pudo dar esos patrones tan marcados para secas cálidas y lluvias (Fig. 52(SC) y (LL)) presentando los máximos para cálidas en la estación 21 de 9.5 mg/m^3 para la pleamar, mientras que en bajamar, se extienden los valores más altos desde la estación 15 a la 23, oscilando entre los 6 y 9.5 mg/m^3 .

En el caso de secas frías (Fig. 52(SF)), tanto en pleamar como en bajamar se tuvieron valores de 2.5 a 3 mg/m^3 . También se puede apreciar, para la pleamar, un máximo proveniente del río con un valor de 3 mg/m^3 posiblemente debido a escurrimientos fluviales provenientes de esa zona.

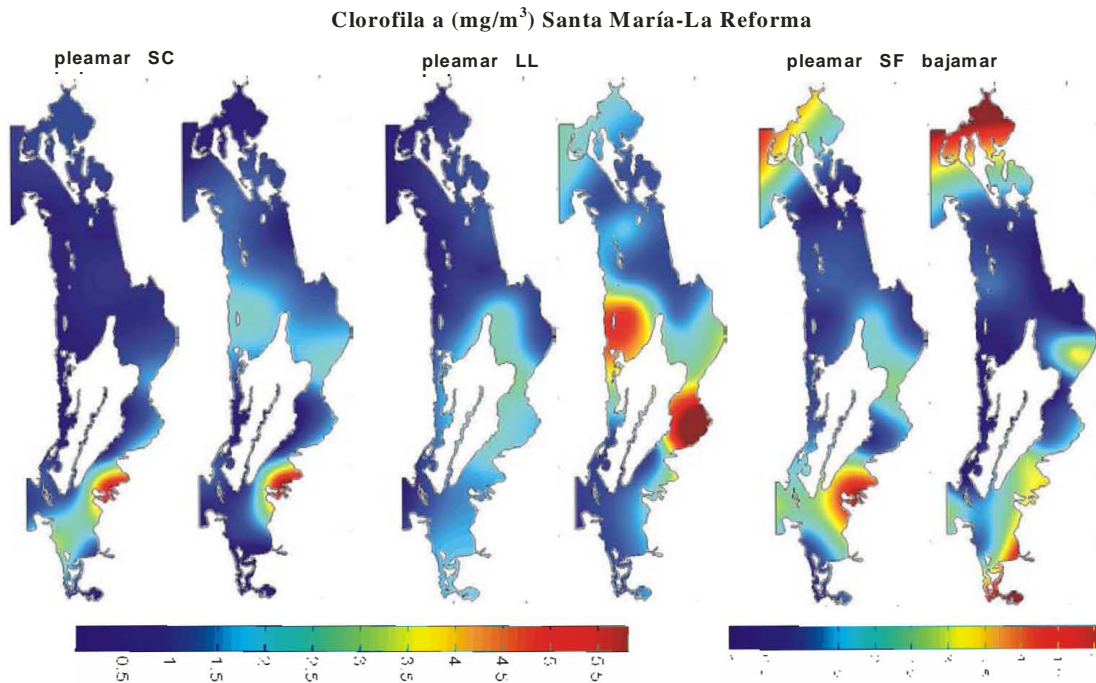


Fig. 51. Distribución de clorofila *a* en las aguas superficiales del sistema lagunar Santa María-La Reforma (SC = secas cálidas; LL lluvias y SF = secas frías).

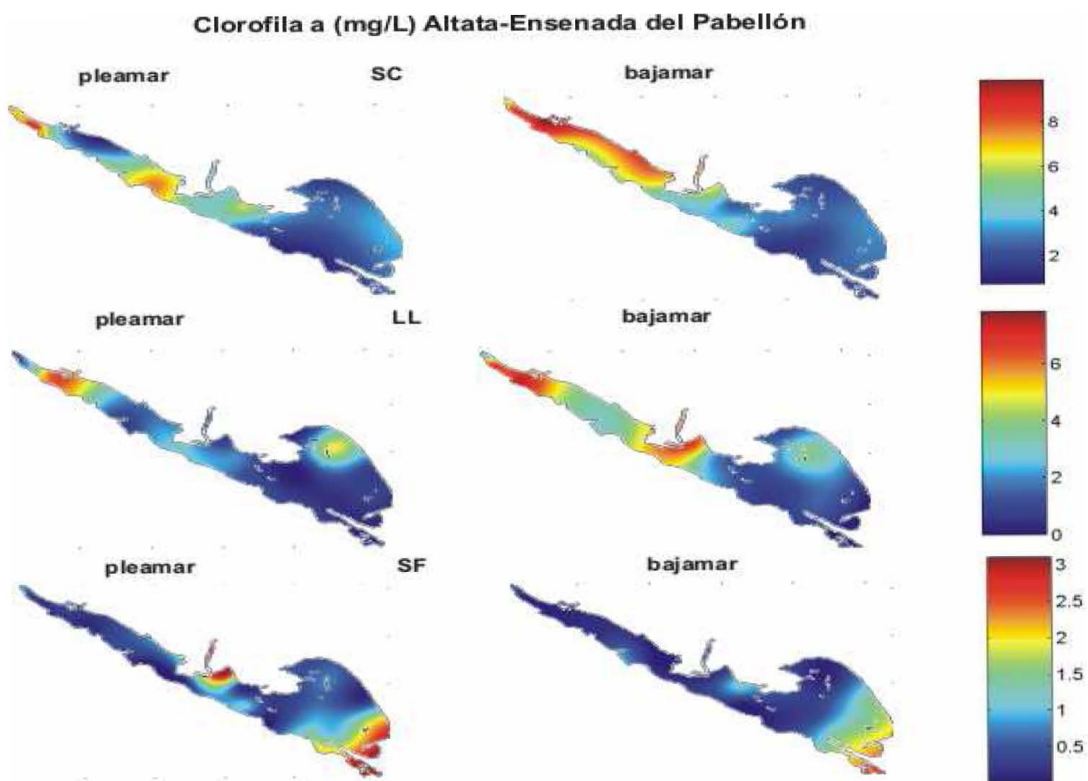


Fig. 52. Distribución de clorofila *a* en las aguas superficiales del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón (SC = secas cálidas; LL lluvias y SF = secas frías).

Para secas cálidas en el sistema lagunar Ceuta (Fig. 53(SC)) los valores más altos se encontraron en pleamar en la estación 3 y en la estación 8, en la cabecera del sistema, que van de 4.8 a 6.4 mg/m³, respectivamente, mientras que en bajamar la máxima se presentó en la estación 6, también en la cabecera, siendo de 5 mg/m³. En lluvias el escenario para ambos períodos de marea fue similar presentándose en ambos casos la máxima en la estación 6 en la cabecera con un valor de 4.3 y 4.9 mg/m³ para pleamar y bajamar, respectivamente.

En un caso exclusivo como el de secas frías (Fig. 53(SF)) los valores más altos se presentaron en los tributarios, en la estación 3, cerca del pueblo de Cospita, esto para la bajamar con un valor de 4.5 mg/m³ y para ambos períodos, en la estación 5 se presentó un pico de clorofila *a* con valores de 3.7 y 2.6 mg/m³ para pleamar y bajamar, respectivamente, siendo la boca la que tuvo las concentraciones mas bajas (0.6 mg/m³).

En el sistema lagunar Teacapán se encontraron valores altos en la zona interior del sistema, especialmente en las dos épocas de secas (Fig. 54(SC) y (SF)) donde el valor máximo para cálidas, en pleamar fue en la estación 3, cercano al pueblo de Teacapán de 6.4 mg/m³ y para la bajamar, el máximo se presentó en la estación 8, en la parte sur, con un valor de 7.6 mg/m³. Mientras que en frías, la pleamar se mantuvo homogénea con valores no mayores a 0.6 mg/m³, en bajamar las máximas se presentaron en la estación 6 con un valor de 8.4 mg/m³. Las mínimas para este sistema siempre se encontraron, durante las tres épocas climáticas, en la boca del mismo, menores a 1 mg/m³.

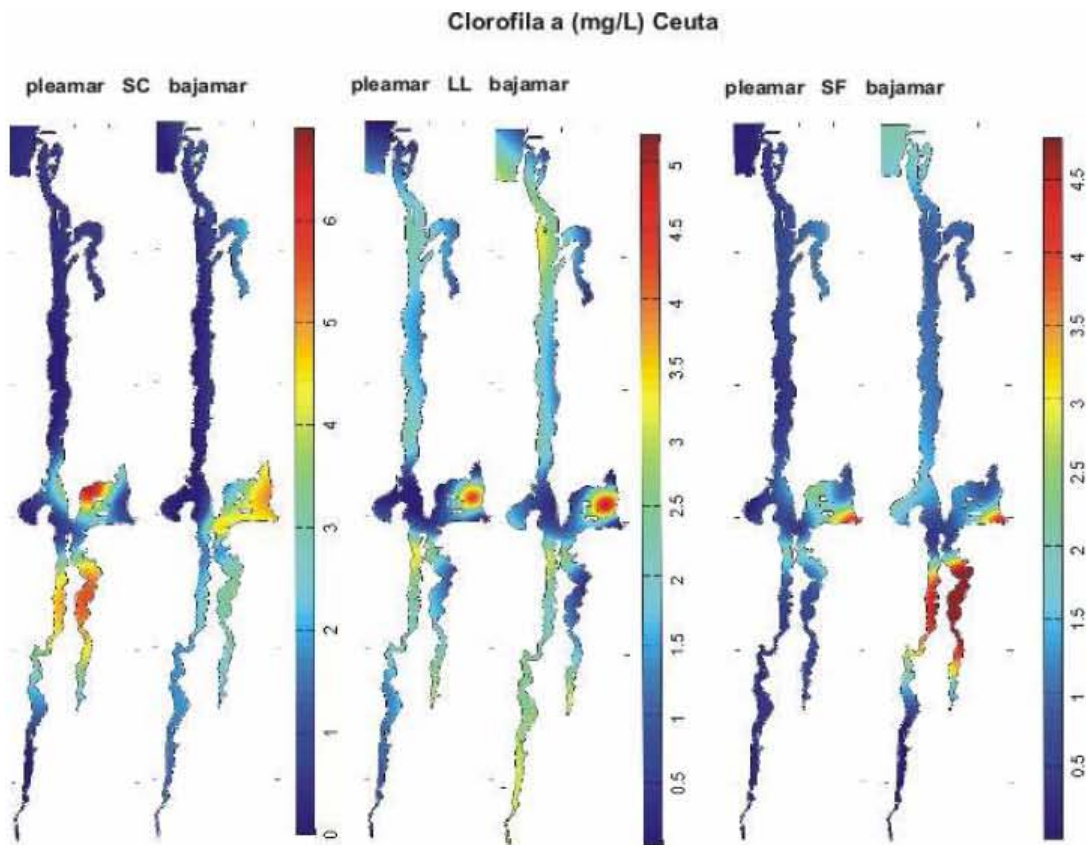


Fig. 53. Distribución de clorofila *a* en las aguas superficiales del sistema lagunar Ceuta (SC = secas cálidas; LL lluvias y SF = secas frías).

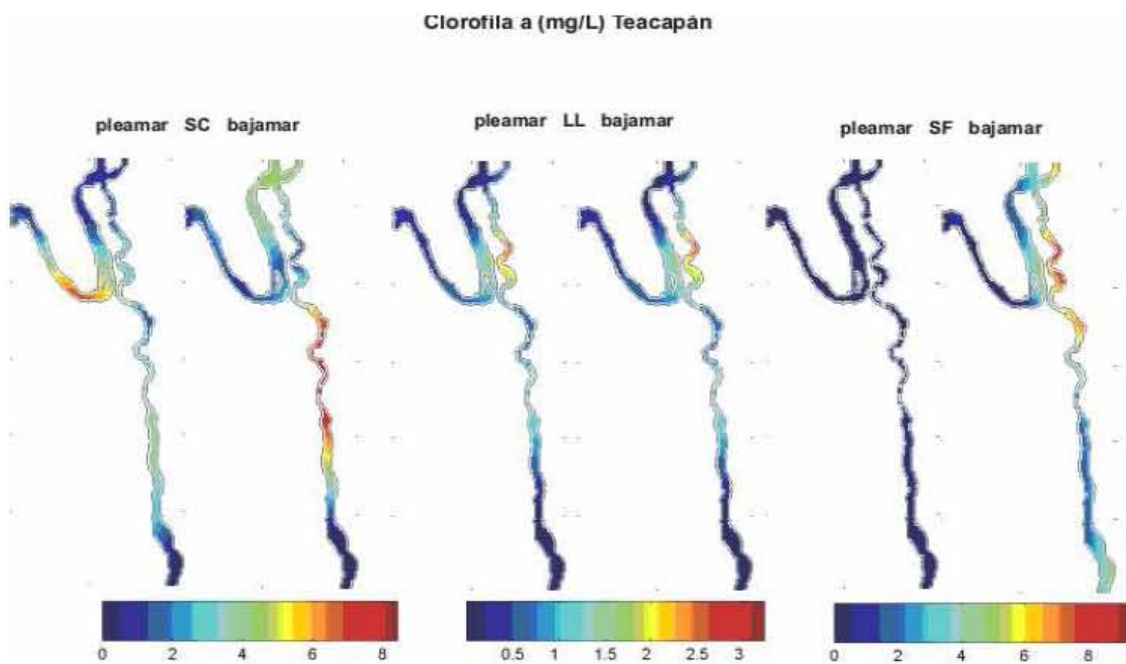


Fig. 54. Distribución de clorofila *a* en las aguas superficiales del sistema lagunar Teacapan (SC = secas cálidas; LL lluvias y SF = secas frías).

Tabla 3. Promedios y desviaciones estándares para cada una de las variables de nutrientes y clorofila *a* en aguas los 6 sistemas lagunares estudiados: OHU: Ohuira-Topolobampo-Santa María; NSI: Navachiste-San Ignacio-Macapule; SMR: Santa María-La Reforma; AEP: Altata-Ensenada del Pabellón; CEU: Ceuta; TEA: Teacapán.

			OHU			NSI			SMR		
			cal	lluvias	frías	cal	lluvias	frías	cal	lluvias	frías
P disuelto μM	p	media	1.8	1.6	0.9	1.2	1.1	1.0	1.5	1.6	0.9
		s	1.0	1.3	0.3	0.7	0.5	0.3	1.1	0.9	0.4
	b	media	2.0	2.0	1.1	0.3	0.9	0.9	1.7	1.0	1.4
		s	0.9	1.5	0.5	0.6	0.4	0.3	1.2	1.2	0.6
	p,b	media	1.9	1.8	1.0	0.8	1.0	1.0	1.6	1.3	1.2
		s	0.9	1.4	0.4	0.6	0.4	0.3	1.2	1.0	0.5
P total μM	p	media	2.2	1.9	1.0	1.7	1.2	1.2	1.8	2.7	1.0
		s	1.0	0.5	0.2	0.4	0.3	0.1	0.8	0.9	0.4
	b	media	3.0	2.0	1.1	1.1	1.3	1.3	3.6	2.2	1.5
		s	0.8	1.2	0.5	0.2	0.3	0.1	1.2	1.0	0.7
	p,b	media	2.6	2.0	1.0	1.4	1.2	1.3	2.7	2.4	1.3
		s	0.9	0.9	0.4	0.3	0.3	0.1	1.0	0.9	0.5
Si μM	p	media	32.8	28.5	21.8	17.6	12.2	7.6	11.2	8.2	10.8
		s	27.5	21.6	10.9	20.5	11.0	12.0	9.4	4.6	6.1
	b	media	34.3	27.3	30.4	16.8	11.4	20.3	10.7	12.2	15.7
		s	23.8	16.7	19.4	14.2	8.7	30.5	9.8	8.4	22.2
	p,b	media	33.6	27.9	26.1	17.2	11.8	14.0	11.0	10.2	13.2
		s	25.6	19.2	15.2	17.3	9.8	21.2	9.6	6.5	14.1
cl <i>a</i> mg/m^3	p	media	1.4	2.1	1.0	0.6	0.6	0.8	0.9	0.7	1.5
		s	1.3	1.8	0.9	0.7	0.9	0.6	1.2	0.9	1.2
	b	media	1.5	2.9	2.3	0.6	0.9	1.2	1.1	0.7	1.3
		s	1.4	2.9	3.1	0.5	1.0	1.1	1.2	0.9	1.3
	p,b	media	1.4	2.5	1.7	0.6	0.8	1.0	1.0	0.7	1.4
		s	1.4	2.3	2.0	0.6	0.9	0.8	1.2	0.9	1.2

continuación Tabla 3

			AEP			CEU			TEA		
			cal	lluvias	frías	cal	lluvias	frías	cal	lluvias	frías
P disuelto μM	p	media	0.6	2.6	2.4	1.5	2.6	2.9	1.3	2.8	0.9
		s	0.4	1.1	0.4	0.4	1.6	1.0	1.0	1.1	0.3
	b	media	1.1	3.0	2.5	1.7	3.8	2.8	1.4	2.6	0.8
		s	0.3	1.0	0.4	0.4	3.3	0.7	1.1	1.2	0.3
	p,b	media	0.9	2.8	2.4	1.6	3.2	2.9	1.3	2.7	0.8
		s	0.4	1.1	0.4	0.4	2.5	0.9	1.1	1.1	0.3
P Total μM	p	media	2.6	3.1	2.5	1.6	2.9	3.1	3.6	4.7	0.9
		s	1.0	0.4	0.4	0.5	1.7	0.9	2.1	1.1	0.3
	b	media	3.4	2.8	2.6	1.3	4.5	3.0	2.5	5.1	0.9
		s	0.8	0.4	0.5	0.4	4.1	0.7	0.3	1.1	0.3
	p,b	media	3.0	2.9	2.5	1.4	3.7	3.0	3.0	4.9	0.9
		s	0.9	0.4	0.4	0.4	2.9	0.8	1.2	1.1	0.3
Si μM	p	media	8.3	15.8	19.0	29.8	68.5	38.7	24.9	45.7	12.1
		s	8.8	17.0	23.2	19.3	35.6	30.6	18.7	21.1	20.6
	b	media	7.7	17.2	22.9	30.1	87.9	33.4	25.1	47.4	13.2
		s	8.3	14.3	26.7	24.9	44.0	20.9	17.4	21.8	20.6
	p,b	media	8.0	16.5	20.9	29.9	78.2	36.0	25.0	46.6	12.6
		s	8.6	15.7	25.0	22.1	39.8	25.7	18.0	21.5	20.6
cl a mg/m ³	p	media	4.4	1.9	0.7	2.8	1.7	1.2	2.7	0.8	0.3
		s	2.5	1.6	0.7	2.1	1.2	1.0	1.7	0.7	0.2
	b	media	4.2	3.2	0.5	2.5	1.9	1.4	3.4	1.4	3.0
		s	2.4	2.2	0.5	1.9	1.3	1.2	2.3	0.8	2.7
	p,b	media	4.3	2.6	0.6	2.6	1.8	1.3	3.0	1.1	1.6
		s	2.5	1.9	0.6	2.0	1.2	1.1	2.0	0.7	1.5

7. Promedio anual para cada una de las variables durante pleamar y bajamar en los 6 sistemas lagunares

7.1. Temperatura

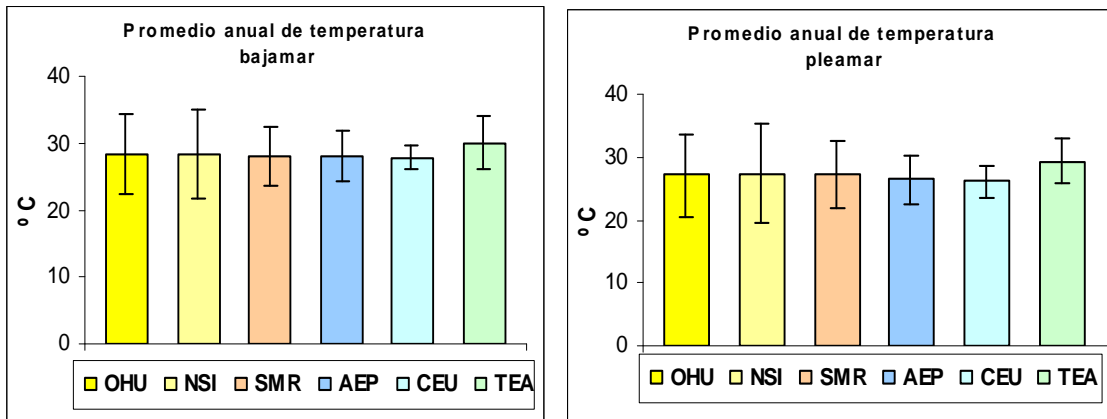


Fig. 55. Promedios y desviación estándar anual de temperatura (°C) para pleamar y bajamar en los 6 sistemas lagunares.

Para el caso de la temperatura (Fig. 55), durante la pleamar, el sistema lagunar más cálido fue Teacapán con una temperatura promedio anual de 29.4 ± 3.4 °C durante pleamar y de 30.0 ± 3.9 °C para la bajamar. Por otra parte, el sistema lagunar Ceuta anualmente tuvo el promedio más frío con valores de 26.1 ± 2.4 °C para pleamar y 27.8 ± 1.7 °C para la bajamar. La temperatura promedio anual durante la pleamar presentó en algunos casos diferencias significativas ($F_{5,250}$, $p < 0.05$). La prueba de Tukey demostró que los valores obtenidos en Teacapán fueron significativamente diferentes con respecto a los de Ceuta y Altata únicamente (Tabla 4), mientras que para la bajamar no hubo diferencias significativas con respecto a la temperatura ($F_{5,247}$, $p = 0.442$).

Tabla 4- Valores de p obtenidos a partir de la aplicación de la prueba de Tukey para la comparación múltiple de los promedios de la temperatura anual durante la pleamar con respecto a cada sistema lagunar. (-) indica que no hay diferencias significativas ($p < 0.05$).

	OHU	NSI	SMR	AEP	CEU	TEA
OHU		-	-	-	-	-
NSI	-		-	-	-	-
SMR	-	-		-	-	-
AEP	-	-	-		-	0.023
CEU	-	-	-	-		0.036
TEA	-	-	-	0.023	0.036	

7.2. Salinidad

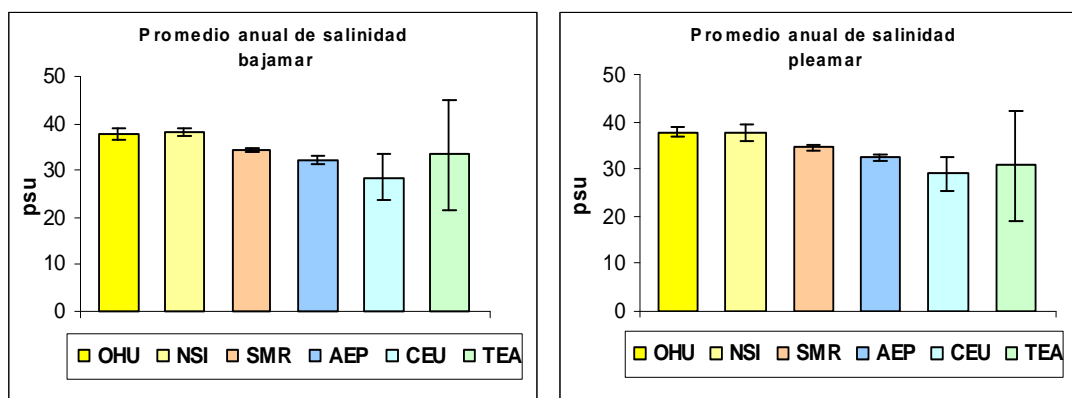


Fig. 56 Promedios y desviación estándar anual de salinidad (ups) para pleamar y bajamar en los 6 sistemas lagunares estudiados.

La diferencia en la salinidad de las aguas de los seis sistemas lagunares (Fig. 56) estuvo marcada por zonas, es decir, los del norte son más salinos que los del sur, esto puede ser probable debido a que estos sistemas son más grandes y un poco más someros que los del sur, por lo que están más sujetos a la evaporación y a que los escurrimientos fluviales son más escasos, teniendo a Navachiste como el sistema más salino con 37.8 ± 1.6 ups durante la pleamar sin mucho cambio durante la bajamar con un valor de 38.2 ± 0.8 ups.

Dentro de las menos salinas se encuentran Ceuta y Teacapán. Para el caso de Ceuta los valores para pleamar y bajamar fueron 29.1 ± 3.6 ups y 28.5 ± 4.7 ups, respectivamente mientras que para Teacapán los valores fueron de 30.7 ± 11.5 ups para el caso de la pleamar y de 33.6 ± 11.6 ups para bajamar. La salinidad esta determinada por el balance de

las aguas dulces que son descargadas, el volumen del cuerpo lagunar, la tasa de recambio o intercambio con el Golfo de California, la tasa de precipitación y la tasa de evaporación.

Tabla 5. Categorización de acuerdo al régimen salino (ΔS) de cada uno de los seis sistemas lagunares estudiados. Los valores en negrita indican sistemas antiestuarinos: SC (secas cálidas); LL (lluvias) y SF (secas frías).

Laguna	ΔS		
	Secas cálidas	Lluvias	Secas frías
OHU	-2.6	-3.4	-1.5
NSI	-1.8	-2.2	-4.2
SMR	0.15	0.9	-3.2
AEP	2.4	2.5	3.9
CEU	2.7	11.2	3.9
TEA	-7.2	9.15	3.7

Los sistemas lagunares del Norte (Ohuira-Topolobampo-Santa María y Navachiste-San Ignacio Macapule) se comportan como sistemas antiestuarinos, es decir, tienen un ΔS negativo que indica que la salinidad del sistema es mayor a la salinidad de las aguas del Golfo de California (Roden & Emilsson, 1980).

En otros casos como son los del sistema lagunar Santa María-La Reforma y Teacapán, presentan variaciones en su ΔS dependiendo de la época del año, comportándose, el primero como sistema antiestuarino durante secas frías, mientras que Teacapán tuvo el mismo comportamiento en secas cálidas.

Tabla 6. Valores de p obtenidos a partir de la aplicación de la prueba de Tukey para la comparación múltiple de los promedios de la salinidad anual durante la pleamar con respecto a cada sistema lagunar. (-) indica que no hay diferencias significativas ($p < 0.05$).

	OHU	NSI	SMR	AEP	CEU	TEA
OHU		-	-	<0.01	<0.01	0.01
NSI	-		-	<0.01	<0.01	0.03
SMR	-	-		<0.01	<0.01	-
AEP	<0.01	<0.01	<0.01		<0.01	0.01
CEU	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01		<0.01
TEA	0.01	0.03	-	0.01	<0.01	

La salinidad promedio anual encontrada durante la pleamar presentó algunas diferencias significativas ($F_{5,277}$, $p < 0.05$); la prueba de Tukey demostró que los promedios obtenidos en la mayoría de los sistemas lagunares fueron significativamente diferentes (Tabla 6), mientras que para la bajamar se encontraron diferencias entre las lagunas del norte (Ohuira-Topolobampo-Santa María; Nacachiste-San Ignacio-Macapule y Santa María-La Reforma) con respecto a las del Sur (Altata-Ensenada del Pabellón; Ceuta y Teacapán ($F_{5,267}$, $p < 0.05$) (Tabla 7)).

Tabla 7. Valores de p obtenidos a partir de la aplicación de la prueba de Tukey para la comparación múltiple de los promedios de la salinidad anual durante la bajamar con respecto a cada sistema lagunar. (-) indica que no hay diferencias significativas ($p < 0.05$).

	OHU	NSI	SMR	AEP	CEU	TEA
OHU		-	-	<0.01	<0.01	<0.01
NSI	-		-	<0.01	<0.01	<0.01
SMR	-	-		<0.01	<0.01	<0.01
AEP	<0.01	<0.01	<0.01		<0.01	-
CEU	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01		-
TEA	<0.01	<0.01	<0.01	-	-	

7.3. Oxígeno disuelto

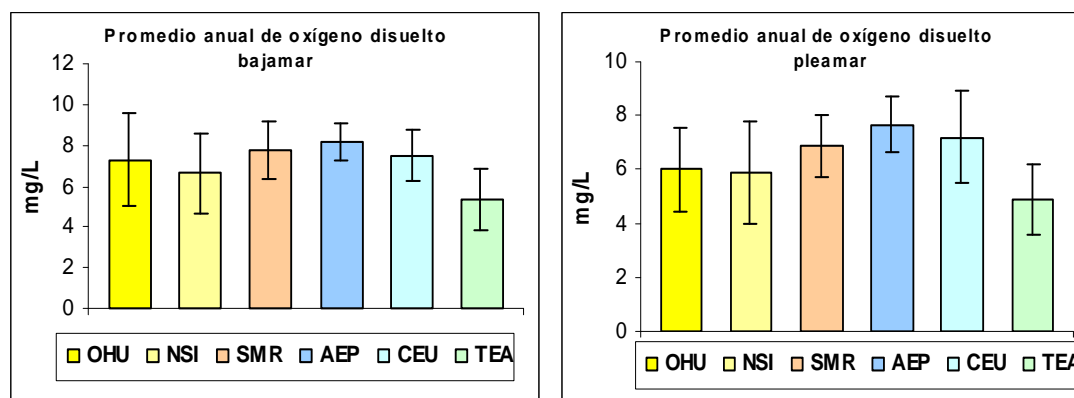


Fig. 57. Promedios y desviación estándar anual del oxígeno disuelto (mg/L) para pleamar y bajamar en las aguas de los 6 sistemas lagunares estudiados.

El oxígeno disuelto es una medida integral de la salud y función del hábitat del ecosistema. El oxígeno disuelto en aguas de fondo describe de forma indirecta la disponibilidad de éste para organismos bentónicos y pelágicos que se alimentan en el fondo. La falta de oxígeno en el agua de fondo puede causar que el sedimento libere nutrientes hacia la columna de agua, incluyendo ortofosfatos, amonio y sulfuro de hidrógeno (USEPA, 2000).

De los seis sistemas muestreados, el que presentó valores altos de oxígeno disuelto, tanto en pleamar como en bajamar (Fig. 57) fue Altata-Ensenada del Pabellón con valores de 7.7 ± 1.0 mg/L y 8.1 ± 0.9 mg/L, respectivamente. Algo probable que ocurra es que, como la zona sur de esta laguna (Ensenada del Pabellón) se caracteriza por ser poco profunda, cuando hay reflujos de marea y viento se presente una mezcla en la columna de agua que hace que esta se oxigene, mientras que la parte norte, que tiene un comportamiento diferente, se conecta con el mar a través de la boca, lo que hace que haya un intercambio laguna-océano más dinámico que le permite con cierta facilidad recibir agua oceánica bien oxigenada.

El mínimo de oxígeno a nivel sistema se presentó en Teacapán, teniendo durante la pleamar un valor de 4.9 ± 1.3 mg/L y en bajamar 5.3 ± 1.5 mg/L. Esto puede ser causado, en parte por el exceso de materia orgánica que se está oxidando y también debido a los

florecimientos fitoplactónicos encontrados en este sistema, además de su morfología alargada y estrecha como un canal que provoca que el intercambio con el mar sea reducido.

El promedio anual de oxígeno disuelto durante la pleamar presentó diferencias significativas entre todas las lagunas ($F_{5,277}$, $p < 0.05$). La prueba de Tukey demostró que los valores obtenidos en todos los sistemas lagunares fueron significativamente diferentes (Tabla 8), mientras que para la bajamar el sistema lagunar Teacapán fue el único que presentó diferencias con respecto a todos los sistemas lagunares ($F_{5,267}$, $p < 0.05$) (Tabla 9)).

Tabla 8. Valores de p obtenidos a partir de la aplicación de la prueba de Tukey para la comparación múltiple de los promedios anuales del oxígeno disuelto durante la pleamar con respecto a cada sistema lagunar. (-) indica que no hay diferencias significativas ($p < 0.05$).

	OHU	NSI	SMR	AEP	CEU	TEA
OHU		-	0.018	-	<0.01	0.018
NSI	-		0.014	-	<0.01	-
SMR	0.018	0.014		-	-	<0.01
AEP	-	-			-	<0.01
CEU	<0.01	<0.01	-	-		<0.01
TEA	0.018	-	<0.01	<0.01	<0.01	

Tabla 9. Valores de p obtenidos a partir de la aplicación de la prueba de Tukey para la comparación múltiple de los promedios anuales de oxígeno disuelto durante la bajamar con respecto a cada sistema lagunar. (-) indica que no hay diferencias significativas ($p < 0.05$).

	OHU	NSI	SMR	AEP	CEU	TEA
OHU	-	-	-	-	-	<0.01
NSI	-	-	-	-	-	0.027
SMR	-	-	-	-	-	<0.01
AEP	-	-	-	-	-	<0.01
CEU	-	-	-	-	-	<0.01
TEA	<0.01	0.027	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

7.4. Sólidos suspendidos totales

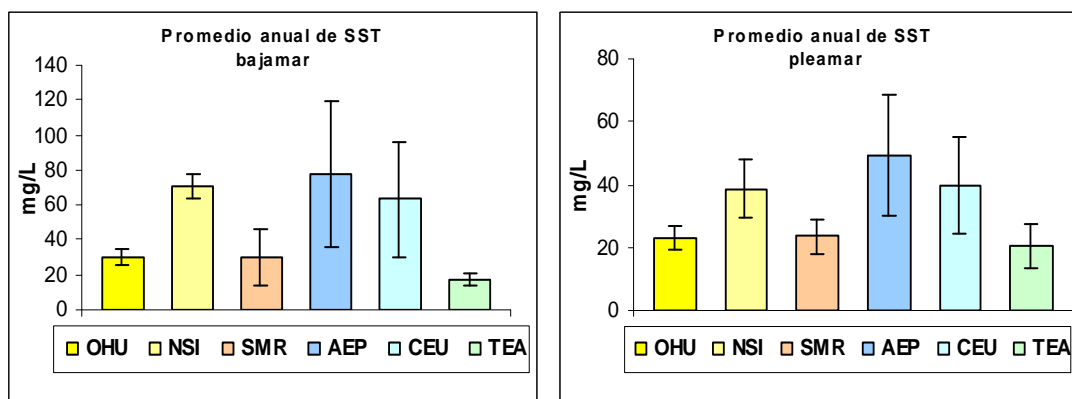


Fig. 58. Promedios y desviación estándar anual de sólidos suspendidos totales (mg/L) para pleamar y bajamar en las aguas de los 6 sistemas lagunares estudiados.

Los sólidos suspendidos totales en particular están asociados al suministro del aporte de terrígenos acarreados por los escurrimientos y a consecuencia de los efectos físicos provocados por el viento y las altas velocidades de corriente de marea con (flujo y refluo), la poca profundidad, y también con el tipo de sedimento que puede ser o no fácilmente suspendido.

El sistema lagunar que presentó concentraciones más altas de sólidos suspendidos totales fue Altata-Ensenada del Pabellón (Fig. 58), teniendo, en el caso de la pleamar 49.4 ± 19.3 mg/L y para bajamar 77.7 ± 41.5 mg/L. La zona sur (Ensenada del Pabellón) es somera y por ello se resuspende con facilidad el sedimento a la columna de agua evitando el paso de

la luz, lo cual pudiera afectar tanto a la fauna como a la vegetación acuática sumergida. Sin embargo, la zona norte es más profunda y tiene un comportamiento, con respecto a esta variable, diferente, encontrando concentraciones bajas de sólidos suspendidos totales.

Las concentraciones más bajas se encontraron en el sistema lagunar Teacapán, el cual difiere en características morfológicas con el sistema antes mencionado, por ejemplo, es más profundo y es más angosto. Los valores encontrados para Teacapán son de 20.2 ± 7.1 mg/L y de 17.4 ± 3.1 mg/L para pleamar y bajamar, respectivamente.

El promedio anual de sólidos suspendidos totales durante la pleamar, presentó diferencias significativas solamente entre el sistema lagunar Altata y Santa María La Reforma ($F_{5,277}$, $p < 0.05$). La prueba de Tukey demostró que los valores de p obtenidos en estos dos sistemas lagunares fueron significativamente diferentes (Tabla 10), mientras que para la bajamar no hubo diferencias significativas ($F_{5,267}$, $p > 0.05$).

Tabla 10. Valores de p obtenidos a partir de la aplicación de la prueba de Tukey para la comparación múltiple de los promedios anuales de los sólidos suspendidos durante la pleamar con respecto a cada sistema lagunar. (-) indica que no hay diferencias significativas ($p < 0.05$).

	OHU	NSI	SMR	AEP	CEU	TEA
OHU		-	-	-	-	-
NSI	-		-	-	-	-
SMR	-	-		0.03	-	-
AEP	-	-	0.03		-	-
CEU	-	-	-	-		-
TEA	-	-	-	-	-	

7.5. Fósforo disuelto

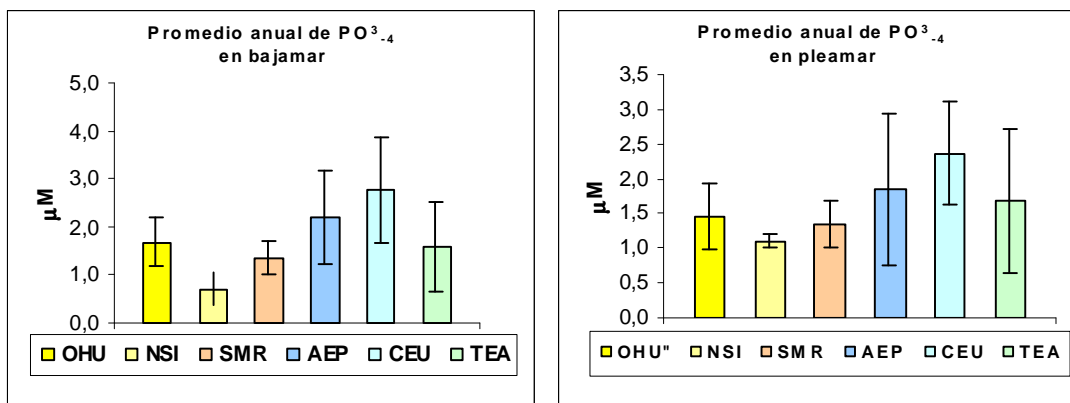


Fig. 59. Promedios y desviación estándar anual de fósforo disuelto (μM) para pleamar y bajamar en las aguas de los 6 sistemas lagunares estudiados.

La forma más común del fósforo en aguas naturales y residuales es el fosfato, una de estas es el ortofosfato, el cual es esencial para el crecimiento de organismos y puede ser limitante para la producción primaria en algunos estuarios y sistemas marinos costeros (Cloern, 1999).

Ceuta, uno de los sistemas lagunares más estrechos y que consiste en una serie de canales ramificados la cual tiene una boca angosta fue la que presentó concentraciones altas de ortofosfato (Fig. 59), probablemente debido a que está rodeada de granjas acuícolas y predios agrícolas y el intercambio de agua con el océano es pobre, además de que existen varios asentamientos rurales a sus alrededores que descargan sus aguas sin tratar directamente al sistema. Los valores encontrados en este sistema fueron, durante pleamar de $2.4 \pm 0.7 \mu\text{M}$ y para bajamar de $2.8 \pm 1.1 \mu\text{M}$.

Por otro lado, el sistema lagunar Navachiste presentó los valores más bajos, aunque es uno de los sistemas que tienen más actividad acuícola, el tamaño de la boca puede ser el principal responsable del tiempo de residencia bajo de este nutriente y/o bien que este siendo asimilado por el fitoplancton y/o depositado, y por ende las concentraciones en sus aguas son bajas, encontrándose para pleamar un valor de $1.1 \pm 0.1 \mu\text{M}$ y $0.7 \pm 0.3 \mu\text{M}$ para bajamar.

El promedio anual de fósforo disuelto durante la pleamar presentó diferencias significativas entre el sistema lagunar Ceuta con respecto a los sistemas Ohuira-Topolobampo-Santa María; Navachiste-San Ignacio-Macapule y Santa María-La Reforma y el sistema lagunar Navachiste con los sistemas Altata-Ensenada del Pabellón y Ceuta ($F_{5,277}$, $p < 0.05$). La prueba de Tukey demostró que los promedios obtenidos para estos sistemas lagunares fueron significativamente diferentes (Tabla 11), encontrándose diferencias entre los sistemas similares para la bajamar ($F_{5,267}$, $p < 0.05$) (Tabla 12)).

Tabla 11. Valores de p obtenidos a partir de la aplicación de la prueba de Tukey para la comparación múltiple de los promedios anuales de fósforo disuelto durante la pleamar con respecto a cada sistema lagunar. (-) indica que no hay diferencias significativas ($p < 0.05$).

	OHU	NSI	SMR	AEP	CEU	TEA
OHU		-	-	-	<0.01	-
NSI	-		-	0.011	<0.01	-
SMR	-	-		-	<0.01	-
AEP	-	0.011	-		-	-
CEU	<0.01	<0.01	<0.01	-		-
TEA	-	-	-	-	-	

Tabla 12. Valores de p obtenidos a partir de la aplicación de la prueba de Tukey para la comparación múltiple de los promedios anuales de fósforo disuelto durante la bajamar con respecto a cada sistema lagunar. (-) indica que no hay diferencias significativas ($p < 0.05$).

	OHU	NSI	SMR	AEP	CEU	TEA
OHU		-	-	-	<0.01	-
NSI	-		-	0.011	<0.01	-
SMR	-	-		-	<0.01	-
AEP	-	0.011	-		-	-
CEU	<0.01	<0.01	<0.01	-		-
TEA	-	-	-	-	-	

7.6. Fósforo total

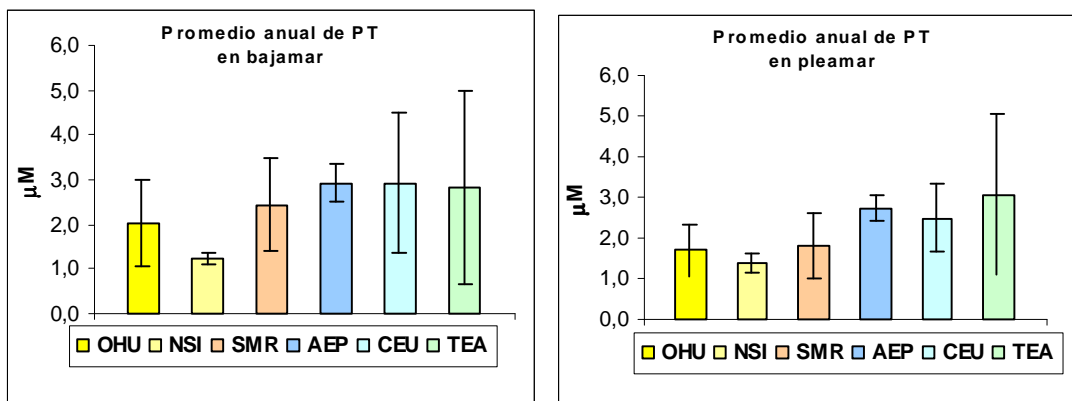


Fig. 60. Promedios y desviación estándar anual de fósforo total (μM) para pleamar y bajamar en las aguas de los 6 sistemas lagunares estudiados.

Un suministro de este nutriente hacia los sistemas costeros, tiene que ver con los detergentes y la actividad agrícola, donde se puede presentar en su forma inorgánica disuelta así como también su forma particulada, alterando la proporción DIN:DIP. Aunque la forma predilecta del fitoplancton sea el ortofosfato, algunas asimilaciones de fósforo orgánico pueden ocurrir, especialmente cuando hay períodos de deficiencia de este nutriente (Boynton *et al.*, 1982).

Para el caso del fósforo total, las tres lagunas del sur fueron las que presentaron los niveles altos de este nutriente (Fig. 60), teniendo como máximo, durante la pleamar al sistema lagunar Teacapán $3.07 \pm 1.96 \mu\text{M}$ y Altata-Ensenada del Pabellón $2.73 \pm 0.31 \mu\text{M}$ y para la bajamar el sistema Altata-Ensenada del Pabellón $2.93 \pm 0.43 \mu\text{M}$ y Ceuta con $2.93 \pm 1.58 \mu\text{M}$.

Navachiste fue el sistema lagunar que menos concentración de fósforo total en sus aguas tuvo, posiblemente debido a las mismas causas explicadas previamente por las cuales casi no se encontró ortofosfato, con concentraciones, en pleamar de $1.37 \pm 0.25 \mu\text{M}$ y $1.23 \pm 0.12 \mu\text{M}$ para bajamar.

El promedio anual de fósforo total durante la pleamar presentó diferencias significativas entre el sistema lagunar Ohuira-Topolobampo-Santa María con respecto a los sistemas

lagunares del Sur y el sistema lagunar Navachiste con los sistemas Santa María-La Reforma; Altata-Ensenada del Pabellón; Ceuta y Teacapán ($F_{5,277}$, $p < 0.05$). La prueba de Tukey demostró que los valores de p obtenidos para estos sistemas lagunares fueron significativamente diferentes (Tabla 13). Para la bajamar, las diferencias encontradas las entre los sistemas fueron las mismas, con la excepción de que no hubo diferencia significativa entre el sistema lagunar Ohuira-Topolobampo-Santa María con respecto a el sistema lagunar Teacapán ($F_{5,267}$, $p < 0.05$) (Tabla 14)).

Tabla 13. Valores de p obtenidos a partir de la aplicación de la prueba de Tukey para la comparación múltiple de los promedios anuales de fósforo total durante la pleamar con respecto a cada sistema lagunar. (-) indica que no hay diferencias significativas ($p < 0.05$).

	OHU	NSI	SMR	AEP	CEU	TEA
OHU		-	-	<0.01	<0.01	<0.01
NSI	-		0.017	<0.01	<0.01	<0.01
SMR	-	0.017		<0.01	-	<0.01
AEP	<0.01	<0.01	<0.01		-	-
CEU	<0.01	<0.01	-	-		-
TEA	<0.01	<0.01	<0.01	-	-	

Tabla 14. Valores de p obtenidos a partir de la aplicación de la prueba de Tukey para la comparación múltiple de los promedios anuales de fósforo total durante la bajamar con respecto a cada sistema lagunar. (-) indica que no hay diferencias significativas ($p < 0.05$).

	OHU	NSI	SMR	AEP	CEU	TEA
OHU		-	-	<0.01	0.024	-
NSI	-		0.027	<0.01	<0.01	<0.01
SMR	-	0.027		-	-	-
AEP	<0.01	<0.01	-		-	-
CEU	0.024	<0.01	-	-		-
TEA	-	<0.01	-	-	-	

7.7. Silicatos

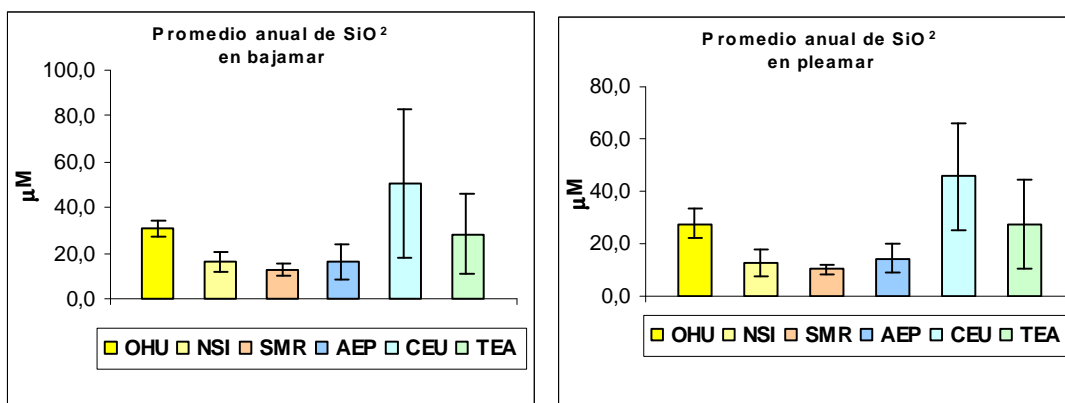


Fig. 61. Promedios y desviación estándar anual de la concentración de silicatos (μM) para los dos períodos de marea en las aguas de los 6 sistemas lagunares estudiados.

El sílice, como nutriente es importante para el crecimiento algal, ha tenido menos estudios sobre la importancia en el enriquecimiento estuarino que el nitrógeno y el fósforo. Otro factor que hace que sea menos estudiado es que esencialmente no hay fuentes antrópicas de éste hacia los sistemas costeros (Officer y Ryther, 1980). Los resultados encontrados indican que los valores máximos de silicatos se presentaron en el sistema lagunar Ceuta (Fig. 61), presentando valores de $45.6 \pm 20.3 \mu\text{M}$ para el caso de la pleamar y $50.4 \pm 32.5 \mu\text{M}$ para bajamar. Es probable que estos valores se deba a que este cuerpo de agua recibe constantemente escurrimientos de agua dulce y este sea el medio por el cual reciba este nutriente.

En el caso opuesto, la laguna que menor concentración de silicatos tuvo a lo largo del año fue el sistema lagunar Santa María-La Reforma con un valor de $10.0 \pm 1.6 \mu\text{M}$ para pleamar y $12.8 \pm 2.5 \mu\text{M}$ para el caso de la bajamar. Esto puede ser debido a que el sistema lagunar es grande y las entradas de aguas dulce, los escurrimientos son escasos y tiene probablemente una tasa de recambio de agua elevada dado el tamaño de sus bocas motivo por el cual las concentraciones son relativamente bajas.

El promedio anual de la concentración de silicatos durante la pleamar presentó diferencias significativas entre el sistema lagunar Ohuira-Topolobampo-Santa María con respecto a los

sistemas lagunares Ceuta y Teacapán y estos últimos con respecto a Navachiste-San Ignacio-Macapule; Santa María-La Reforma y Altata-Ensenada del Pabellón ($F_{5,277}$, $p < 0.05$). La prueba de Tukey demostró que los promedios encontrados para estos sistemas lagunares fueron significativamente diferentes (Tabla 15). Para la bajamar, el sistema lagunar Ceuta fue el que tuvo diferencias significativas con todos los sistemas lagunares ($F_{5,267}$, $p < 0.05$) (Tabla 16).

Tabla 15. Valores de p obtenidos a partir de la aplicación de la prueba de Tukey para la comparación múltiple de los promedios anuales de silicatos durante la pleamar con respecto a cada sistema lagunar. (-) indica que no hay diferencias significativas ($p < 0.05$).

	OHU	NSI	SMR	AEP	CEU	TEA
OHU		<0.01	<0.01	<0.01	-	-
NSI	<0.01		-	-	<0.01	0.035
SMR	<0.01	-		-	<0.01	<0.01
AEP	<0.01	-	-		<0.01	0.044
CEU	-	<0.01	<0.01	<0.01		-
TEA	-	0.035	<0.01	0.044	-	

Tabla 16. Valores de p obtenidos a partir de la aplicación de la prueba de Tukey para la comparación múltiple de los promedios anuales de silicatos durante la bajamar con respecto a cada sistema lagunar. (-) indica que no hay diferencias significativas ($p < 0.05$).

	OHU	NSI	SMR	AEP	CEU	TEA
OHU		-	<0.01	0.019	<0.01	-
NSI	-		-	-	<0.01	-
SMR	<0.01	-		-	<0.01	-
AEP	0.019	-	-		<0.01	-
CEU	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01		<0.01
TEA	-	-	-	-	<0.01	

7.8. Clorofila *a*

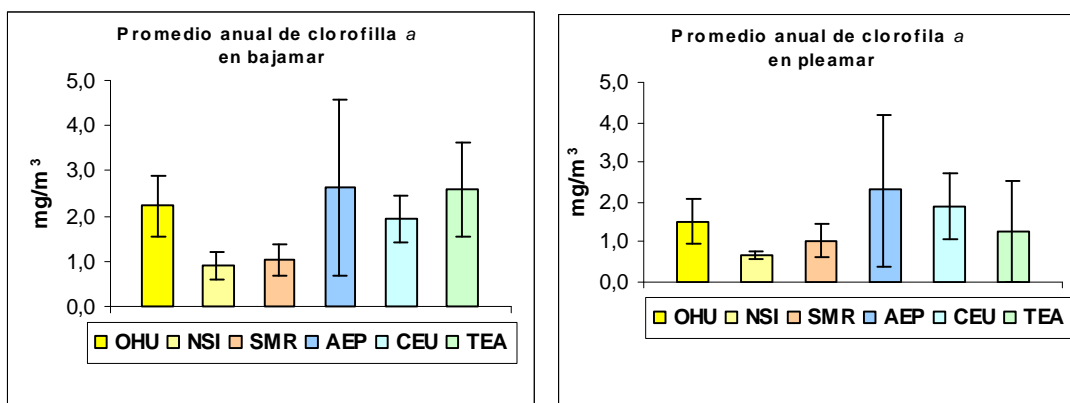


Fig. 62. Promedios y desviación estándar anual de clorofila *a* (mg/m^3) para pleamar y bajamar en las aguas de los 6 sistemas lagunares estudiados.

Las concentraciones de clorofila *a* varían ampliamente dependiendo del suministro de nutrientes, estabilidad de la columna de agua, profundidad de la zona fótica (disponibilidad de luz), pastoreo y el reflujos y mezcla de la columna de agua (Kelly, 2006).

El sistema lagunar que tuvo el promedio anual de clorofila *a* más alto fue Altata-Ensenada del Pabellón (Fig. 62) con concentraciones de $2.3 \pm 1.9 \text{ mg}/\text{m}^3$ durante la pleamar y $2.6 \pm 1.9 \text{ mg}/\text{m}^3$ para bajamar, sin embargo, durante la bajamar, el sistema lagunar Teacapán también tuvo concentraciones elevadas ($2.6 \pm 1.0 \text{ mg}/\text{m}^3$).

Las concentraciones mínimas de clorofila *a* asociada a la biomasa fitoplanctónica fueron Navachiste y Santa María-La Reforma. Los valores de pleamar para Navachiste y Santa María-La Reforma fueron de $0.7 \pm 0.1 \text{ mg}/\text{m}^3$ y $1.0 \pm 0.4 \text{ mg}/\text{m}^3$, respectivamente. En el caso de la bajamar, los promedios que se presentaron fueron, para Navachiste de $0.9 \pm 0.3 \text{ mg}/\text{m}^3$ y para Santa María-La Reforma de $1.0 \pm 0.3 \text{ mg}/\text{m}^3$.

El promedio anual de clorofila *a* durante la pleamar presentó diferencias significativas entre el sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón con respecto a los sistemas lagunares Navachiste-San Ignacio-Macapule y Santa María-La Reforma ($F_{5,277}$, $p < 0.05$). La prueba

de Tukey demostró que los valores de p obtenidos para estos sistemas lagunares fueron significativamente diferentes (Tabla 17). En el caso de la bajamar, las diferencias se encontraron entre las lagunas del norte (Ohuira-Topolobampo-Santa María; Navachiste-San Ignacio-Macapule y Santa María La Reforma) con respecto a las del sur (Altata-Ensenada del Pabellón; Ceuta y Teacapán) ($F_{5,267}$, $p < 0.05$) (Tabla 18)).

Tabla 17. Valores de p obtenidos a partir de la aplicación de la prueba de Tukey para la comparación múltiple de los promedios anuales de clorofila a durante la pleamar con respecto a cada sistema lagunar. (-) indica que no hay diferencias significativas ($p < 0.05$).

	OHU	NSI	SMR	AEP	CEU	TEA
OHU	-	-	-	-	-	-
NSI	-	-	-	<0.01	-	-
SMR	-	-	-	<0.01	-	-
AEP	-	<0.01	<0.01	-	-	-
CEU	-	-	-	-	-	-
TEA	-	-	-	-	-	-

Tabla 18. Valores de p obtenidos a partir de la aplicación de la prueba de Tukey para la comparación múltiple de los promedios anuales de clorofila a durante la bajamar con respecto a cada sistema lagunar. (-) indica que no hay diferencias significativas ($p < 0.05$).

	OHU	NSI	SMR	AEP	CEU	TEA
OHU	-	-	0.038	-	-	-
NSI	-	-	-	<0.01	-	0.016
SMR	0.038	-	-	<0.01	-	<0.01
AEP	-	<0.01	<0.01	-	-	-
CEU	-	-	-	-	-	-
TEA	-	0.016	<0.01	-	-	-

8. Clasificación de las lagunas costeras

Las aguas costeras son clasificadas de acuerdo al estado trófico que presentan, esto según la concentración de nutrientes y oxígeno que contienen sus aguas considerando criterios propuestos por diversos autores (e.g. Bricker *et al.*, 1999; USEPA, 2000; USEPA 2001, Kiddon *et al.*, 2003).

Tabla 19. Límites máximos permisibles o de referencia para la clasificación de las aguas costeras dependiendo de la concentración del nutriente o variable asociada.

Indicadores de eutrofización	Observaciones
Clorofila <i>a</i> $Cl a > 5 \text{ mg/m}^3$ (límite de referencia)	La clorofila <i>a</i> es una medida para estimar la biomasa fitoplanctónica. Debido a que el valor de este indicador no es apropiado para todo tipo de estuarios, es de ayuda como límite máximo de referencia de productividad orgánica. Nota: la medida de clorofila <i>a</i> no contempla a las macroalgas, las cuales pueden ser las dominantes en estuarios pequeños, así como en bahías costeras (Bricker <i>et al.</i> , 1999).
Fósforo total $PT > 3.2 \text{ }\mu\text{M}$ (límite de referencia)	El fósforo total (PT) es la suma de todas las formas orgánicas, inorgánicas, disueltas y particuladas de este nutriente y es posiblemente un causante de eutrofización en estuarios (Sundareshwar <i>et al.</i> , 2003). La Guía Técnica de Criterio para Nutrientes. (USEPA, 2001) recomienda usar el PT como una medida de la disponibilidad del nutriente pero no se ha impuesto un criterio definido hasta ahora.
Claridad del Agua (prof. Secchi) $< 1 \text{ m}$ (límite de referencia)	El agua con turbiedad puede indicar florecimientos algales, pero también puede ser atribuido a factores que no están relacionados con la eutrofización como sólidos suspendidos o compuestos taninos. El agua con poca claridad puede ser una amenaza a la supervivencia de la vegetación acuática sumergida. Este indicador es igual al límite utilizado por la NOAA (Bricker <i>et al.</i> , 1999).

continuación de Tabla 19

<p>Oxígeno disuelto en agua del fondo OD < 5 mg/L (límite de referencia)</p>	<p>La exposición prolongada de la biota a concentraciones menores a 5 mg/L pueden resultar nocivo para el crecimiento, efectos reproductivos adversos y mortalidad (Vernberg, 1972; Diaz & Rosenberg, 1995). Nota: condiciones de hipoxia a corto plazo pueden ocurrir en aguas someras durante la noche, cuando la demanda de oxígeno debido a la respiración excede el suministro de oxígeno).</p>
<p>Silicatos (SiO₂) ?</p>	<p>Los estudios de silicatos son escasos y como no hay una fuente antrópica de estos no se a establecido un límite para este nutriente. Proviene primordialmente del intemperismo. Se ha visto que la variación entre silicio y el número de diatomeas también muestra que la producción de diatomeas puede ser temporalmente limitada por la falta de este nutriente y estimulada por un suministro del mismo (Vollenweider <i>et al.</i> 1992).</p>

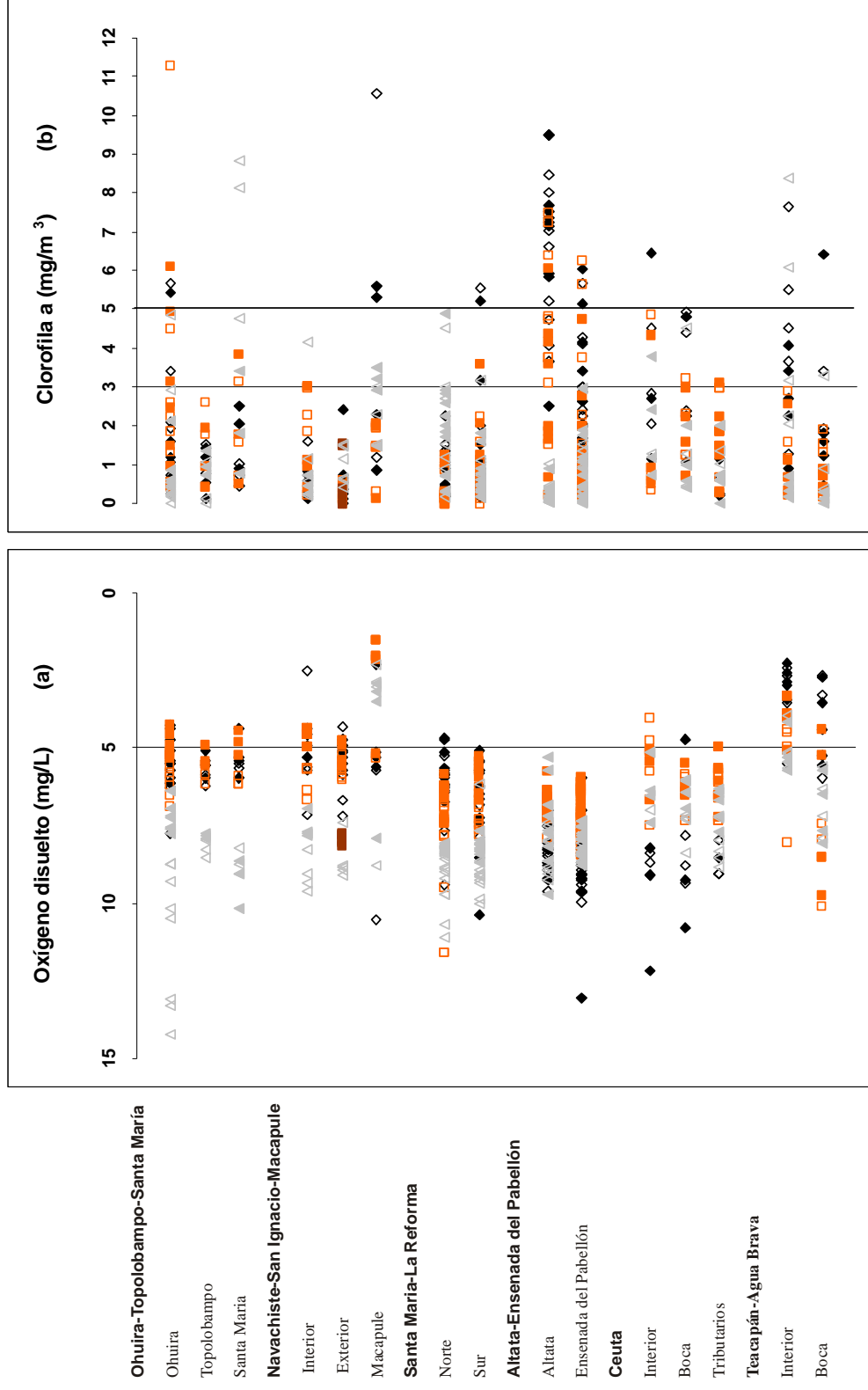


Fig. 63. Rango y distribución de las concentraciones de oxígeno disuelto (mg/L) (a) y clorofila *a* (mg m⁻³) (b) para las aguas de cada uno de los sistemas lagunares estudiados. La línea vertical denota el límite máximo permisible o de referencia (Tabla 19) para las aguas costeras.

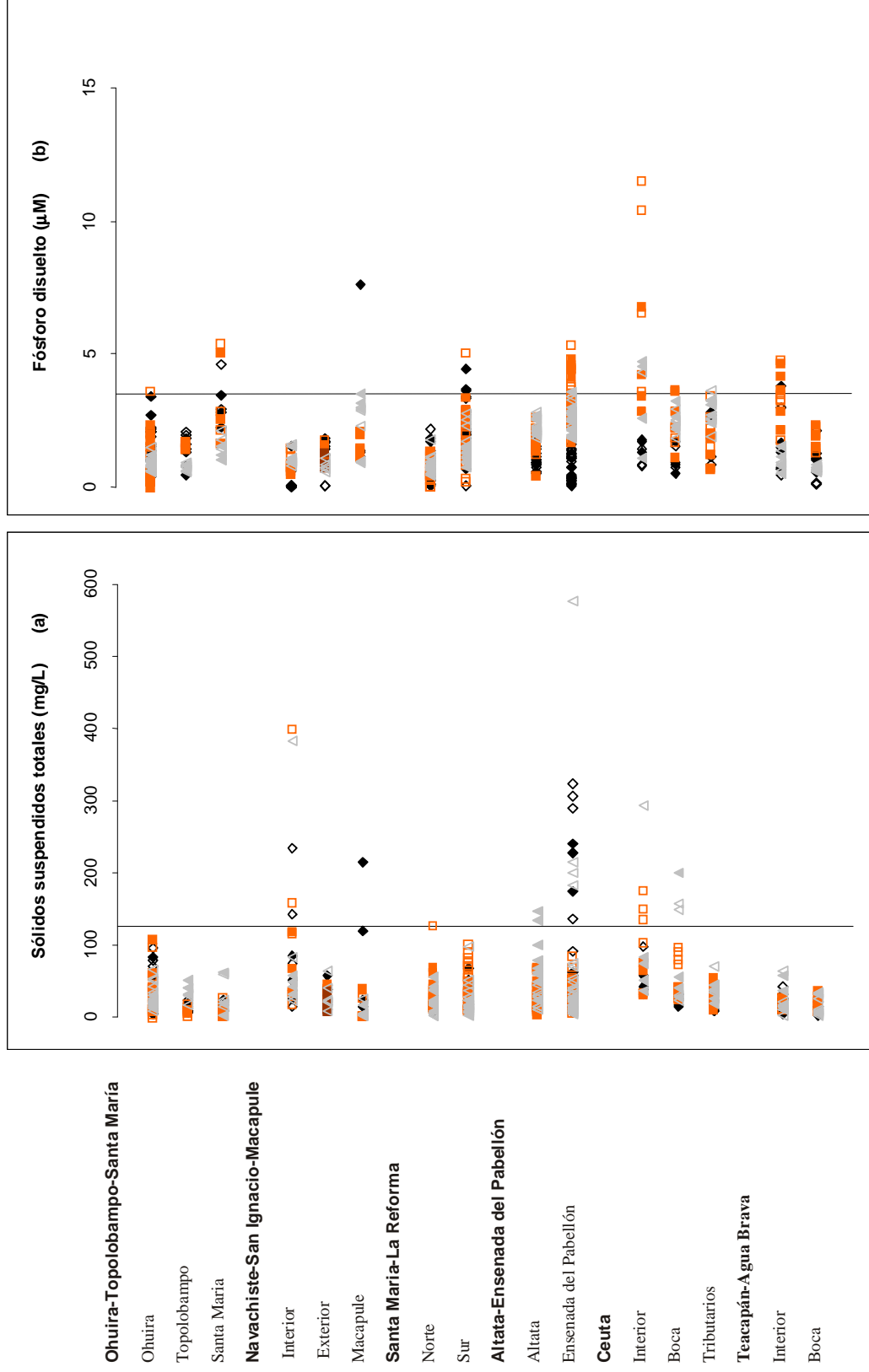


Fig. 64. Rango y distribución de las concentraciones de sólidos suspendidos totales (mg/L) (a) y fósforo disuelto (μM) (b) para las aguas de cada uno de los sistemas lagunares estudiados. La línea vertical denota el límite máximo permisible o de referencia (Tabla 19) para las aguas costeras.

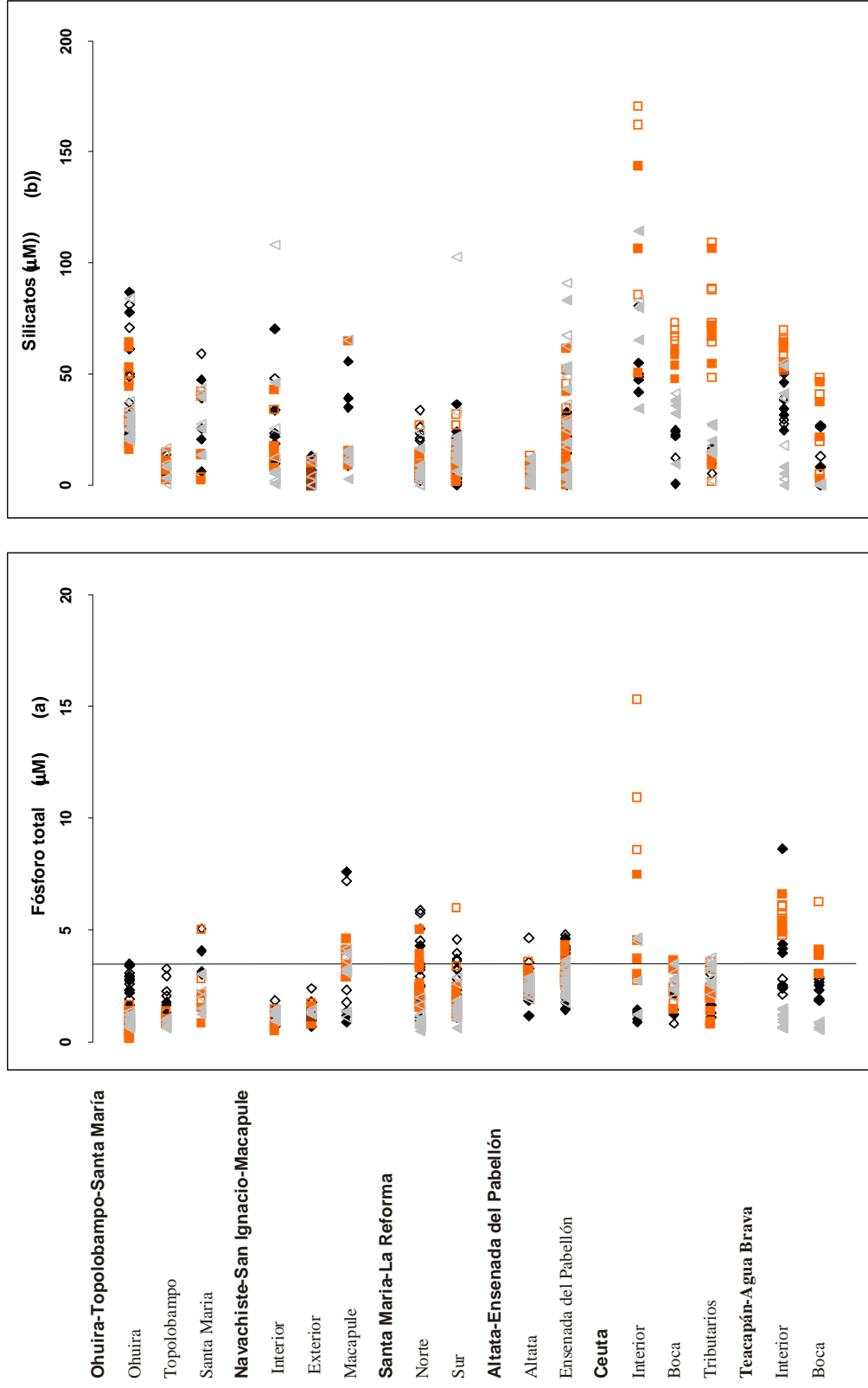


Fig. 65. Rango y distribución de las concentraciones (µM) de fósforo total (a) y silicatos (b) para las aguas de cada uno de los sistemas lagunares estudiados. La línea vertical denota el límite máximo permisible o de referencia (Tabla 19) para las aguas costeras.

Tabla 20. Porcentaje de área lagunar encontrado que rebasa el límite máximo permisible o de referencia (Tabla 19).

	OD	clorofila a	SST	P disuelto	P total
OHU	8.80%	6.60%	0%	6.60%	10%
NSI	36.40%	4.50%	9.00%	3%	16.60%
SMR	1.60%	1.60%	0.80%	5%	13.30%
AEP	0%	16%	9.40%	12.30%	23%
CEU	4.40%	2.20%	7.70%	13.30%	18.80%
TEA	42.30%	9.30%	0%	11.10%	37%

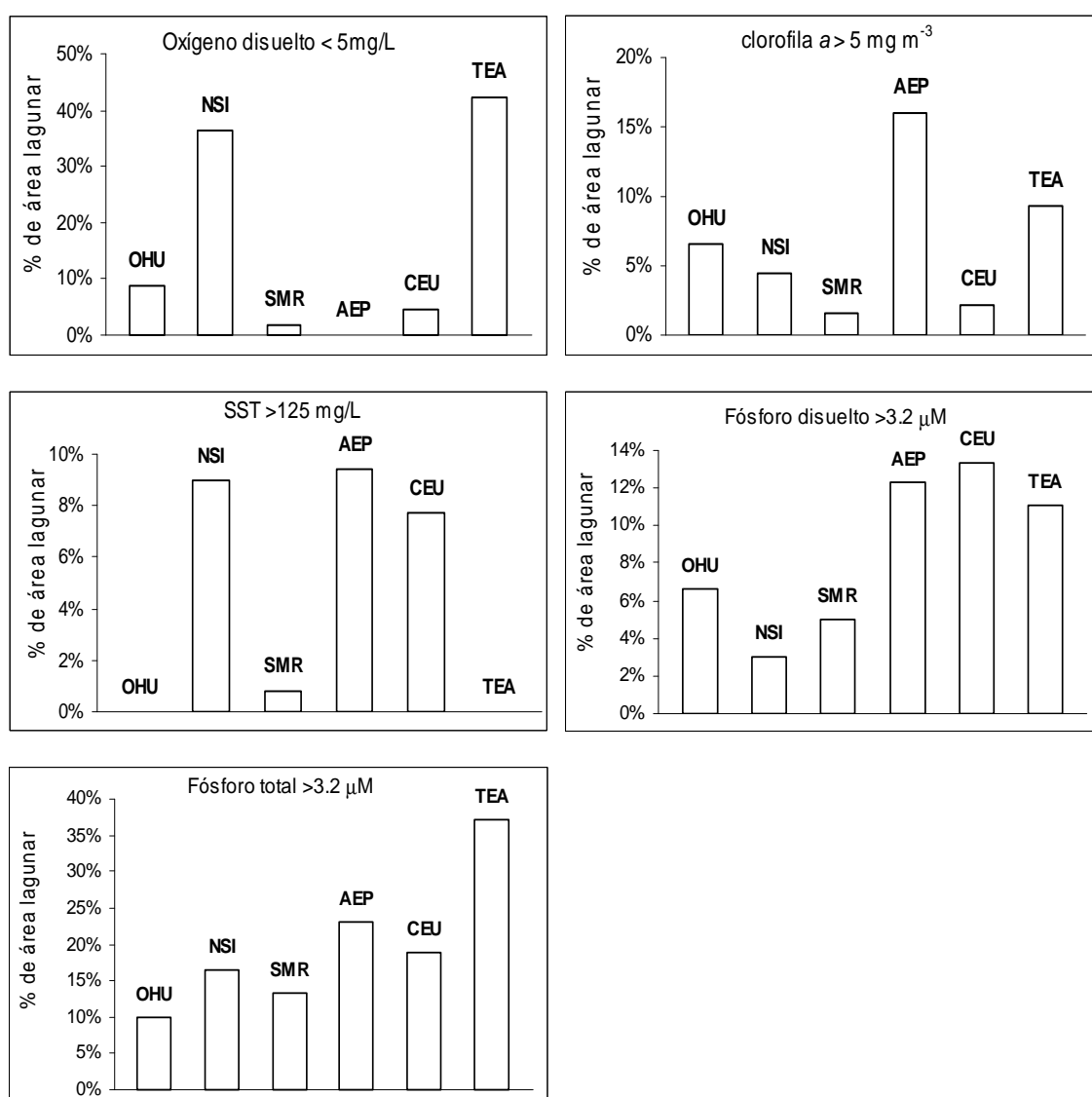


Fig. 66. Porcentaje de área lagunar que rebasa el límite máximo permisible o de referencia para cada uno de los seis sistemas lagunares estudiados.

Los rangos y distribución de oxígeno disuelto, clorofila *a*, sólidos suspendidos totales fósforo disuelto y fósforo total (Fig. 63-65) en cada región de cada uno de los seis sistemas lagunares estudiados fueron representados y separados por una línea vertical que indica el límite máximo permisible o de referencia (Tabla 20) para las aguas costeras, es decir, los valores que rebasan esa línea indican un enriquecimiento de nutrientes (fósforo disuelto (Fig. 63b) y fósforo total (Fig. 64a) $>3.2 \mu\text{M}$) (USEPA, 2001; Sundareshwar *et al.*, 2003), o bien indican bajas concentraciones de oxígeno disuelto.

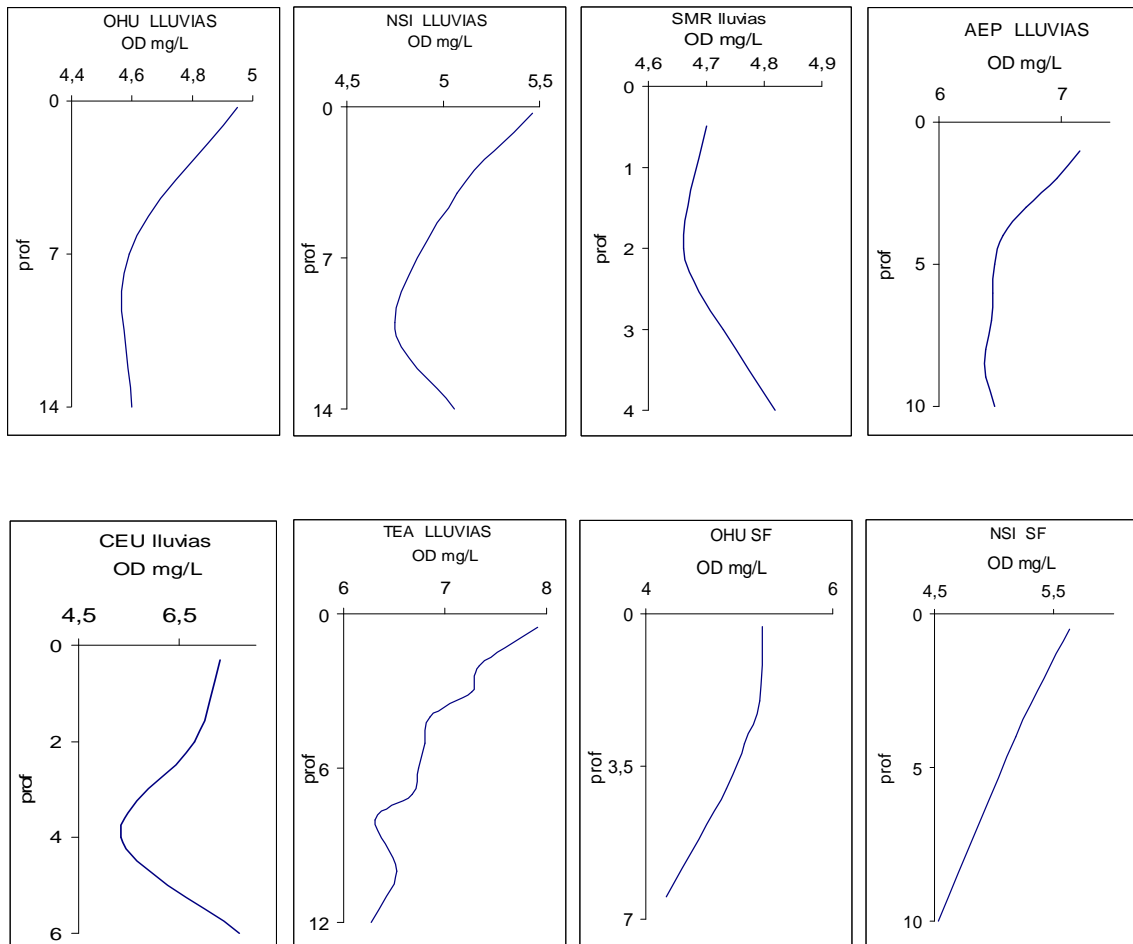
Para el caso de la concentración de clorofila *a* (Fig. 63b), se separó la gráfica en oligotrófico ($<3\text{mg}/\text{m}^3$), mesotrófico (entre 3 y $5 \text{mg}/\text{m}^3$) y eutrófico ($>5\text{mg}/\text{m}^3$) (Bricker *et al.*, 1999; Kiddon, *et al.*, 2003) a excepción del oxígeno disuelto (Fig. 63a), en el cual los valores que rebasan la línea vertical son los de menor contenido de oxígeno ($< 5\text{mg}/\text{L}$) los cuales indican hipoxia y en el caso más extremo anoxia (Vernberg, 1972; Diaz & Rosenberg, 1995; NOM-001-ECOL-1996).

Para sólidos suspendidos totales (Fig. 64a) se tomó el valor máximo diario propuesto por la norma mexicana (NOM-001-ECOL-1996) ($<125\text{mg}/\text{L}$) y para silicatos (Fig. 65b), como no es considerado como fuente antrópica, y el aporte es primordialmente terrígeno no se fijó un límite máximo permisible o de referencia (Tabla 20).

Efectos biológicos de niveles bajos de oxígeno disuelto

El criterio para establecer el límite máximo permisible de oxígeno disuelto (OD) se aplica tanto para las concentraciones bajas cíclicas así como para las exposiciones continuas. Si las condiciones de oxígeno disuelto están siempre por arriba del límite ($5 \text{mg}/\text{L}$), la vida acuática en esa zona no debería teóricamente de ser afectada. Si estos valores se encuentran por debajo del criterio utilizado para la sobrevivencia de organismo juvenil y adulto ($2.3 \text{mg}/\text{L}$), no hay suficiente OD para sustentar la vida acuática. Cuando las condiciones de OD están entre estos dos valores, se necesitarían evaluaciones a futuro de la duración e intensidad de éste para determinar si estos niveles pueden ser tolerados por una comunidad acuática sana (USEPA, 2000) y ser entonces este criterio utilizado para las aguas costeras.

La estratificación juega también un papel importante. Los sistemas altamente estratificados son mas propensos a exhibir niveles bajos de oxígeno que los que tiene un mezclado vertical. La estratificación no solamente limita la mezcla de oxígeno en la columna de agua, sino que también retiene nutrientes en las capas inferiores de la columna de agua haciéndolos no disponibles para los fotótrofos. En este último sentido, los perfiles obtenidos de los seis sistemas estudiados, presentados a continuación no evidenciaron estratificación para al menos la época de lluvias (LL) y secas frías (SF).



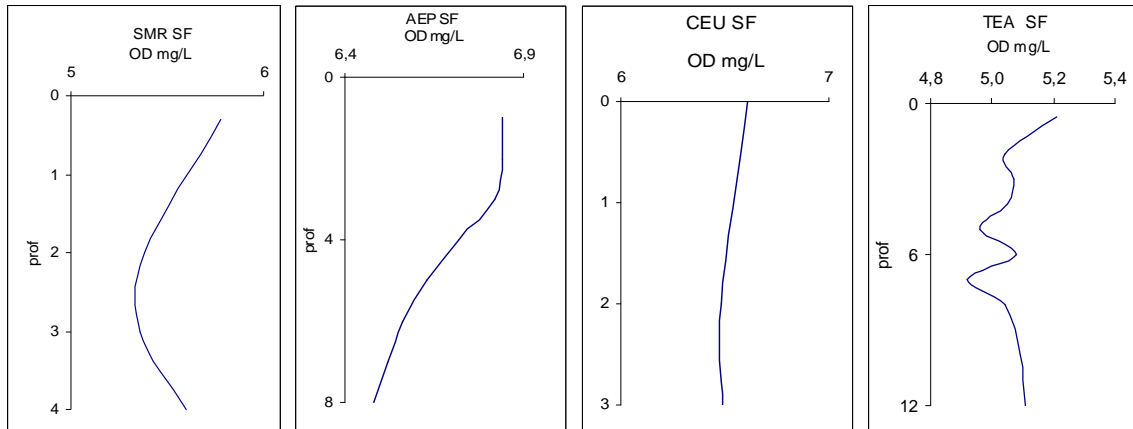


Fig. 67. Perfiles obtenidos del oxígeno disuelto para cada uno de los seis sistemas lagunares estudiados. Profundidad expresada en metros. (LL = lluvias y SF = secas frías).

Con respecto a las concentraciones obtenidas tanto espacial como estacionalmente, se hizo una relación del porcentaje de área lagunar, considerando cada una de las estaciones que rebasaba el límite máximo permisible o de referencia para sacar un porcentaje de la misma (Tabla 19), encontrando, para el caso del oxígeno disuelto, el porcentaje de área lagunar que estuvo por debajo de los 5 mg/L para el caso de Ohuira-Topolobampo-Santa María fue de 8.8 %, Santa María-La Reforma con 1.6 %, Altata-Ensenada del Pabellón con 0 %, el sistema lagunar Ceuta con 4.4 %, siendo el sistema lagunar Navachiste-San Ignacio Macapule y el sistema lagunar Teacapán los que tuvieron el mayor porcentaje de área lagunar con OD < 5 mg/L, con 36.4 % y 42.3 %, respectivamente.

En el caso de las demás variables, no se presentaron proporciones elevadas que revelen una situación crítica, pues con excepción del fósforo total los porcentajes fueron relativamente bajos (<15 %).

9. Relación entre la clorofila *a* y el nutriente o factor limitante

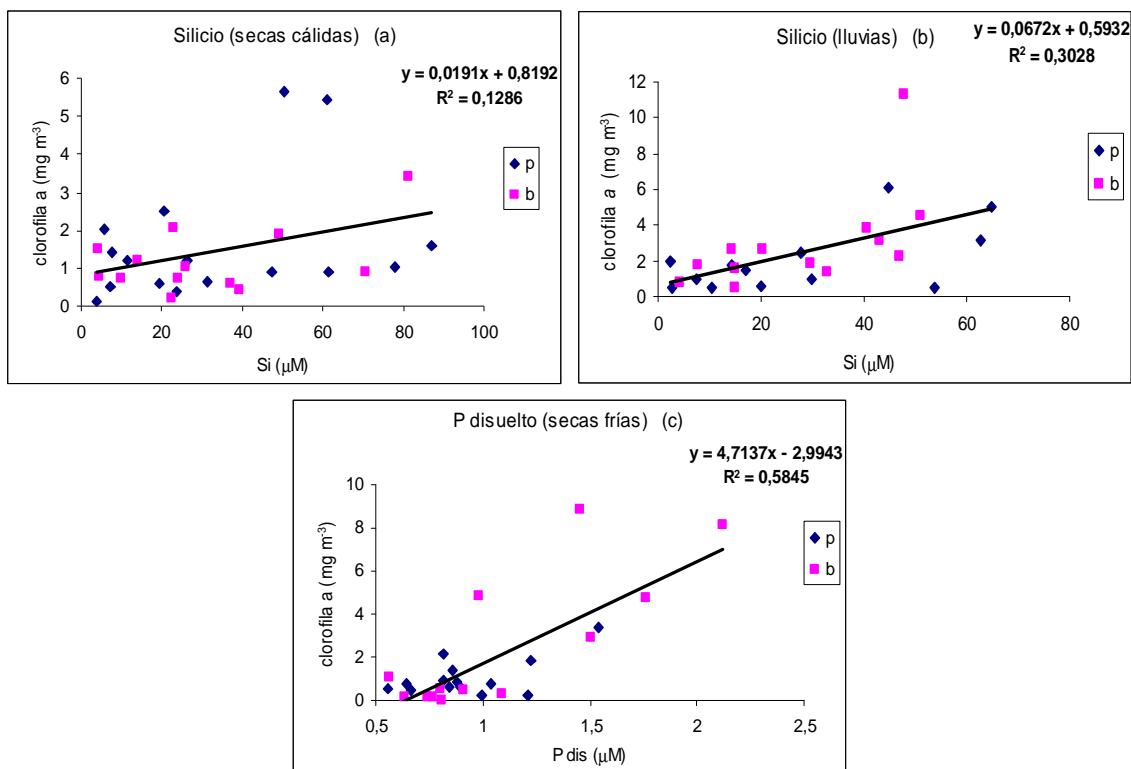


Fig. 68. Variación en la concentración de la clorofila *a* en función a la concentración de silicatos (a y b) y fósforo disuelto(c) para las tres épocas climáticas estudiadas en el sistema lagunar Ohuira-Topolobampo-Santa María. Incluye 30 estaciones de muestreo.

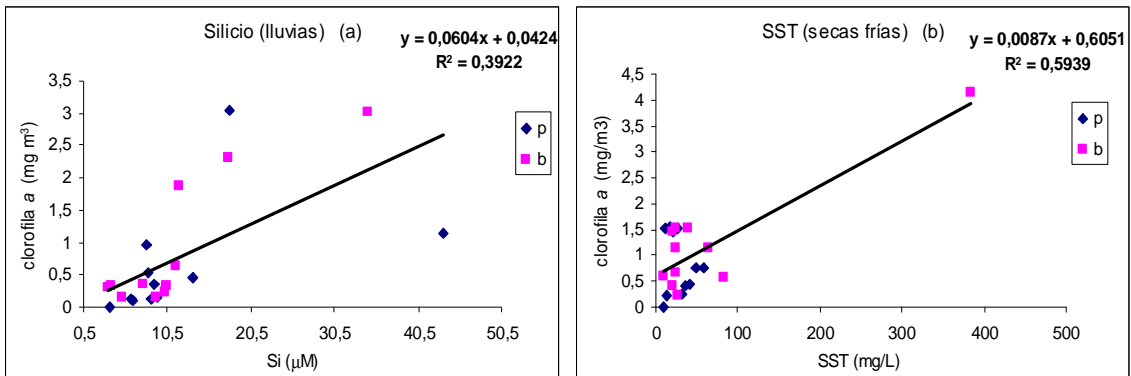


Fig. 69. Variación en la concentración de la clorofila *a* en función a la concentración de silicatos (a) y sólidos suspendidos totales (b) estudiadas en el sistema lagunar Navachiste-San Ignacio-Macapule: (a) lluvias y (b) secas frías. Incluye 28 estaciones de muestreo.

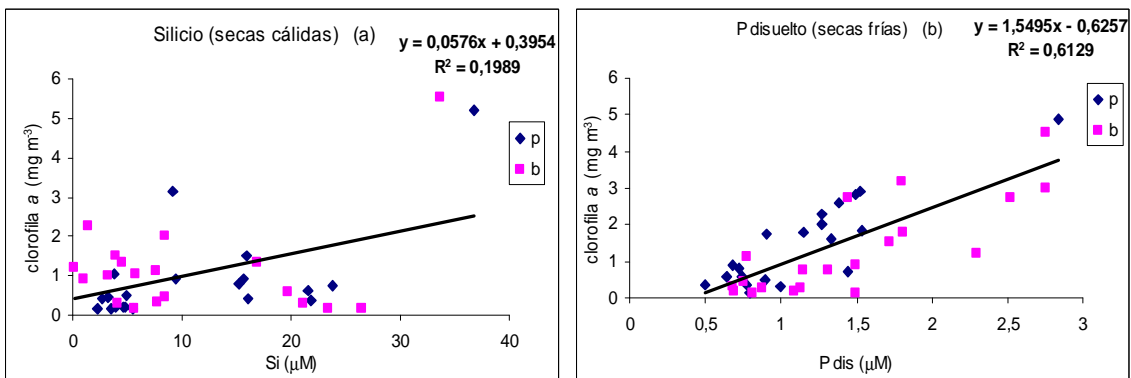


Fig. 70. Variación en la concentración de la clorofila *a* en función a la concentración de silicatos (a) y fósforo disuelto (b), estudiadas en el sistema lagunar Santa María-la Reforma: (a) secas cálidas y (b) secas frías. Incluye 40 estaciones de muestreo.

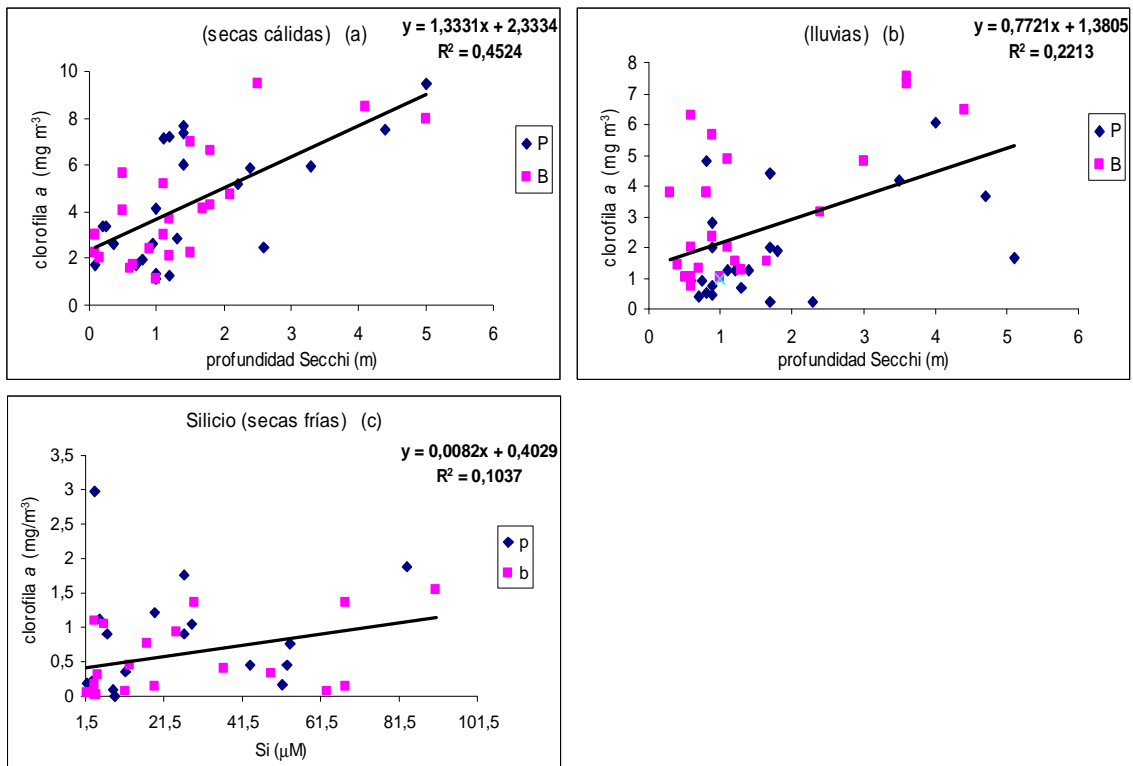


Fig. 71. Variación en la concentración de la clorofila *a* en función a la profundidad Secchi (a y b) y a la concentración de silicatos (c) para las tres épocas climáticas estudiadas en el sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón: (a) secas cálidas y (b) secas frías. Incluye 46 estaciones de muestreo.

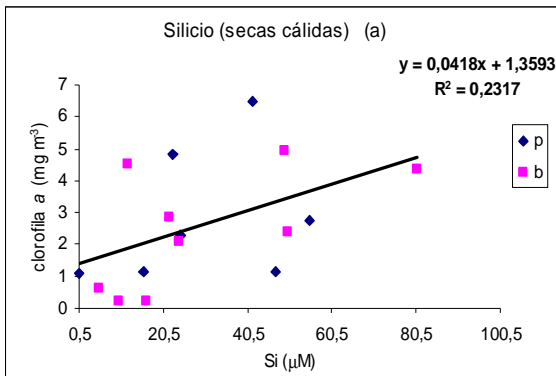


Fig. 72. Variación en la concentración de la clorofila *a* en función a la concentración de silicatos para secas cálidas en el sistema lagunar Ceuta. Incluye 30 estaciones de muestreo.

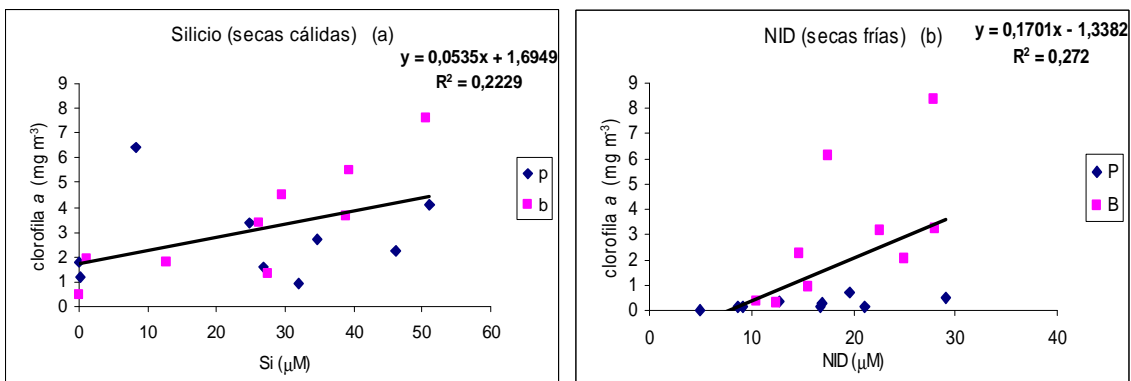


Fig.73. Variación en la concentración de la clorofila *a* en función a la concentración de silicatos (a) y nitrógeno inorgánico disuelto (NID) (b), estudiadas en el sistema lagunar Teacapán: (a) secas cálidas y (b) secas frías. Incluye 18 estaciones de muestreo.

Las figuras 68-73 permiten identificar el nutriente o la variable que limita a la productividad primaria. En el sistema lagunar Ohuira-Topolobampo-Santa María los silicatos fueron los que aparentemente controlaron la productividad durante secas cálidas y lluvias (Fig. 68a), mientras que para secas frías fue el fósforo disuelto.

En el sistema lagunar Navachiste-San Ignacio-Macapule, la variación de clorofila *a* estuvo controlada por los silicatos en la época de lluvias (Fig. 69a) y los sólidos suspendidos totales, o sea, la luz, para el caso de secas frías (Fig. 69b). Para secas cálidas no hubo una

buena correlación entre “x” (variable asociada) y “y” (clorofila *a*) por lo tanto no se pudo con esta estrategia dilucidar que haya un factor limitante en esa época.

Para el sistema lagunar Santa María-La Reforma se encontró una correlación significativa entre los silicatos y la clorofila *a* durante secas cálidas (Fig. 70a) y el nutriente limitante en el caso de secas frías fue el fósforo disuelto (Fig. 70b), no encontrándose en la época de lluvias una variable que explique la variabilidad del fitoplancton.

El sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón estuvo regulado por el factor luz, siendo la limitante tanto en la época de secas cálidas como en lluvias (Fig. 71a y b), mientras que para la época de secas frías el nutriente limitante fue el silicato (silicatos) (Fig. 71c).

En el caso del sistema lagunar Ceuta, la única época donde se encontró correlación entre las variables mencionadas fue secas cálidas (Fig. 72), siendo el silicato el nutriente limitante

Teacapán tuvo como nutriente limitante, durante la época de secas cálidas al silicato (Fig. 73a), mientras que para la época de secas frías al nitrógeno inorgánico disuelto (NID) y para lluvias no se tuvo una correlación significativa entre las variables y la clorofila *a*.

Estos resultados llaman la atención con relación a los numerosos estudios efectuados en los estuarios de aguas templadas, dado que en estos últimos se ha señalado de manera reiterada al nitrógeno como el nutriente limitante en la mayoría de los casos (e.g. Nixon, 1995; Smith, 1999; Cloern, 2001; Kiddon, 2003), mientras que otros autores señalan que en aguas tropicales y subtropicales, el nutriente limitante es el fósforo (e.g. Jaworski, 1992; Ortner y Daga, 1995; Kennish, 1997). En el caso particular de los sistemas lagunares de este estudio, se observó que el silicato, en la mayoría de las épocas, es el nutriente limitante.

10. Balance estequiométrico de nutrientes

En el presente estudio se realizó un cálculo estequiométrico de los nutrientes (Si, N y P) para ilustrar las proporciones de éstos durante las tres épocas climáticas, en los seis sistemas lagunares estudiados para examinar como se aproximan o no a la relación Redfield de Si:N:P (16:16:1).

Sistema lagunar Ohuira-Topolobampo-Santa María

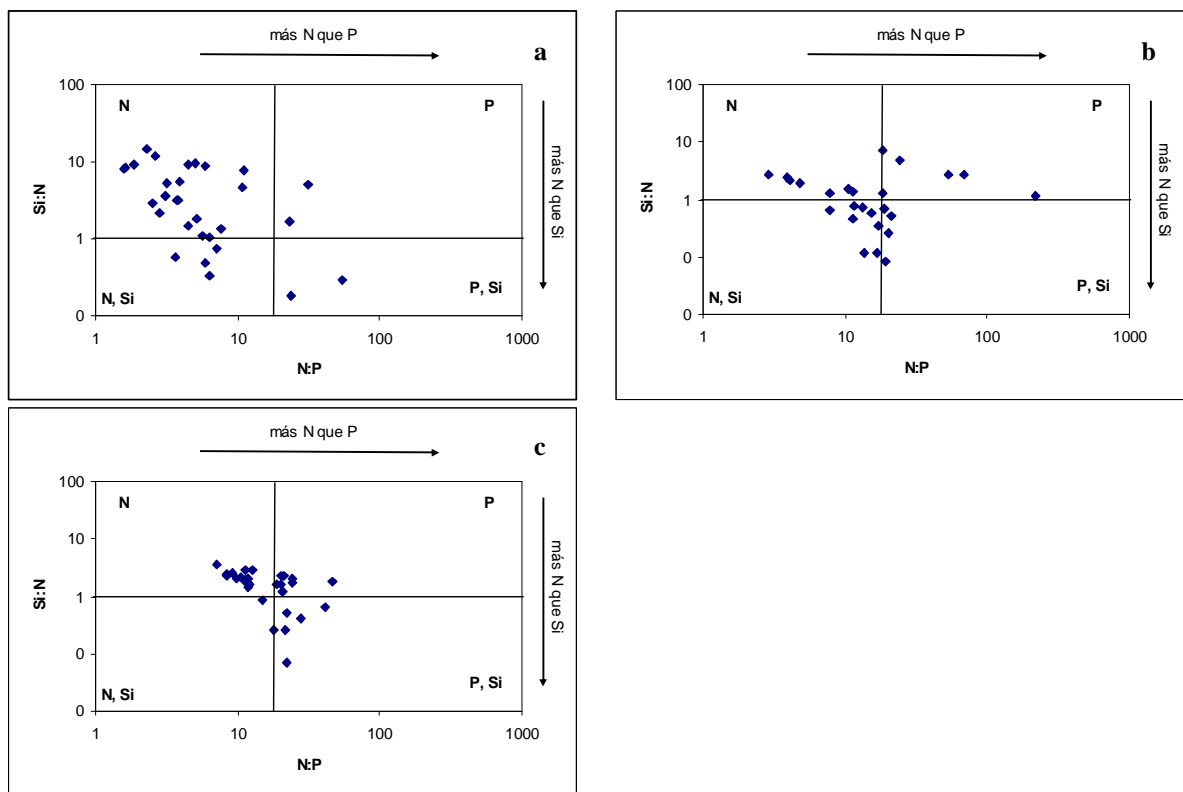


Fig. 74. Relación molar de silicio disuelto y nitrógeno inorgánico disuelto (Si:N) y nitrógeno inorgánico disuelto y fosfato (N:P) en las aguas del sistema lagunar Ohuira-Topolobampo-Santa María en: (a) secas cálidas, (b) lluvias y (c) secas frías.

Sistema lagunar Navachiste San Ignacio-Macapule

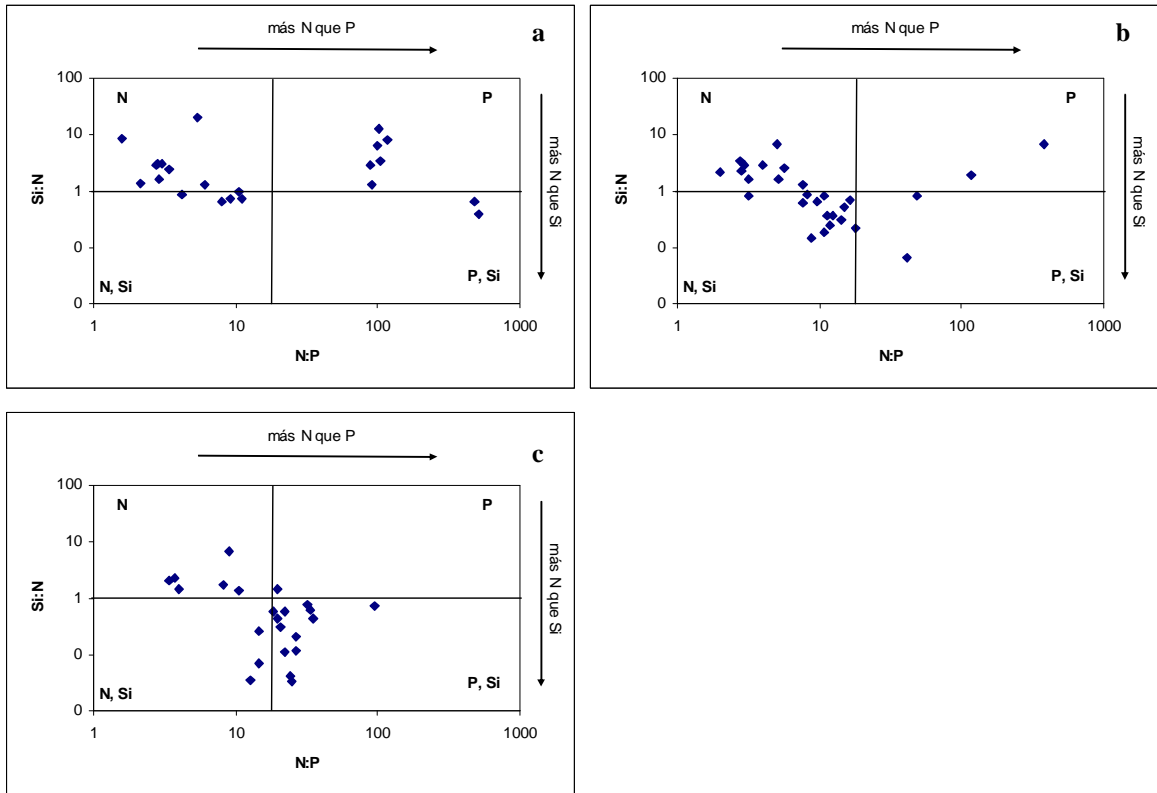
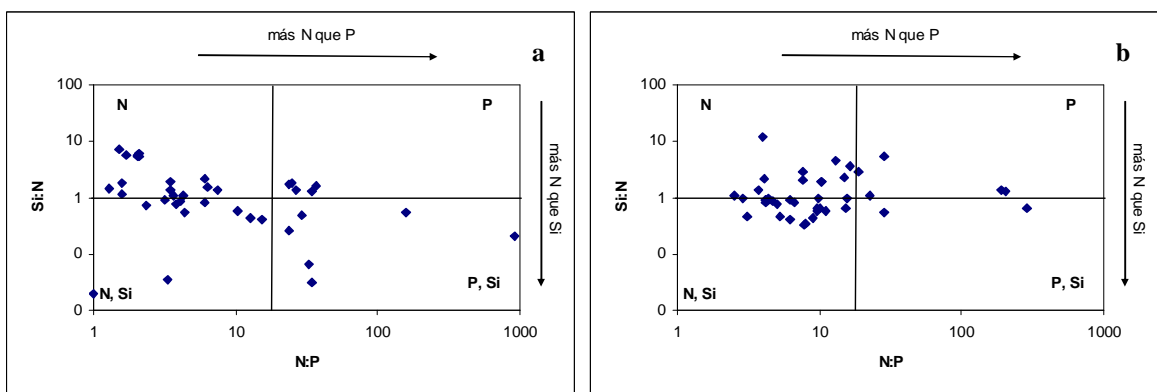


Fig. 75. Relación molar de silicio disuelto y nitrógeno inorgánico disuelto (Si:N) y nitrógeno inorgánico disuelto y fosfato (N:P) en las aguas del sistema lagunar Navachiste-San Ignacio-Macapule en: (a) secas cálidas, (b) lluvias y (c) secas frías.

Sistema lagunar Santa María La Reforma



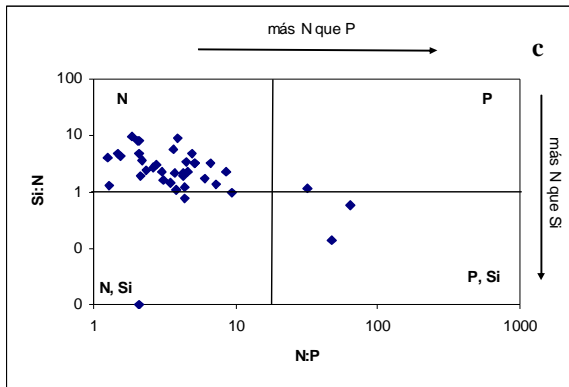


Fig. 76. Relación molar de silicio disuelto y nitrógeno inorgánico disuelto (Si:N) y nitrógeno inorgánico disuelto y fosfato (N:P) en las aguas del sistema lagunar Santa María-La Reforma en: (a) secas cálidas, (b) lluvias y (c) secas frías.

Sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón

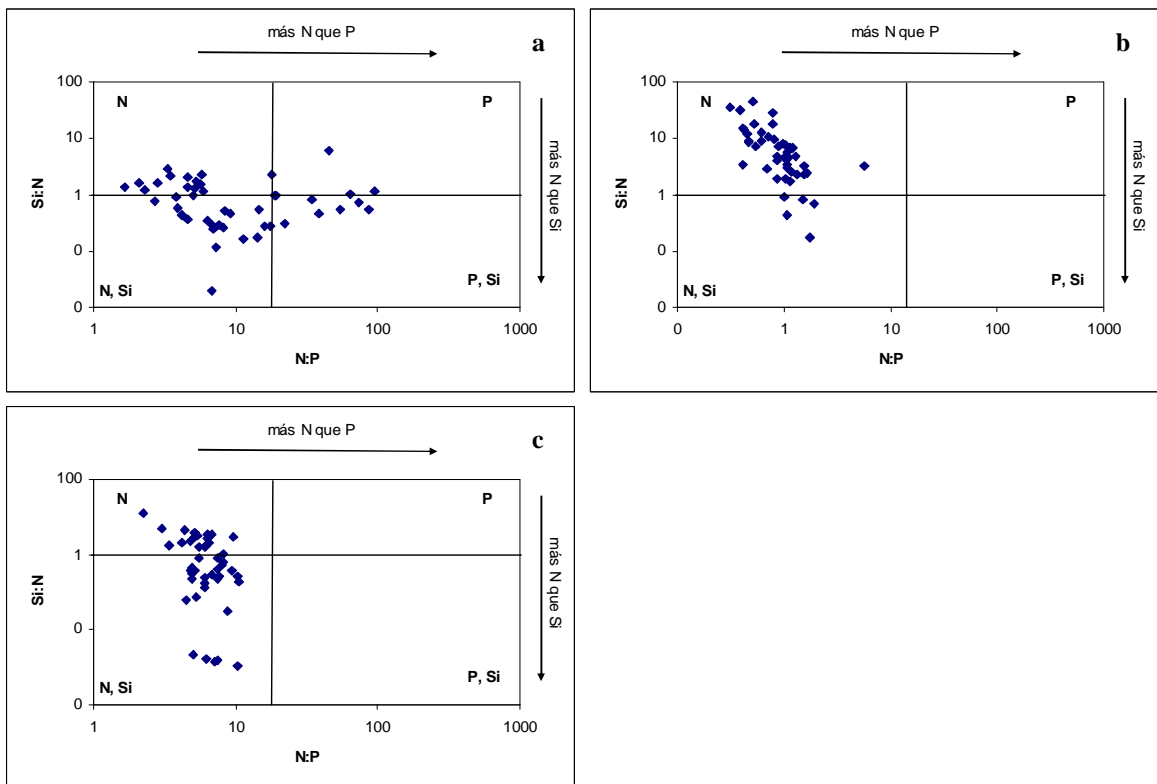


Fig. 77. Relación molar de silicio disuelto y nitrógeno inorgánico disuelto (Si:N) y nitrógeno inorgánico disuelto y fosfato (N:P) en las aguas del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón en: (a) secas cálidas, (b) lluvias y (c) secas frías.

Sistema lagunar Ceuta

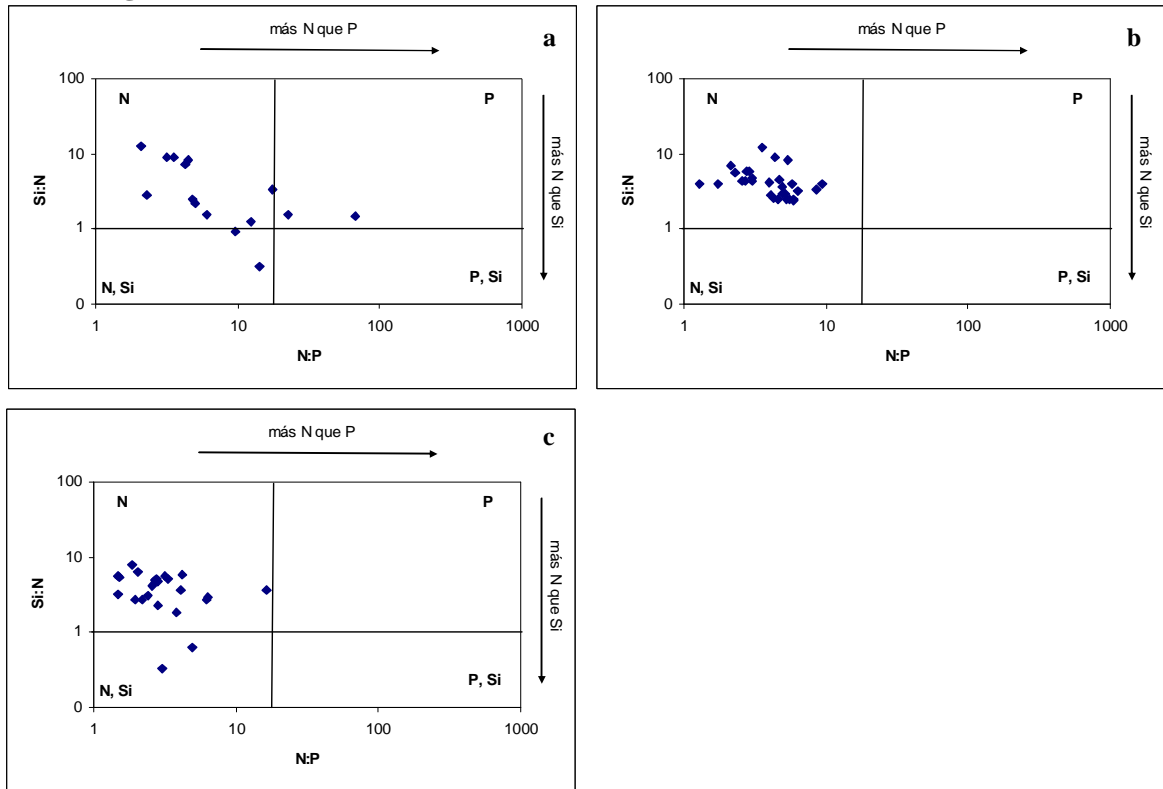
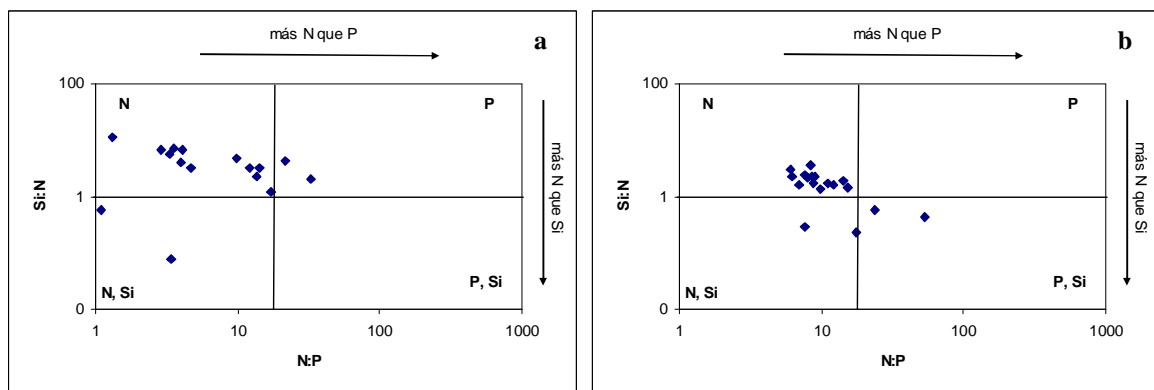


Fig. 78. Relación molar de silicio disuelto y nitrógeno inorgánico disuelto (Si:N) y nitrógeno inorgánico disuelto y fosfato (N:P) en las aguas del sistema lagunar Ceuta en: (a) secas cálidas, (b) lluvias y (c) secas frías.

Sistema lagunar Teacapán



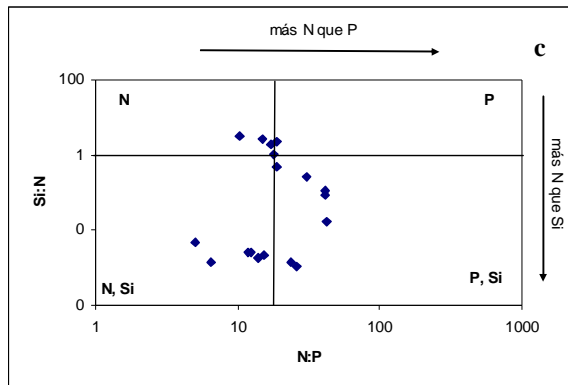


Fig. 79. Relación molar de silicio disuelto y nitrógeno inorgánico disuelto (Si:N) y nitrógeno inorgánico disuelto y fosfato (N:P) en las aguas del sistema lagunar Teacapán en: (a) secas cálidas, (b) lluvias y (c) secas frías.

En el sistema lagunar Ohuira-Topolobampo-Santa María, durante la época de secas cálidas (Fig. 74a), se pudo observar que los valores de fosfato están en exceso en comparación a la relación estequiométrica de Redfield rompiendo con esta relación de Si:N:P (16:16:1), mientras que tanto en lluvias y secas frías (Fig. 74b y c), esta relación se aproxima más, es decir, esta más balanceada con respecto a la relación de Redfield.

Para el caso del sistema lagunar Navachiste-San Ignacio-Macapule, la relación molar de estos nutrientes sólo se aproxima a la relación de Redfield en la época de secas frías (Fig. 75c) mientras que tanto para la época de secas cálidas y lluvias (Fig. 75a y b), se evidencia un exceso en la concentración de fosfatos.

Santa María-La Reforma no se aproximó al balance estequiométrico de Redfield en ninguna de sus épocas debido a un exceso de fosfatos durante la época de secas cálidas y lluvias (Fig. 76a y b) mientras que la época de secas frías (Fig. 76c) presentó un exceso de silicatos.

En el sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón, la época climática que más se aproximó a la relación de Redfield fue secas cálidas (Fig. 77a), mientras que para lluvias (Fig. 77b) se notó un exceso en la concentración de silicatos y en secas frías de fosfatos (Fig. 77c).

Ceuta no se aproximó en ninguna de las tres épocas a la relación de Redfield, ya que en la época de secas cálidas (Fig. 78a) presentó un exceso de fosfatos, mientras que en la época de lluvias y secas frías (Fig. 78b y c) se tuvo un exceso tanto de silicatos así como también de fosfatos.

El sistema lagunar Teacapán sólo se aproxima a la relación de Redfield durante la época de lluvias (Fig.79b), mientras que en secas cálidas, el nutriente que se encuentra en exceso que hace romper esta relación es el fosfato, y para el caso de secas frías (Fig.79c), un exceso de silicatos y fosfatos hacen que no se aproxime esta relación a la de Redfield.

11. Conclusiones

1. Existió una relación de la temperatura con respecto a pleamar y bajamar entre la mayoría de las lagunas, así también como entre lagunas. Para este estudio Teacapán resultó ser la más cálida con un promedio anual de 29.7 ± 3.6 °C, mientras que el sistema lagunar más frío fue Ceuta con un promedio anual de 26.9 ± 2.0 °C. Sin embargo, cuando se hizo un análisis estadístico de los datos no se encontraron diferencias significativas de los promedios durante la bajamar entre las seis lagunas estudiadas.

2. La salinidad en los seis sistemas lagunares estuvo marcada por zonas. En los sistemas del norte se registraron las salinidades más altas, presentando el sistema lagunar Navachiste-San Ignacio-Macapule un promedio de 38.0 ± 1.2 ups, haciéndolo así el más salino. Por otra parte, el sistema lagunar Ceuta fue el menos salino con un promedio anual de 28.8 ± 4.0 ups. Los sistemas lagunares Ohuira-Topolobampo-Santa María y Navachiste-San Ignacio-Macapule tuvieron un comportamiento antiestuarino durante las tres épocas climáticas, es decir, su salinidad era mayor a la salinidad de las aguas del Golfo de California, mientras que el comportamiento de Santa María La Reforma fue ligeramente estuarino a excepción de la época de secas frías donde tuvo un ΔS negativo (sistema antiestuarino). El mismo comportamiento se encontró en Teacapán durante secas cálidas, mientras que Altata-Ensenada del Pabellón y el sistema lagunar Ceuta tuvieron comportamientos estuarinos durante las tres épocas climáticas.

3. El oxígeno disuelto en las aguas del fondo mostró variaciones tanto espaciales como temporales, siendo el sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón el más oxigenado con un promedio anual de 7.9 ± 1.0 mg/L, mientras que el sistema menos oxigenado en relación con los demás sistemas fue Teacapán, con un promedio anual de 5.1 ± 1.4 mg/L, probablemente debido a que es un sistema estrecho, con un elevado aporte de materia orgánica vegetal.

4. Los sólidos suspendidos totales tuvieron una variación espacial marcada en cada zona de cada sistema lagunar, delimitada una gran porción de ésta por la profundidad, así como a los efectos combinados del viento, las altas velocidades de corriente de marea y también al tipo de sedimento, siendo el sistema Altata-Ensenada del Pabellón el que tuvo las concentraciones más altas de sólidos suspendidos totales con un promedio anual de 63.5 ± 25.4 mg/L, encontrándose las concentraciones más bajas en el sistema lagunar Ceuta (18.8 ± 5.1 mg/L).

5. Las variaciones en las concentraciones de fósforo disuelto fueron mayores espacial que temporalmente. El sistema lagunar Ceuta presentó las concentraciones más altas de fósforo disuelto con la máxima en la estación 7, cercana a la cabecera del sistema, de 11.6 μ M durante la época de lluvias, y la mínima, en la estación 11, la cual se encuentra en la boca del mismo, con un valor de 0.8 μ M, mostrando un promedio anual de 2.6 ± 0.9 μ M, mientras que el sistema lagunar Navachiste-San Ignacio-Macapule presentó las concentraciones más bajas, encontrándose en la estación 3, en la cabecera del sistema (0.02 μ M), a excepción de la estación 12, cerca del Macapule, en la zona sur, la cual presentó una concentración elevada (7.6 μ M), ambas durante la época de secas cálidas, con un promedio anual de 0.9 ± 0.2 μ M.

6. Las concentraciones de fósforo total fueron, nuevamente mayores en el sistema lagunar Ceuta, presentándose la máxima en la estación 7, la cual se encuentra en la cabecera del sistema, durante lluvias, con una concentración de 15.3 μ M, y la concentración más baja durante secas cálidas, en la estación 2, cerca del poblado de Cospita, con un valor de 0.8 μ M, con un promedio anual de 2.7 ± 1.2 μ M. El área lagunar con las concentraciones más

bajas de fósforo total fue Ohuira-Topolobampo-Santa María, con una cobertura del 10 %, presentando una concentración promedio anual de $1.9 \pm 0.8 \mu\text{M}$.

7. Las concentraciones más altas de silicatos provienen del intemperismo y escurrimientos terrígenos, encontrando concentraciones altas en el sistema lagunar Ceuta en la estación 7, en la cabecera del sistema, durante la época de lluvias con un valor de $171 \mu\text{M}$, mientras que las más bajas, en este mismo sistema, se encontraron durante secas cálidas en la estación 4, ubicada entre la cabecera y la boca ($0.5 \mu\text{M}$) con un promedio anual de $29.2 \pm 4.5 \mu\text{M}$. El sistema lagunar Santa María-La Reforma fue el que, estacionalmente, presentó las concentraciones más bajas de este nutriente, posiblemente debido a su gran capacidad de dilución, sin embargo en la época de secas frías, la estación 6, cercana al estero del Tule tuvo una concentración relativamente elevada ($102.6 \mu\text{M}$) donde justamente llegan escurrimientos de aguas tratadas de la Ciudad de Culiacán y las mínimas en las estaciones 17,18 y 19, cercanas a la boca, donde las concentraciones fueron de $0.02 \mu\text{M}$. Este sistema tuvo un promedio anual de $11.5 \pm 2.1 \mu\text{M}$.

8. Altata-Ensenada del Pabellón fue el sistema que anualmente tuvo las concentraciones más altas de clorofila *a*, teniendo un 16 % de cobertura de área lagunar que rebasa los 5 mg m^{-3} , mientras que el sistema lagunar Santa María-La Reforma sólo tuvo una estación que rebasó los 5 mg m^{-3} en el estero el Tule ó estación 6 (5.4 mg m^{-3}). El promedio anual para el sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón fue de $2.5 \pm 1.9 \text{ mg m}^{-3}$. El promedio anual de Santa María La Reforma fue de $1.0 \pm 0.4 \text{ mg m}^{-3}$.

9. En la mayoría de los sistemas lagunares estudiados, y para las tres épocas climáticas examinadas, de acuerdo a la estrategia de correlacionar la clorofila *a* y el nutriente como tal u otro factor, el nutriente limitante más consistente fue el silicato seguido por el fósforo disuelto.

10. Las variaciones estacionales de fósforo tanto total como disuelto y silicatos en el presente estudio revelan diferencias entre las épocas climáticas, al observarse una mayor concentración de silicatos en lluvias, en los sistemas lagunares Ohuira-Topolobampo-Santa

María; Santa María-La Reforma y Teacapán, debido al intemperismo y a los escurrimientos fluviales. Igualmente para el caso del fósforo, en la época de lluvias, los sistemas lagunares de Santa María-La Reforma; Altata-Ensenada del Pabellón; Ceuta y Teacapán, fueron los que mostraron una concentración elevada de este nutriente, procedente probablemente de los escurrimientos agrícolas y fluviales, que pudieran estarse lavando o lixiviándose en esa época.

11. Tanto las concentraciones máximas de fósforo, como los niveles mínimos de oxígeno se encontraron en áreas que reciben descargas de drenes agrícolas, municipales y camaronícolas.

12. La relación estequiométrica en los seis sistemas lagunares, mostró variación con respecto a la relación de Redfield de Si:N:P de 16:16:1, indicando esto la influencia antrópica proveniente, ya sea sola o combinada de la agricultura, los drenes municipales y la camaronicultura, provocando exceso de uno o más nutrientes en las aguas de los sistemas lagunares estudiados.

12. Literatura citada

- APHA-AWWA-WPCF, (1989). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 17th ed. pp. 270-271.
- Alonso-Rodríguez, R. y Páez-Osuna, F. (2001). La presencia del fitoplancton en los estanques de cultivo del camarón: composición, abundancia y variación. En: Páez-Osuna, F. (Ed.). (2001). Camaronicultura y Medio Ambiente. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, PUAL, El Colegio de Sinaloa. México. 448 p.
- Arenas, V. y De la Lanza, E.G. (1994). El metabolismo como determinante de intercambio de nutrientes en sedimentos ricos en materia orgánica en una laguna costera. *Ciencias Marinas*. 16(3): 45-62.
- Beverton, R.J.H., Holt, S.J. (1957). On the Dynamics of exploited fish populations. UK Min Agric Fish, Fish Invest (Ser 2) 19. 533 pp.
- Bricker, S.B., Clement, C.G., Pirhalla, D.E., Orlando, S.P. (1999). National Estuarine Eutrophication Assessment: effects of nutrient enrichment in the nations estuaries. NOAA, National Ocean Service, Special Projects and the National Center for Coastal Ocean Science, Silver Spring, MD, 71 pp.
- Boynton, W.R. Kemp, W.M., Keefe, C.W. (1982). A comparative analysis of nutrients and other factors influencing estuarine phytoplankton production. In: V Kennedy, ed. *Estuarine Comparisons*. San Diego: Academic Press.
- Carpenter, S.R., Caraco, N.F., Correl, D.L., Howarth, R.W., Sharpley, A.N., Smith, V.H., (1998). Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications* 8, 559-568
- Chanin, G., E.H. Chow, R.B. Alexander & J. Powers (1958). Use of glass fiber filters medium in the suspended solids determination. *Sewage Ind. Wastes* 30:1062.
- Cloern, J.E. (1999). The relative importance of light and nutrient limitation of phytoplankton growth: a simple index of coastal ecosystem sensitivity to nutrient enrichment. *Aquatic Ecology* 33:3-16
- Cloern, J.E. (2001). Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. *Marine Ecology Progress Series* 210:223-253
- Cole, J.J., Pierles, B.L., Caraco, N.F. & Pace, M.L. (1993). Nitrogen loading of rivers as a human-driven process. In: McDonnell, M.J., Pickett, S.T.A. (Eds). *Humans as Components of Ecosystems*, Springer Verlag, New York, 141-157 p.
- Conde-Gómez, J. (1991). Análisis hidrológico y de contaminación en Bahía Altata-Ensenada del Pabellón, Sinaloa. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias. 40 p.
- Davalos, L., Lind, O., & Doyle, R.D. (1989). An evaluation of phytoplankton limiting factors in Lake Chapala, México: turbidity and the spatial and temporal variation in a lagal assay response. *Lake and Reservoir Management* 5, 99-104.
- Day, E., May, E., Kemp, B. y Yáñez-Arancibia, A. (1989). *Estuarine Ecology*. John Wiley & Sons: New York, 427 p.
- De la Lanza, E.G., Hernández, S., Conde, J. y García, J.L. (1991). Hidrología y difusión de nutrientes del sedimento en drenes agroindustriales periféricos en una laguna costera del Noroeste de México. IV Congreso Latinoamericano de Ciencias del

- Mar. Universidad Católica del Norte, Facultad de Ciencias del Mar. Coquimbo Chile Memorias de Resúmenes.
- De la Lanza-Espino, G., García-Calderón, J.L., Tovilla-Hernández, C. y Arredondo-Figueroa, J.L. (1992). Ambientes y Pesquerías en el litoral del Pacífico Mexicano. Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática, Aguascalientes, México.
- Diario Oficial. 28 de agosto de 2000. Tercera sección. Pp 83-91.
- Diaz, R.J., Rosenberg, R. (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.
- Downing, J.A. (1997). Marine nitrogen: phosphorous stoichiometry and the global N:P cycle. *Biogeochemistry (Dordrecht)* 37, 237-252.
- Duarte, C. 1995. Submerged aquatic vegetation in relation to different nutrient regimes. *Ophelia* 41: 87-112.
- Fanning, K.A. & Picon, M.E.Q., (1973). On the spectrophotometric determination of silica in natural waters. *Analytical Chemistry.*, 45 (1): 136-140.
- Fisher, T.R., Peele, E.R., Ammerman, J.W., & Harding, L.W., Jr. (1992). Nutrient limitation of phytoplankton in Chesapeake Bay. *Marine Ecology Progress Series* 82, 51-63.
- Flores-Verdugo, F., Briseño-Dueñas, R., González-Farías F., Calvario-Martínez, O. (1995). Balance de carbono en un ecosistema lagunar estuarino de boca efímera de la costa noroccidental de México (Estero El Verde, Sinaloa). In: De la Rosa, J., González-Farías, F. (Eds). *Temas Selectos de Ocenografía Biológica en México Vol. II*, Universidad Autónoma de Baja California, México, 137-155 p.
- Garay-Morán, R. (2002). Presupuesto global de la carga de nutrientes que reciben los sistemas lagunares de Sinaloa, como herramienta para la gestión ambiental costera. Tesis de Maestría, ICMYL, UNAM, Mazatlán, Sinaloa, Mex. 228p.
- Green-Ruíz, C.R. (2000). Geoquímica de metales pesados y mineralogía de la fracción arcillosa de los sedimentos de cuatro puertos del Golfo de California. Tesis Doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México. UACPyP-CCH-ICML. 329 p.
- Guerrero-Galván, S.R., Páez-Osuna, F. Ruíz-Fernández, A.C. y Espinosa-Angulo R. (1999). Seasonal variation in the water quality and chlorophyll *a* of a semi-intensive shrimp ponds in a subtropical environment. *Hydrobiología* 391: 33-45.
- Havens, K.E. (1994). Spatial and temporal variation in nutrient limitation in a shallow subtropical lake (Lake Okeechobee, Florida) as evidence by trophic state index deviations. *Archiv für Hydrobiologie* 131, 39-53.
- Hazen, A.. (1889). On the determination of chloride in water. *American Chemistry. J.* 11:409.
- Henry, R., Hino, K., Tundisi, J.G. & Ribeiro, J.S.B. (1985). Responses of phytoplankton in Lake Jacaretinga to enrichment with nitrogen and phosphorous in concentrations similar to those in the River Solimoes (Amazon, Brazil). *Archiv für Hydrobiologie* 103, 453-377.
- Hodgkiss, I.J., Ho, K.C. (1997). Are changes in N:P ratio in coastal waters the key to increase red tide blooms?. *Hydrobiology.* 352: 141-147. Dep. of Ecology and Biodiversity, The University of Hong Kong, Hong Kong.

- Holm-Hansen, O. (1978). Chlorophyll *a* determination: improvements in methodology. Scripps Institution of Oceanography, University of California, La Jolla, CA 92093, USA. B. Riemann, Botanical Institute, 68, Nordlandsvej, DK- 82:40 Risskov, Denmark.
- Howarth, R.W. (1988). Nutrient limitation of net primary production in marine ecosystems. *Annual Review of Ecology* 19, 89-110.
- Hutchinson, G.E., (1967). *A Treatise on Limnology II. Introduction to Lake Biology and the Limnoplankton*, Dep. of Biology, Yale University. New York, London, Melbourne. 234-389 p.
- Jaworski, N.A., Groffman, P.M., Keller, A.A., & Prager, J.C. (1992). A watershed nitrogen and phosphorus balance: the upper Potomac River basin, *Estuaries*, 15, 83..
- Johnson, K.S., Chavez, F.P., & Friederich, G.E. (1999). Continental shelf sediment as a primary source of iron for coastal phytoplankton. *Nature (London)* 398, 697-700.
- Kelly, J.R. (2006). Nitrogen effects on coastal marine ecosystems, Chapter 9. In: RF Follet , JL Hatfield, eds. *Nitrogen in the Environment: Sources, Problems, and Management*. The Netherlands: Elsevier Publishers.
- Kennish, M.J. (1997). *Estuarine and Marine Pollution, Eutrophication and Organic Loading*. Institute of Marine and Coastal Sciences. Rutgers University, New Brunswick, New Jersey. 14-15p.
- Kester, D.R. y Pytkowicks, R.M. (1967). Determination of the apparent dissociation constants of phosphoric acid in sea water. *Limnology and Oceanography* 12(2): 243-252.
- Kiddon, J.A., Paul, J.F., Buffum, H.W., Strobel, C.S., Hale, S.S. Cobb, D., Brown, B.S. (2003). Ecological condition of US Mid-Atlantic estuaries, 1997.1998. *Marine Pollution Bulletin* 46(1): 1224-1244.
- Lankford, R. R. (1977). Coastal Lagoons of Mexico. Their origin and classification. 182-215. En: Wiley (Eds). *Estuarine Processes*. Academia Press. New York, 428 p.
- Lara-Lara, J.R. , Frey, B.E. & Small, L.F. (1990). Primary production in the Columbia River Estuary: I. Spatial and temporal variability of properties. *Pacific Science* 44, 17-37.
- Lentz, J. & Zeitzschel, B., (1968). Zur bestimmung des extinktionskoefficienten für chlorophyll *a* in methanol. *Kieler Meeresforsch.* 24: 41-50.
- Lewin, J.L. & Reimann, B.E.F.(1969). Silicon and plant growth. *Annual Review of Plant Physiology* 20, 289-304.
- Lewis, W.M., Jr. (1978). Dynamics and successions of the phytoplankton in tropical Lake Lanao, the Phillipines. *Journal of Ecology* 66, 49-889.
- Libes, M.S. (1992). *An Introduction to Marine Biogeochemistry*. Department of Marine Science. University of South Carolina- Coastal Carolina College. John Wiley & Sons, Inc. 648 p.
- Liebemeknecht, L. (2000). Coastal land use and land use changes in Sinaloa, Mexico. Master of Science In: *Marine Environmental Protection*. Universtity of Wales, Bangor.
- Livingston, R.J., X. Niu, F.G. Lewis, & G.C. Woodsum. (1997). Freshwater input to a Gulf estuary: long-term control of trophic organization. *Ecological. Applications.* 7: 277-299.
- Livingston, R.J. (2001). The Perdido Bay System: Eutrophication Processes and Phytoplankton Bloom In: *Eutrophication Processes in Coastal Systems*. Origin

- and Succession of Plankton Blooms and Effects on Secondary Production in Gulf Coast Estuaries. Marine Science Series. Boca Raton, Florida. 37.151 p.
- LOICZ, (1996). Land Ocean Interaction in the Coastal Zone Biogeochemical Modeling Guidelines. Report and studies No. 5.
- Mallin, M.A., Cahoon, L.B., McIver, M.R., Parsons, D.C. & Shank, G.C. (1999). Alternation of factors limiting phytoplankton production in the Cape Fear River estuary. *Estuaries* 22, 825-836.
- Margalef, R. (1969). Comunidades planctónicas en las aguas litorales. In: Ayala-Castañares, A. Y Phleger, F.B. (Ed.). *Lagunas Costeras, un Simposio. Memorias del Simposio Internacional de Lagunas Costeras. UNAM-UNESCO, Nov 28-30, 1967. México, D.F. p. 545.562.*
- Millero, F.J. (2006). Micronutrients in the oceans. *Chemical Oceanography, University of Miami, Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science. Miami, Florida, USA. Third edition. Page 318-322.*
- Nixon, S.W. (1992). Quantifying the relationship between nitrogen input and the productivity of marine ecosystems. In: Takahashi, M; Nakata, K., Parsons, T.R. (eds) *Proceedings of Advanced Marine Technology Conference, Vol 5, Tokio, p 57-83.*
- Nixon, S.W. (1995). Coastal marine eutrophication: a definition, social causes and future concerns. *Ophelia* 41:199-219.
- NOM-001-ECOL-1996. Publicada en el Diario Oficial de la Federación, 6 enero 1997.
- Norris, A.R. & Hackney, C.T. (1999). Silica Content of a Mesohaline Tidal Marsh in North Carolina. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 49, 597-605.
- Officer, C.B. & Ryther, J.H. (1980). The possible importance of silicon in marine eutrophication. *Marine Ecology Progress Series* 3, 83-91.
- Ortner, P.B. & Daga, M.J. (1995). Nutrient-enhanced coastal ocean productivity explored in the Gula of Mexico, *Eos Trans AGU*, 76, 97.
- 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 Mexico. Universidad Autónoma de México. Informe Centro de Ciencias del Mar y Limnología.
- Ortiz-Gallarza, S.M., De la Lanza, G. Y García-Hernández, M.R. (1991). Hidrología vs contaminación en la Bahía de Guaymas al Noroeste de México. IV Congreso Latinoamericano de Ciencias del mar, Universidad Católica del Norte, Facultad de Ciencias del Mar. Coquimbo, Chile. Memoria de Resúmenes.
- Páez-Osuna, F. (Ed.). (2001). *Camaronicultura y Medio Ambiente. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, PUAL, El Colegio de Sinaloa. México. 448 p.*
- Páez-Osuna, F., Guerrero-Galván, S.R. y Ruiz-Fernández, A.C. (1998). The environmental impact of shrimp aquaculture and the coastal pollution in Mexico. *Marine Pollution Bulletin*, 36: 65-75.
- 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.
- Páez-Osuna, F., Montañón-Ley, Y., y Bojorquez-Leyva, H. (1990). Intercambio de Agua, Fósforo y Material Suspendido entre el Sistema Lagunar Puerto de Mazatlán y las Aguas Costeras Adyacentes. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 6: 19-32.

- Parsons, T. & Takahashi, M. (1975). *Biological Oceanographic Processes*. Pergamon Press, London. 186 p.
- Peña, M.A., Lewis, M.R. y Harrison, W.G. (1990). Primary productivity and size structure of phytoplankton biomass on a transect by the equator at 136° W in the Pacific Ocean. *Deep-Sea Research*, 37: 295-315.
- Reid, G.K. y Wood, R.D. (1976). *Ecology of island waters and estuaries*. 2th Edition D. Van Nostrand Company. New York.
- Roden, E y Emilsson, I. (1980). *Oceanografía física del Golfo de California*. Centro de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM. Contribución No. 90. 67p.
- Rosales-Hoz, M.L.T. (1980). *Manual de laboratorio de Oceanografía Química*. Universidad Nacional Autónoma de México (CCMyL). México, D.F. 203 p.
- Sand-Jensen, K. (1976). A comparison of chlorophyll *a* determinations of unstored and stored plankton filters extracted by methanol and acetone. *Vatten* 4: 337-341.
- Santoyo, R.H. (1994). Fitoplancton y productividad. In: de La Lanza, G. Y Cáceres-Martínez (Eds.). *Lagunas Costeras y el litoral Mexicano*. Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, B.C.S
- Sfriso, A. & Marcomini, A. (1997). Macrophyte production in a shallow coastal lagoon. Part I: Coupling with chemico-physical parameters and nutrient concentrations in waters. *Marine Environmental Research*, Volume 44, Issue 4, December 1997, Pages 351-375
- Smith, S.V. (1984). Phosphorus versus nitrogen limitation in the marine environment. *Limnology & Oceanography* 29:1149-1160.
- Stephan, C.E., Mount, D.I., Hansen, D.J., Gentile, G.H. Chapman, G.A., Brungs, W.A. (1985). *Guidelines for Deriving Numerical National Water Quality Criteria for the Protection of Aquatic Organisms and Their Uses*. US Environmental Protection Agency. NTIS Publication No. PB85-227-249.
- Smith, V.H., Tilman, G.D, & Nekola, J.C. (1999). Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental pollution*. 100: 179-196.
- Strickland, J.D.H. & Parsons. (1972). *A Practical Handbook of Seawater Analysis*. 167-311 pp.
- Sundareshwar, P.V., Morris, J.T. Koepfler, E.K., Fornwalt, B. (2003). Phosphorus limitation of coastal ecosystem processes. *Science* 299 (5606), 563-565.
- USEPA (2000). *Ambient aquatic life water quality criteria for dissolved oxygen (saltwater): Cape Cod to Cape Hatteras*. EPA-855-R-00-012. US Environmental Protection Agency, Officer of Water, Washington, D.C.
- USEPA (2001). *Draft Report: Nutrient Criteria Technical Guidance Manual: Estuarine and Coastal Water*. EPA-822-B-01-003. US Environmental Protection Agency, Officer of Water, Washington, D.C.
- Valiela, I. (1995). *Marine Ecological Processes*. Second Edition, Springer, New York, 686 p.
- Vernberg, F.S. (1972). Dissolved gasses. In: Kinne, O. (Ed.), *Marine Ecology*, vol. 1, Part 3. Wiley-Interscience, New York, pp. 1491-1526.
- Vollenweider, R.A. (1992). Coastal marine eutrophication: principles and control. In: Vollenweider, R.A., Marchetti, R. & Viviani, R. (Eds.) *Marine Coastal Eutrophication*. Elsevier, The Netherlands, 1-20 p.

- Wang, W.X., Widdows J. (1999). Physiological responses of mussel larvae *Mytilus edulis* to environmental hypoxia and anoxia. *Marine Ecology Progress Series*. 59:229-238.
- Yolanda, D.A., Olivier, L.P., Paul, T., Bernard, Q., Alain, M. & Alain, A. (1997). Impacts of high-nitrate freshwater inputs on macrotidal ecosystems: I. Seasonal evolution of nutrient limitation for the diatom-dominated phytoplankton of the Bay of Brest (France). *Marine Ecology Progress Series* 161, 231-224.

13. Índice de tablas

Tabla 1. Coeficiente de variación y límite de detección de las técnicas analíticas utilizadas para el análisis de las muestras.....	28
Tabla 2. Promedios y desviaciones estándares para cada una de las variables fisicoquímicas en aguas de los 6 sistemas lagunares estudiados: OHU: Ohuira-Topolobampo-Santa María; NSI: Navachiste-San Ignacio-Macapule; SMR: Santa María-La Reforma; AEP: Altata-Ensenada del Pabellón; CEU: Ceuta; TEA: Teacapán.....	54
Tabla 3. Promedios y desviaciones estándares para cada una de las variables de nutrientes y clorofila <i>a</i> en aguas los 6 sistemas lagunares estudiados: OHU: Ohuira-Topolobampo-Santa María; NSI: Navachiste-San Ignacio-Macapule; SMR: Santa María-La Reforma; AEP: Altata-Ensenada del Pabellón; CEU: Ceuta; TEA: Teacapán.....	80
Tabla 3. . Promedios y desviaciones estándares para cada una de las variables de nutrientes y clorofila <i>a</i> en aguas los 6 sistemas lagunares estudiados: OHU: Ohuira-Topolobampo-Santa María; NSI: Navachiste-San Ignacio-Macapule; SMR: Santa María-La Reforma; AEP: Altata-Ensenada del Pabellón; CEU: Ceuta; TEA: Teacapán.....	80
Tabla 4. Valores de <i>p</i> obtenidos a partir de la aplicación de la prueba de Tukey para la comparación múltiple de los promedios de la temperatura anual durante la pleamar con respecto a cada sistema lagunar. (-) indica que no hay diferencias significativas ($p < 0.05$).....	83
Tabla 5. Categorización de acuerdo al régimen salino (ΔS) de cada uno de los seis sistemas lagunares estudiados. Los valores en negrita indican sistemas antiestuarinos: SC (secas cálidas); LL (lluvias) y SF (secas frías).....	84
Tabla 6. Valores de <i>p</i> obtenidos a partir de la aplicación de la prueba de Tukey para la comparación múltiple de los promedios de la salinidad anual durante la pleamar con respecto a cada sistema lagunar. (-) indica que no hay diferencias significativas ($p < 0.05$).....	85
Tabla 7. Valores de <i>p</i> obtenidos a partir de la aplicación de la prueba de Tukey para la comparación múltiple de los promedios de la salinidad anual durante la bajamar con respecto a cada sistema lagunar. (-) indica que no hay diferencias significativas ($p < 0.05$).....	85
Tabla 8. Valores de <i>p</i> obtenidos a partir de la aplicación de la prueba de Tukey para la comparación múltiple de los promedios anuales del oxígeno disuelto durante la pleamar con respecto a cada sistema lagunar. (-) indica que no hay diferencias significativas ($p < 0.05$).....	87

Tabla 9. Valores de p obtenidos a partir de la aplicación de la prueba de Tukey para la comparación múltiple de los promedios anuales de oxígeno disuelto durante la bajamar con respecto a cada sistema lagunar. (-) indica que no hay diferencias significativas ($p < 0.05$).....	88
Tabla 10. Valores de p obtenidos a partir de la aplicación de la prueba de Tukey para la comparación múltiple de los promedios anuales de los sólidos suspendidos durante la pleamar con respecto a cada sistema lagunar. (-) indica que no hay diferencias significativas ($p < 0.05$).....	89
Tabla 11. Valores de p obtenidos a partir de la aplicación de la prueba de Tukey para la comparación múltiple de los promedios anuales de fósforo disuelto durante la pleamar con respecto a cada sistema lagunar. (-) indica que no hay diferencias significativas ($p < 0.05$).....	91
Tabla 12. Valores de p obtenidos a partir de la aplicación de la prueba de Tukey para la comparación múltiple de los promedios anuales de fósforo disuelto durante la bajamar con respecto a cada sistema lagunar. (-) indica que no hay diferencias significativas ($p < 0.05$).....	91
Tabla 13. Valores de p obtenidos a partir de la aplicación de la prueba de Tukey para la comparación múltiple de los promedios anuales de fósforo total durante la pleamar con respecto a cada sistema lagunar. (-) indica que no hay diferencias significativas ($p < 0.05$).....	93
Tabla 14. Valores de p obtenidos a partir de la aplicación de la prueba de Tukey para la comparación múltiple de los promedios anuales de fósforo total durante la bajamar con respecto a cada sistema lagunar. (-) indica que no hay diferencias significativas ($p < 0.05$).....	93
Tabla 15. Valores de p obtenidos a partir de la aplicación de la prueba de Tukey para la comparación múltiple de los promedios anuales de silicatos durante la pleamar con respecto a cada sistema lagunar. (-) indica que no hay diferencias significativas ($p < 0.05$).....	95
Tabla 16. Valores de p obtenidos a partir de la aplicación de la prueba de Tukey para la comparación múltiple de los promedios anuales de silicatos durante la bajamar con respecto a cada sistema lagunar. (-) indica que no hay diferencias significativas ($p < 0.05$).....	95
Tabla 17. Valores de p obtenidos a partir de la aplicación de la prueba de Tukey para la comparación múltiple de los promedios anuales de clorofila <i>a</i> durante la pleamar con respecto a cada sistema lagunar. (-) indica que no hay diferencias significativas ($p < 0.05$).....	97
Tabla 18. Valores de p obtenidos a partir de la aplicación de la prueba de Tukey para la comparación múltiple de los promedios anuales de clorofila <i>a</i> durante la bajamar	

con respecto a cada sistema lagunar. (-) indica que no hay diferencias significativas (p<0.05).....	97
Tabla 19. Límites máximos permisibles o de referencia para la clasificación de las aguas costeras dependiendo de la concentración del nutriente o variable asociada.....	98
Tabla 20. Porcentaje de área lagunar encontrado que rebasa el límite máximo permisible o de referencia (Tabla 19).....	103

14. Índice de figuras

Fig. 1. Cuenca de Drenaje del Sistema Lagunar Topolobampo-Ohuira con estaciones de muestreo.....	17
Fig. 2. Cuenca de Drenaje del Sistema Lagunar Navachiste-San Ignacio con estaciones de muestreo.....	18
Fig. 3. Cuenca de Drenaje del Sistema Lagunar Santa María-La Reforma con estaciones de muestreo.....	19
Fig. 4. Cuenca de Drenaje del Sistema Lagunar Altata-Ensenada del Pabellón con estaciones de muestreo.....	21
Fig. 5. Cuenca de Drenaje del Sistema Lagunar Ceuta con estaciones de muestreo.....	22
Fig. 6. Cuenca de Drenaje del Sistema Lagunar Teacapán con estaciones de muestreo.....	23
Fig. 7. Distribución de temperatura de las aguas superficiales del sistema lagunar Ohuira-Topolobampo-Santa María (LL = lluvias y SF = secas frías).....	31
Fig. 8. Distribución de temperatura en las aguas superficiales del sistema lagunar Navachiste-San Ignacio-Macapule (LL = lluvias y SF = secas frías).....	31
Fig. 9. Distribución de la temperatura en las aguas superficiales del sistema lagunar Santa María-La Reforma (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).....	32
Fig. 10. Distribución de temperatura en las aguas superficiales del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).....	32
Fig. 11. Distribución de temperatura en las aguas superficiales del sistema lagunar Ceuta (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).....	35
Fig. 12. Distribución de temperatura en las aguas superficiales del sistema lagunar Teacapán (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).....	35
Fig. 13. Distribución de salinidad en las aguas del sistema lagunar Ohuira-Topolobampo-Santa María (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).....	37
Fig. 14. Distribución de salinidad en las aguas del sistema lagunar Navachiste-San Ignacio-Macapule (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).....	37
Fig. 15. Distribución de salinidad en las aguas del sistema lagunar Santa María-La Reforma (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).....	39
Fig. 16. Distribución de salinidad en las aguas del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).....	39

Fig. 17. Distribución de salinidad en las aguas del sistema lagunar Ceuta (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).....	41
Fig. 18. Distribución de salinidad en las aguas del sistema lagunar Teacapán (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).....	41
Fig. 19. Distribución de oxígeno disuelto en las aguas del fondo del sistema lagunar Ohuira-Topolobampo-Santa María (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).....	43
Fig. 20. Distribución de oxígeno disuelto en las aguas del fondo del sistema lagunar Navachiste-San Ignacio-Macapule (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).....	43
Fig. 21. Distribución de oxígeno disuelto en las aguas del fondo del sistema lagunar Santa María-La Reforma (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).....	45
Fig. 22. Distribución de oxígeno disuelto en las aguas del fondo del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).....	45
Fig. 23. Distribución de oxígeno disuelto en las aguas del fondo del sistema lagunar Ceuta (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).....	47
Fig. 24. Distribución de oxígeno disuelto en las aguas del fondo del sistema lagunar Teacapán (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).....	47
Fig. 25. Distribución de sólidos suspendidos totales en las aguas del sistema lagunar Ohuira-Topolobampo-Santa María (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).....	49
Fig. 26. Distribución de sólidos suspendidos totales en las aguas del sistema lagunar Navachiste-San Ignacio-Macapule (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).....	49
Fig. 27. Distribución de sólidos suspendidos totales en las aguas del sistema lagunar Santa María-La Reforma (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).....	51
Fig. 28. Distribución de sólidos suspendidos totales en las aguas del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).....	51
Fig. 29. Distribución de sólidos suspendidos totales en las aguas del sistema lagunar Ceuta (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).....	53
Fig. 30. Distribución de sólidos suspendidos totales en las aguas del sistema lagunar Teacapán (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).....	53

Fig. 31. Distribución de fósforo disuelto en las aguas del sistema lagunar Ohuira-Topolobampo-Santa María (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).....	57
Fig. 32. Distribución de fósforo disuelto en las aguas del sistema lagunar Navachiste-San Ignacio-Macapule (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).....	57
Fig. 33. Distribución de fósforo disuelto en las aguas del sistema lagunar Santa María-La Reforma (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).....	59
Fig. 34. Distribución de fósforo disuelto en las aguas del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).....	59
Fig. 35. Distribución de fósforo disuelto en las aguas del sistema lagunar Ceuta (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).....	61
Fig. 36. Distribución de fósforo disuelto en las aguas del sistema lagunar Teacapán (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).....	61
Fig. 37. Distribución de fósforo total en las aguas del sistema lagunar Ohuira-Topolobampo-Santa María (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).....	63
Fig. 38. Distribución de fósforo total en las aguas del sistema lagunar Navachiste-San Ignacio-Macapule (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).....	63
Fig. 39. Distribución de fósforo total en las aguas del sistema lagunar Santa María-La Reforma: (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).....	65
Fig. 40. Distribución de fósforo total en las aguas del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).....	65
Fig. 41. Distribución de fósforo total en las aguas del sistema lagunar Ceuta (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).....	67
Fig. 42. Distribución de fósforo total en las aguas del sistema lagunar Teacapán (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).....	67
Fig. 43. Distribución de silicatos en las aguas del sistema lagunar Ohuira-Topolobampo-Santa María (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).....	69
Fig. 44. Distribución de silicatos en las aguas del sistema lagunar Navachiste-San Ignacio-Macapule (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).....	69

Fig. 45. Distribución de silicatos en las aguas del sistema lagunar Santa María-La Reforma (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).....	71
Fig. 46. Distribución de silicatos en las aguas del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).....	71
Fig. 47. Distribución de silicatos en las aguas del sistema lagunar Ceuta (SC = secas cálidas; LL = lluvias y SF = secas frías).....	73
Fig. 48. Distribución de silicatos en las aguas del sistema lagunar Teacapán (SC = secas cálidas; LL lluvias y SF = secas frías).....	73
Fig. 49. Distribución de clorofila <i>a</i> en las aguas superficiales del sistema lagunar Ohuira-Topolobampo-Santa María (SC = secas cálidas; LL lluvias y SF = secas frías).....	75
Fig. 50. Distribución de clorofila <i>a</i> en las aguas superficiales del sistema lagunar Navachiste-San Ignacio-Macapule (SC = secas cálidas; LL lluvias y SF = secas frías).....	75
Fig. 51. Distribución de clorofila <i>a</i> en las aguas superficiales del sistema lagunar Santa María-La Reforma (SC = secas cálidas; LL lluvias y SF = secas frías).....	77
Fig. 52. Distribución de clorofila <i>a</i> en las aguas superficiales del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón (SC = secas cálidas; LL lluvias y SF = secas frías).....	77
Fig. 53. Distribución de clorofila <i>a</i> en las aguas superficiales del sistema lagunar Ceuta (SC = secas cálidas; LL lluvias y SF = secas frías).....	79
Fig. 54. Distribución de clorofila <i>a</i> en las aguas superficiales del sistema lagunar Teacapán (SC = secas cálidas; LL lluvias y SF = secas frías).....	79
Fig. 55 Promedios y desviación estándar anual de temperatura (° C) para pleamar y bajamar en las aguas de los 6 sistemas lagunares.....	82
Fig. 56 Promedios y desviación estándar anual de salinidad (psu) para pleamar y bajamar en las aguas de los 6 sistemas lagunares.....	83
Fig. 57. Promedios y desviación estándar anual de oxígeno disuelto (mg/L) para pleamar y bajamar en las aguas de los 6 sistemas lagunares.....	86
Fig. 58. Promedios y desviación estándar anual de sólidos suspendidos totales (mg/L) para pleamar y bajamar en las aguas de los 6 sistemas lagunares.....	88
Fig. 59. Promedios y desviación estándar anual de fósforo disuelto (µM) para pleamar y bajamar en las aguas de los 6 sistemas lagunares.....	90
Fig. 60. Promedios y desviación estándar anual de fósforo total (µM) para pleamar y bajamar en las aguas de los 6 sistemas lagunares.....	92

Fig. 61. Promedios y desviación estándar anual de silicatos (μM) para los dos períodos de marea en las aguas de los 6 sistemas lagunares.....	94
Fig. 62. Promedios y desviación estándar anual de clorofila <i>a</i> (mg/m^3) para pleamar y bajamar en las aguas de los 6 sistemas lagunares.....	96
Fig. 63. Rango y distribución de las concentraciones de oxígeno disuelto (mg/L) (a) y clorofila <i>a</i> (mg m^{-3})(b) para las aguas de cada uno de los sistemas lagunares. La línea vertical denota el límite del indicador del estado trófico de las aguas.....	100
Fig. 64. Rango y distribución de las concentraciones de sólidos suspendidos totales (mg/L) (c) y fósforo disuelto (μM) (d) para las aguas de cada uno de los sistemas lagunares. La línea vertical denota el límite del indicador del estado trófico de las aguas.....	101
Fig. 65. Rango y distribución de las concentraciones (μM) de fósforo total (e) y silicio (f) para las aguas de cada uno de los sistemas lagunares. La línea vertical denota el límite del indicador del estado trófico de las aguas.....	102
Fig. 66. Porcentaje de área lagunar que rebasa el límite máximo permisible o de referencia para cada uno de los seis sistemas lagunares estudiados.....	103
Fig. 67. Perfiles obtenidos del oxígeno disuelto para cada uno de los seis sistemas lagunares estudiados (LL = lluvias y SF = secas frías).....	106
Fig. 68. Factor limitante de la productividad primaria para cada una de las épocas climáticas en el sistema lagunar Ohuira-Topolobampo-Santa María: (a) secas cálidas; (b) lluvias y (c) secas frías.....	107
Fig. 69. Factor limitante de la productividad primaria para (a) lluvias y (b) secas frías en el sistema lagunar Navachiste-San Ignacio-Macapule.....	108
Fig. 70. Factor limitante de la productividad primaria para (a) secas cálidas y (b) secas frías en el sistema lagunar Santa María-la Reforma.....	108
Fig. 71. Factor limitante de la productividad primaria para cada una de las épocas climáticas en el sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón: (a) secas cálidas; (b) lluvias y (c) secas frías.....	109
Fig. 72. Factor limitante de la productividad primaria para secas cálidas en el sistema lagunar Ceuta.....	110
Fig. 73. Factor limitante de la productividad primaria para (a) secas cálidas y (b) secas frías en el sistema lagunar Ceuta.....	110
Fig. 74. Relación molar de silicio disuelto y nitrógeno inorgánico disuelto (Si:N) y nitrógeno inorgánico disuelto y fosfato (N:P) en las aguas del sistema lagunar	

Ohuira-Topolobampo-Santa María en: (a) secas cálidas, (b) lluvias y (c) secas frías.....	112
Fig. 75. Relación molar de silicio disuelto y nitrógeno inorgánico disuelto (Si:N) y nitrógeno inorgánico disuelto y fosfato (N:P) en las aguas del sistema lagunar Navachiste-San Ignacio-Macapule en: (a) secas cálidas, (b) lluvias y (c) secas frías.....	113
Fig. 76. Relación molar de silicio disuelto y nitrógeno inorgánico disuelto (Si:N) y nitrógeno inorgánico disuelto y fosfato (N:P) en las aguas del sistema lagunar Santa María-La Reforma en: (a) secas cálidas, (b) lluvias y (c) secas frías.....	114
Fig. 77. Relación molar de silicio disuelto y nitrógeno inorgánico disuelto (Si:N) y nitrógeno inorgánico disuelto y fosfato (N:P) en las aguas del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón en: (a) secas cálidas, (b) lluvias y (c) secas frías.....	114
Fig. 78. Relación molar de silicio disuelto y nitrógeno inorgánico disuelto (Si:N) y nitrógeno inorgánico disuelto y fosfato (N:P) en las aguas del sistema lagunar Ceuta en: (a) secas cálidas, (b) lluvias y (c) secas frías.....	115
Fig. 79. Relación molar de silicio disuelto y nitrógeno inorgánico disuelto (Si:N) y nitrógeno inorgánico disuelto y fosfato (N:P) en las aguas del sistema lagunar Teacapán en: (a) secas cálidas, (b) lluvias y (c) secas frías.....	116