



Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología

Universidad Nacional Autónoma de México.



UNAM

**CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL
PUERTO DE ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, CON
VISTAS A LA INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE
BOMBEO POR ENERGÍA DEL OLEAJE (SIBEO)**

T E S I S

que para obtener el grado académico de:

Maestro en Ciencias
(Química Acuática)

Presenta

ING. ROBERTO GONZÁLEZ DE ZAYAS

Director de Tesis: DRA. GUADALUPE DE LA LANZA ESPINO.

Comité Tutorial: DR. STEVEN CZITROM BAUS

DR. MARTÍN MERINO IBARRA

DRA LETICIA ROSALES HOZ

DR. RODOLFO SILVA CASARÍN

México, D. F., 2004.



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.

Esta Tesis de Maestría, corresponde a los estudios realizados con una beca otorgada por la Secretaría de Relaciones Exteriores del Gobierno de México.

DEDICATORIA

A:

Antoine de Saint - Exupéry

*“Lo Esencial es Invisible,
Hay que buscarlo con el CORAZÓN.”*

AGRADECIMIENTOS

- A la Dra Guadalupe de la Lanza Espino, por la ayuda y los conocimientos que me transmitió en estos dos años en que he estado bajo su tutela, por su admirable capacidad de trabajo, la cual fue vital en la revisión y corrección de mis constantes manuscritos y dudas. Sirve este párrafo también para agradecerle el financiamiento del trabajo de campo de este Proyecto de Maestría; además, incluyo el sentir de los compañeros que trabajamos en el Proyecto GEF\PNUD “Acciones Prioritarias para la Protección de la Biodiversidad del Archipiélago Sabana – Camagüey”, Cuba, del cual ha sido asesora en los últimos dos años.
- Al Comité Tutorial que me fue asignado, en especial, a los Doctores Steven Czitrom y Martín Merino, quienes desde el Primer Examen Tutorial me hicieron sugerencias importantes para que este trabajo fuera desarrollado con la mayor calidad posible y que siempre que me acerque a ellos, me ayudaron.
- A la Dra Isabel Ramírez y su equipo de trabajo (Oc. Cesar Coronado y Lic. Xavier Flores) los cuales fueron pilares determinantes en el trabajo de campo, el transporte, en la adquisición de conocimientos, en el manejo de equipos y en la organización del trabajo oceanográfico. Extensivo este agradecimiento al Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE) por el uso de las instalaciones y las facilidades para el trabajo en la ciudad de Ensenada.
- A la Autoridad Portuaria Integral (API) de Ensenada, en especial al Oc. Juan Carlos Vivanco por las facilidades brindadas en el uso de embarcaciones para la colecta de muestras, así como a la información que me facilitaron, la cual fue clave para la realización de este trabajo.
- A los compañeros de la Estación Oceanográfica de Ensenada, perteneciente a la Secretaría de Marina, en especial y profundamente al Oc. Guillermo Martínez, Tte. Nidia Ángulo y Tte. Guillén, sin quienes hubiera sido imposible realizar la colecta de muestras, el análisis de algunos parámetros químicos, la recopilación de información y en múltiples ocasiones el traslado de quien escribe dentro de Ensenada.
- A mi familia mexicana, en la cual muchas veces descargué mis malas pulgas, que aguantó mi ¿mala educación? Sus consejos, sugerencias y paciencia fueron esenciales en mis estudios y trabajo de Tesis. Gracias Lupita, Mary, Gaby y Edgar, de todo corazón. ¡Gracias por todo!
- A la Dirección y mis compañeros del Centro de Investigaciones de Ecosistemas Costeros de Cayo Coco (CIEC), su cercanía me tuvo siempre mucho más entusiasmado para cumplir un compromiso; gracias por los consejos, los chismes, el café, las colchas de trapear, los cigarros y el ron. Vicente (el Guajiro fato), Fabián (Chama), Lianys y Fernando (zoquete), son los destacados del Sindicato por esta tarea.
- A mis profesores y compañeros de Salón durante dos Semestres, de todos recibí conocimientos, amistad y apoyo. A los Doctores David Salas, Adela Monreal y Arturo Carranza; a Dianita, Rubén (güey), Rosalina, Gerardo, Gaby, Maripili, Iván, Aldo, Krivsova, Gabriel, Yemín, Memo, etc, etc, etc. Gracias!!!!
- A los compañeros del Laboratorio de Oceanografía Física del ICMYL (Iván, Erick, Artemio, Ranulfo, Esteban y Zuelen) y del Laboratorio de Hidrobiología del Instituto de Biología (Salvador (Chava), Carlitos y José Luis).
- A toda la Comunidad del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología.

- Un agradecimiento especial a los amigos que he tenido en este tiempo, con los cuales compartí y espero seguir compartiendo muchas cosas (no tantas fiestas). Con todo mi corazón le agradezco a María Eugenia Zamudio (Maru), en quien siempre he podido confiar y me ha ayudado infinitamente a lograr este objetivo.
- Al personal de Posgrado del Instituto (Lupita, Normita, Gaby y Diana), siempre guiándome en el mundo perdido de la burocracia.
- A mi tierra, su gente, su vida, sin pensar en ellos me hubiera vuelto loco.
- Por último, y no por ser menos importante, a mi familia, a toda la que quiero y me quiere, en especial a mi hija Dayana y a Roli (viejo calvo), quien me enseñó que la modestia y la honradez, no te hacen rico, pero si mejor SER HUMANO.

RESUMEN

El Puerto de Ensenada, Baja California, es uno de los más importantes de México en la costa del Pacífico y ha experimentado un incremento de las actividades antropogénicas en su cercanía en las últimas décadas, lo que unido a su limitada circulación, ha traído posibles cambios en las características fisicoquímicas de sus aguas. El objetivo principal del presente trabajo es la caracterización espacio – temporal de la fisicoquímica de las aguas del puerto y el cálculo del presupuesto de nutrientes a través del modelo del Proyecto “Interacciones Tierra - Océano en la Zona Costera” (LOICZ), con vistas a la instalación de un Sistema de Bombeo por Energía del Oleaje (SIBEO). La investigación se realizó en 18 estaciones, con una frecuencia trimestral y los parámetros determinados fueron: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, nutrientes (amonio, nitratos + nitritos, fosfatos y silicatos), clorofila *a* y demanda química de oxígeno. Los resultados indicaron que la estructura termohalina del puerto fue similar a la de la Bahía de Todos Santos y estuvo asociada a ciclos estacionales, con las temperaturas más elevadas en verano (22 °C) y más bajas en otoño (16 °C). La distribución espacio – temporal de nutrientes y materia orgánica fue reflejo de varios factores, a saber: descargas residuales, resuspensión de sedimentos y existencia de giros ciclónicos frente a los muelles de cruceros y contenedores. En particular, en noviembre, las condiciones de hipoxia (< 3 ml/L) y los contenidos más elevados de amonio (19.0 µM), nitratos + nitritos (3.1 µM), fosfatos (2.8 µM), silicatos (12 µM) y DQO (28 mgO₂/L) en la zona norte, reflejaron un gradiente de mayor a menor desde la zona norte hacia la boca, señalando que el prisma de marea influyó principalmente en la mitad sur del puerto. La relación N:P fue menor que 10, sin embargo los contenidos de nitrógeno permitieron soportar una elevada producción primaria (hasta 16 mg/m³ de clorofila *a*). La pérdida de agua por evaporación, que excedió a los aportes de agua dulce al puerto, fue compensada por la Bahía de Todos Santos, por lo que el volumen residual fue positivo en todos los muestreos y anualmente. El tiempo de residencia de las aguas (3.7 días) estuvo dominado por la marea y fue constante ya que debido a la escasa diferencia de salinidad entre el puerto y el mar adyacente, el volumen de intercambio se calculó a través del prisma de marea. En marzo, el puerto fue importador de nitrógeno (139 kg/día) y fósforo (30 kg/día), comportándose como exportador de nutrientes en junio, septiembre y noviembre. En el balance anual, el puerto exportó 33 ton/nutrientes/año, de las que el 80 % (27.7 ton) fueron de nitrógeno. El tiempo de residencia del nitrógeno (100 días) y fósforo (80 días) calculados teniendo en cuenta las entradas de cada nutriente fueron poco reales; sin embargo al utilizar lo retirado de nitrógeno y fósforo por producción primaria y exportación, el tiempo de residencia de cada nutriente fue compatible con el tiempo de residencia de las aguas del puerto (diez días para el nitrógeno y 20 días para el fósforo). La gran diferencia entre el volumen de intercambio (1,387 x 10⁶ m³/año) y el aportado por el SIBEO (31.5 x 10⁶ m³/año), condicionó que el balance anual de nitrógeno y fósforo fuera similar al calculado sin el flujo del SIBEO. La aplicación de la metodología de LOICZ en sistemas con características como las del Puerto de Ensenada con escasa diferencia de salinidad respecto al mar adyacente, estratificación térmica, gradiente de nutrientes y limitada información sobre descargas residuales, debe ser con cautela, debido a que pueden generar errores en el cálculo del volumen de intercambio de agua, tiempo de residencia y presupuesto de nutrientes.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	3
1.1. Antecedentes	3
2. ÁREA DE ESTUDIO	6
3. MATERIALES Y MÉTODOS	9
3.1 Muestreo.....	9
3.1.1 Recolecta de las muestras.....	10
3.1.2 Medición de variables <i>in situ</i>	10
3.2 Métodos analíticos	11
3.3 Relaciones estequiométricas	11
3.4 Descripción del modelo de LOICZ.	11
3.5 Análisis Estadístico	14
4. RESULTADOS	15
4.1 Temperatura	15
4.2 Salinidad	15
4.3 Oxígeno disuelto	15
4.4 Nutrientes	16
4.4.1 Amonio	26
4.4.2 Nitratos + nitritos	26
4.4.3. Fosfatos	26
4.4.4 Silicatos	26
4.5 Clorofila <i>a</i>	27
4.6 Demanda Química de Oxígeno (DQO)	27
4.7 Estación de la Bahía de Todos Santos, B. C.	39
4.8 Relación N:P	39
4.9 Análisis Estadístico	40
4.9.1 Resultados de la prueba ANOVA	40
4.10 Balance de nitrógeno (N) y fósforo (P) en el Puerto de Ensenada, B. C. según Modelo de LOICZ antes de la instalación del SIBEO.	40
4.10.1 Balance de Agua (Gordon <i>et al.</i> , 1996)	40
4.10.2 Estimación del Volumen de Mezcla (V_x') a partir del Cálculo del Prisma de Marea en el Puerto de Ensenada, B. C.	41
4.10.3 Cálculo del balance de nitrógeno (N) y fósforo (P) en el Puerto de Ensenada, B. C., en cada muestreo y anual.	45
4.11 Balance de nitrógeno (N) y fósforo (P) en el Puerto de Ensenada, B. C, según Modelo de LOICZ asumiendo además como referencia, el flujo aproximado del SIBEO.	52
5. DISCUSIÓN	54
5.1 Temperatura	54
5.2 Salinidad	57
5.3 Oxígeno	57
5.4 Nutrientes	59
5.4.1 Amonio	59
5.4.2 Nitratos + nitritos	61

5.4.3 Fosfatos -----	64
5.4.4 Silicatos -----	64
5.5 Clorofila <i>a</i> -----	65
5.6 Demanda Química de Oxígeno (DQO) -----	66
5.7 Relación N:P -----	67
5.8 Análisis Estadístico -----	68
5.9 Balance y tiempo de residencia de nitrógeno (N) y fósforo (P) antes de la instalación del SIBEO en el Puerto de Ensenada, B. C según la metodología de LOICZ. -----	69
5.9.1 Balance de Agua. -----	69
5.9.2 Balance anual de nitrógeno (N) y fósforo (P) antes de la instalación del SIBEO en el Puerto de Ensenada, B. C. -----	69
5.10 Balance anual de de nitrógeno (N) y fósforo (P), tomando en consideración el flujo estimado para el SIBEO en el Puerto de Ensenada, B. C. según la metodología de LOICZ. -----	71
5.11 Consideraciones generales en cuanto a la instalación del SIBEO. -----	72
6. CONCLUSIONES -----	73
7. VALORACIÓN DEL TRABAJO DE TESIS -----	75
8. LÍNEAS FUTURAS DE TRABAJO -----	76
9. BIBLIOGRAFÍA -----	77
10. ANEXOS -----	86
Anexo. 1 Calibración del Sensor del Oxígeno Disuelto SBE 43 SeaBird.-----	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características principales del CTD Sea – Bird SBE19plus. -----	10
Tabla 2. Estadísticas de los parámetros fisicoquímicos (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, amonio, nitratos + nitritos, fosfatos, silicatos, clorofila <i>a</i> y DQO) en el Puerto de Ensenada, B. C.-----	16
Tabla 3. Resultados de los parámetros fisicoquímicos en la estación de la Bahía de Todos Santos, B. C. -----	39
Tabla 4. Variabilidad de los nutrientes y relación N:P en el Puerto de Ensenada, B. C. en cada muestreo.-----	40
Tabla 5. Parámetros que tuvieron diferencias significativas entre las zonas norte y sur en el Puerto de Ensenada, B. C. -----	40
Tabla 6. Volúmenes de entrada y salida de agua dulce en el Puerto de Ensenada, B. C. -----	41
Tabla 7. Volúmenes residuales V_R (m ³ /día), tiempo de residencia por mareas (τ_m), tiempo de residencia hidráulico (τ_{hid}) y tiempo de residencia total del puerto (τ_r), obtenidos a partir del balance de agua para cada muestreo. -----	44
Tabla 8. Escalado de los volúmenes utilizados en el balance de agua y nutrientes (0 – 100) para cada muestreo y anual. -----	44

Tabla 9. Volumen residual V_R ($m^3/año$), tiempo de residencia por mareas (τ_m), tiempo de residencia hidráulico (τ_{hid}) y tiempo de residencia total del puerto (τ_r), obtenidos a partir del balance de agua anual. -----	44
Tabla 10. Concentraciones de nitratos + nitritos, amonio, NID, N_{org} , N, fosfatos, P_{org} y P, del Puerto de Ensenada y la Bahía de Todos los Santos (BT), B. C., en cada muestreo y el promedio anual.-----	46
Tabla 11. Balance de N y P (kg/día) en el Puerto de Ensenada, B. C., para cada muestreo.---	47
Tabla 12. Balance y tiempo de residencia anuales de N y P en el Puerto de Ensenada, B.C.	51
Tabla 13. Balance y tiempo de residencia anuales de N y P sumando el flujo aportado por el SIBEO en el Puerto de Ensenada, B. C.-----	52
Tabla 14. Intervalos de concentración de nitratos + nitritos (μM) en cuerpos costeros. -----	61
Tabla 15. Cantidades de N y P utilizadas en la producción primaria en el Puerto de Ensenada, en marzo, septiembre y noviembre. -----	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del Puerto del Puerto de Ensenada, B. C. -----	6
Figura 2. Vista parcial del Puerto de Ensenada, B. C. -----	7
Figura 3. Batimetría del Puerto de Ensenada, B. C. -----	7
Figura 4. Localización de las principales descargas de aguas residuales que vierten al Puerto de Ensenada, B. C.-----	8
Figura 5. Red de Estaciones de Muestreo en el Puerto de Ensenada, B. C. -----	9
Figura 6. CTD Sea - Bird, modelo SBE19plus. -----	10
Figura 7. Distribución de la temperatura superficial ($^{\circ}C$) en el Puerto de Ensenada, B. C., en marzo (a), junio (b), septiembre (c) y noviembre (d).-----	17
Figura 8. Distribución de la temperatura en el fondo ($^{\circ}C$) en el Puerto de Ensenada, B. C., en marzo (a), junio (b), septiembre (c) y noviembre (d). -----	18
Figura 9. Perfiles verticales de temperatura ($^{\circ}C$) en la estación 1 (Bahía de Todos Santos) y estaciones 6 y 7 (Puerto de Ensenada) en marzo (a), junio (b), septiembre (c) y noviembre (d). -----	19
Figura 10. Distribución de la salinidad superficial (ups) en el Puerto de Ensenada, B. C., en marzo (a), junio (b), septiembre (c) y noviembre (d). -----	20
Figura 11. Distribución de la salinidad en el fondo (ups) en el Puerto de Ensenada, B. C., en marzo (a), junio (b), septiembre (c) y noviembre (d). -----	21
Figura 12. Perfiles verticales de salinidad (ups) de las estaciones 6 y 7 en el Puerto de Ensenada, B. C, en marzo (a), junio (b), septiembre (c) y noviembre (d). -----	22
Figura 13. Distribución del oxígeno disuelto superficial (ml/L) en el Puerto de Ensenada, B. C., en marzo (a), junio (b), septiembre (c) y noviembre (d). -----	23
Figura 14. Distribución del oxígeno disuelto en el fondo (ml/L) en el Puerto de Ensenada, B. C., en marzo (a), junio (b), septiembre (c) y noviembre (d). -----	24
Figura 15. Perfiles verticales de oxígeno disuelto (ml/L) de las estaciones 6 y 7 en el Puerto de Ensenada, B. C., en marzo (a), junio (b), septiembre (c) y noviembre (d). -----	25
Figura 16. Distribución del amonio superficial (μM) en el Puerto de Ensenada, B. C., en marzo (a), junio (b), septiembre (c) y noviembre (d). -----	28
Figura 17. Distribución del amonio en el fondo (μM) en el Puerto de Ensenada, B. C., en marzo (a), junio (b), septiembre (c) y noviembre (d).-----	29
Figura 18. Distribución de los nitratos + nitritos superficiales (μM) en el Puerto de Ensenada, B. C., en marzo (a), junio (b), septiembre (c) y noviembre (d). -----	30

Figura 19. Distribución de los nitratos + nitritos en el fondo (μM) en el Puerto de Ensenada, B. C., en marzo (a), junio (b), septiembre (c) y noviembre (d).-----	31
Figura 20. Distribución de los fosfatos superficiales (μM) en el Puerto de Ensenada, B. C., en marzo (a), junio (b), septiembre (c) y noviembre (d). -----	32
Figura 21. Distribución de los fosfatos en el fondo (μM) en el Puerto de Ensenada, B. C., en marzo (a), junio (b), septiembre (c) y noviembre (d). -----	33
Figura 22. Distribución de los silicatos superficiales (μM) en el Puerto de Ensenada, B. C., en marzo (a), junio (b), septiembre (c) y noviembre (d). -----	34
Figura 23. Distribución de silicatos en el fondo (μM) en el Puerto de Ensenada, B. C., en marzo (a), junio (b), septiembre (c) y noviembre (d). -----	35
Figura 24. Distribución de la clorofila <i>a</i> (mg/m^3) superficial (a, b y c) y fondo (d, e y f), en el Puerto de Ensenada, B. C.-----	36
Figura 25. Distribución de la DQO superficial (mgO_2/L) en el Puerto de Ensenada, B. C. en marzo (a), junio (b), septiembre (c) y noviembre (d). -----	37
Figura 26. Distribución de la DQO en el fondo (mgO_2/L) en el Puerto de Ensenada, B. C., en marzo (a), junio (b), septiembre (c) y noviembre (d). -----	38
Figura 27. Balance de agua y de sal para el Puerto de Ensenada, B. C. en marzo -----	42
Figura 28. Balance de agua y de sal para el Puerto de Ensenada, B. C. en junio -----	42
Figura 29. Balance de agua y de sal para el Puerto de Ensenada, B. C. en septiembre -----	43
Figura 30. Balance de agua y de sal para el Puerto de Ensenada, B. C. en noviembre.-----	43
Figura 31. Balance anual de agua y de sal para el Puerto de Ensenada, B. C. -----	45
Figura 32. Balance de N para el Puerto de Ensenada, B. C. en marzo -----	47
Figura 33. Balance de P para el Puerto de Ensenada, B. C. en marzo.-----	47
Figura 34. Balance de N para el Puerto de Ensenada, B. C. en junio. -----	48
Figura 35. Balance de P para el Puerto de Ensenada, B. C. en junio. -----	48
Figura 36. Balance de N para el Puerto de Ensenada, B. C. en septiembre.-----	49
Figura 37. Balance de P para el Puerto de Ensenada, B. C. en septiembre.-----	49
Figura 38. Balance de N para el Puerto de Ensenada, B. C. en noviembre. -----	50
Figura 39. Balance de P para el Puerto de Ensenada, B. C. en noviembre.-----	50
Figura 40. Balance anual de N para el Puerto de Ensenada, B. C. -----	51
Figura 41. Balance anual de P para el Puerto de Ensenada, B. C.-----	52
Figura 42. Balance anual de N para el Puerto de Ensenada, B. C. sumando el flujo anual del SIBEO. -----	53
Figura 43. Balance anual de P para el Puerto de Ensenada, B. C. sumando el flujo anual del SIBEO. -----	53
Figura 44. Regresión Lineal de Profundidad vs Temperatura en el fondo, en el Puerto de Ensenada, B. C. en marzo (a) y junio (b). -----	55
Figura 45. Regresión Lineal de Profundidad vs Temperatura en el fondo, en el Puerto de Ensenada, B. C. en septiembre (a) y noviembre (b). -----	56
Figura 46. Perfiles verticales de clorofila <i>a</i> (a) y oxígeno disuelto (b) en las estaciones 6 y 7 en el Puerto de Ensenada, B. C. en marzo. -----	58
Figura 47. Perfiles verticales de clorofila <i>a</i> (a) y oxígeno disuelto (b) en las estaciones 6 y 7 en el Puerto de Ensenada, B. C. en noviembre. -----	59
Figura 48. Imágenes de temperatura superficial en la Bahía de Todos Santos, los días 22 de marzo (a), 24 de marzo (b) y 26 de marzo (c) de 2003. -----	62
Figura 49. Concentración de N (nitratos + nitritos + amonio) vs F (fosfatos) en el Puerto de Ensenada, B. C. en marzo (a), junio (b), septiembre (c) y noviembre (d).-----	67

INTRODUCCIÓN.

La contaminación marina está definida como: la introducción directa o indirecta de sustancias y/o energía al medio ambiente marino, que provoca riesgos a la salud humana, a las actividades marinas incluyendo la pesca y/o la calidad del agua marina (Sañudo *et al.*, 1985). Asimismo, la composición de los desechos de las actividades humanas es modificada por los procesos que ocurren en los sistemas costeros, promoviendo en algunos casos un aumento en el impacto de estos residuos o bien su depuración, por lo que el correcto conocimiento de esta zona sólo se logrará a través del estudio detallado de los procesos que ocurren en ella (Guerrero-Galván, 1997).

La caracterización fisicoquímica de cualquier sistema acuático implica no sólo el conocimiento de su dinámica, sino que además permite elaborar estrategias de manejo consideradas claves en la conservación de ecosistemas que se encuentran periódicamente sometidos al desarrollo activo de industrias (De la Lanza-Espino y Cáceres, 1994).

Múltiples factores (clima, geomorfología, intercambio mareal, influencia antropogénica) que intervienen en diferente grado condicionan el ambiente geoquímico de la zona costera (De la Lanza-Espino y Rodríguez-Medina, 1990)

La mayoría de los cuerpos costeros, tanto naturales (lagunas costeras, estuarios, bahías cerradas, etc) como los antropogénicos (puertos y marinas) tienen un intercambio limitado de agua con el mar abierto (Ruiz *et al.*, 1994). Lo anterior se traduce en que dichos sistemas presenten una capacidad de depuración menor que el océano costero adyacente (Serrano, 2000) por lo cual, tienen una baja capacidad de carga de contaminantes. Una particularidad de estos sistemas es su cercanía a la línea de costa, convirtiéndolos en los primeros en recibir los desechos generados por las actividades humanas.

Una de las acciones que se han aplicado para el mejoramiento de la salud de los cuerpos de agua con baja capacidad de autodepuración, y que han sido impactados por el hombre, es favorecer el intercambio de agua entre estos sistemas y el mar. Para ello se ha recurrido a la apertura de canales o bocas artificiales que suelen interferir con el transporte litoral de la zona, lo que genera nuevos problemas con mayores costos tanto económicos como ambientales, como son la modificación de playas o el azolvamiento de canales. Esto último, crea además, la necesidad permanente de dragado de mantenimiento (Ruiz *et al.*, 1994).

Buscando una solución para estos problemas, la Universidad Nacional Autónoma de México ha desarrollado diversos sistemas que contribuyen a la depuración de cuerpos de agua, uno de ellos, es el diseñado por Ruiz *et al.* (1994); el otro es el Sistema de Bombeo por Energía de Oleaje (SIBEO) (Czitrom *et al.*, 1993; Czitrom *et al.*, 1996; Czitrom *et al.*, 2000), que consiste de un tubo de succión o resonante y uno de desagüe conectados mediante un elemento de bombeo

Es evidente la importancia que tiene la infraestructura portuaria en el desarrollo económico de las naciones, debido principalmente a la amplia relación que mantienen los puertos con el comercio, ya que funcionan como los medios para la entrada y salida de materias primas o de bienes de consumo, brindando además una de las formas de transporte más económicas de la actualidad (Torres-Rodríguez y Gómez-Morín, 1989).

El Puerto de Ensenada, Baja California se clasifica como el quinto en importancia en el país, debido, tanto a su gran potencial en la vocación comercial e industrial, pesquera y turística, como por su posición estratégica en la Cuenca del Pacífico y la Costa Oeste de USA y Canadá (Peñador, 2000). Sin embargo, esta zona está sujeta al vertido de compuestos altamente peligrosos, como metales pesados, pinturas

antiincrustantes, combustibles y aceites, además de productos de la limpieza de barcos y residuos de astilleros y muelles y también recibe una alta carga de nutrientes derivados de la actividad doméstica. (Arredondo-García, 1995). A esta situación de vertimiento de residuos se une la escasa circulación dentro del puerto, y la distribución de las corrientes litorales en la Bahía de Todos Santos, que muestran direcciones que favorecen el transporte de contaminantes hacia el interior de la dársena portuaria (Peynador, 2000). El puerto ha carecido de un programa de monitoreo que incluya a todas las fuentes contaminantes. Se han realizado numerosos estudios puntuales, pero ninguno abarca la diversidad de fuentes, ni ha sido permanente (De la Lanza-Espino, 2002).

La posibilidad de caracterizar espacio - temporalmente la fisicoquímica de las aguas del Puerto de Ensenada no solo contribuirá al conocimiento de su estado actual con vistas a la instalación de un SIBEO, sino además, al de las principales implicaciones que sobre esta zona costera ha tenido o está teniendo la influencia del vertido de contaminantes por fuentes domésticas e industriales.

El intercambio y balance de energía y materiales en los distintos cuerpos de agua costeros son variables espacial y temporalmente dependientes de aportes diferenciales continentales y marinos, así como de la morfología y batimetría locales e incluso de factores climáticos regulares y eventuales característicos de la localización geográfica; situación que conduce a resultados heterogéneos, en muchas ocasiones controversiales por el alto número de factores que intervienen en dicho intercambio (De la Lanza-Espino y Rodríguez-Medina, 1990).

Un modelo puede considerarse como una representación simplificada de algún aspecto del mundo real y un modelo matemático presenta esta simplificación en una serie de ecuaciones matemáticas. En general, simplificando la realidad, los modelos matemáticos permiten obtener respuestas del sistema a las perturbaciones, al ser probados computacionalmente. También es importante notar que el modelado es un proceso reiterativo, sin arranque fijo o puntos finales y con objetivos variables, dependiendo de los intereses del modelador (Coronado-Méndez, 2002).

Uno de los modelos más recientes en el cálculo de los intercambios de nutrientes en la zona costera es el propuesto por el Proyecto “Las Interacciones Tierra - Océano en la Zona Costera” (LOICZ) por su nombre en inglés, y que es el Proyecto Central del Programa Internacional Geosfera-Biosfera: Estudio de Cambio Global (IGBP). Fue establecido en 1993 y se preocupa por entender el papel del subsistema costero dentro del sistema global, incluyendo los ciclos perturbados y no perturbados de carbono, nitrógeno y fósforo. Además entender el ciclo del carbono global y los cambios probables que podrían ocurrir como consecuencia de los cambios globales, sistémicos y acumulativos.

El balance biogeoquímico de LOICZ se basa en la implementación de un método para la estimación de aportes y pérdidas, y tiene como características fundamentales las siguientes:

- Posibilidad de trabajar con datos secundarios;
- Que requiera un número mínimo de datos;
- Metodología uniforme y de aplicación amplia;
- Robusto
- Informativo acerca de procesos en los flujos CNP.

El modelo de LOICZ ha sido aplicado en más de 100 localidades en todo el mundo, aunque se calcula que debe aplicarse en zonas donde aún es pobre la información y tienen una gran importancia en las interacciones Tierra – Océano. La

aplicación de este modelo en México ha sido principalmente en lagunas costeras y estuarios, por lo que no existen estudios previos de su implementación en puertos, debido en lo fundamental a que su concepción fue dirigida principalmente para ser aplicado en estuarios.

1.1 Objetivos

Objetivo General

Caracterizar fisicoquímicamente las aguas del Puerto de Ensenada, Baja California, y calcular el presupuesto de nutrientes según la metodología de LOICZ, con vistas a la instalación de un SIBEO.

Objetivos específicos

- Caracterizar espacio - temporalmente la fisicoquímica de las aguas del Puerto de Ensenada, Baja California.
- Calcular el presupuesto de los nutrientes (nitrógeno y fósforo), antes de la instalación del SIBEO en el puerto.
- Calcular el presupuesto de los nutrientes (nitrógeno y fósforo) según la metodología de LOICZ, asumiendo además como referencia, el flujo aproximado de agua que aportará el SIBEO en el puerto.

1.2 Antecedentes

Los trabajos sobre el Puerto de Ensenada son escasos, ya que la mayoría han estado enfocados principalmente, a la región que abarca la Bahía de Todos Santos.

Argote *et al.* (1991) utilizaron el índice de susceptibilidad a la contaminación como un indicador de la concentración relativa de contaminantes, y obtuvieron que, para condiciones de verano en las áreas norte de Punta San Miguel, El Sauzal y el Puerto de Ensenada, las sustancias introducidas a la bahía por las descargas permanecieron y se concentraron, debido al reducido transporte en esas zonas.

Lizárraga-Partida (1974) realizó un estudio sobre la contaminación orgánica en Ensenada definiendo tres áreas de distribución del bentos, con base en organismos indicadores (poliquetos), relacionadas con las principales fuentes de contaminación dentro del puerto, a saber: el arroyo El Gallo al sur del puerto; los desechos de las pesquerías al norte; la basura procedente de las enlatadoras de productos pesqueros y restaurantes en la parte este. Este autor encontró en ese año que la contaminación no alcanzaba niveles alarmantes; sin embargo, y como expuso Salas-Flores (1984), la entrada continua a las aguas de hidrocarburos derivados del petróleo (grasas y aceites) ha contribuido a la acumulación paulatina de contaminantes en los sedimentos de la dársena durante décadas.

El contenido de materia orgánica en los sedimentos superficiales de la Bahía de Todos Santos, incluyendo al Puerto de Ensenada fue estudiado por Galindo-Bect *et al.* (1984), quienes encontraron mayores concentraciones (< 40 %) hacia la zona costera y en especial, la dársena del puerto, con respecto a regiones más alejadas de la influencia antrópica.

Otro estudio relacionado con los efectos de descargas residuales, fue el realizado por Segovia-Zavala *et al.* (1988), en el que señalaron que las mayores concentraciones de nutrientes: nitratos (12 μM), nitritos (0.92 μM) y fosfatos (5 μM), fueron en los meses de mayor producción pesquera (de junio a septiembre) y descargas de agua residual, principalmente en los puertos de Ensenada y el Sauzal.

Aguilar-Rosas y Pacheco-Ruiz (1989) estudiaron entre 1983 y 1985 la influencia que sobre macroalgas marinas tuvieron los desechos municipales e industriales de descargas localizadas alrededor del Puerto de Ensenada, encontrando un efecto sobre la flora marina local, con reducción considerable del número de especies de algas rojas y pardas y la proliferación de especies de algas verdes, las cuales se clasificaron como organismos dominantes con alta capacidad para un rápido reclutamiento, crecimiento y reproducción y cuya presencia en la zona litoral, pudo ser una evidencia del aumento de la contaminación marina.

Donath-Hernández y Loya-Salinas (1989) determinaron, a partir de un estudio de muestras de bentos y sedimento, que las áreas más “perturbadas” de la Bahía de Todos Santos fueron en el interior de la dársena portuaria, principalmente frente a los muelles de cabotaje y los alrededores del Arroyo El Gallo.

Macías-Carranza *et al.* (1997) registraron un nivel elevado de compuestos organometálicos (de estaño) (334 ng-Sn/L) en los sedimentos de la rada portuaria debido a la descarga de aguas procedentes de astilleros y diques flotantes.

Otros trabajos desarrollados en la Bahía de Todos Santos que han incluido también al Puerto de Ensenada es el de Martínez *et al.* (2001), entre los años 1999 – 2001, que considera la evaluación de la calidad del agua y se identificaron algunas de las principales fuentes de contaminación en el área de estudio (Descarga del Arroyo el Gallo, astilleros, instalaciones aledañas al Mercado de Mariscos).

Como parte de su misión, la Estación Oceanográfica enclavada en Ensenada, adjunta a la Secretaría de Marina de la Armada de México (SEMAR), ha muestreado con regularidad en tres estaciones dentro de la rada portuaria. En los datos consultados provenientes de esta fuente, solo los parámetros microbiológicos (coliformes totales y fecales) presentaron evidencias de contaminación de las aguas.

Es importante señalar, que las investigaciones para la instalación del SIBEO, han estudiado la hidrodinámica de la rada portuaria. Czitrom *et al.* (2002) aplicaron en el Puerto de Ensenada un modelo bidimensional barotrópico, similar a HAMSOM (Hamburg Shelf Ocean Model) y un modelo de transporte de partículas pasivas y encontraron una circulación residual con giros que atrapan las partículas en la zona norte del puerto. A partir de este análisis mostraron que un flujo de 1000 l/s era capaz de sanear la zona norte.

Coronado-Méndez (2002) aplicó un modelo tridimensional (ELCOM) para simular la hidrodinámica del puerto, forzando algunas de las variables del modelo (series de tiempo de marea, radiación solar, cobertura de nubes, velocidad y dirección del viento, temperatura del aire y humedad relativa). Encontró que la onda de marea que entra por el canal de acceso al puerto domina la circulación además de un efecto importante del viento cuando su velocidad es mayor de 5 m/s. El aporte del SIBEO (1000 l/s), se comportaría como una intrusión en una capa intermedia de la columna de agua, con poca influencia en el fondo. Los resultados de temperatura del modelo concordaron satisfactoriamente con las mediciones obtenidas en el puerto durante una campaña de muestreo en septiembre del 2002.

Cuatro Sitios de Investigación en el sudeste de Asia (Indonesia, Filipinas, Malasia y Viet Nam) constituyeron el “empujón” inicial de los esfuerzos integradores del Proyecto LOICZ, sus principales objetivos estuvieron encaminados a valorar natural y socialmente los cambios en la zona costera, envolviendo no sólo la modelación y la síntesis de los datos biogeoquímicos y socioeconómicos utilizados como herramientas en la caracterización de los procesos costeros, sino también como estudios de caso para el desarrollo operacional y conceptual a escala global. En 1997, se realizó en el Centro de Investigación y Educación Superior de Ensenada, el Taller sobre flujo de nutrientes

en lagunas costeras mexicanas, del cual salieron varias publicaciones. En la zona de Ensenada, Poumian–Tapia *et al.* (1997) y Camacho–Ibar *et al.* (1997) fueron los autores que aplicaron la metodología de LOICZ en sistemas costeros como el Estero de Punta Banda y Bahía de San Quintín y en ambos estudios los resultados indicaron que estos sistemas costeros exportaron nutrientes hacia el océano adyacente la mayor parte del año.

2. ÁREA DE ESTUDIO.

El Puerto de Ensenada se localiza en los $116^{\circ} 37' 30''$ W y los $35^{\circ} 51' 30''$ N (*Figura 1*), aproximadamente a 100 km al S de la frontera México-EUA, sobre la margen noreste de la Bahía de Todos Santos (Coronado-Méndez, 2002).

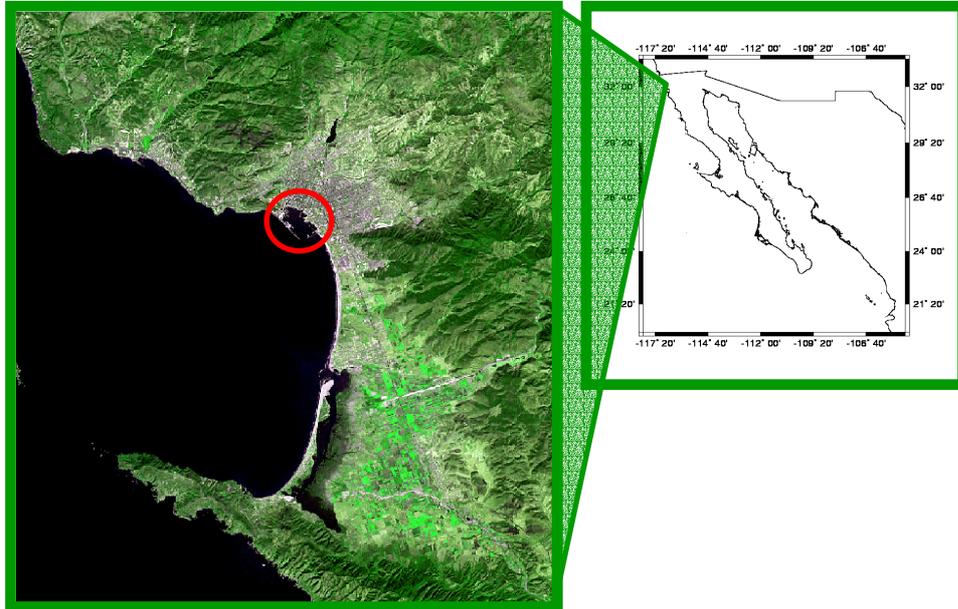


Figura 1. Localización del Puerto de Ensenada, B. C.

La región se caracteriza por tener dos tipos de clima, el clima templado húmedo hacia las partes altas de la sierra y el clima seco que se localiza en el resto del municipio; en ambos climas, las oscilaciones térmicas y pluviométricas son fuertes, con las mayores precipitaciones en invierno y escasas el resto del año (Reyes-Coca y Troncoso-Gaytán, 2001).

De sur a norte, los principales sistemas fluviales son los ríos Santo Tomás, San Antonio, San Carlos, El Gallo y Ensenada, los que realizan sus principales aportes de agua y sedimentos a la zona costera de la Bahía de Todos Santos en época de lluvias (invierno) (Carranza-Edwards, *et al.*, 1994).

El Puerto de Ensenada (*Figura 2*) se considera un puerto de altura, tiene una extensión de 1.98 km^2 y está protegido en su parte oeste por dos rompeolas conectados a la costa. Limita al norte con playas predominantemente rocosas, intercaladas con algunas playas de bolsillo donde el material va desde arenas hasta cantos rodados (Van Dooren-Osio, 1991). Al sur, colinda con una extensa playa arenosa, donde desemboca el Arroyo El Gallo, con una descarga de $23\,000 \text{ m}^3/\text{día}$ de aguas residuales tratadas procedentes de las plantas de tratamiento de El Gallo y El Naranjo (Jiménez-Pérez *et al.*, 1992). En la actualidad el recinto portuario consta de 250.4 ha , 163.3 ha de agua y 87.1 ha de superficie terrestre, de las cuales 66 ha ya son utilizadas por concesionarios de la Administración Portuaria Integral (API) de Ensenada, restando 21 ha para futuros desarrollos. En la actualidad, existen siete zonas principales; la zona comercial comprende la terminal de usos múltiples (EIT), los muelles de carga general y cabotaje, así como los patios de almacenamiento de carga general; la zona de astilleros, que está ocupada por cuatro empresas dedicadas a reparaciones y construcciones navales, así

como dos establecimientos comerciales, al Noreste del Recinto; la zona de pesca, que está formada por los muelles 90 y 240, en los que se atracan las embarcaciones pesqueras atuneras, sardineras y anchoveteras; la zona de pesca deportiva y ribereña, que está formada por los muelles que operan 12 cesionarios y por tres áreas cesionadas para actividades complementarias. En ella se localiza el muelle de pescadores ribereños, y se localiza a lo largo del andador turístico, la ventana al mar y áreas verdes; la zona de desarrollos náuticos turísticos que comprende la terminal de cruceros (ECV) y la marina MBI; la 2^a. Base Naval de la Armada de México y la Zona de graneles minerales, que está integrada por la terminal cementera y la terminal de productos pétreos (API, 2002).



Figura 2. Vista parcial del Puerto de Ensenada, B. C.

El canal principal tiene una longitud de 900 m y una profundidad de 13 m (*Figura 3*). La dársena de ciaboga es de 200 m, y entre 9.5 y 12 m de profundidad (Torres-Rodríguez y Gómez-Morín, 1989). Los puntos adyacentes a los muelles de cabotaje y altura presentan mayores profundidades y, generalmente, las isobatas decrecen desde el extremo oriental hacia el occidental. Las zonas con menor profundidad (2 – 4 m) se encuentran al norte (Mercado de Mariscos), el muelle de la Marina Baja Internacional (MBI) y el muelle de la Secretaría de Marina (SEMAR), estas zonas se caracterizan por el tránsito constante de embarcaciones de pesca, vida a bordo y turísticas (Peynador, 2000).

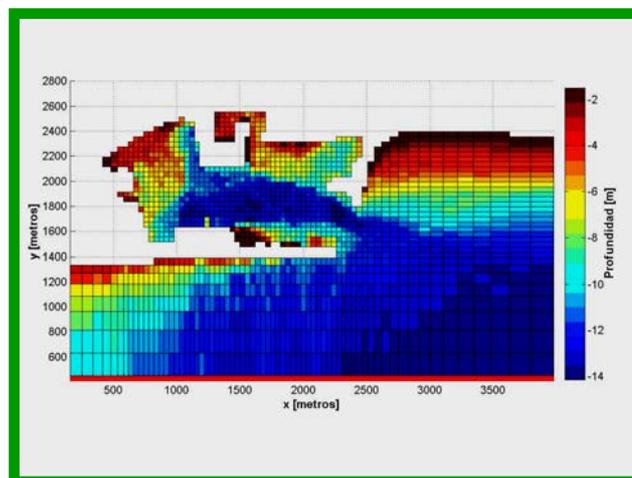


Figura 3. Batimetría del Puerto de Ensenada, B.C (Tomado de Coronado- Méndez, 2002).

Las principales descargas de aguas residuales al puerto se localizan en el extremo norte (Agencia Arjona, Astilleros Progreso, Bivalba, Industria Naval de California Nishikawa y Asociados, Marítima de Ensenada y Productos Procesados del Mar), en el rompeolas oeste se localizan Ensenada Internacional Terminal Y Grupo Peredia e Hijos, en el muelle de cruceros y en los muelles de CEMEX México (*Figura 4*) (API, 2002).

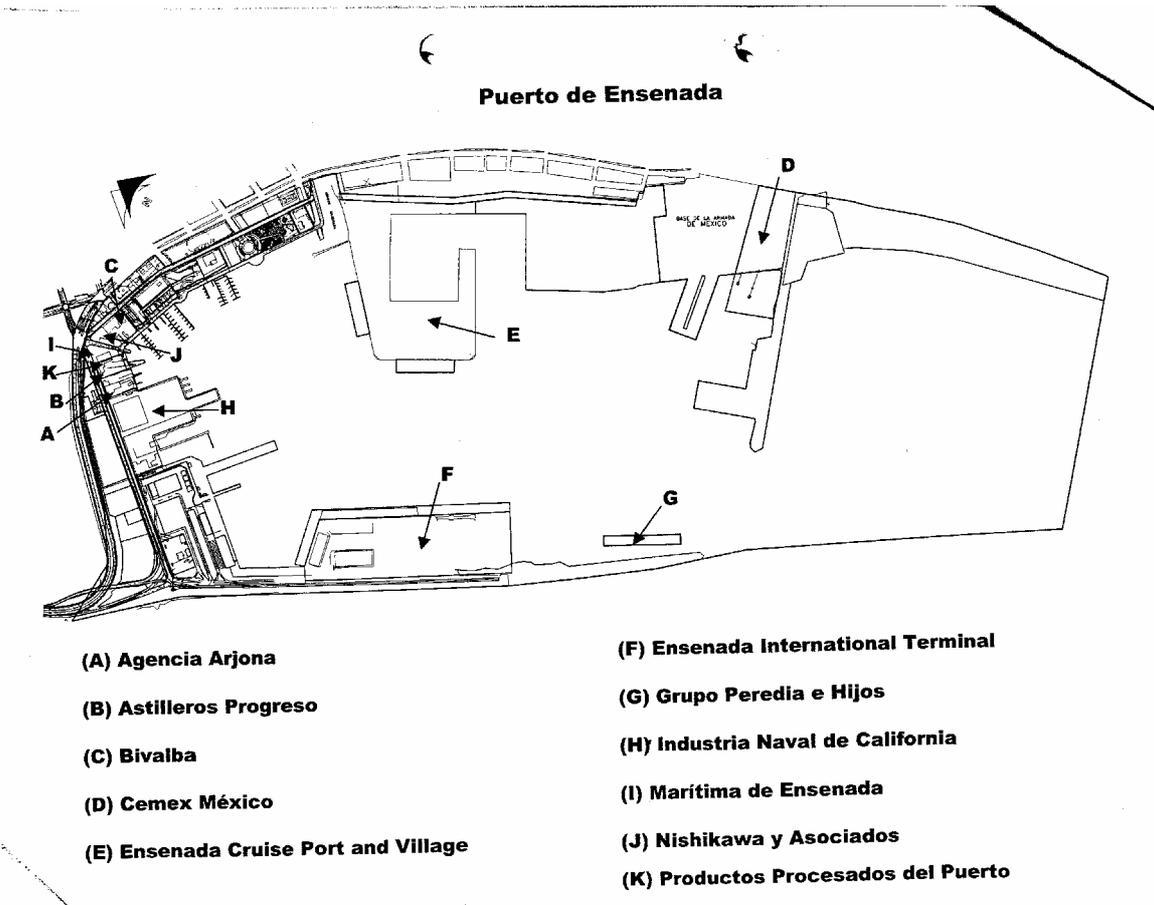


Figura 4. Localización de las principales descargas de aguas residuales que vierten al Puerto de Ensenada, B. C.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Muestreo.

Se llevaron a cabo cuatro campañas de muestreo de acuerdo con el cronograma propuesto en el Proyecto de Tesis. Los muestreos se realizaron los días 26 de marzo (primavera) con condiciones de tiempo caracterizadas por vientos del SW (18 – 28 kph), temperatura ambiente de 20 °C y sol; 5 de junio (primavera), vientos del W (10 – 13 kph), temperatura ambiente de 19 °C y nublado; 11 de septiembre (verano), vientos del NNE (10 – 20 kph), temperatura ambiente de 24 °C y soleado y el día 21 de noviembre (otoño), con condiciones ambientales caracterizadas por vientos débiles (0 – 5 kph), temperatura de 16 °C y un día completamente nublado.

Las estaciones en el puerto (17) se eligieron bajo el criterio de la dinámica de circulación y la ubicación de las principales descargas de residuales líquidos, además se situó una estación fuera del puerto con el objetivo de conocer las condiciones fisicoquímicas del mar adyacente al área de estudio. (*Figura 5*).

El muestreo en cada campaña, excepto la cuarta, se realizó en mareas vivas, comenzando en horas de la mañana, independientemente del ciclo de marea imperante en ese momento.

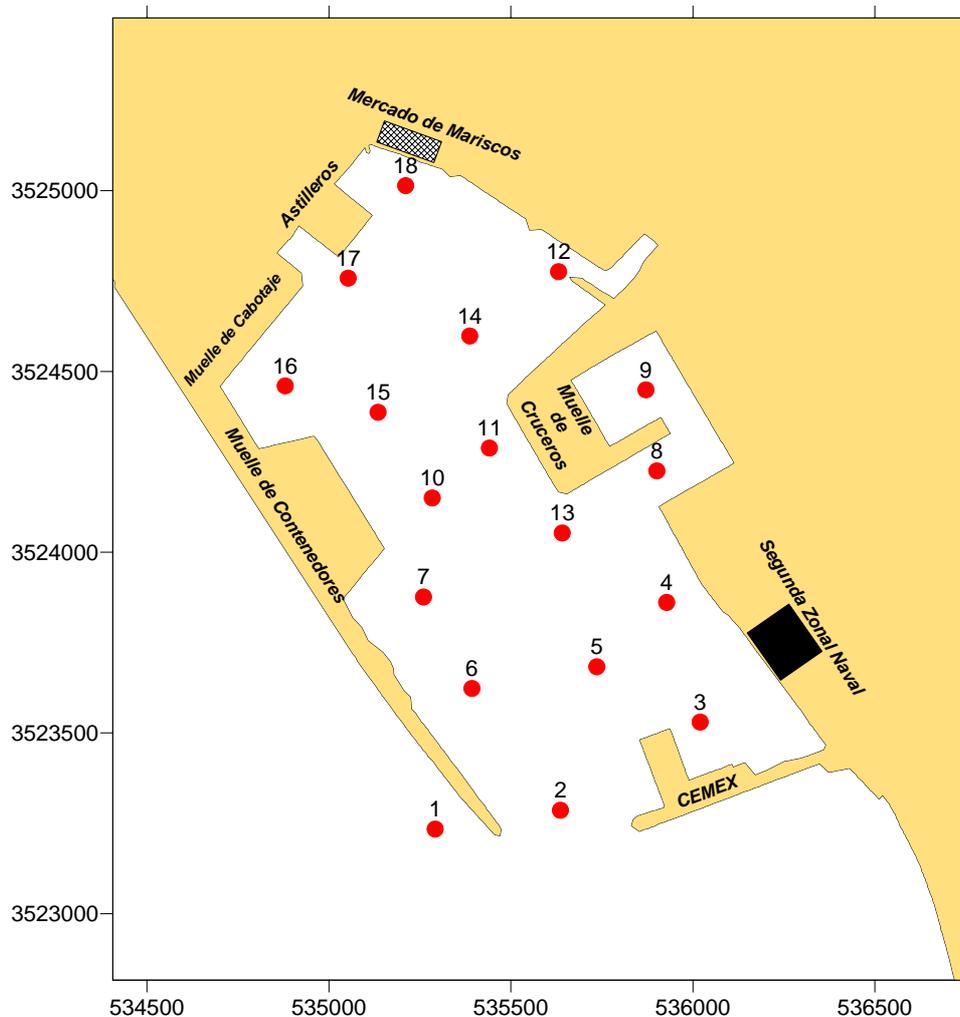


Figura 5. Red de Estaciones de Muestreo en el Puerto de Ensenada, B.C

3.1.1 Recolecta de las muestras.

En cada una de las estaciones de muestreo se colectó agua superficial (< 1m), y de fondo con una botella oceanográfica tipo Niskin de dos litros, de la cual, se tomaron las siguientes submuestras:

- Agua sin filtrar para la determinación de Demanda Química de Oxígeno en frascos de polietileno de 150 mL de capacidad.
- Agua filtrada con membranas de nitrocelulosa de 0.45 μm (Milliporetm tipo HA), para la determinación de nitratos + nitritos, amonio, fosfatos y silicatos en frascos de polietileno de 150 mL de capacidad y congeladas a -20°C para su análisis posterior.
- Para clorofila *a* se pasaron 150 mL de agua a través de un filtro de nitrocelulosa de 0.45 μm (Milliporetm tipo HA), los filtros fueron envueltos en papel de aluminio y almacenados en un recipiente con silicagel hasta su procesamiento en el laboratorio.

3.1.2 Medición de variables *in situ*

Las variables temperatura, salinidad y oxígeno disuelto fueron medidas *in situ* mediante un CTD marca Sea - Bird modelo SBE19plus (**Figura 6**), cuyas características se exponen en la **Tabla 1** (Sea-Bird, 2002):



Figura 6. CTD Sea - Bird, modelo SBE19plus (Tomado de www.seabird.com)

Tabla 1. Características principales del CTD Sea – Bird SBE19plus

Parámetro	Rango de Medición	Precisión	Resolución
Temperatura	-5 a + 35 °C	0.01 °C/6 meses	0.001 °C
Conductividad	0 a 9 S/m	0.001 S/m/mes	0.0001 S/m
Salinidad	0 a 70 psu	0.25 % de la escala completa (50 a 1000 psia) 0.15 % de la escala completa (3000 a 10000 psia)	0.0004 psu
Presión	50, 100, 150, 200, 300, 500, 1000, 1500, 3000, 5000 ó 10000 psia		0.15 % de la escala completa

El CTD contaba, además, con un sensor de oxígeno disuelto modelo SBE 43, diseñado para trabajar hasta 3400 m de profundidad y conectado con un termistor para determinar la temperatura interna (de compensación). La concentración de este gas se calculó en ml/L.

Para la calibración del sensor se tomaron muestras, a las cuales se les determinó el oxígeno disuelto por el método de Winkler para el mes de septiembre, los resultados fueron comparados con las mediciones del equipo (*Anexo I*). Con esta calibración en septiembre se garantizó que en los muestreos anteriores (marzo y junio), las lecturas del sensor de oxígeno disuelto fueron confiables.

El CTD se programó para su utilización a través de un software (SEATERM19) para bajar los datos de su memoria. Posteriormente y utilizando el programa SBE – Data ProcessingWin32, los datos fueron procesados y guardados como ficheros .asc.

3.2 Métodos analíticos

La determinación de nutrientes se realizó mediante un autoanalizador de flujo segmentado SKALAR SAN^{plus}, con cuatro canales para análisis simultáneos de nitratos + nitritos, amonio, fosfatos y silicatos (Manual del SAN^{plus}, 1994).

Este equipo autoanalizador, se controló por medio de una computadora, registrándose y procesándose los datos con un riesgo mínimo en la captura de la información. La determinación de los nitratos + nitritos fue según el método propuesto por Bendschneider y Robinson (1952); para los fosfatos, según Murphy y Riley (1962). La determinación de amonio se hizo vía la reacción de Berthelot, para formar el azul de indofenol. Los silicatos se determinaron según Grasshoff *et al.* (1983).

La demanda química de oxígeno (DQO) fue según lo descrito por APHA (1986).

La clorofila *a* fue medida espectrofotométricamente a una longitud de onda de 665 y 750 nm, después de una extracción con acetona al 90 % y centrifugación (De la Lanza-Espino y Hernández-Pulido, 1994).

3.3 Relaciones estequiométricas

Para el cálculo de la relación N:P se sumaron los contenidos de amonio y nitratos + nitritos para N; y la concentración de fosfatos para el P, ambos en micromoles/L (μM).

Las concentraciones de clorofila *a* en los muestreos de marzo, septiembre y noviembre fueron convertidas a carbono (C) a partir de la proporción (1 μg Clorofila *a* /L de – 13.6 μg de C/L) (Raymond, 1980).

A partir de la relación de Redfield (1934) ($\text{C}_{106}\text{N}_{16}\text{P}_1$), se obtuvo la cantidad de nitrógeno y fósforo orgánicos (N_{org} y P_{org}) presentes en la biomasa fitoplanctónica.

3.4 Descripción del modelo de LOICZ.

Para la determinación del balance de nutrientes (N y P) se aplicó el modelo llamado “Balance de agua, sal, y de nutrientes relacionados estequiométricamente”. Dicho modelo se constituye como la herramienta del Proyecto de Interacciones Tierra-Océano en la Zona Costera (LOICZ) del Programa Internacional de la Geosfera-Biosfera (IGBP).

Para este balance el puerto fue considerado como una sola caja, y se tomaron en consideración para realizar el cálculo del intercambio de nutrientes con el mar exterior las características fisicoquímicas de la estación ubicada fuera del puerto y que representa a la Bahía de Todos Santos. La notación ($\dot{}$) para los volúmenes se refiere a que los mismos tienen unidades de flujo.

El modelo se realizó en tres etapas que consistieron en: (1) balance de agua; (2) balance de sal; y (3) balance de materiales no conservativos (nitrógeno y fósforo). Las ecuaciones generales que se utilizaron para calcular estos balances fueron:

$$\frac{dV_{sist}}{dt} = V_Q' + V_P' + V_G' + V_O' + V_E' + V_R' \quad (1)$$

$$\frac{dSV_{sist}}{dt} = V_Q' S_Q + V_P' S_P + V_G' S_G + V_O' S_O + V_E' S_E + V_R' S_R + V_X' S_{ocean} - V_X' S_{sist} \quad (2)$$

$$\frac{dV_{sist} Y_{sist}}{dt} = V_Q' Y_Q + V_P' Y_P + V_G' Y_G + V_O' Y_O + V_E' Y_E + V_R' Y_R + V_X' Y_{ocean} - V_X' Y_{sist} + \frac{\Delta Y'}{\Delta t} \quad (3)$$

Donde:

V_Q' es el aporte por ríos, V_G' de agua subterránea, y V_O' de los aportes antropogénicos, también se consideraron la pérdida por evaporación (V_E'), la precipitación (V_P'), y el flujo residual (V_R').

S_{ocean} y S_{sist} fueron las salinidades del océano (Bahía de Todos Santos) y el sistema (Puerto de Ensenada), respectivamente. S_P , S_E y S_R el promedio de la salinidad de la precipitación, evaporación y flujo residual entre 2 fronteras, ejemplo: el océano y sistema, respectivamente.

$\frac{\Delta Y'}{\Delta t}$ fue la variación de nitrógeno y fósforo en el tiempo (ΔN y ΔP). Y_R fue el valor promedio de cada nutriente entre 2 fronteras. Y_{ocean} , Y_{sist} los valores promedio de N (amonio, nitratos + nitritos y N_{org}) y P (fosfatos y P_{org}) del océano y sistema, respectivamente.

(1) Balance de agua

La ecuación 1 describe la conservación del volumen de agua. En el caso del Puerto de Ensenada, debido al nulo aporte por V_Q' y por V_G' , la ecuación solo consideró el flujo de V_E' , de V_P' , y de V_O' . En estado estacionario (i.e. $\frac{dV_{sist}}{dt} = 0$), para un modelo de una sola caja, V_R' en el Puerto de Ensenada se calculó de la siguiente manera:

$$V_R' = -V_P' - V_O' - V_E' \quad (4)$$

Para el cálculo de los volúmenes de precipitación (V_P') y evaporación (V_E') del muestreo de marzo, se tomaron los datos medidos de lluvia y tasa de evaporación de enero, febrero y marzo de 2003; para el balance de junio, se usaron los datos de lluvia y evaporación de marzo, abril y mayo; el balance de septiembre se realizó tomando como base los datos de precipitación y tasa de evaporación de junio, julio y agosto; y los de septiembre, octubre y noviembre, para el último cálculo de presupuesto en noviembre.

Los datos meteorológicos pertenecieron a la Estación Meteorológica # 16, situada en los 116° 35'47" W y los 31° 53'45" N, en la Presa López Zamora de la ciudad de

Ensenada y fueron suministrados por la Gerencia Regional de la Comisión Nacional del Agua (CNA) en Mexicali, B. C.

El cálculo del volumen de descarga de aguas residuales (V_o') se hizo tomando en consideración una población equivalente de 1000 personas (personal que labora en los establecimientos que vierten aguas residuales al puerto y del personal de barcos de vida a bordo y pesqueros fondeados en el puerto) (Juan C. Vivanco; com. pers.); el volumen aportado por cada persona se estimó según Economopoulos (1993) ($7.3 \text{ m}^3/\text{persona/año}$).

Para calcular las cantidades de nitrógeno (N) y fósforo (P), aportados por la descarga de aguas residuales, se utilizó la misma fuente bibliográfica (Economopoulos, 1993) y número de personas como población equivalente (1000 personas); el per cápita de nitrógeno fue de 7.8 g/día y de 3.75 g/día para el fósforo (P).

(2) Balance de Sal

Debido a que las diferencias de la salinidad entre las aguas del puerto y del mar exterior fueron prácticamente nulas, no fue posible utilizar la metodología de LOICZ para el balance de sal; además se trató de calcular el volumen de intercambio a través del método propuesto por Yanagi (2000) y tampoco dio resultado, debido a las limitaciones en algunas variables que no estuvieron disponibles. Por esta razón el volumen de mezcla (V_x) se calculó a partir del prisma de marea; para aplicar esta metodología se tomó en cuenta el área del puerto y la amplitud de la marea en Ensenada que en cada ciclo es de aproximadamente un metro y tiene carácter semidiurno.

El tiempo de residencia por mareas (τ_m) se cálculo a partir de la ecuación 5 (Gordon *et al.*, 1996).

$$\tau_m = \frac{V_{sist}}{V_x} \quad (5)$$

El tiempo de residencia hidráulico del puerto (τ_{hid}) se cálculo según la siguiente ecuación (Gordon *et al.*, 1996).

$$\tau_{hid} = \frac{V_{sist}}{V_P + V_O' - V_E} \quad (6)$$

El tiempo de residencia total del sistema (τ_r) se calculó según la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{\tau_r} = \frac{1}{\tau_m} + \frac{1}{\tau_{hid}} \quad (7)$$

(3) Balance de materiales no conservativos

La ecuación 3 describe el balance de masa de cualquier material no conservativo Y . La ecuación del modelo de una sola caja y en estado estacionario ($\frac{dV_{sist} Y_{sist}}{dt} = 0$) fue:

$$\frac{\Delta Y}{\Delta t} = -V_O \cdot Y_O - V_R \cdot Y_R - V_X \cdot (Y_{ocean} - Y_{sist}) \quad (8)$$

El presupuesto de nutrientes tomando en consideración el flujo aportado por el SIBEO se calculó según Gordon *et al.* (1996), sumándole a la ecuación 8 el flujo medio anual del SIBEO por la diferencia de concentración de Y entre el mar adyacente y el sistema (ecuación 9).

$$\frac{\Delta Y}{\Delta t} = -V_O \cdot Y_O - V_R \cdot Y_R - V_{SIBEO} \cdot (Y_{ocean} - Y_{sist}) - V_X \cdot (Y_{ocean} - Y_{sist}) \quad (9)$$

Para el cálculo del tiempo de residencia de cada nutriente (τ_y) se utilizó la ecuación propuesta por Stumm y Morgan (1970):

$$\tau_{rY} = \frac{A}{\sum F_y}, \quad (10)$$

donde, A fue la cantidad anual del nutriente Y (kg) y $\sum F_y$ la sumatoria de los aportes y pérdidas del nutriente Y (kg/día). Para el puerto se tuvo en cuenta el N (amonio, nitratos + nitritos y N_{org}) y P (fosfatos y P_{org}).

Para calcular el τ_{rY} , considerando el flujo del SIBEO (1000 L/s), se le sumó a la (ecuación 10) la cantidad de cada nutriente aportada por el SIBEO (kg/día), a partir de las concentraciones de N y P de la Bahía de Todos Santos.

3.5 Análisis Estadístico.

Se realizó una prueba ANOVA para determinar si existían diferencias estadísticamente significativas entre las varianzas de los parámetros (salinidad, temperatura, oxígeno disuelto, amonio, nitratos, fosfatos, silicatos, clorofila *a* y DQO) en las secciones norte y sur del puerto, por lo que se agruparon las estaciones pertenecientes a cada zona comparando las varianzas (Swan y Sandilands, 1995). Las estaciones correspondientes a la zona norte fueron la 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17 y 18; y en la zona sur la 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 13.

Todos los datos fueron estandarizados y se les aplicó una prueba Kolmogorov – Smirnov para definir si seguían una distribución normal.

Todo el análisis de las diferencias entre las varianzas mediante ANOVA y las correlaciones lineales entre los parámetros se realizaron a través del programa STATISTICA.

4. RESULTADOS

4.1 Temperatura.

La temperatura superficial tuvo una distribución espacial homogénea con una marcha temporal en correspondencia con las características climáticas de cada época de estudio, siendo mínima en noviembre de 16 °C (otoño) y máxima en septiembre de 22 °C (verano) (*Figura 7 a, b, c, d*).

En los muestreos de marzo, junio y septiembre, la temperatura en el fondo disminuyó con el aumento de profundidad, y el mayor intervalo fue en septiembre (15 – 22 °C) (*Figura 8 a, b, c*); en noviembre, la distribución fue homogénea en toda el área del puerto (*Figura 8 d*).

El perfil térmico en la estación de la Bahía de Todos Santos (Estación1) fue similar al perfil vertical dentro del puerto (*Figura 9 a, b, c, d*). En las estaciones más profundas (6 y 7), se detectó una termoclina en los muestreos de marzo y septiembre, con diferencias entre superficie y fondo de 3.5 °C en el primero y hasta 6 °C en el segundo; en junio, aunque hubo diferencias de temperatura en la columna de agua de 3 °C, la termoclina estuvo poco definida; noviembre tuvo una temperatura uniforme en el perfil vertical (*Figura 9 a, b, c, d*).

4.2 Salinidad.

Los niveles de salinidad en todos los muestreos, fueron característicos de las aguas costeras de la Bahía de Todos Santos.

Superficialmente, la distribución espacial de salinidad fue uniforme, los mayores niveles fueron en septiembre (33.7 ups); y los mínimos en noviembre (33.0 ups) (*Figura 10 a, b, c, d*). Excepto en marzo, cuando aumentó ligeramente (0.15 ups) al incrementarse la profundidad del puerto, la salinidad en el fondo tuvo una distribución homogénea, con un intervalo similar a la de superficie (33.0 – 33.7 ups) (*Figura 11 a, b, c, d*). Verticalmente, la salinidad fue uniforme en todos los muestreos (*Figura 12 a, b, c, d*).

4.3 Oxígeno disuelto.

El oxígeno disuelto en la estación de la Bahía de Todos Santos tuvo concentraciones similares en la mayoría de los muestreos. Dentro de la rada portuaria mostró los contenidos máximos en septiembre (7.5 ml/L) y los mínimos en noviembre (1.7 ml/L).

La distribución superficial del oxígeno fue similar en marzo, junio, y noviembre; con un gradiente de más a menos desde la boca del puerto hacia la zona norte; de 5.9 a 1.8 ml/L (105 - 30 % de saturación) en noviembre (*Figura 13 a, b, d*). En septiembre, excepto en la rada de la Marina Baja Internacional (MBI) (76 %), el agua estuvo sobresaturada de oxígeno (> 100 %), con los contenidos más elevados en la boca del puerto (6.37 ml/L) (*Figura 13 c*).

El agua de fondo, con menor temperatura, tuvo niveles superiores de oxígeno disuelto a los de superficie en marzo, junio y septiembre. En la distribución espacial, el oxígeno cerca del fondo tuvo un comportamiento similar al observado en superficie en marzo, junio y noviembre; disminuyendo su contenido desde la boca hacia el norte del puerto; y mínimos de 1.7 ml/L (30.9 % de saturación) en noviembre, con predominio de condiciones hipóxicas (menos de 3 ml/L), aunque sin llegar a la anoxia (menos de 1ml/L) especialmente en horas de la noche (*Figura 14 a, b, d*).

Septiembre tuvo un aumento de los niveles de aerobiosis en el fondo, desde las zonas más profundas hacia las más someras (5 – 7 ml/L) (*Figura 14 c*).

Se registró un comportamiento heterogéneo del oxígeno disuelto en la columna de agua en las estaciones 6 y 7, con un incremento en la concentración a profundidades entre 6 y 8 m,

en marzo y septiembre; fue aproximadamente similar de superficie a fondo en junio; y la apariencia de una oxiclina a los dos metros en noviembre (*Figura 15 a, b, c, d*). Los perfiles verticales de saturación de oxígeno en el estudio, fueron semejantes a los de concentración.

4.4 Nutrientes

El intervalo de concentración de nutrientes fue reducido a excepción del amonio y los silicatos, especialmente en noviembre para el primero, y marzo y noviembre para el segundo. Las estadísticas principales de los nutrientes (amonio, los nitratos + nitritos, los fosfatos y silicatos) para cada muestreo, en superficie y fondo, dentro del Puerto de Ensenada se presentan en la *Tabla 2*.

Tabla 2. Estadísticas de los parámetros fisicoquímicos (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, amonio, nitratos + nitritos, fosfatos, silicatos, clorofila *a* y DQO) en el Puerto de Ensenada, B. C.

Parámetro		Nivel	26/03/03	05/06/03	11/09/03	21/11/03
Temperatura (°C)	Promedio	S	17.9	18.2	22.4	16.6
		F	16.2	16.5	18.0	16.5
	Intervalo	S	17.4 – 18.5	17.8 – 18.6	22.0 – 22.7	16.5 – 16.9
		F	14.0 – 17.8	14.2 – 18.5	15.1 – 22.1	16.4 – 16.7
Salinidad (ups)	Promedio	S	33.3	33.68	33.3	33.05
		F	33.15	33.68	33.3	33.09
	Intervalo	S	33.1-33.2	33.6 – 33.7	33.2 – 33.4	33.0 – 33.1
		F	33.2 – 33.4	33.6 – 33.7	33.2 – 33.4	33.0 – 33.1
Oxígeno disuelto (ml/L)	Promedio	S	5.0	3.7	4.8	3.8
		F	5.8	4.8	6.3	3.0
	Intervalo	S	3.8 – 5.5	2.5 – 4.3	3.7 - 6.4	1.8 – 5.9
		F	4.0 – 6.8	3.9 – 5.9	5.0 - 7.6	1.7 – 4.2
Amonio (µM)	Promedio	S	1.28	2.57	0.97	5.78
		F	1.72	2.56	1.17	10.18
	Intervalo	S	0.58 – 2.3	1.82 - 4.41	0.30 - 2.32	0.77 – 11.90
		F	0.9 – 2.9	1.04 - 4.76	0.37 - 2.59	4.95 – 19.04
Nitratos + nitritos (µM)	Promedio	S	0.61	0.98	0.33	1.27
		F	2.18	0.62	0.19	1.55
	Intervalo	S	0.2 - 1.7	0.55 - 2.37	0.1 - 2.36	0.12 – 3.09
		F	0.3 - 6.2	0.18 - 1.32	0.1 - 0.50	0.77 – 3.17
Fosfatos (µM)	Promedio	S	0.52	0.49	0.36	1.23
		F	0.67	0.50	0.33	1.42
	Intervalo	S	0.31 - 0.96	0.30 - 0.64	0.09 - 0.81	0.73 – 1.78
		F	0.35 - 1.27	0.22 - 0.68	0.14 - 0.62	0.75 – 2.85
Silicatos (µM)	Promedio	S	3.91	2.70	1.96	5.17
		F	6.32	3.43	2.19	6.72
	Intervalo	S	2.4 - 7.8	1.57 - 4.81	0.64 - 4.23	3.24 – 6.78
		F	2.3 - 18.2	1.97 - 5.56	1.03 - 3.52	4.27 – 13.28
Clorofila <i>a</i> (mg/m ³)	Promedio	S	10.8	--	6.3	5.9
		F	10.1	--	6.2	5.4
	Intervalo	S	3.5 - 16	--	0 – 16.5	2.6 – 9.7
		F	2.0 – 16.0	--	1.8 – 13.4	2.2 – 9.7
DQO (mg O ₂ /L)	Promedio	S	1.22	1.9	2.4	5.3
		F	1.91	1.8	0.7	11.9
	Intervalo	S	0.3 – 6.0	1.1 – 2.9	0.2 – 1.2	2.0 – 13.0
		F	0.3 – 12.0	0.9 – 2.9	0.2 – 2.6	2.0 – 28.0

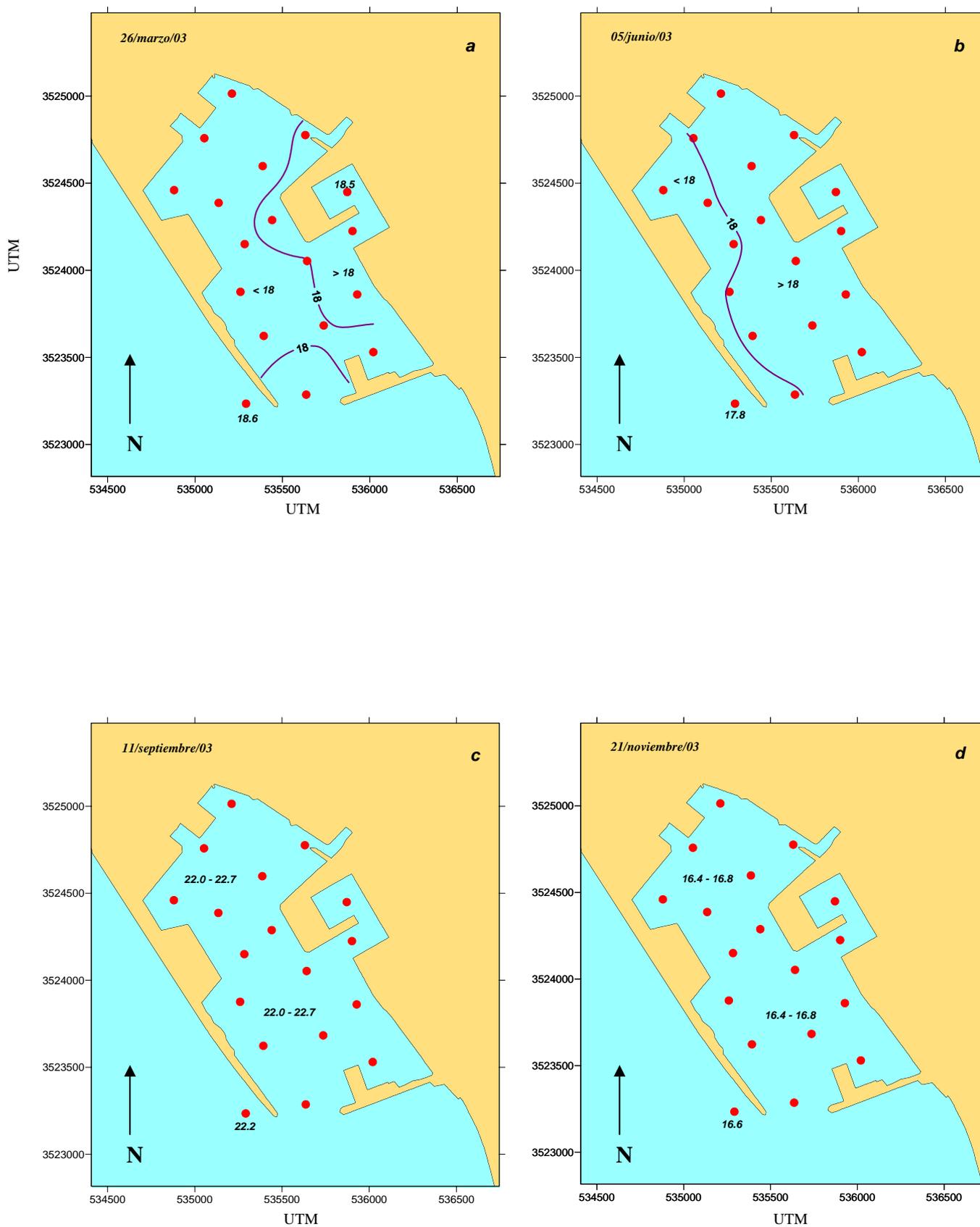


Figura 7. Distribución de la temperatura superficial (°C) en el Puerto de Ensenada, B. C., en marzo (a), junio (b), septiembre (c) y noviembre (d).

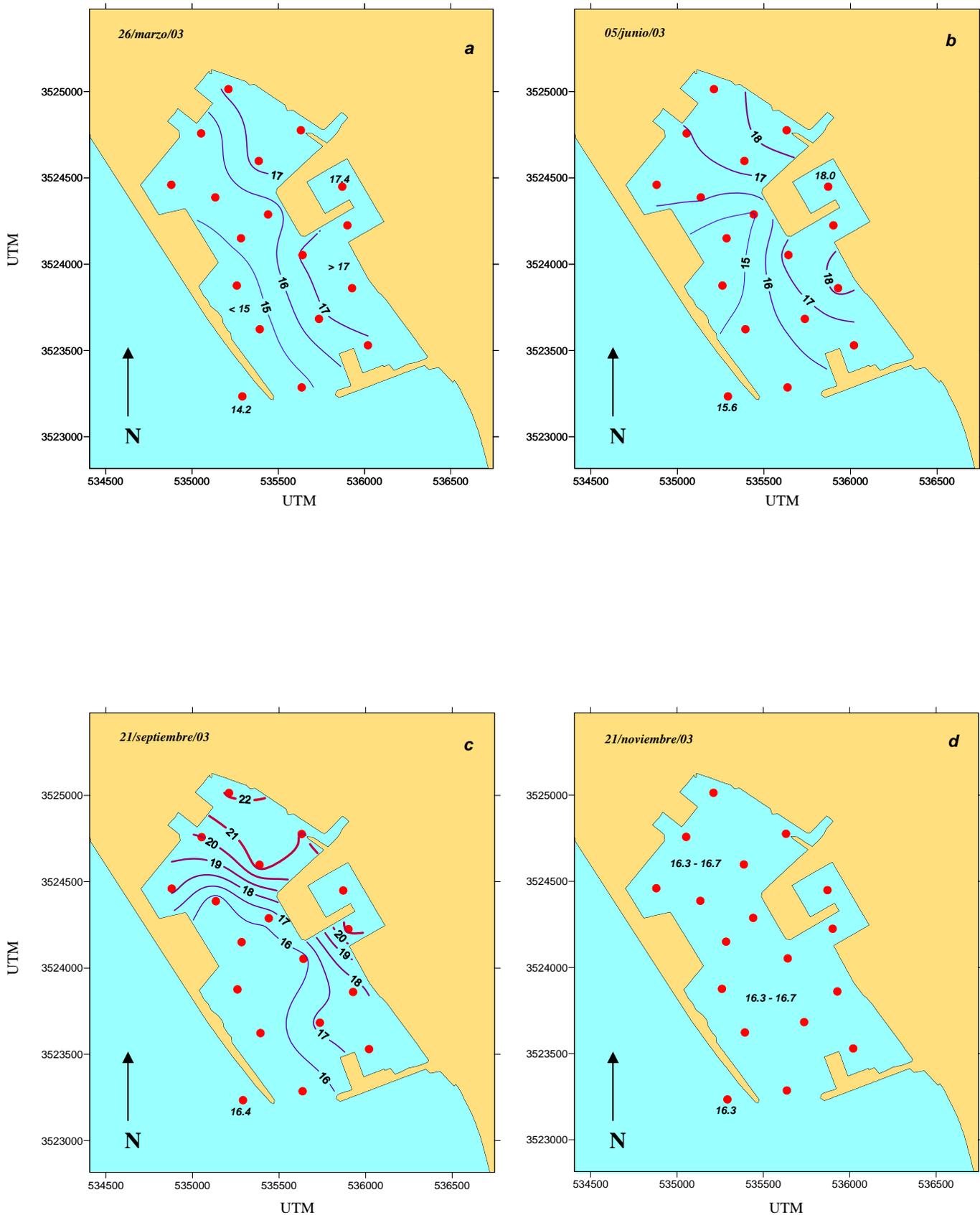


Figura 8. Distribución de la temperatura en el fondo ($^{\circ}\text{C}$) en el Puerto de Ensenada, B. C., en marzo (a), junio (b), septiembre (c) y noviembre (d).

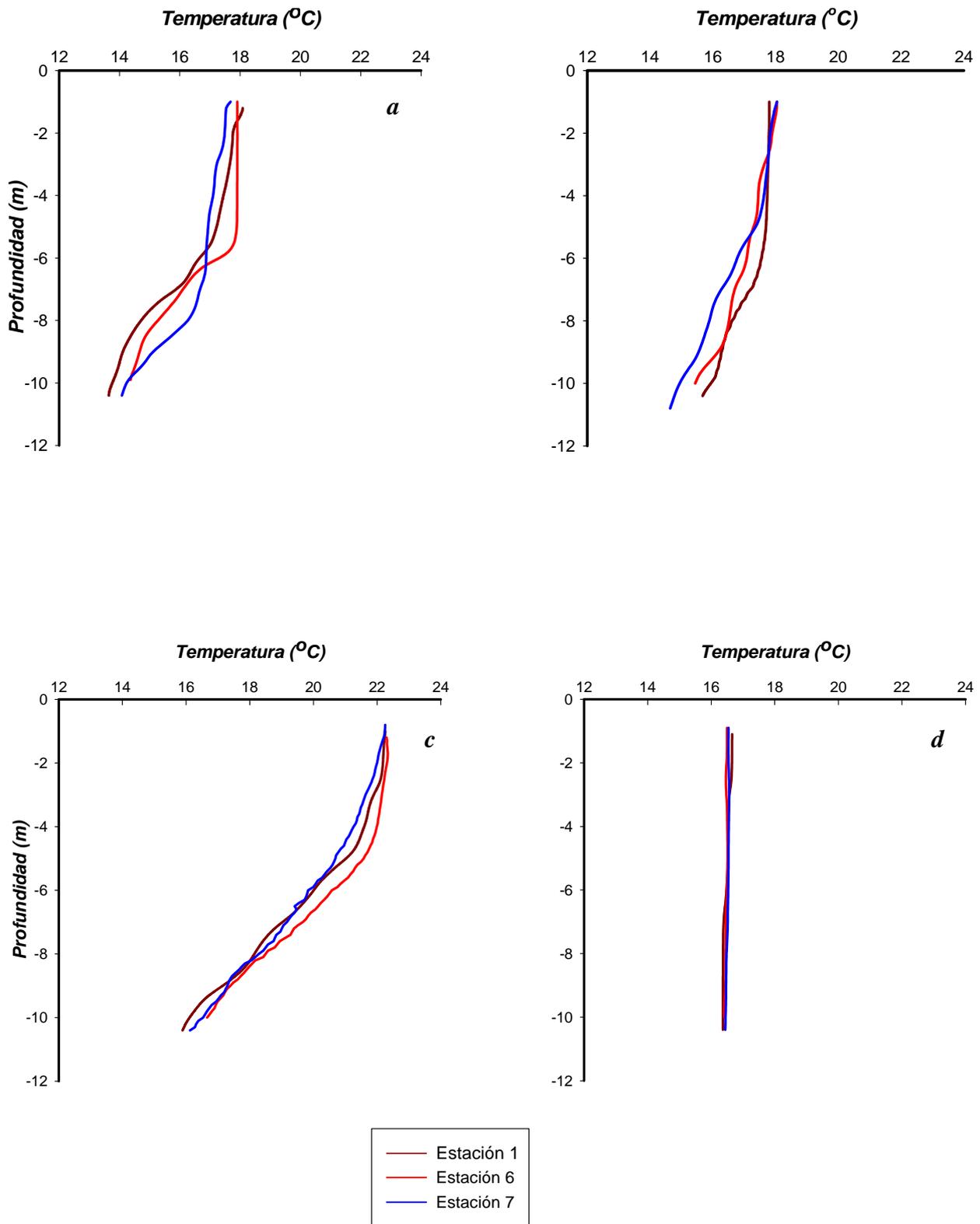


Figura 9. Perfiles verticales de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) en la estación 1 (Bahía de Todos Santos) y estaciones 6 y 7 (Puerto de Ensenada) en marzo (a), junio (b), septiembre (c) y noviembre (d).

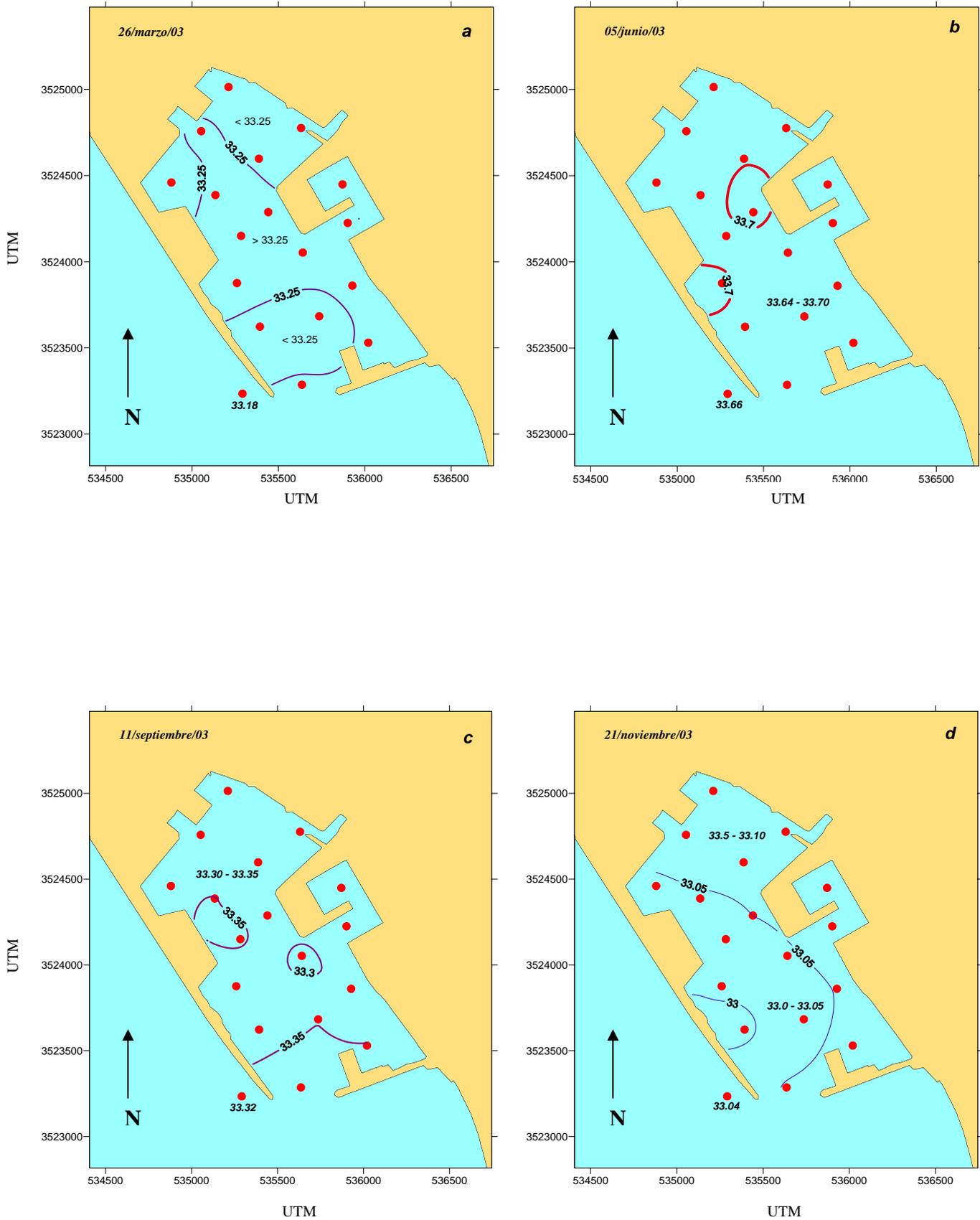


Figura 10. Distribución de la salinidad superficial (ups) en el Puerto de Ensenada, B. C., en marzo (a), junio (b), septiembre (c) y noviembre (d).

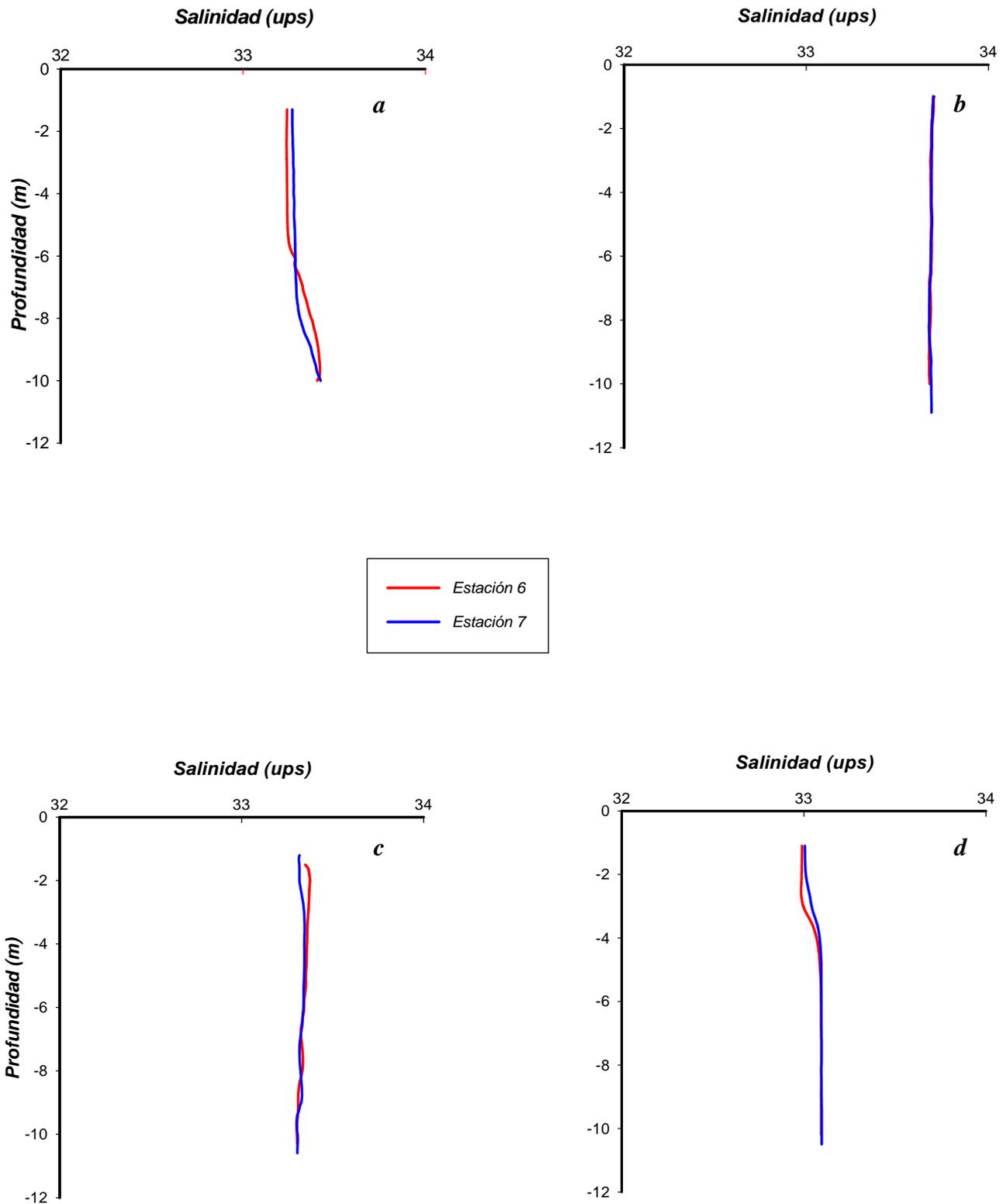


Figura 12. Perfiles verticales de salinidad (ups) de las estaciones 6 y 7 en el Puerto de Ensenada, B. C., en marzo (a), junio (b), septiembre (c) y noviembre (d).

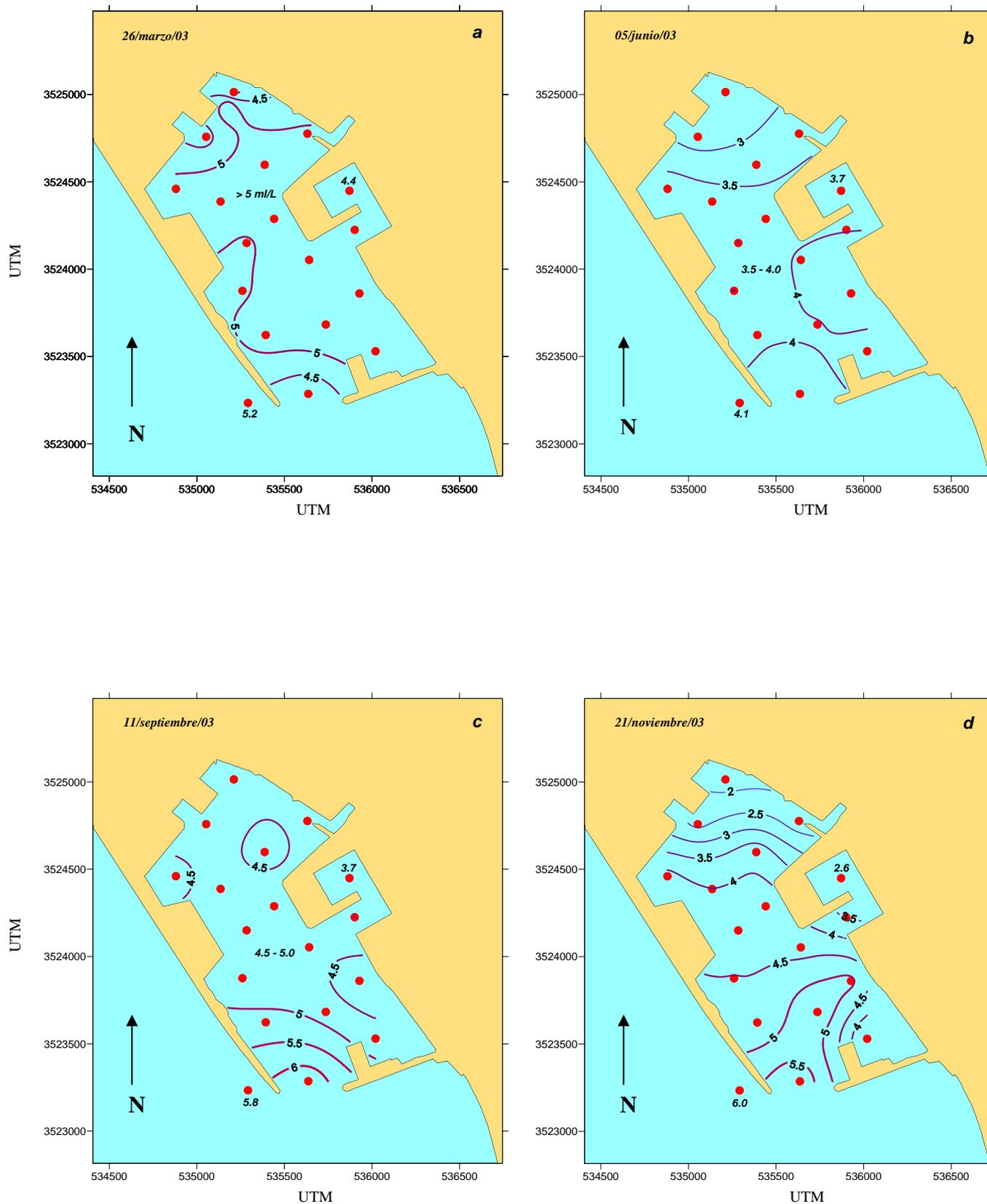


Figura 13. Distribución del oxígeno disuelto superficial (ml/L) en el Puerto de Ensenada, B. C., en marzo (a), junio (b), septiembre (c) y noviembre (d).

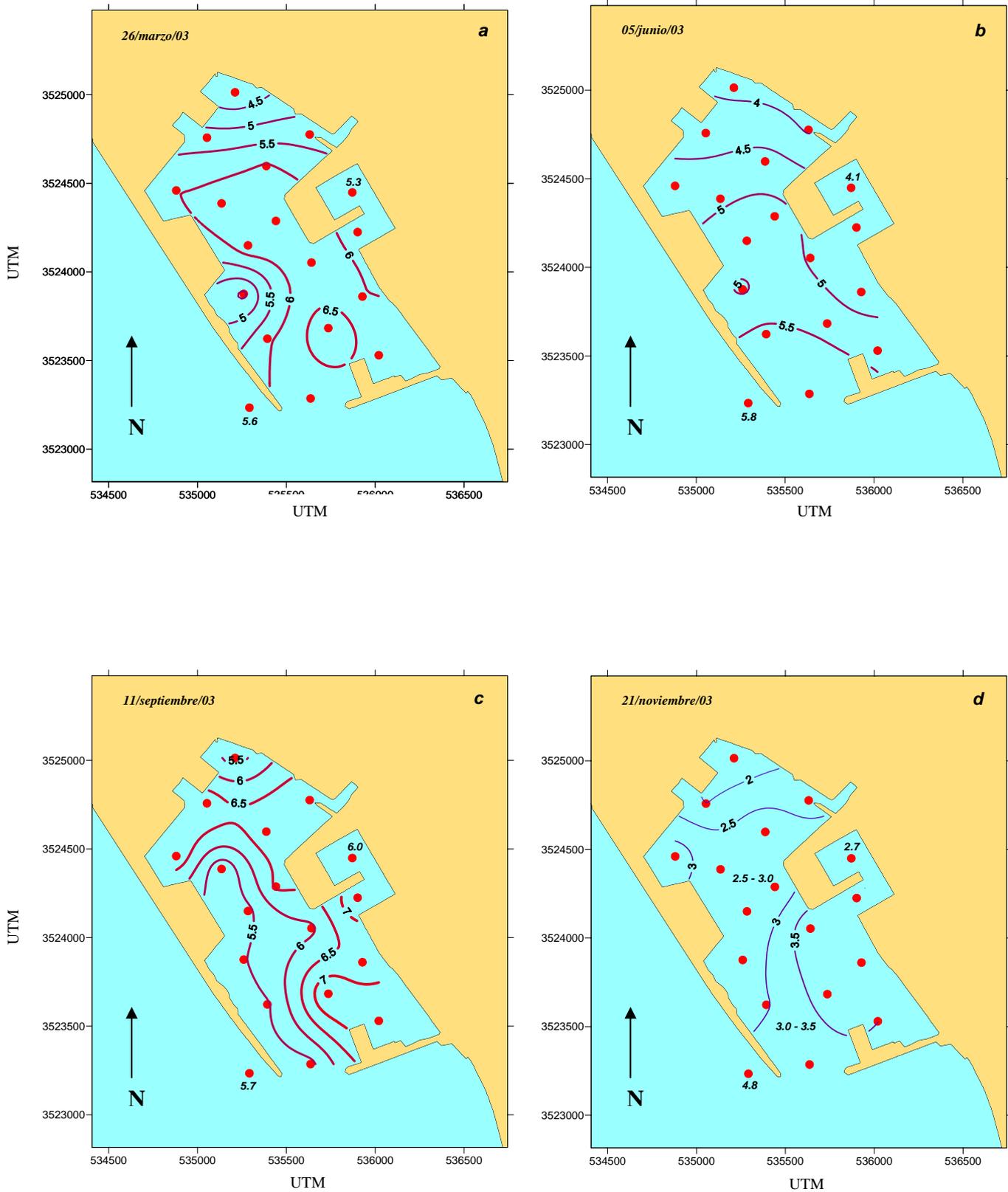


Figura 14. Distribución del oxígeno disuelto en el fondo (ml/L) en el Puerto de Ensenada, B. C., en marzo (a), junio (b), septiembre (c) y noviembre (d).

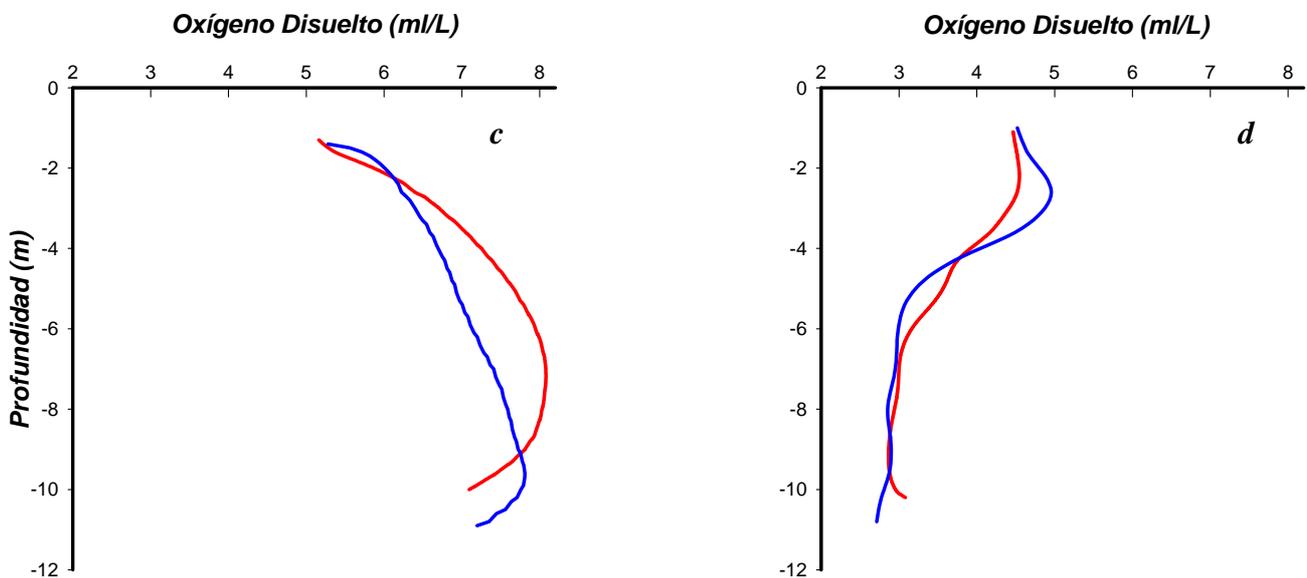
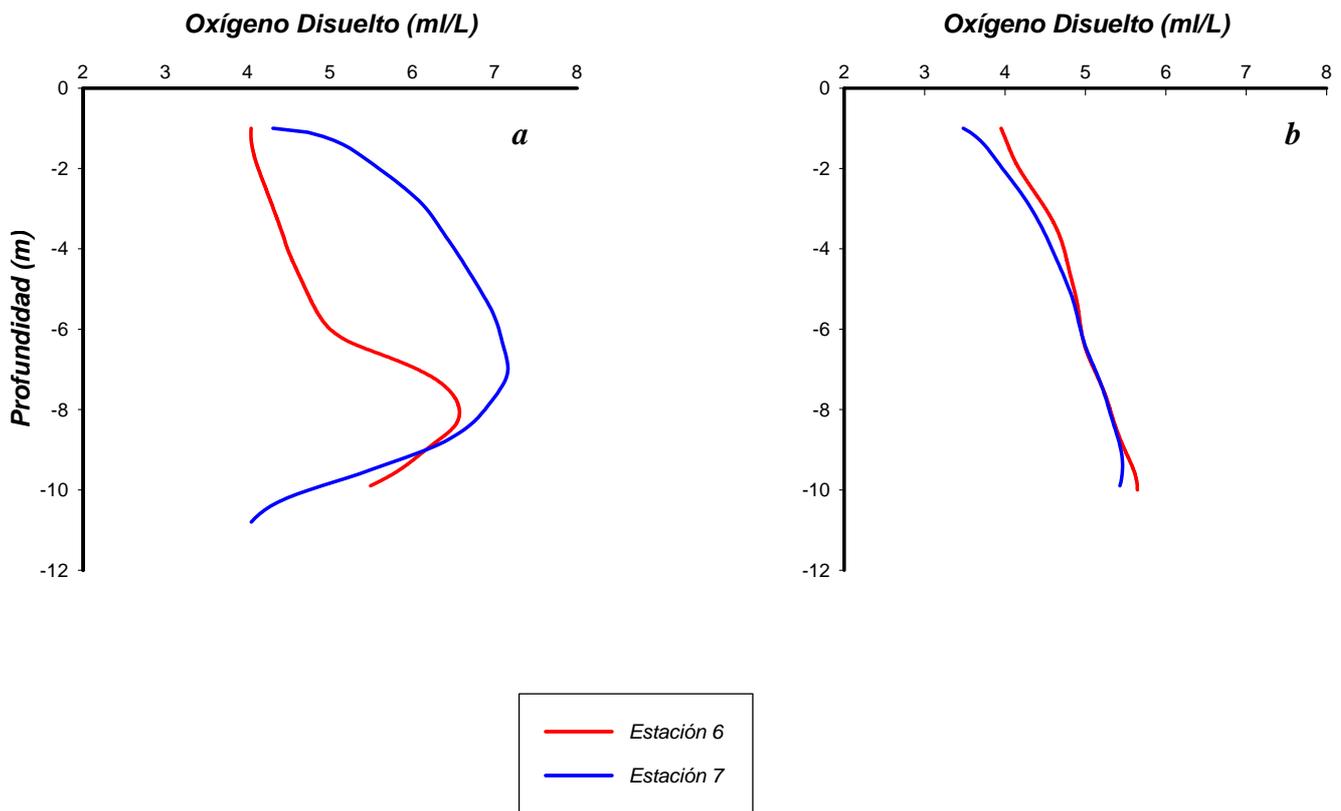


Figura 15. Perfiles verticales de oxígeno disuelto (ml/L) de las estaciones 6 y 7 en el Puerto de Ensenada, B. C en marzo (a), junio (b), septiembre (c) y noviembre (d).

4.4.1 Amonio.

Los niveles de amonio en la estación fuera del puerto, tanto en superficie como en fondo, variaron en un intervalo bajo en todos los muestreos.

La concentración más baja fue en septiembre ($0.30\mu\text{M}$) en los muelles de la SEMAR; marzo y junio tuvieron intervalos de $0.6 - 2.9\mu\text{M}$ y $1.0 - 4.8\mu\text{M}$, respectivamente (*Tabla 2*).

Noviembre tuvo el mayor intervalo de concentración ($0.8 - 19.0\mu\text{M}$), con una distribución semejante en superficie y fondo, con un incremento de la boca al norte del puerto y un nivel puntual elevado en el muelle de cruceros (*Figuras 16 a, b, c, d; 17 a, b, c, d*). En este mes se observaron las mayores diferencias entre las concentraciones entre superficie y fondo (*Tabla 2*).

4.4.2 Nitratos + nitritos.

En la estación ubicada en bahía de Todos Santos, las concentraciones de marzo en el fondo fueron varias veces superiores a las cuantificadas en junio, septiembre y noviembre.

A excepción del muestreo de marzo, cuando se obtuvo un contenido puntual más elevado ($6.2\mu\text{M}$) en la estación ubicada en el muelle de contenedores, la distribución fue homogénea, con intervalos de concentración similares (*Tabla 2*). La distribución de noviembre en el fondo siguió un patrón que coincidió con la del amonio, incrementándose escasamente desde la boca hacia el norte del puerto (*Figuras 18 a, b, c, d; 19 a, b, c, d*).

4.4.3 Fosfatos

La estación de la Bahía de Todos Santos tuvo niveles semejantes de fosfatos, en superficie y fondo, para todos los muestreos, siendo ligeramente superiores a los de la rada portuaria sólo en el mes de marzo (*Tabla 3*).

En marzo, junio y septiembre, el comportamiento estacional fue homogéneo, en superficie y fondo, con el contenido mínimo en el mes de septiembre ($0.1\mu\text{M}$) (*Tabla 2*), y una distribución espacial uniforme, tomando en cuenta que los intervalos de variación fueron pequeños ($0.1 - 1.3\mu\text{M}$) (*Figura 20 a, b, c, d*).

En noviembre, la concentración duplicó la de los anteriores muestreos, con un máximo puntual de $2.8\mu\text{M}$ en la región norte del puerto. En superficie y fondo la distribución horizontal, siguió el mismo patrón mencionado para el amonio y los nitratos + nitritos, con un aumento en sus niveles desde la boca hacia la zona norte del puerto, en particular en la estación del muelle de cruceros (*Figura 21 a, b, c, d*).

4.4.4 Silicatos

Los silicatos cuantificados en la estación de la Bahía de Todos Santos tuvieron un comportamiento similar a los nitratos + nitritos, con la mayor concentración en marzo a nivel de fondo (*Tabla 2*).

El nivel puntual más elevado ($18.2\mu\text{M}$) fue en la estación ubicada en la boca del puerto en el muestreo de marzo. Estacionalmente, las concentraciones mayores fueron en marzo y noviembre y las mínimas en el muestreo de septiembre ($0.14\mu\text{M}$), al igual que el amonio, los nitratos + nitritos y fosfatos. Principalmente en marzo y noviembre los contenidos fueron más altos en el fondo que en superficie (*Tabla 2*).

La distribución espacial de los silicatos en marzo, fue heterogénea en superficie y fondo, con máximos contenidos en la boca y oeste (muelle de contenedores) del puerto y en los muelles de CEMEX y la zona de astilleros para junio. En septiembre, los contenidos más

elevados fueron en el norte y oeste (muelle de contenedores), y en noviembre, coincidieron con el comportamiento de los demás nutrientes (amonio, nitratos + nitritos y fosfatos), con un incremento desde la boca hacia el norte de la dársena portuaria, y una concentración puntual elevada en el muelle de cruceros (*Figuras 22 a, b, c, d; 23 a, b, c, d*).

4.5 Clorofila *a*

La concentración de clorofila *a* en marzo fue la mayor del estudio (2 – 16.3 mg/m³); en septiembre el intervalo fue menor (0 – 13 mg/m³), con una distribución heterogénea en superficie y fondo en ambos muestreos, y con concentraciones puntuales elevadas tanto en el norte como en el sur del puerto (*Figura 24 a, b, d, e*).

La concentración de noviembre, fue la mínima del estudio (2.2 – 9.7 mg/m³), estando espacialmente distribuida de forma inversa que los nutrientes, es decir, disminuyendo sus niveles desde la boca al norte del puerto (*Figura 24 c, f*).

La heterogeneidad estacional también fue observada en la estación de la Bahía de Todos Santos, con variaciones en superficie y fondo en todos los muestreos (*Tabla 2*).

4.6 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Fuera del puerto, las aguas tuvieron contenidos característicos de aguas costeras de la región (0 – 4 mg O₂/L) sin una variación estacional marcada (Rivera–Duarte *et al.*, 1986).

La DQO en marzo fue desde 0.2 a 12 mg O₂/L, con las mayores concentraciones (6 mg O₂/L) en superficie, especialmente en el área noroeste del puerto. En el fondo, el mayor nivel (12 mg O₂/L) se registró en la estación localizada en la región norte (*Figuras 25 a; 26 a*).

Los contenidos en junio y septiembre, fueron los más bajos del estudio con un intervalo, en superficie y fondo, de 0.6 a 2.9 mg O₂/L (*Figuras 25 b, c; 26 b, c*).

Noviembre tuvo el mayor intervalo en la concentración (2 – 28 mg O₂/L), los niveles más altos estuvieron en el fondo y distribuidos coincidiendo con el incremento en los nutrientes y los contenidos más bajos de oxígeno disuelto (*Figuras 25 d; 26 d*).

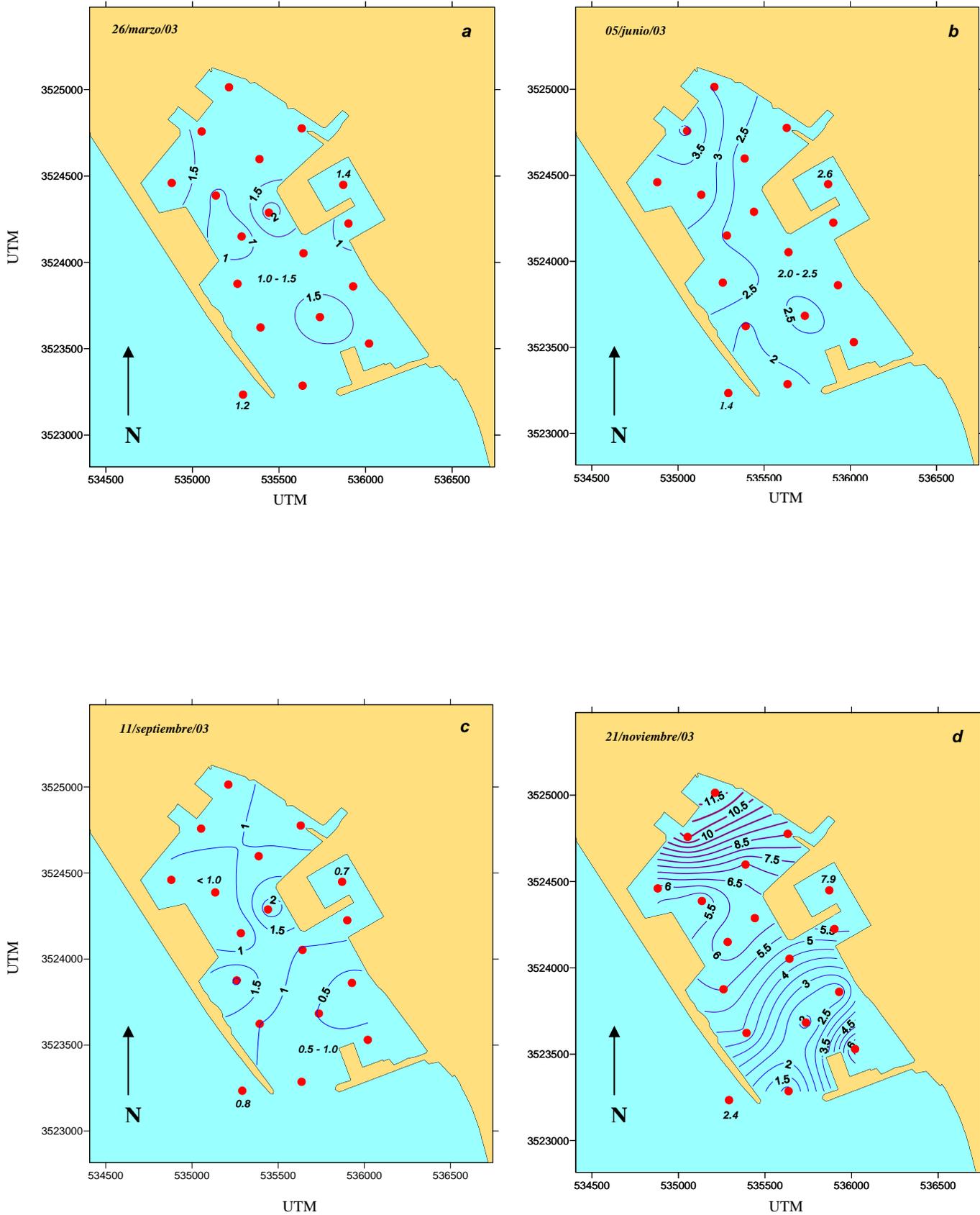


Figura 16. Distribución del amonio superficial (μM) en el Puerto de Ensenada, B. C., en marzo (a), junio (b), septiembre (c) y noviembre (d).

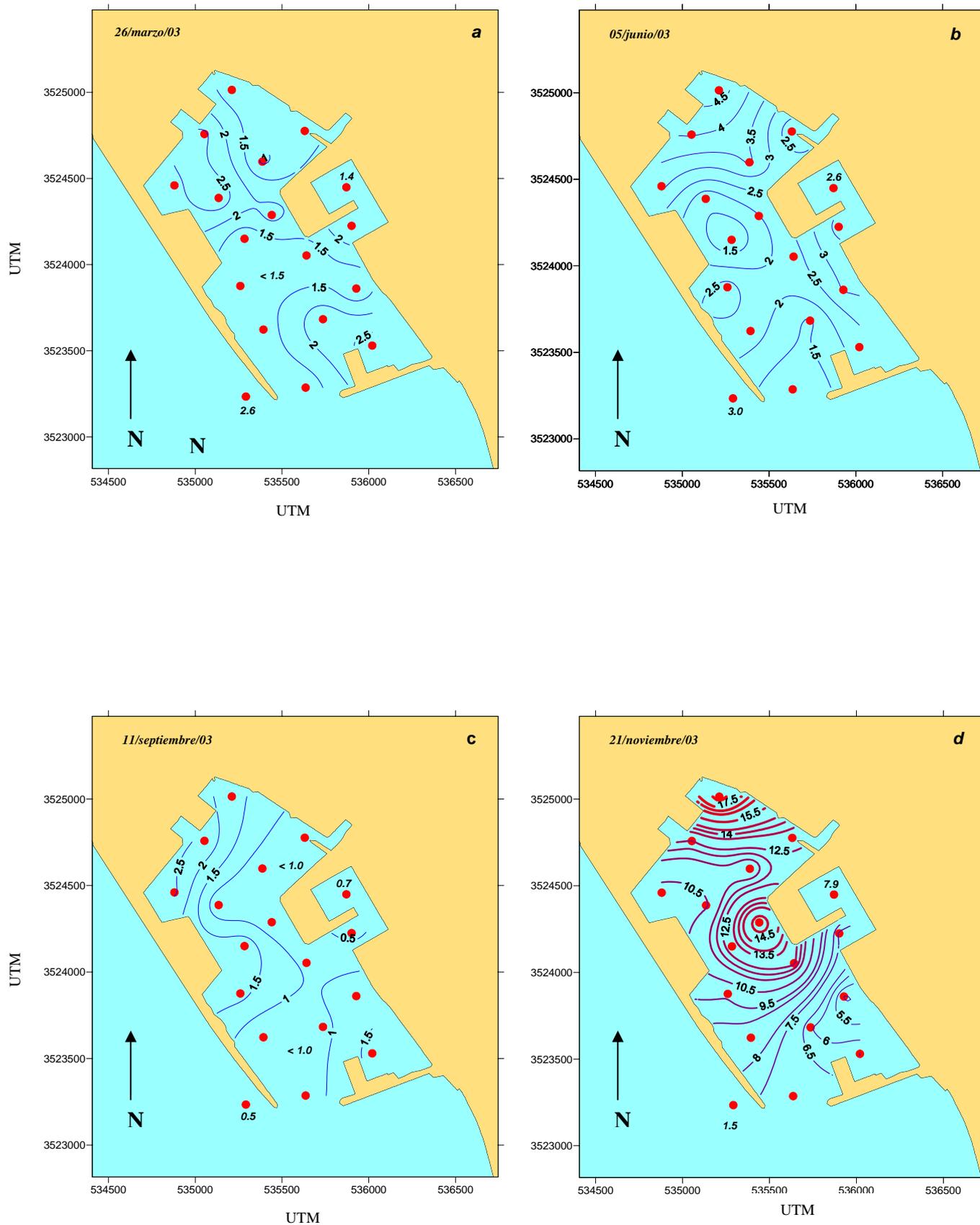


Figura 17. Distribución del amonio en el fondo (μM) en el Puerto de Ensenada, B. C., en marzo (a), junio (b), septiembre (c) y noviembre (d).

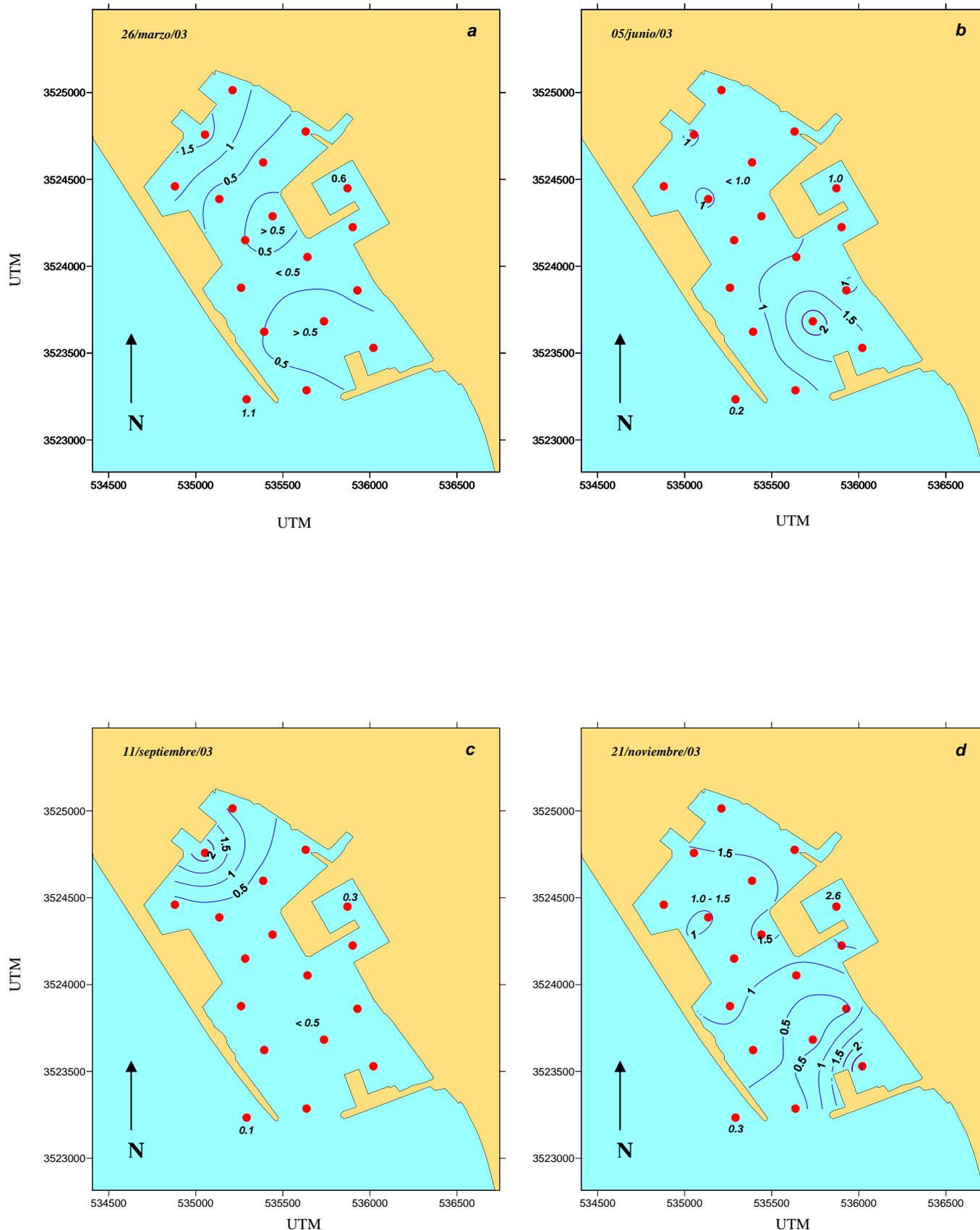


Figura 18. Distribución de los nitratos + nitritos superficiales (μM) en el Puerto de Ensenada, B. C., en marzo (a), junio (b), septiembre (c) y noviembre (d).

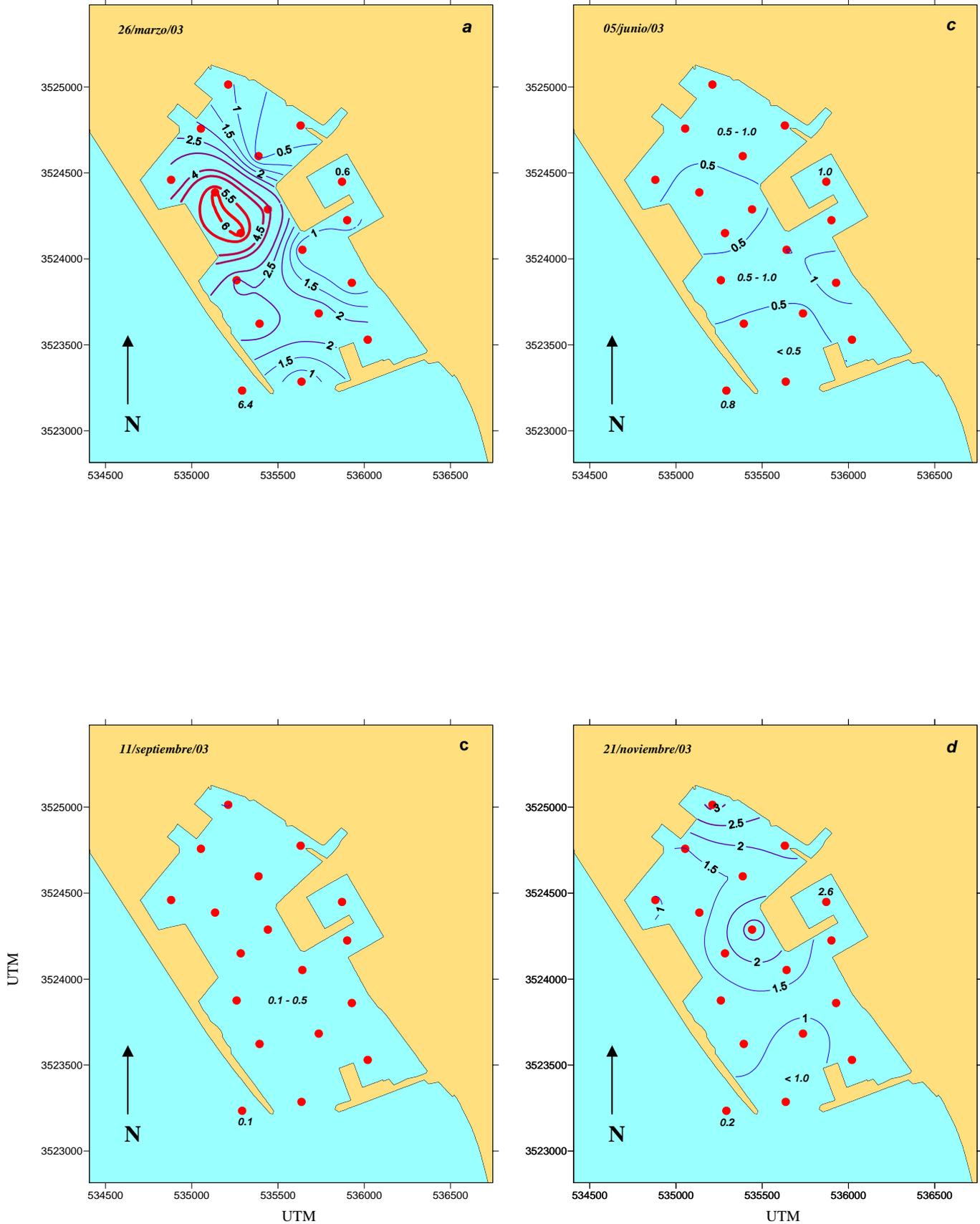


Figura 19. Distribución de los nitratos + nitritos en el fondo (μM) en el Puerto de Ensenada, B. C., en marzo (a), junio (b), septiembre (c) y noviembre (d).

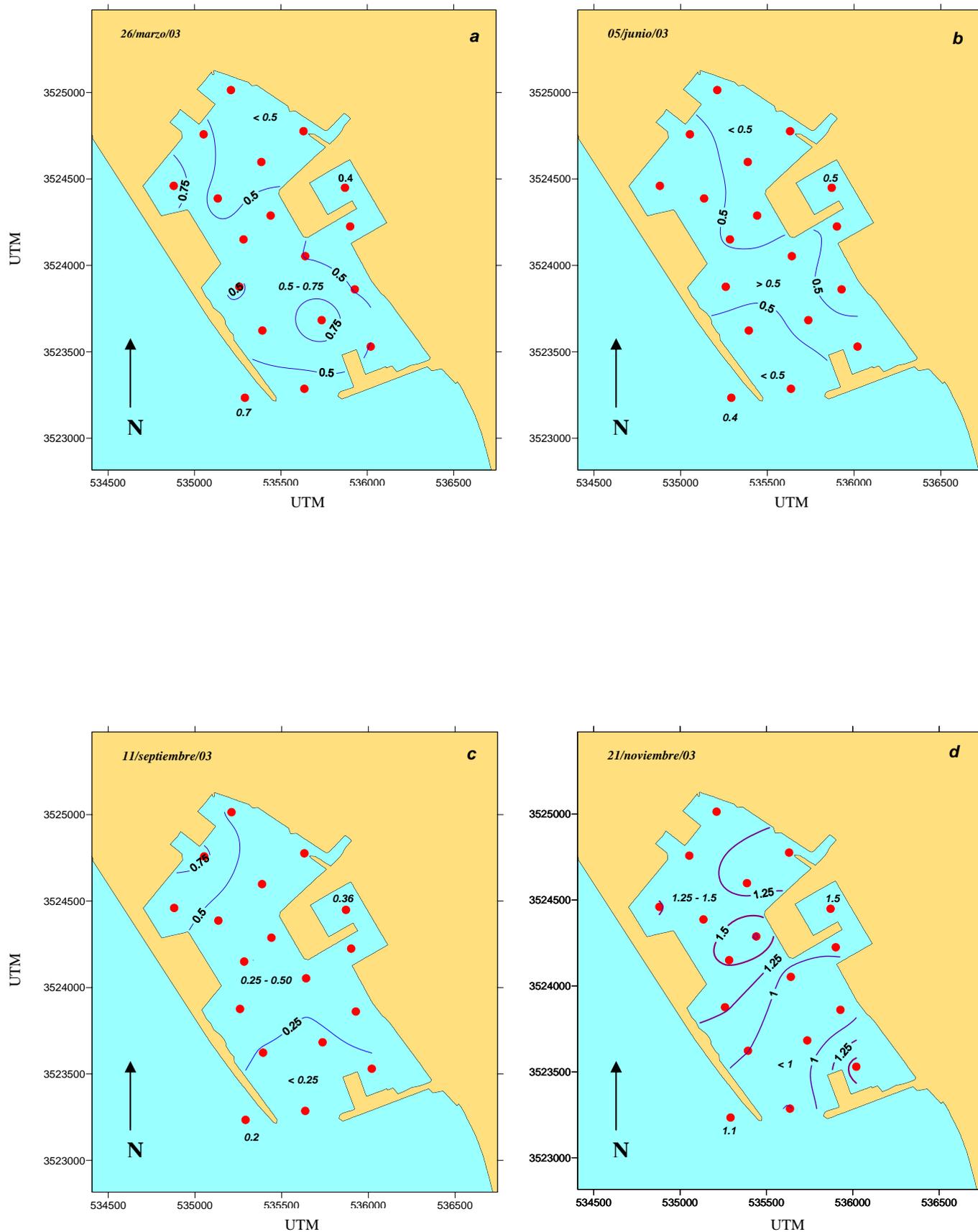


Figura 20. Distribución de los fosfatos superficiales (μM) en el Puerto de Ensenada, B. C., en marzo (a), junio (b), septiembre (c) y noviembre (d).

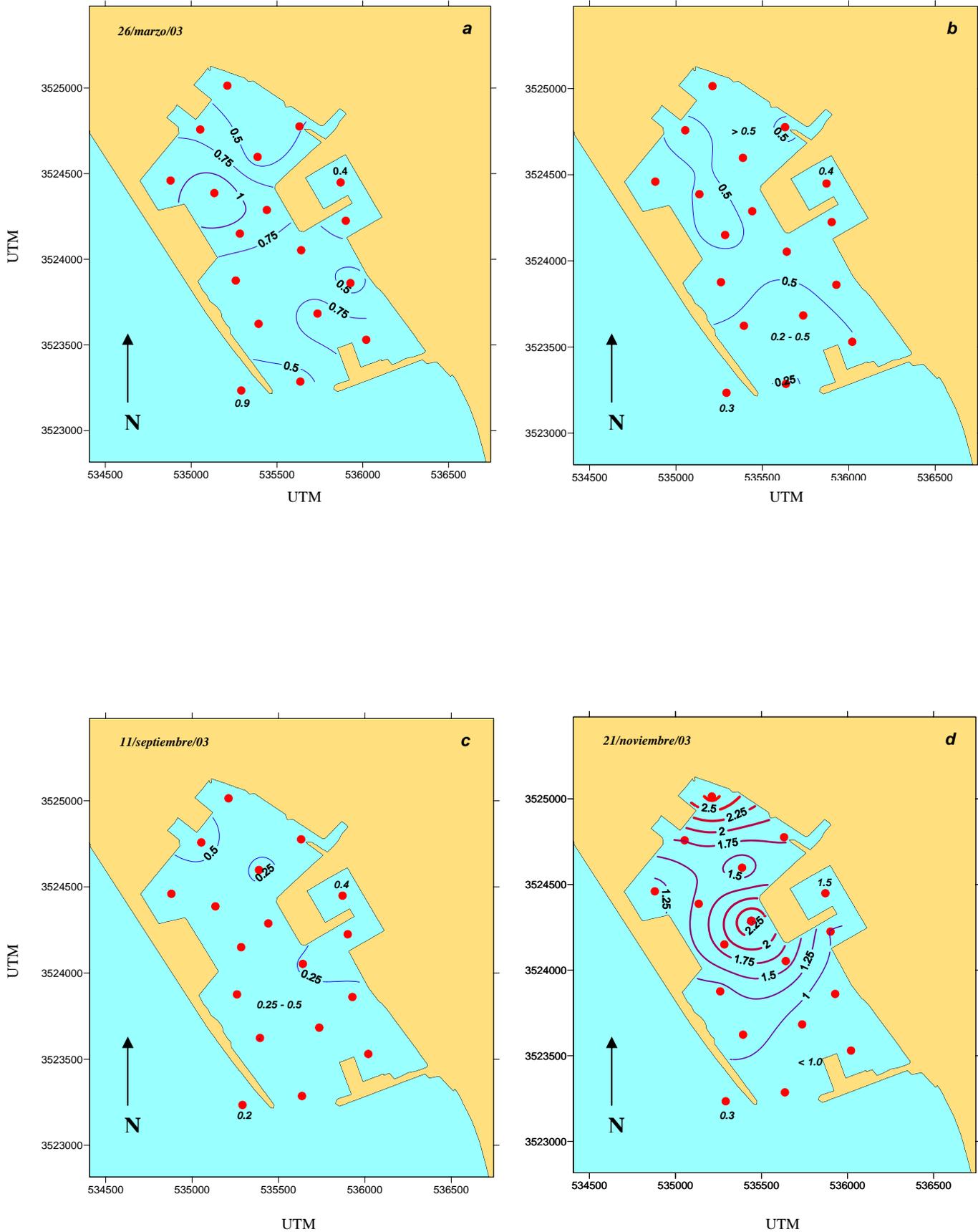


Figura 21. Distribución de los fosfatos en el fondo (μM) en el Puerto de Ensenada, B. C., en marzo (a), junio (b), septiembre (c) y noviembre (d).

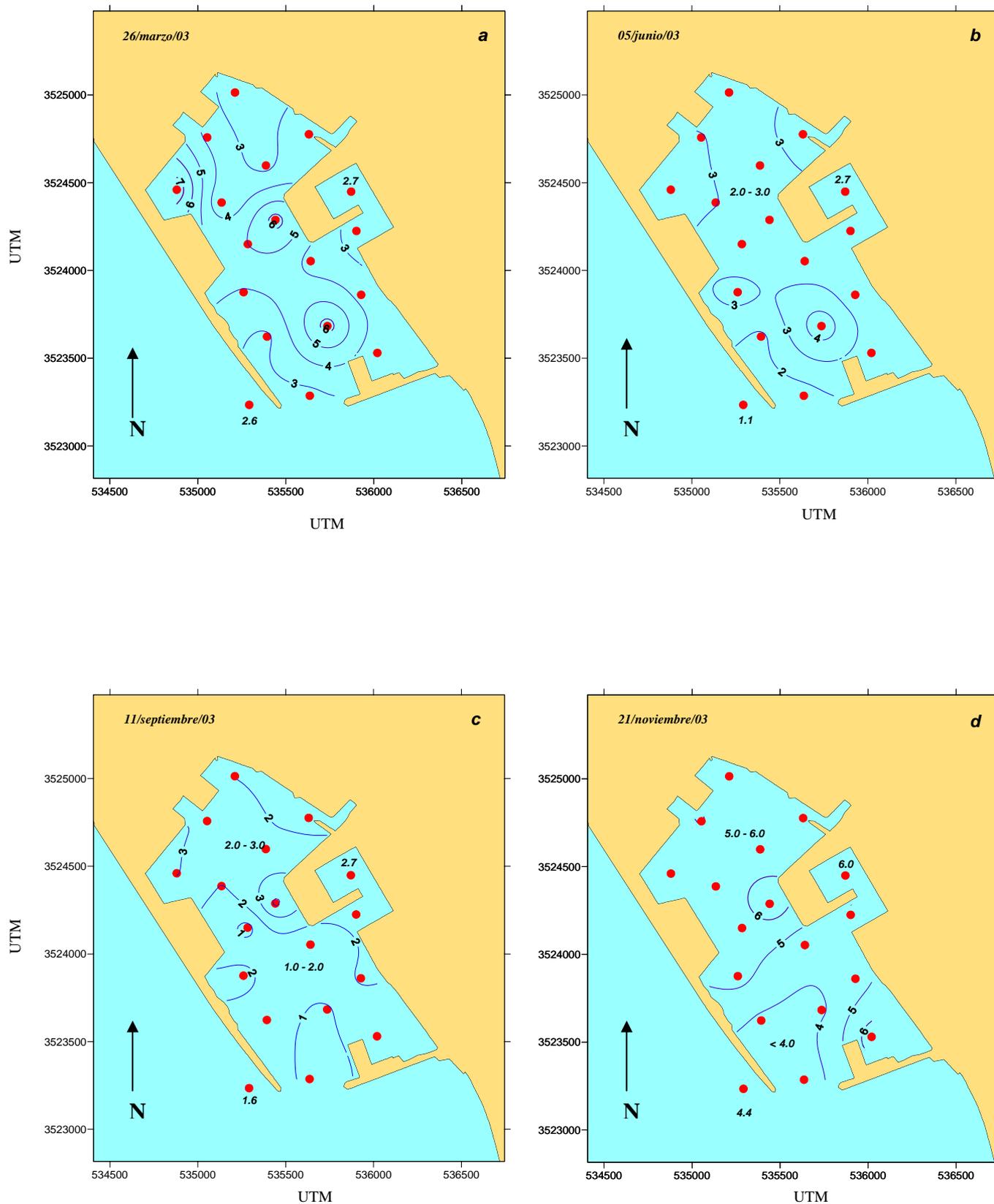


Figura 22. Distribución de los silicatos superficiales (μM) en el Puerto de Ensenada, B. C., en marzo (a), junio (b), septiembre (c) y noviembre (d).

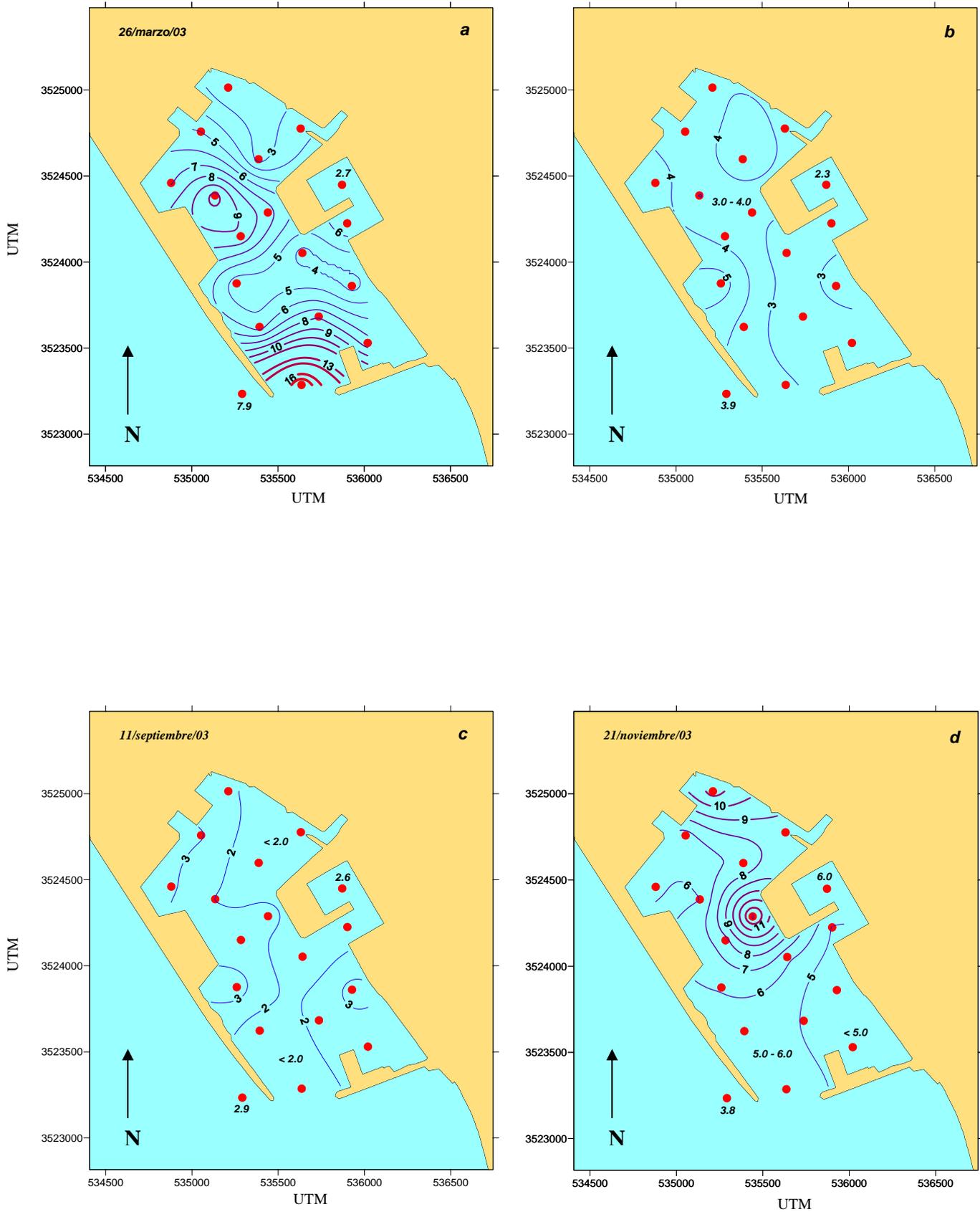


Figura 23. Distribución de silicatos en el fondo (μM) en el Puerto de Ensenada, B. C., en marzo (a), junio (b), septiembre (c) y noviembre (d).

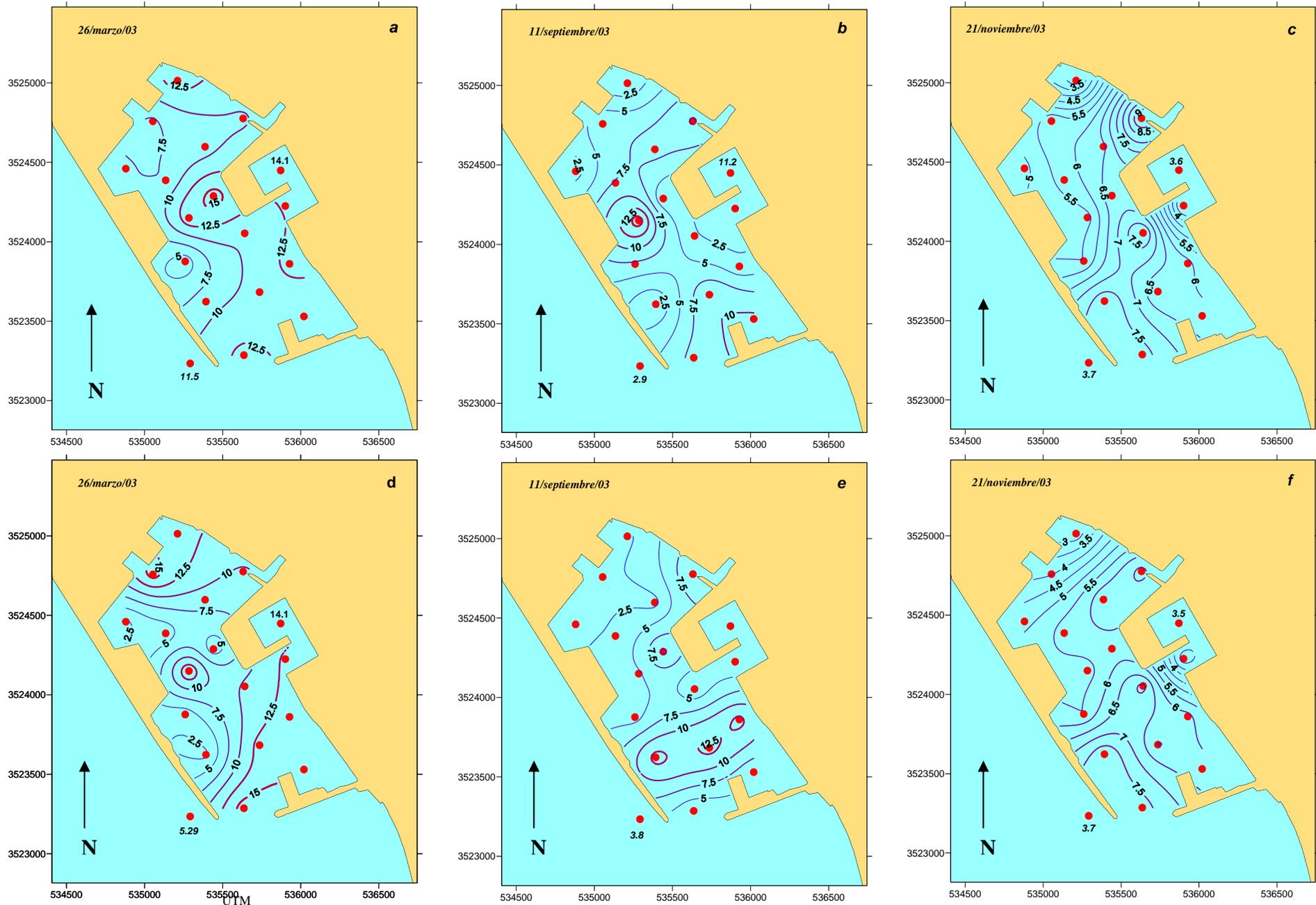


Figura 24. Distribución de la clorofila *a* (mg/m^3) superficial (*a*, *b* y *c*) y fondo (*d*, *e* y *f*), en el Puerto de Ensenada, B. C.

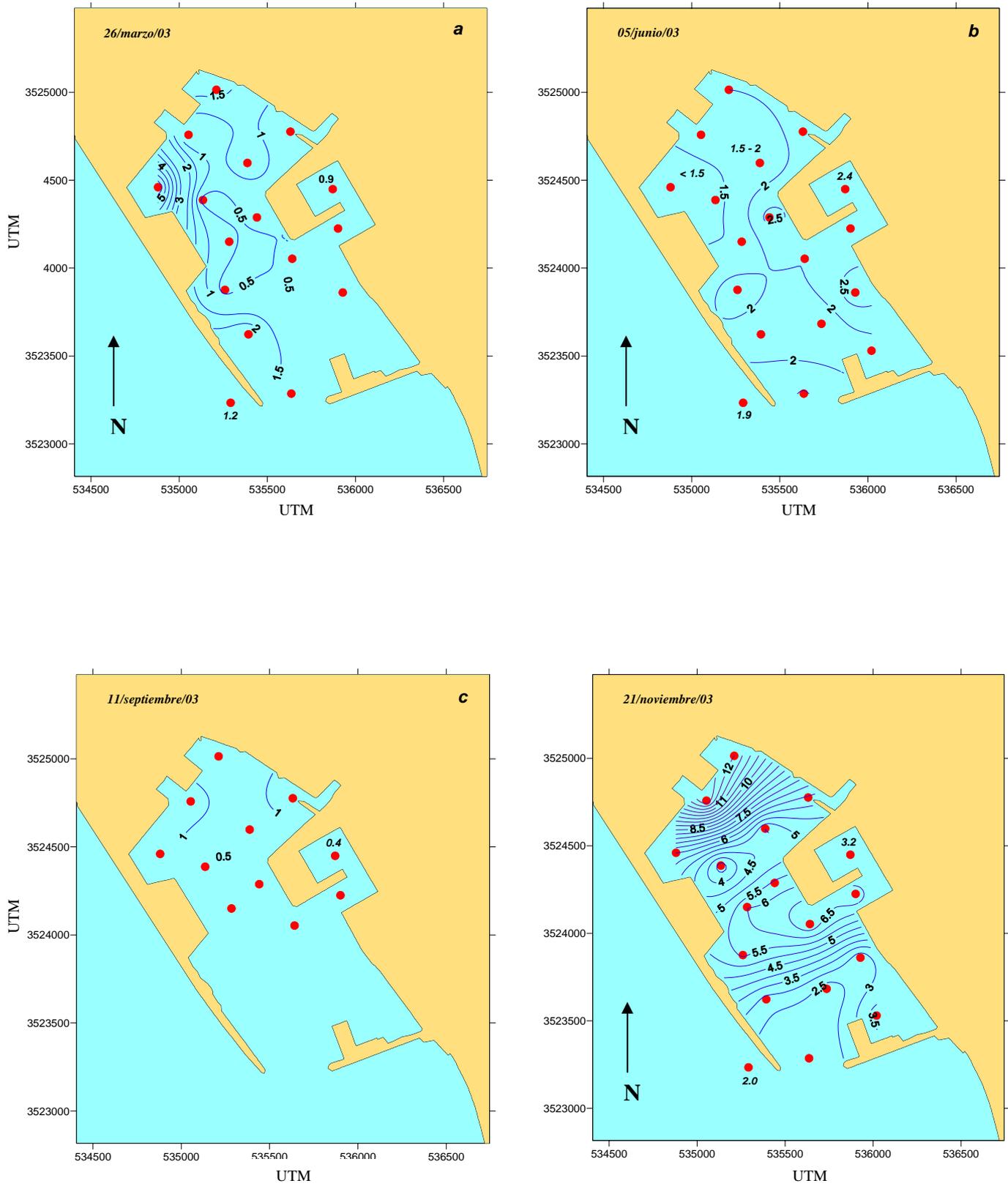


Figura 25. Distribución de la DQO superficial (mgO₂/L) en el Puerto de Ensenada, B. C., en marzo (a), junio (b), septiembre (c) y noviembre (d).

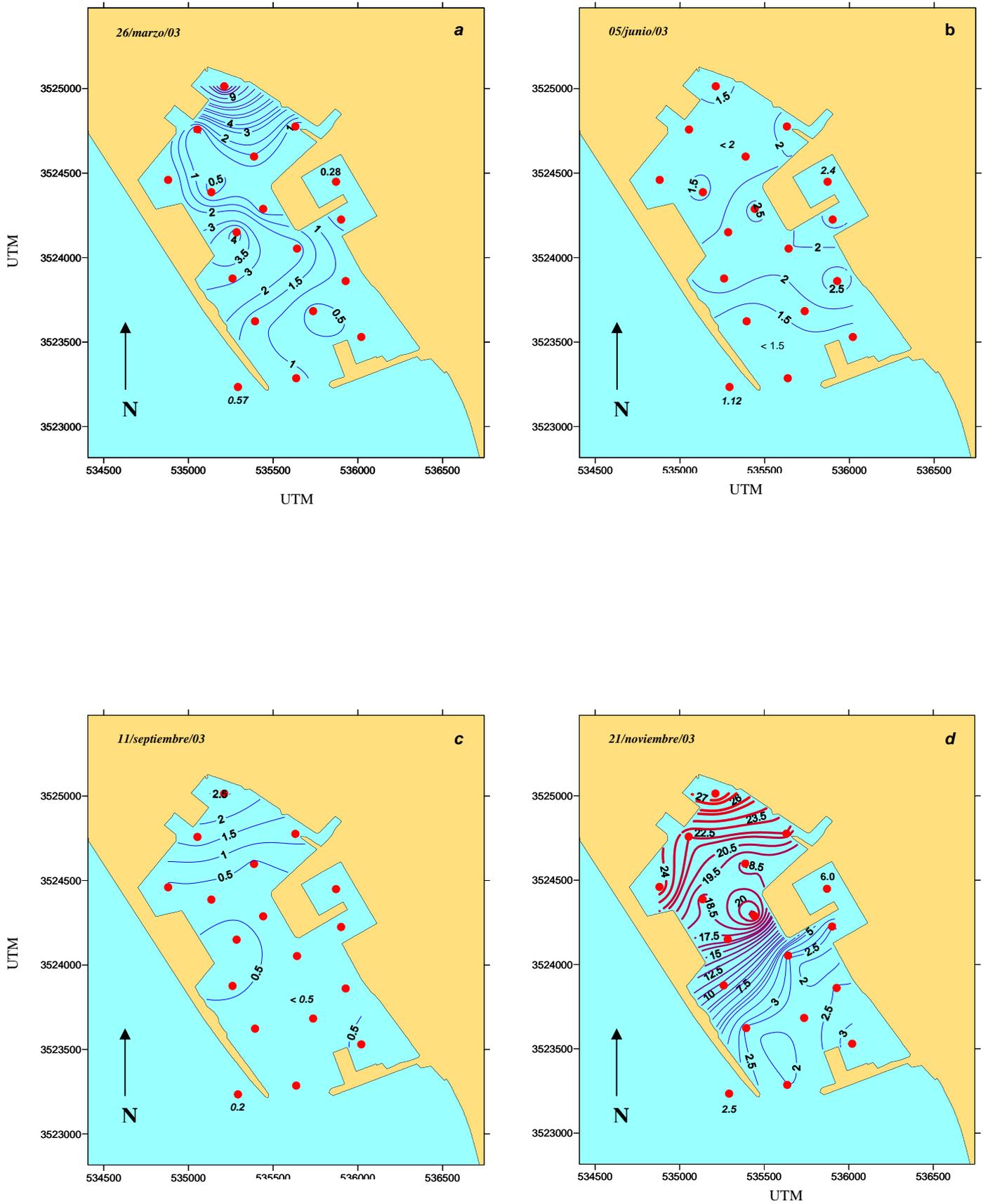


Figura 26. Distribución de la DQO en el fondo (mgO_2/L) en el Puerto de Ensenada, B. C., en marzo (a), junio (b), septiembre (c) y noviembre (d).

4.7 Estación de la Bahía de Todos Santos, B. C.

Los parámetros fisicoquímicos medidos en la estación de la Bahía de Todos Santos (*Tabla 3*), presentaron en algunos muestreos, un comportamiento similar al descrito para las estaciones cercanas a la boca del Puerto de Ensenada (*Tabla 2*). Esta semejanza fue observada principalmente para los parámetros conservativos (temperatura y salinidad).

Tabla. 3 Resultados de los parámetros fisicoquímicos en la estación de la Bahía de Todos Santos, B. C.

<i>Parámetro</i>	<i>Nivel</i>	26/03/03	05/06/03	11/09/03	21/11/03
Temperatura (°C)	S	18.61	17.80	22.24	16.65
	F	14.25	15.67	16.43	16.36
Salinidad (ups)	S	33.18	33.66	33.28	33.04
	F	33.44	33.66	33.26	33.09
Oxígeno disuelto (ml/L)	S	5.26	4.79	5.86	6.04
	F	6.69	5.89	5.75	4.89
Amonio (µM)	S	1.2	1.44	0.79	2.44
	F	2.60	3.00	0.51	1.46
Nitratos + nitritos (µM)	S	1.10	0.24	0.09	0.30
	F	6.4	0.79	0	0.25
Fosfatos (µM)	S	0.71	0.44	0.15	1.12
	F	0.94	0.33	0.25	0.27
Silicatos (µM)	S	2.60	1.13	1.56	4.54
	F	7.90	3.92	2.95	3.77
Clorofila a (mg/m³)	S	11.51	--	2.92	3.74
	F	5.29	--	3.82	7.65
DQO (mg O₂/L)	S	1.15	1.92	0.20	2.0
	F	0.57	1.12	0.50	2.5

S: Superficie

F: Fondo

4.8 Relación N:P

La comparación entre la relación varianza/media en cada muestreo (*Tabla 4*) mostró que el N (nitratos + nitritos + amonio) fue el nutriente más variable en las cuatro campañas y el P (fosfatos) tuvo menos variación.

En todos los muestreos realizados se encontró una relación N:P menor que la planteada por Redfield (16:1), lo que mostró aparentemente que el nitrógeno fue el nutriente limitante en el Puerto de Ensenada. La mayor proporción en la relación se observó en noviembre, debido principalmente al incremento en las concentraciones de amonio de esa época

Tabla 4. Variabilidad de los nutrientes y relación N:P en el Puerto de Ensenada, B. C. en cada muestreo

N: nitratos, nitritos y amonio

P: fosfatos

Muestreo	Media		Varianza/media		Relación N:P
	N	P	N	P	
26/03/03	2.89	0.59	1.3755	0.1017	4.9:1
05/06/03	3.37	0.50	0.3338	0.0245	6.74:1
11/09/03	1.35	0.35	0.4592	0.0668	3.85:1
21/1	9.39	1.32	2.2335	0.1841	7.11:1

4.9 Análisis Estadístico.

4.9.1 Resultados de la prueba ANOVA

En la **Tabla 5** se presentan los parámetros que señalaron diferencias significativas en el análisis en la prueba ANOVA para dos grupos de estaciones: zonas norte (10, 11, 12, 14, 15, 16, 17 y 18) y zona sur (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 13); excepto en noviembre, cuando el oxígeno disuelto, los nutrientes y la DQO (no conservativos) tuvieron diferencias significativas, los niveles de la mayoría de los parámetros fueron estadísticamente similares en las zonas norte y sur del puerto.

Tabla 5. Parámetros que tuvieron diferencias significativas entre las zonas norte y sur en el Puerto de Ensenada, B. C.

Muestreo	Parámetro	Nivel	Valores de F y p
Noviembre	Amonio	Superficie	F=6.44; p=0.02
	Nitratos + nitritos	Superficie	F=6.38; p=0.02
	silicatos	Superficie	F=4.80; p=0.04
	Oxígeno disuelto	Fondo	F=9.47; p=0.001
	Amonio	Fondo	F=14.04; p=0.002
	silicatos	Fondo	F=10.58; p=0.001
	DQO	Fondo	F=56.13; p=0.001

4.10 Balance de nitrógeno (N) y fósforo (P) en el Puerto de Ensenada, B. C. según Modelo de LOICZ antes de la instalación del SIBEO.

4.10.1 Balance de Agua (Gordon *et al.*, 1996)

En la **Tabla 6** se muestran los volúmenes diarios de agua que entraron y salieron al puerto. El volumen de evaporación (V_E) fue mayor que el volumen de precipitación (V_P), consecuencia de las características climáticas de la región, caracterizada por alta evaporación y escasas precipitaciones. Las diferencias fueron menores en marzo, ya que los meses de febrero y marzo fueron los de mayor lluvia y menor tasa de evaporación (CNA, 2003).

Tabla 6. Volúmenes de entrada y salida de agua dulce en el Puerto de Ensenada, B. C.

El signo negativo significa salida de agua dulce

El signo positivo significa entrada de agua dulce

	<i>Entradas y salidas de agua dulce</i>	<i>V</i>
Marzo/03	Descargas de residuales líquidos ($V_o \hat{}$)	+20 (m ³ /día)
	Evaporación ($V_E \hat{}$)	-7,172 (m ³ /día)
	Precipitación ($V_P \hat{}$)	+3,757.6 (m ³ /día)
Junio/03	Descargas de residuales líquidos ($V_o \hat{}$)	+20 (m ³ /día)
	Evaporación ($V_E \hat{}$)	-9,230.1 (m ³ /día)
	Precipitación ($V_P \hat{}$)	+722.7 (m ³ /día)
Septiembre/03	Descargas de residuales líquidos ($V_o \hat{}$)	+20 (m ³ /día)
	Evaporación ($V_E \hat{}$)	-9,682.2 (m ³ /día)
	Precipitación ($V_P \hat{}$)	+158.4 (m ³ /día)
Noviembre/03	Descargas de residuales líquidos ($V_o \hat{}$)	+20 (m ³ /día)
	Evaporación ($V_E \hat{}$)	-9543.6 (m ³ /día)
	Precipitación ($V_P \hat{}$)	+622.5 (m ³ /día)
Balance Anual	Descargas de residuales líquidos ($V_o \hat{}$)	+7300 (m ³ /año)
	Evaporación ($V_E \hat{}$)	-3.2x10 ⁶ (m ³ /año)
	Precipitación ($V_P \hat{}$)	+0.6 x 10 ⁶ (m ³ /año)
Área del puerto (x10 ⁶ m ²)	1.98	
Volumen del puerto (x 10 ⁶ m ³)	14.25	

4.10.2 Estimación del Volumen de Mezcla ($V_X \hat{}$) a partir del Cálculo del Prisma del Marea en el Puerto de Ensenada, B. C.

En vista de que la amplitud de la marea en la zona de Ensenada es semidiurna y con una amplitud aproximada de un metro en cada ciclo y semidiurna durante todo el año, el área del puerto es de 1.98 km², por lo que el volumen aproximado de mezcla es de ($V_X \hat{}$) de 3.8 x 10⁶ m³/d.

El signo de $V_R \hat{}$ en todos los muestreos fue positivo, debido a que en todos los meses la evaporación excedió la precipitación y el volumen de agua dulce perdida fue compensado por el mar adyacente (**Figuras 27, 28, 29, 30**) El volumen de mezcla ($V_X \hat{}$) calculado a partir del prisma de marea fue constante durante todo el año; por lo que el valor del tiempo de residencia por mareas (τ_m) tampoco varió (Ecuación 5). El tiempo de residencia hidráulico (τ_{hid}) fue mayor en la época de lluvias (Ecuación 6); y el tiempo de residencia total del puerto (Ecuación 7) dependió básicamente de las mareas, por lo que el resultado fue el mismo para cada muestreo (**Tabla 7**). En la **Tabla 8** se presentan los volúmenes utilizados en los balances ($V_X \hat{}$, $V_R \hat{}$, $V_P \hat{}$, $V_E \hat{}$, $V_o \hat{}$, $V_{SIBEO} \hat{}$) en una escala de 0 – 100 %; cada volumen fue dividido entre el mayor, con el objetivo de tener conocer la importancia de cada uno en los balances (mensual y anual).

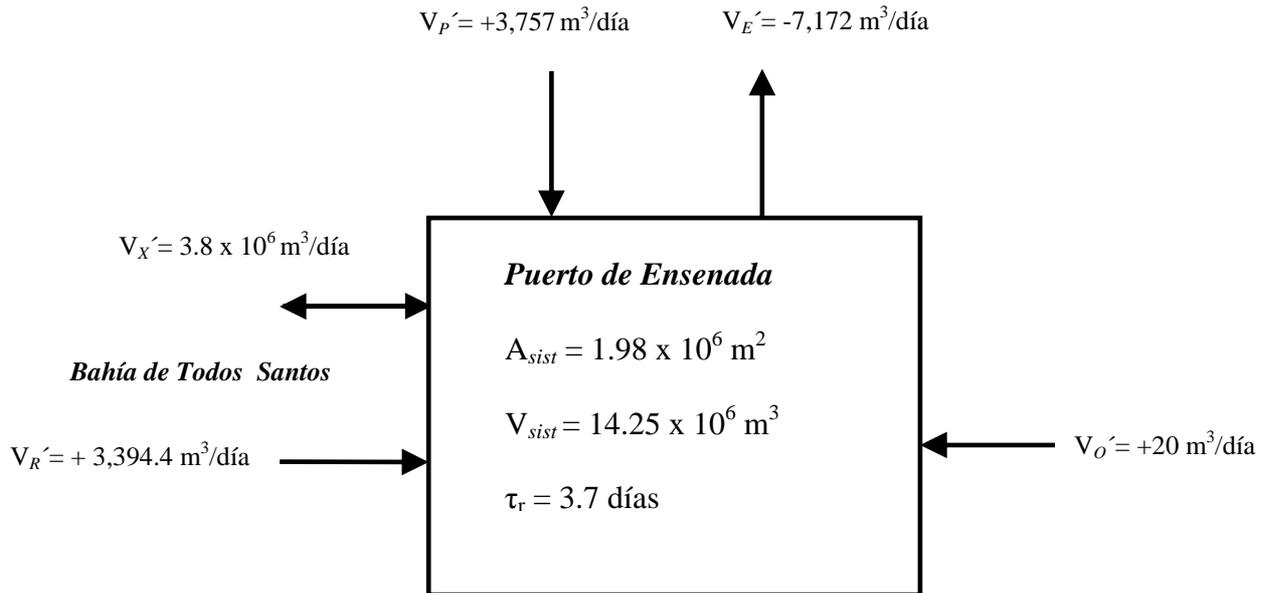


Figura 27. Balance de agua y de sal para el Puerto de Ensenada, B. C. en marzo.

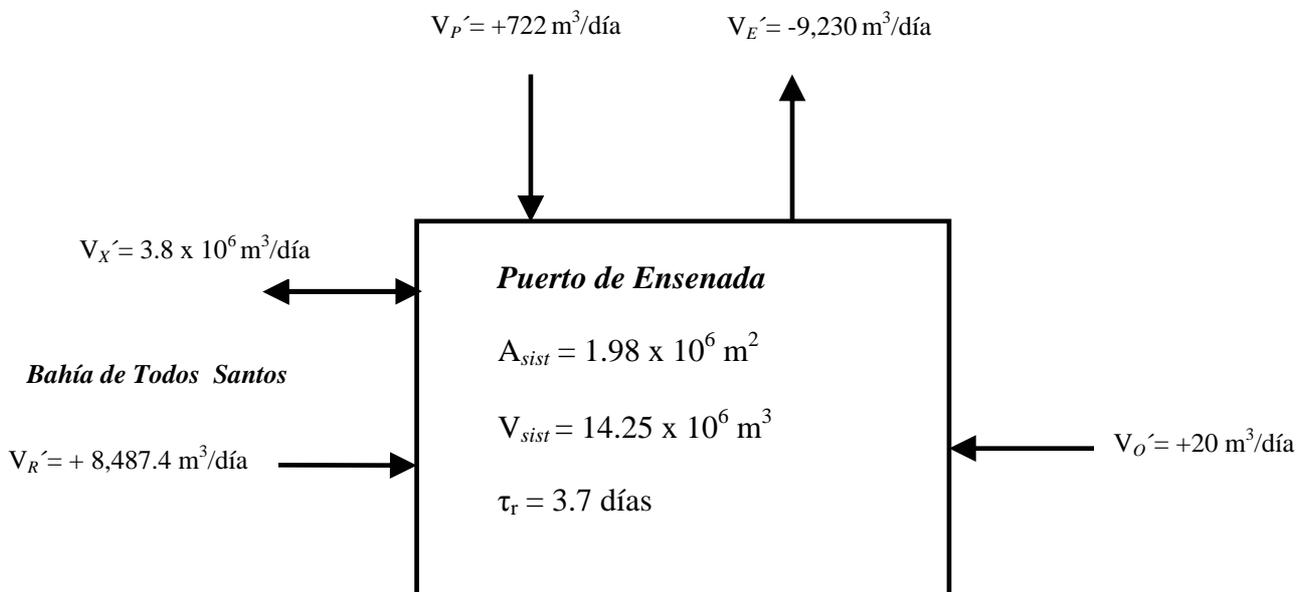


Figura 28. Balance de agua y de sal para el Puerto de Ensenada, B. C. en junio.

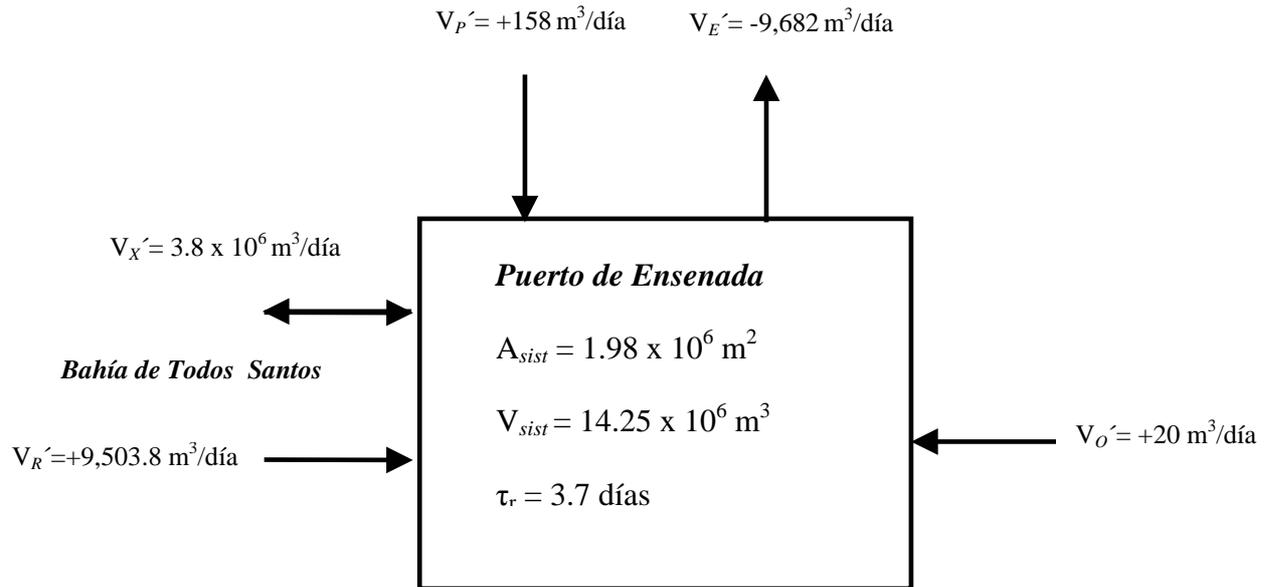


Figura 29. Balance de agua y de sal para el Puerto de Ensenada, B. C. en septiembre.

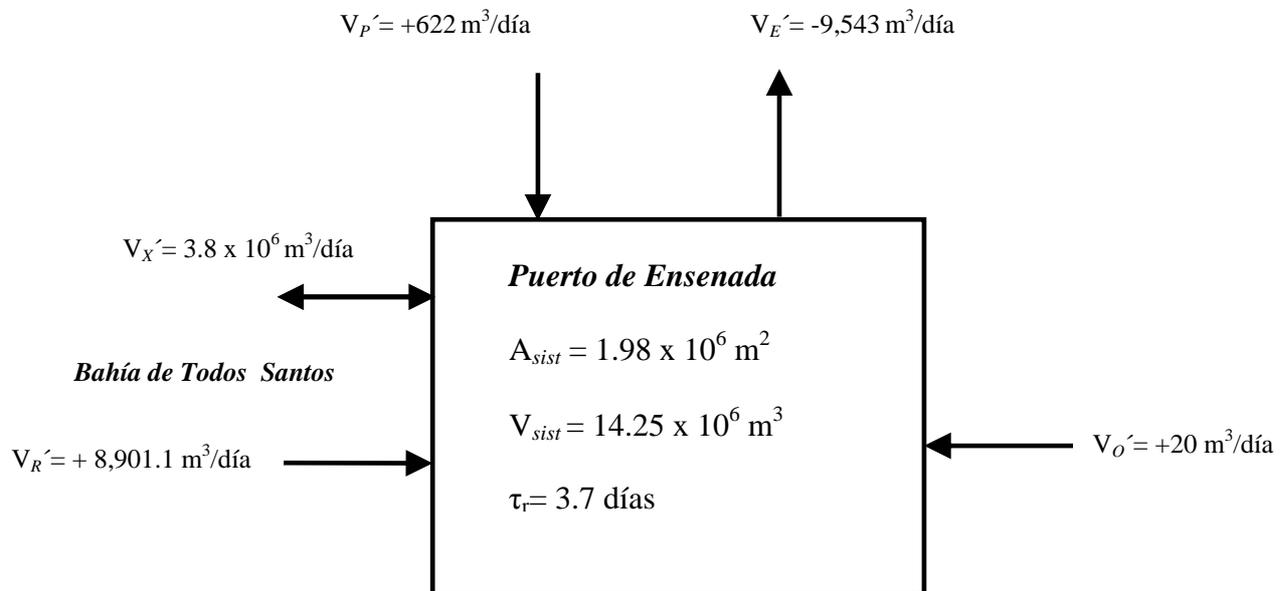


Figura 30. Balance de agua y de sal para el Puerto de Ensenada, B. C. en noviembre

Tabla 7. Volúmenes residuales V_R' ($m^3/día$), tiempo de residencia por mareas (τ_m), tiempo de residencia hidráulico (τ_{hid}) y tiempo de residencia total del puerto (τ_r) obtenidos a partir del balance de agua para cada muestreo. signo positivo de V_R' significa un flujo entrando al sistema

	Marzo	Junio	Septiembre	Noviembre
V_R' ($m^3/día$)	+3,394.4	+8,487.4	+9,503.8	+8901.1
$V_X' \times 10^6$ ($m^3/día$)	3.8	3.8	3.8	3.8
τ_m (días)	3.7	3.7	3.7	3.7
τ_{hid} (días)	4,198	1,678	1,500	1,600
τ_r (días)	3.7	3.7	3.7	3.7

Tabla 8. Escalado de los volúmenes utilizados en el balance de agua y nutrientes (0 – 100 %) para cada muestreo y anual.

	Marzo	Junio	Septiembre	Noviembre	Anual
V_X'	100	100	100	100	100
V_R'	0.08	0.22	0.25	0.23	0.17
V_P'	0.09	0.01	0.004	0.01	0.04
V_E'	0.18	0.24	0.25	0.25	0.23
V_O'	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
V_{SIBEO}'					2.27

El volumen residual (V_R') tuvo signo positivo, ya que durante todo el año la evaporación excedió la precipitación (**Tabla 9**), por lo que entró agua del mar adyacente hacia el puerto (cuenca concentradora). El tiempo de residencia por mareas (τ_m), fue similar al calculado para cada muestreo, ya que V_X' fue constante (Ecuación 5); además, al igual que para cada muestreo, las mareas dominaron el tiempo de residencia en el puerto, obteniéndose el mismo resultado del τ_r (**Figura 31**).

Tabla 9 Volumen residual V_R' ($m^3/año$), tiempo de residencia por mareas (τ_m), tiempo de residencia hidráulico (τ_{hid}) y tiempo de residencia total del puerto (τ_r), obtenidos a partir del balance de agua anual. signo positivo de V_R significa un flujo entrando al sistema

Balance Anual	
$V_R' \times 10^6$ ($m^3/año$)	+2.4
$V_X' \times 10^6$ ($m^3/año$)	1,387
τ_m (días)	3.7
τ_{hid} (días)	2,140.4
τ_r (días)	3.7

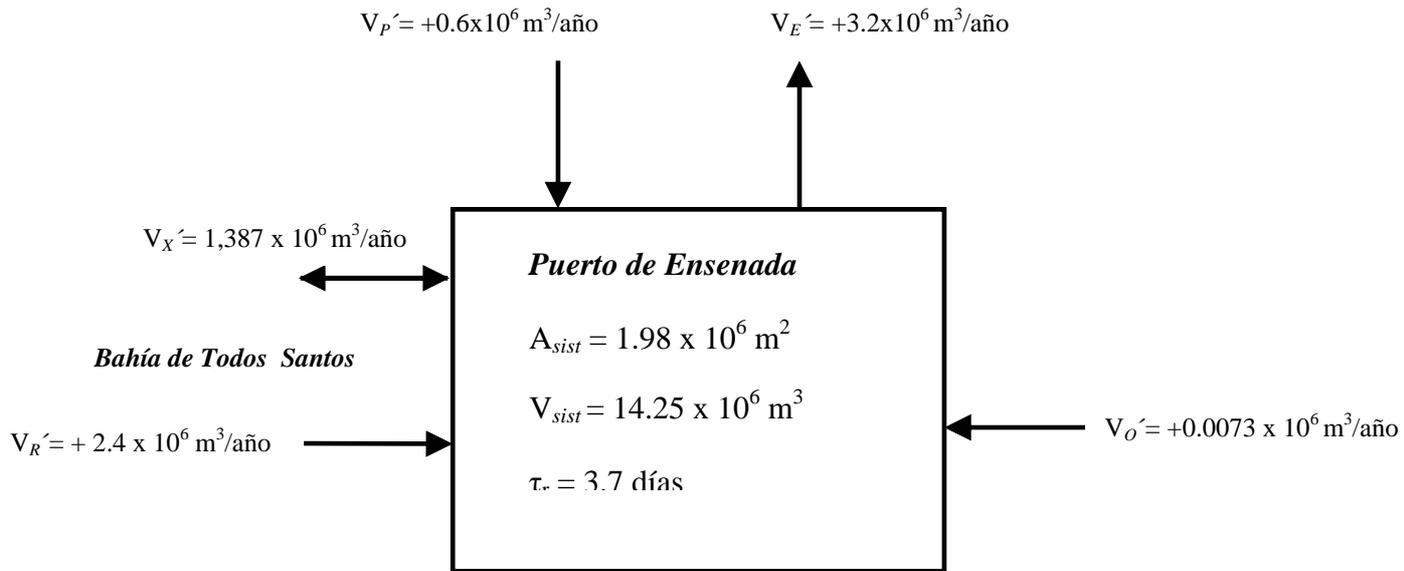


Figura 31. Balance anual de agua y de sal para el Puerto de Ensenada, B. C.

4.10.3 Cálculo del balance de nitrógeno (N) y fósforo (P), en el Puerto de Ensenada, B. C., en cada muestreo y anual.

En la *Tabla 10* se presentan las concentraciones promedio de las 17 estaciones (tomando superficie y fondo) de nitratos + nitritos, amonio, NID (nitratos + nitritos y amonio), nitrógeno orgánico (N_{org}), nitrógeno (N), fosfatos, fósforo orgánico (P_{org}) y fósforo (P) dentro del puerto y en la estación de la Bahía de Todos Santos (BT) para cada muestreo.

Tabla 10. Concentraciones de nitratos + nitritos, amonio, NID, N_{org} , N, fosfatos, P_{org} y P, del Puerto de Ensenada y la Bahía de Todos los Santos (BT), B. C., en cada muestreo y el promedio anual.

	Parámetros	Puerto	BT
Marzo /2003	Amonio (μM)	1.49	1.90
	Nitratos + nitritos (μM)	1.39	3.75
	NID (μM)	2.88	5.65
	N_{org} (μM)	1.53	1.23
	N (μM)	4.41	6.88
	Fosfatos (μM)	0.59	0.82
	P_{org} (μM)	0.04	0.07
	P (μM)	0.63	0.89
Junio /2003	Nitratos + nitritos (μM)	0.80	0.51
	Amonio (μM)	2.57	2.2
	NID (μM)	3.37	2.71
	N_{org} (μM)	1.09	0.74
	N (μM)	4.46	3.45
	Fosfatos (μM)	0.50	0.38
	P_{org} (μM)	0.03	0.02
	P (μM)	0.53	0.40
Septiembre /2003	Nitratos + nitritos (μM)	0.26	0.09
	Amonio (μM)	1.07	0.65
	NID (μM)	1.33	0.74
	N_{org} (μM)	0.91	0.49
	N (μM)	2.24	1.23
	Fosfatos (μM)	0.35	0.2
	P_{org} (μM)	0.02	0.001
	P (μM)	0.37	0.2
Noviembre /2003	Nitratos + Nitritos (μM)	1.41	0.24
	Amonio (μM)	7.98	2.44
	NID (μM)	9.39	2.68
	N_{org} (μM)	0.83	0.54
	N (μM)	10.22	3.22
	Fosfatos (μM)	1.32	1.12
	P_{org} (μM)	0.02	0.01
	P (μM)	1.34	1.13
Anual	Nitratos + nitritos (μM)	0.96	1.16
	Amonio (μM)	3.10	1.68
	NID (μM)	4.07	2.84
	N_{org} (μM)	1.10	0.75
	N (μM)	5.17	3.59
	Fosfatos (μM)	0.68	0.53
	P_{org} (μM)	0.03	0.02
	P (μM)	0.71	0.55

Los resultados del balance en cada muestreo de los compuestos no conservativos (N y P) en kg/día, se muestran en la **Tabla 11**. Se observaron diferencias en el balance de nutrientes; con una importación neta de N y P en el mes de marzo, siendo mayor la cantidad correspondiente a N. En los meses de junio, septiembre y noviembre; todos los nutrientes fueron exportados a la Bahía de Todos Santos, con las concentraciones más

elevadas correspondientes al N, principalmente en noviembre. Los ingresos y egresos de P, fueron los más uniformes del estudio (*Figuras 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39*).

Tabla 11. Balance de N y P (kg/día) en el Puerto de Ensenada, B. C., para cada muestreo.

	<i>Marzo/03</i>	<i>Junio/03</i>	<i>Septiembre/03</i>	<i>Noviembre/03</i>
ΔN (kg/día)	-139.0	+45.7	+45.8	+364.0
ΔP (kg/día)	-30.0	+11.4	+16.6	+20.4

El signo negativo significa importación

El signo positivo significa exportación

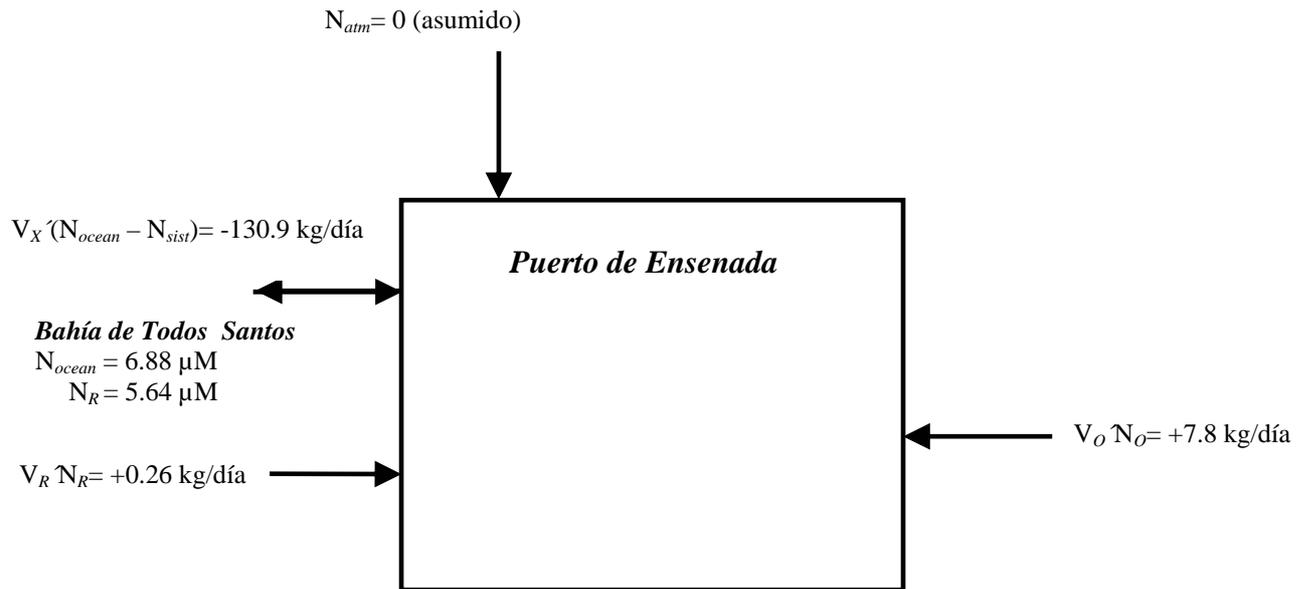


Figura 32. Balance de N para el Puerto de Ensenada, B. C. en marzo.

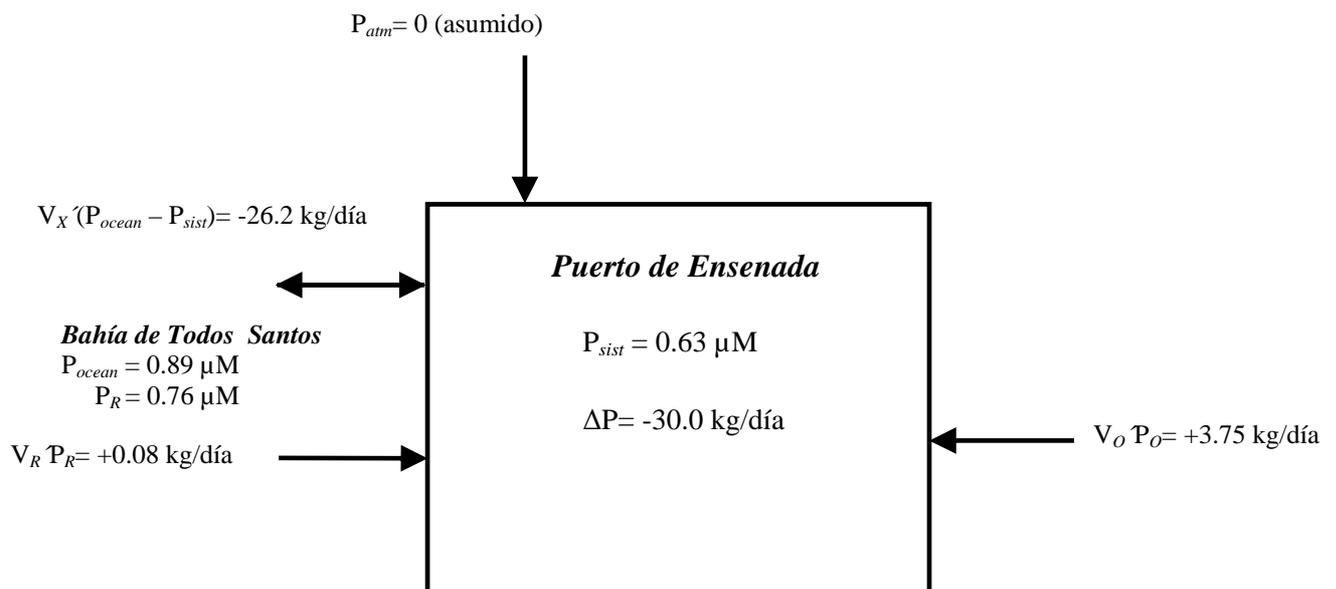


Figura 33. Balance de P para el Puerto de Ensenada, B. C. en marzo.

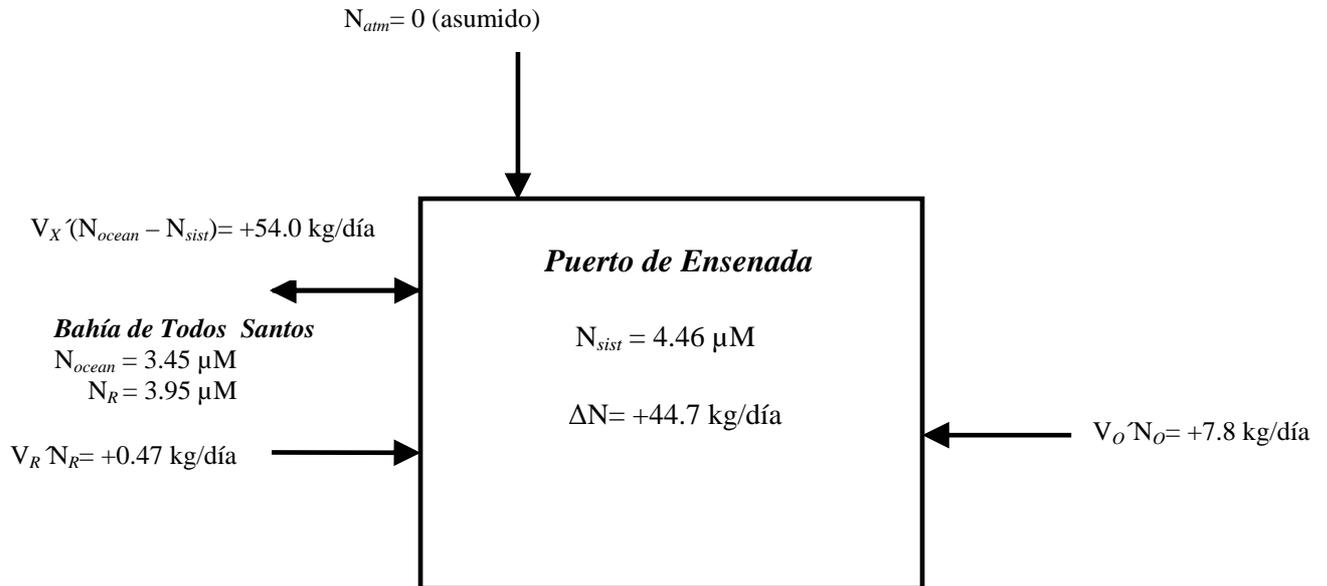


Figura 34. Balance de N para el Puerto de Ensenada, B. C. en junio.

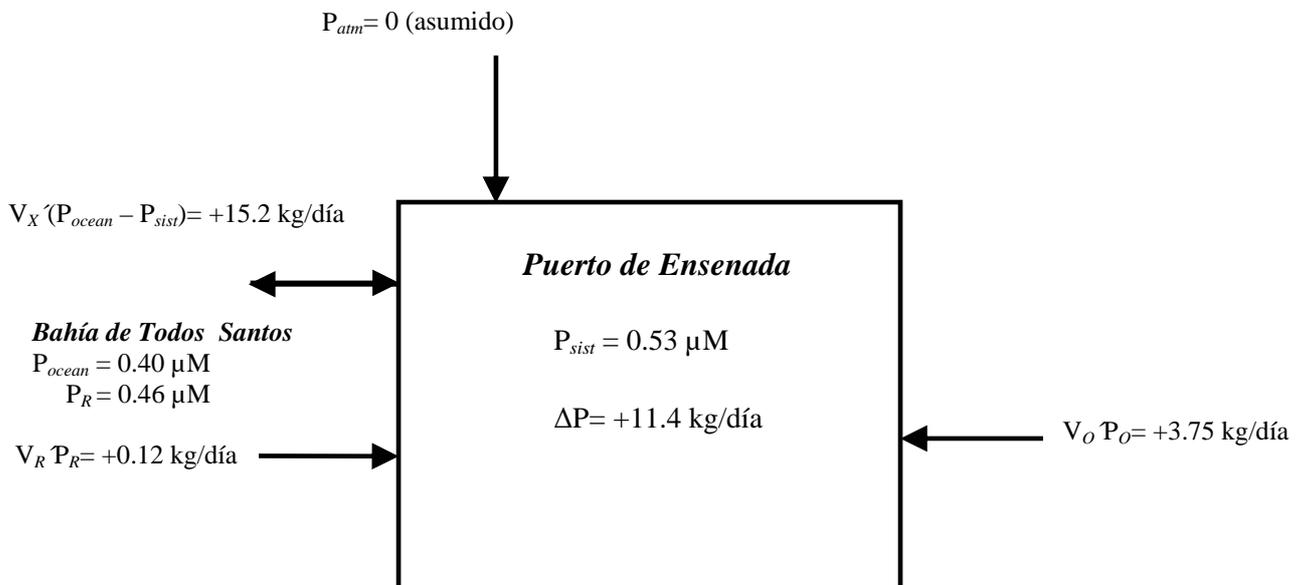


Figura 35. Balance de P para el Puerto de Ensenada, B. C. en junio.

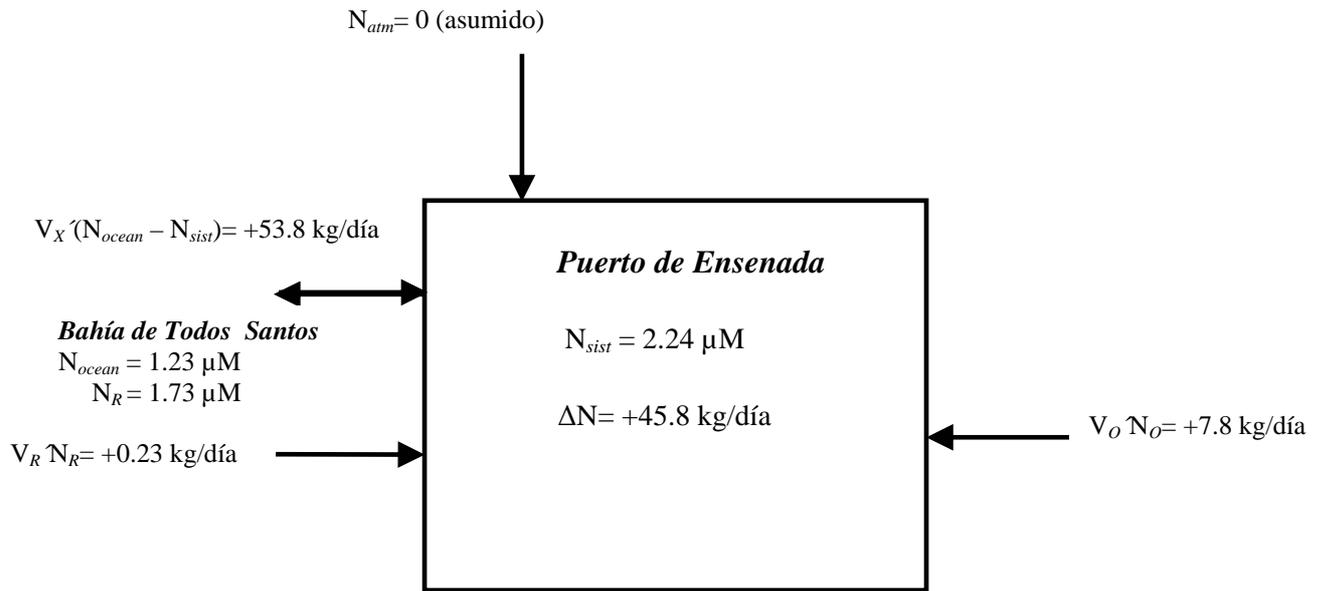


Figura 36. Balance de N para el Puerto de Ensenada, B. C. en septiembre.

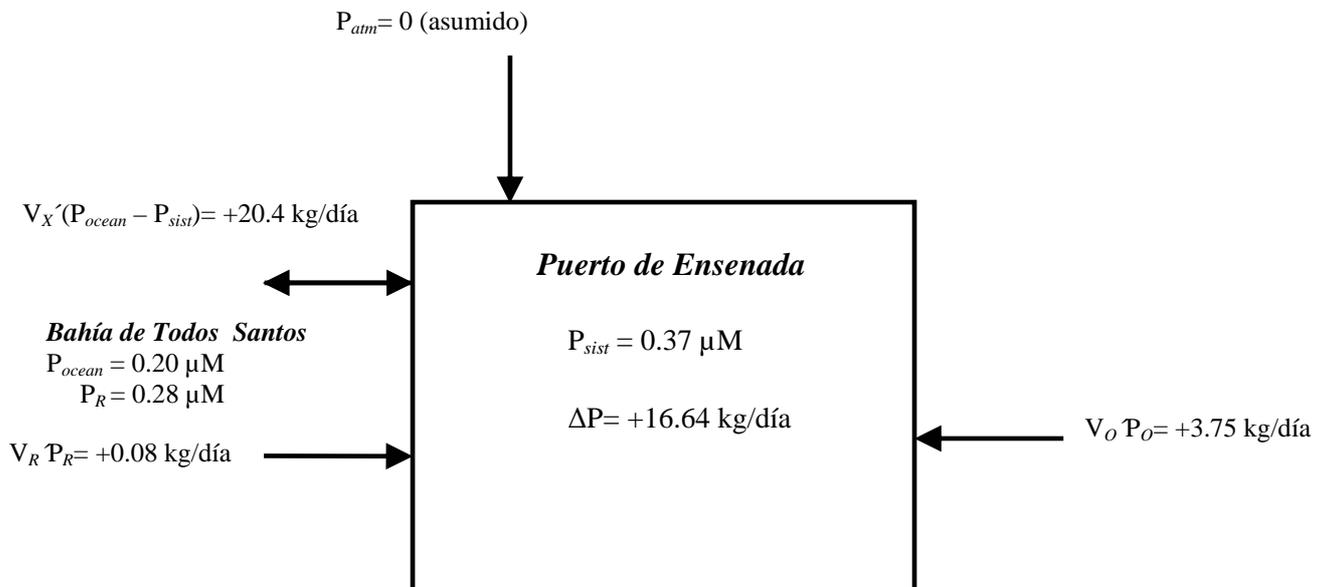


Figura 37. Balance de P para el Puerto de Ensenada, B. C. en septiembre.

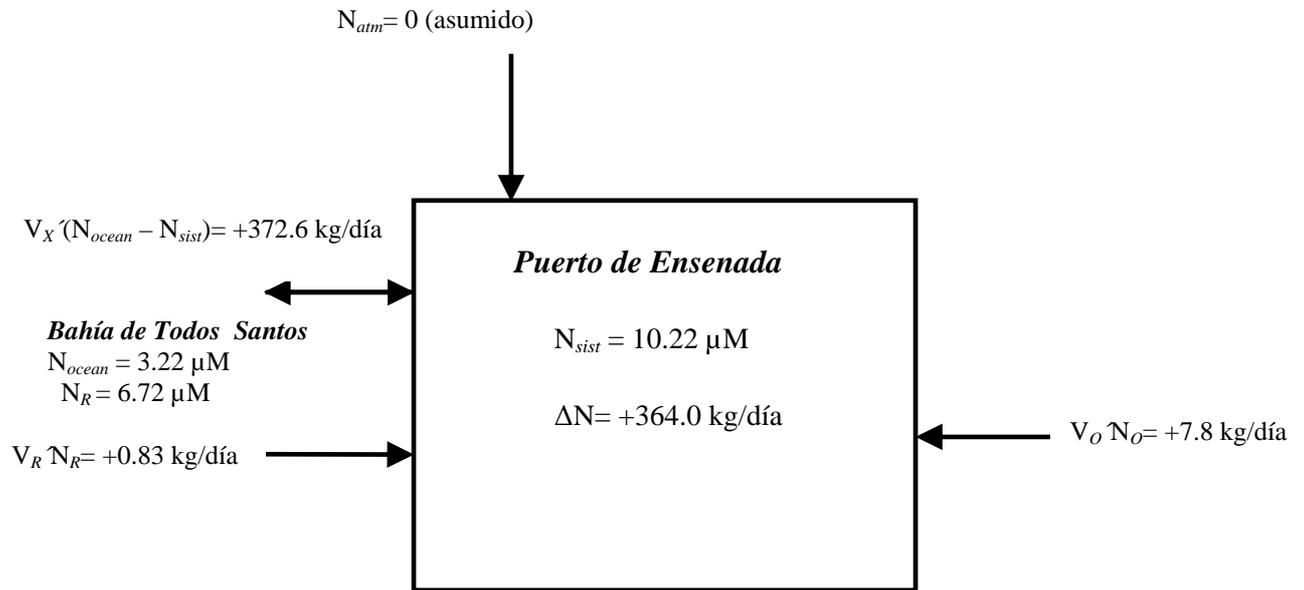


Figura 38. Balance de N para el Puerto de Ensenada, B. C. en noviembre.

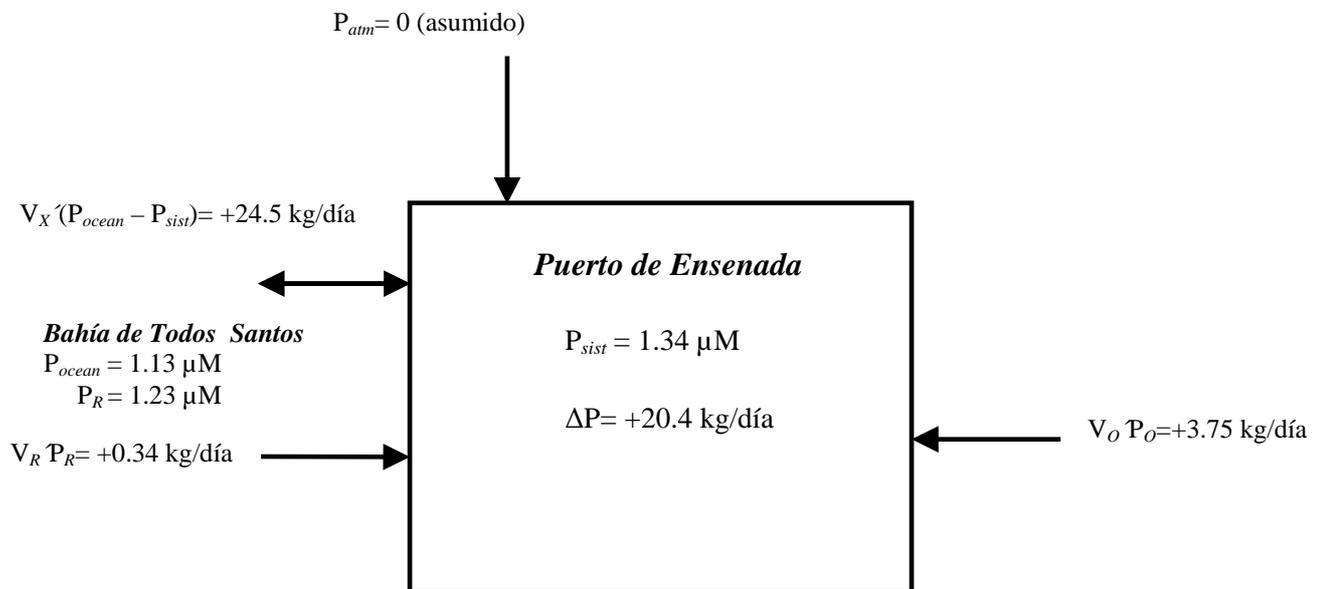


Figura 39. Balance de P para el Puerto de Ensenada, B. C. en noviembre.

La **Tabla 12** muestra los resultados del balance anual de N y P (ton/año) en el Puerto de Ensenada y el tiempo de permanencia anual para cada nutriente (τ_{ry}) (Ecuación 10). El balance anual de N y P fue positivo, indicando que ambos compuestos fueron exportados; siendo cinco veces más elevadas las cantidades de nitrógeno que fósforo. (**Figuras 40, 41**).

El tiempo de residencia de todos los nutrientes fue mayor que el tiempo de residencia de las aguas del puerto (τ_r); este resultado fue poco real, debido a que hay que tomar en cuenta lo que retira anualmente de nitrógeno y fósforo por el fitoplancton y por exportación, que fue de 45 % y 10 %, respectivamente y

Tabla 12. Balance y tiempo de residencia anuales de N y P en el Puerto de Ensenada, B. C.

Anual	
ΔN (ton/año)	+27.7
τ_{rN} (días)	100
ΔP (ton/año)	+5.5
τ_{rP} (días)	80

El signo negativo significa importación
El signo positivo significa exportación

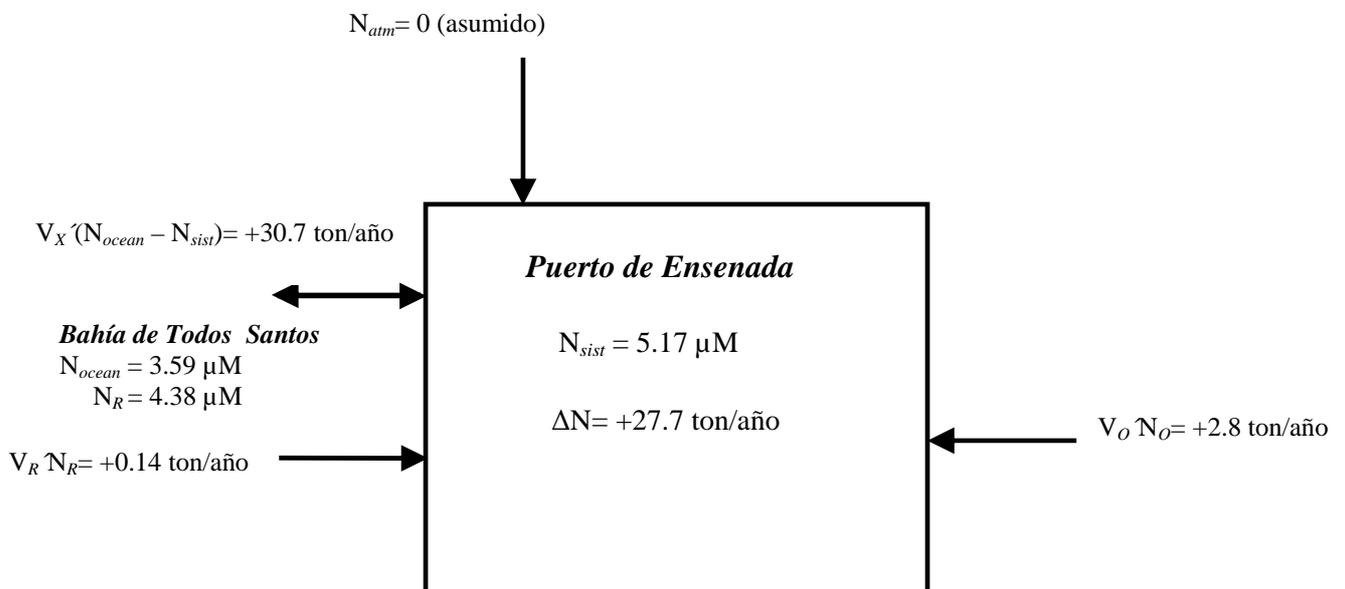


Figura 40. Balance anual de N para el Puerto de Ensenada, B. C.

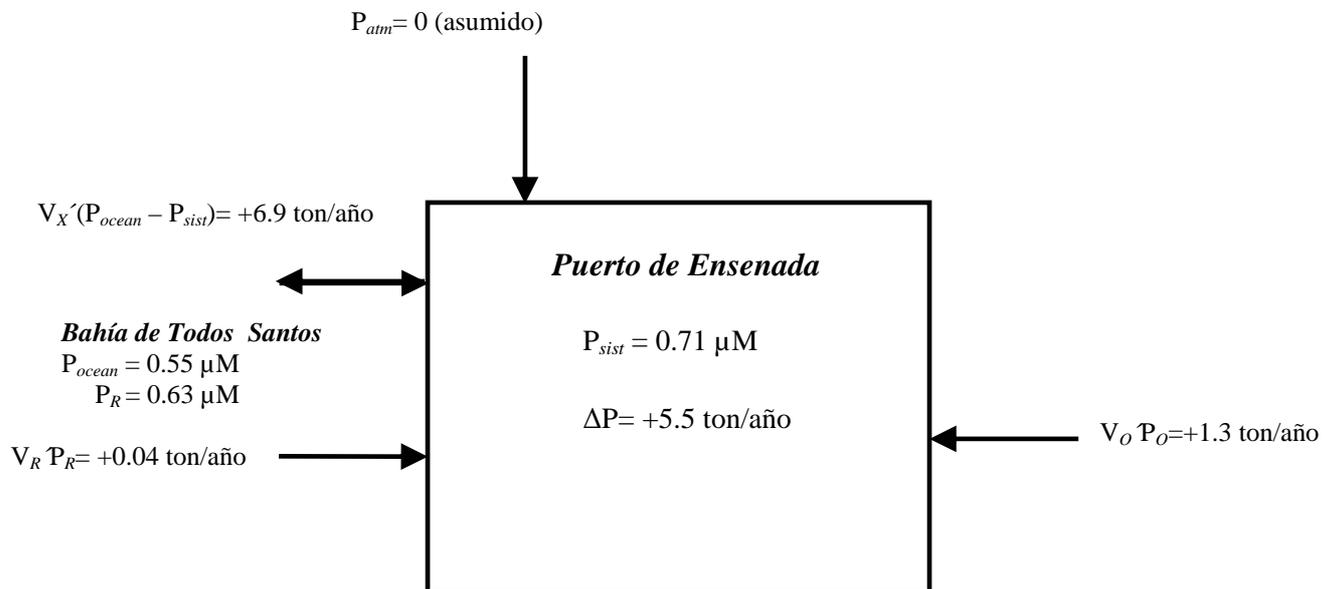


Figura 41 Balance anual de P para el Puerto de Ensenada, B. C.

4.11 Balance de nitrógeno (N) y fósforo (P) en el Puerto de Ensenada, B. C, según Modelo de LOICZ asumiendo además como referencia, el flujo aproximado del SIBEO.

Para el cálculo del balance anual de N y P, asumiendo un flujo del SIBEO de 1000 l/s (Godoy, 1999), se utilizaron el volumen residual (V_R), volumen de mezcla (V_X) y los contenidos medios anuales de N y P en el puerto y el mar adyacente, usados antes de la instalación del SIBEO.

La exportación anual de N y P prácticamente no varió (*Tabla 13*), debido principalmente a que el flujo del SIBEO ($31.5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$) fue mucho menor que el volumen de mezcla debido al prisma de mareas ($1,387 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$). Al igual que lo observado para el balance de nutrientes, el efecto del SIBEO en el tiempo de permanencia (τ_{rY}) fue poco notable, explicado por la diferencia entre el volumen aportado por el SIBEO y el intercambio por mareas (*Figuras 42, 43*).

Tabla 13. Balance y tiempo de residencia anuales de N y P sumando el flujo aportado por el SIBEO en el Puerto de Ensenada, B. C.

Anual	
ΔN (ton/año)	+27.7
τ_{rN} (días)	100
ΔPO_4^{3-} (ton/año)	+5.46
τ_{rP} (días)	80

El signo negativo significa importación
El signo positivo significa exportación

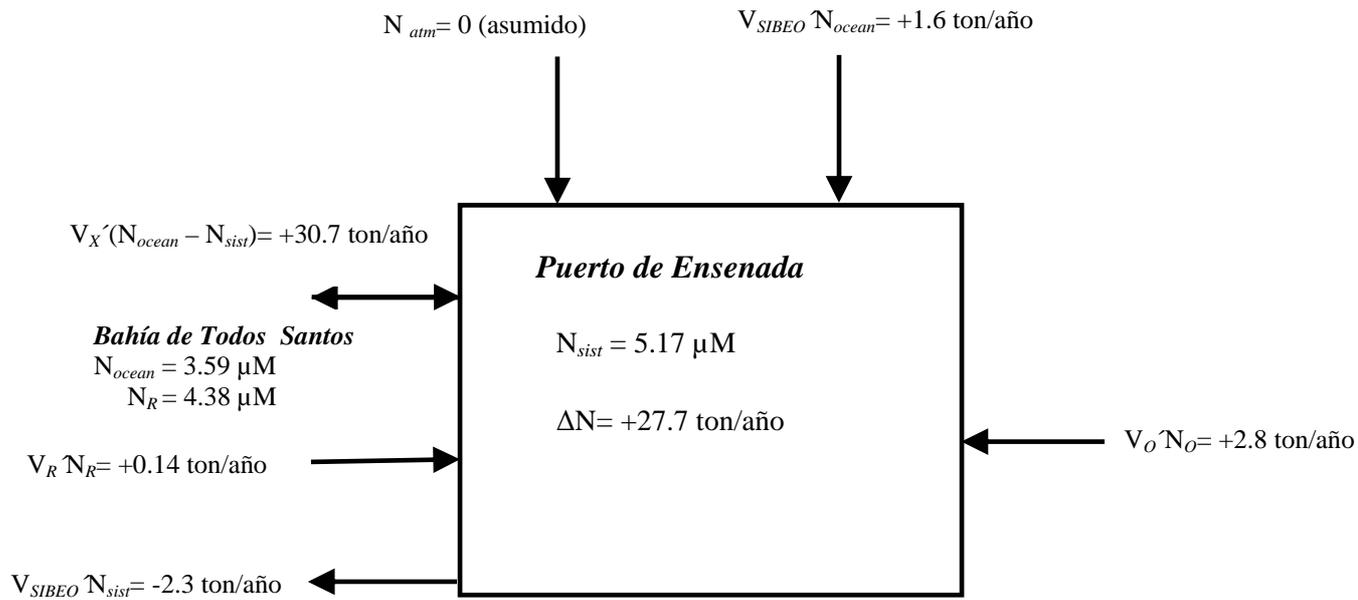


Figura 42. Balance anual de N para el Puerto de Ensenada, B. C. sumando el flujo anual del SIBEO.

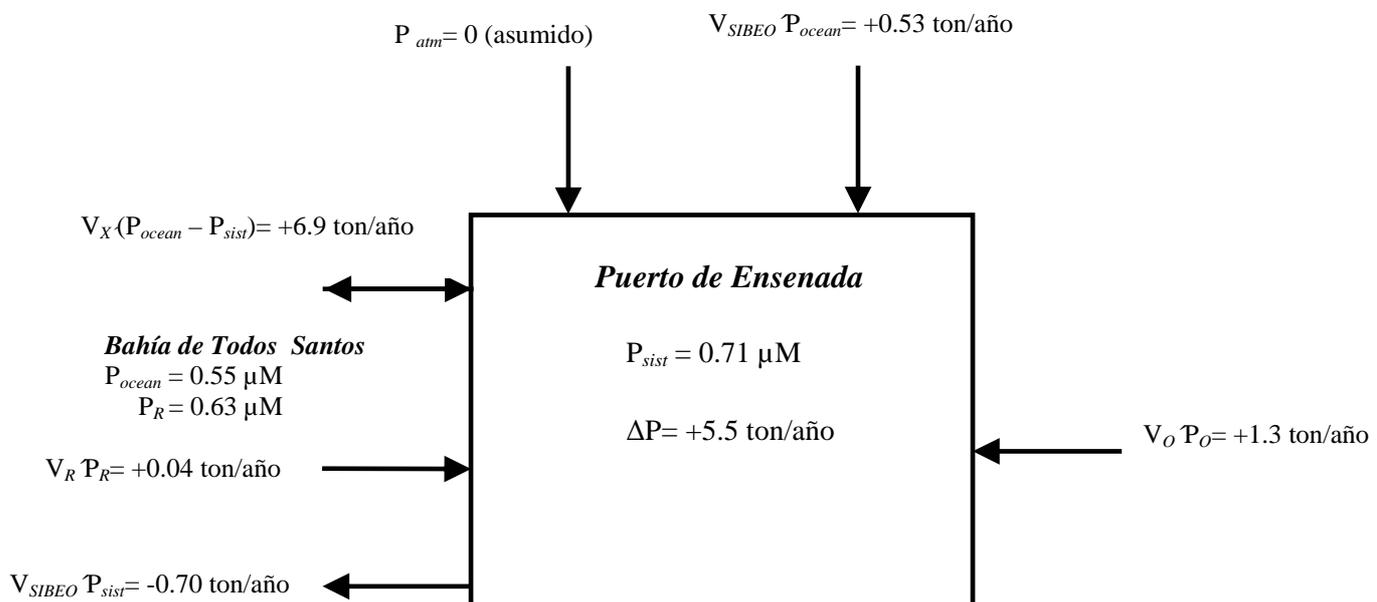


Figura 43. Balance anual de P para el Puerto de Ensenada, B. C. sumando el flujo anual del SIBEO.

5. DISCUSIÓN

5.1 Temperatura

La temperatura del agua dentro de la dársena portuaria, fue similar a la del mar adyacente, como consecuencia del patrón de circulación de las corrientes litorales y superficiales de la Bahía de Todos Santos (Chee-Barragán y Pérez-Higuera, 1982; Álvarez-Sánchez *et al.*, 1988; Argote-Espinosa *et al.*, 1991 y de la Cruz-Orozco, 2002).

La variación estacional de la temperatura en la Bahía de Todos Santos, correspondió típicamente a las variaciones climáticas propias de cada época; con las aguas más cálidas en verano (septiembre) y más frías en otoño (noviembre) (Cabrera-Muro, 1974; Morales-Zúñiga, 1977 y Grijalva-Chon *et al.*, 1983).

En marzo y junio, la temperatura promedio del agua tuvo una escasa diferencia con la del aire, de 16.5 °C y 20 °C; 17 °C y 22 °C, respectivamente. Este resultado, señaló la escasa influencia de las surgencias costeras sobre el área del puerto en los meses típicos (marzo – septiembre) para la ocurrencia de éstas, principalmente frente a Ensenada, al Estero de Punta Banda y a Punta San Miguel, proceso generado por la incidencia de vientos paralelos a la costa (N y NW) y caracterizado por la elevación de aguas desde profundidades de 40 - 100 m, con bajas temperaturas (10 – 14 °C) (Cardona-Canizalez *et al.*, 1990; González-Morales y Gaxiola-Castro, 1991; Millán-Núñez y Loya-Salinas, 1993 y Ladah, 2003).

La homogeneidad de la temperatura superficial dentro del puerto en todos los muestreos, explicó la ausencia de zonas de confinamiento que permitieran un incremento de la temperatura con respecto a otras.

El patrón térmico de las aguas de fondo en marzo, junio y septiembre se asoció con el perfil batimétrico dentro del puerto, corroborada con una alta correlación con la profundidad (**Figuras 44 a, b; 45 a**); este comportamiento fue diferente en noviembre, cuando el calentamiento superficial fue menos notorio debido a la disminución en la radiación solar, característico de la época climática; y temperaturas del aire entre 15 y 18 °C (**Figura 45 b**).

En los muestreos de marzo y septiembre, en las estaciones de mayor profundidad, se registró una diferencia de 3.5 y 6 °C, respectivamente, con una termoclina mejor definida en septiembre. En noviembre la columna de agua presentó una uniformidad en la temperatura, causada por la disminución en la radiación solar característica de la época climática predominante. Para todos los muestreos la distribución térmica dentro del puerto en la columna de agua fue similar a la estructura térmica de la Bahía de Todos Santos (**Figuras 9 a, b, c, d**).

En primavera y verano, en la zona de estudio (templada), el agua recibió más calor producto del aumento de la radiación solar, provocando un calentamiento superficial y la consecuente formación de una termoclina, que se hizo más evidente en agosto y septiembre; este comportamiento se invirtió en los meses de otoño e invierno, cuando la cantidad de radiación recibida fue mínima y la pérdida de calor del mar fue mayor, contribuyendo a la mezcla y desaparición de la termoclina (Jacobs, 1951; Morales-Zúñiga, 1977; Gómez-Valdez, 1983 y Coronado-Méndez, 2002).

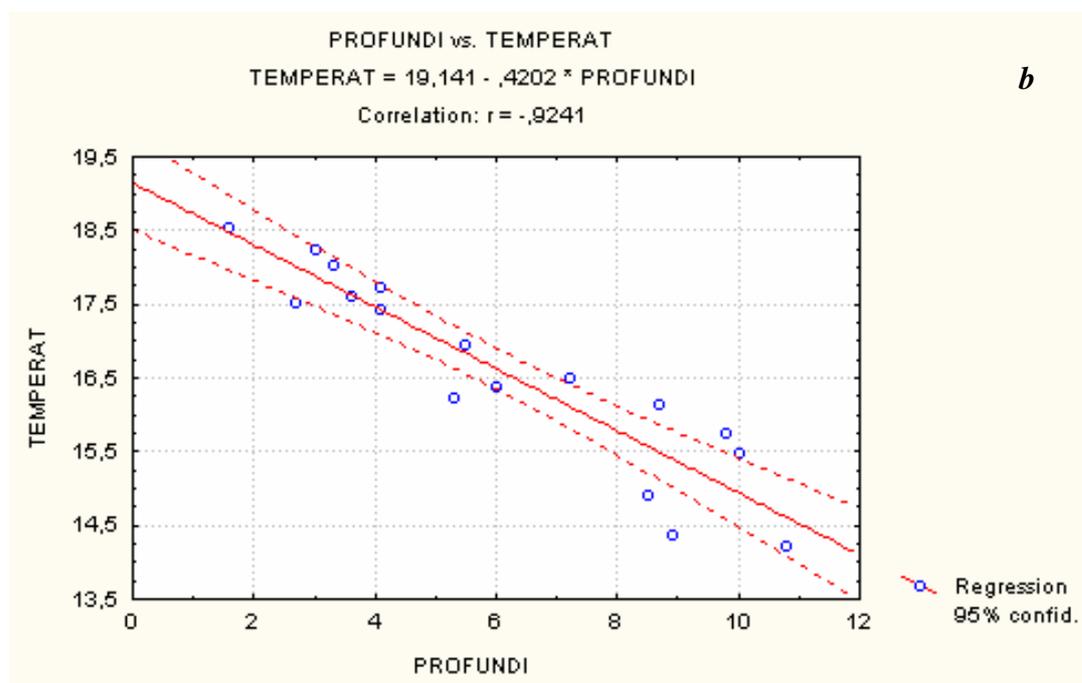
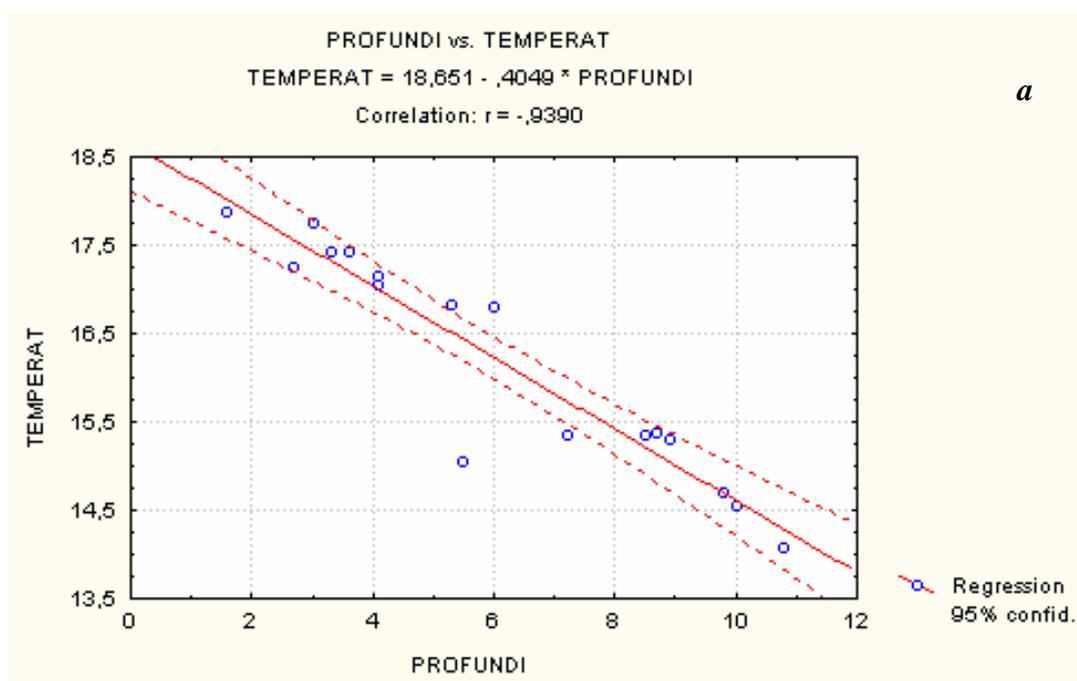


Figura 44. Regresión Lineal de Profundidad vs Temperatura en el fondo, en el Puerto de Ensenada, B. C. en marzo (a) y junio (b).

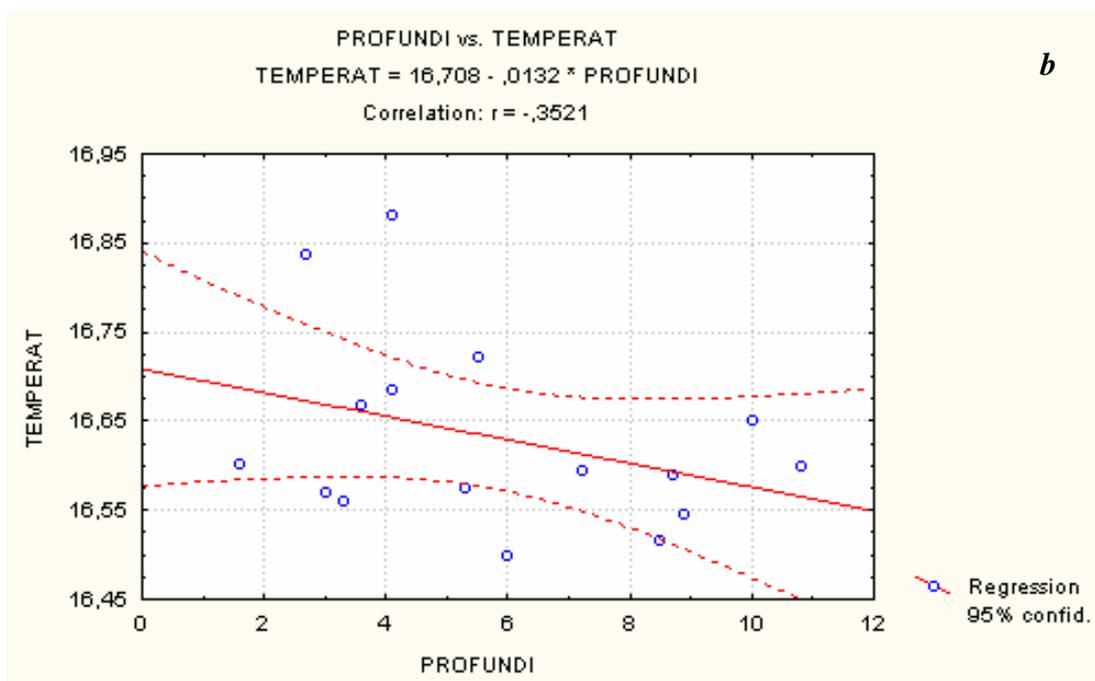
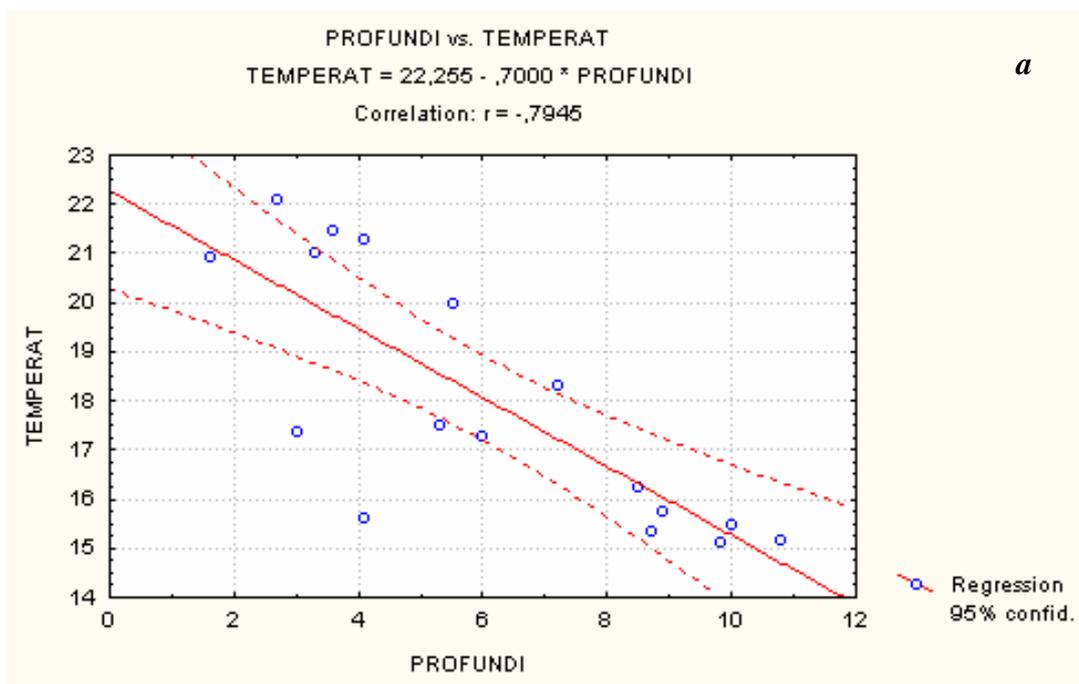


Figura 45. Regresión Lineal de Profundidad vs Temperatura en el fondo, en el Puerto de Ensenada, B. C. en septiembre (a) y noviembre (b).

5.2 Salinidad

El comportamiento de este parámetro (33.0 – 33.7 ups) señaló una uniformidad estacional influenciada posiblemente por las aguas de la Corriente de California de salinidad superficial menor que 33.8 ups, como se observó en la estación de la Bahía de Todos Santos con un intervalo de salinidad de 33.0 a 33.6 ups.

Hay descargas de aguas residuales dentro del puerto (*Figura 4*), sin embargo, la homogeneidad en la distribución de salinidad, tanto en superficie como en el fondo, indicó que los volúmenes fueron intermitentes y de baja magnitud; además, con una escasa influencia del Arroyo Ensenada, en época de lluvias.

La uniformidad presentada por el perfil vertical de salinidad sugirió que la distribución vertical de densidad y por tanto el patrón de circulación dentro de la rada portuaria estuvo dominado más por la temperatura que por la salinidad.

La salinidad coincidió con la de los trabajos realizados en la zona (Millán-Núñez y Loya-Salinas, 1993; Martínez *et al.*, 2001; de la Cruz-Orozco, 2002 y Schwing *et al.*, 2002).

5.3 Oxígeno.

Excepto en junio en la superficie, la uniformidad mostrada por el oxígeno disuelto en la estación fuera del puerto estuvo influenciada por el patrón de circulación de la Bahía de Todos Santos, que aportó aguas características de la Corriente de California, con contenidos mayores a 5 ml/L durante todo el año (De la Cruz-Orozco, 2002).

Espacialmente, el oxígeno en la mayoría de los muestreos, mostró la influencia que sobre la parte sur del puerto tuvo el efecto de la marea; con una saturación en correspondencia con las condiciones de saturación de las aguas del mar adyacente (Rosas-Molina, 1997). El déficit paulatino de oxígeno desde la boca a la zona norte, proveyó evidencias de que el prisma de marea afectó solamente la sección sur del puerto, limitando la renovación y el intercambio de las aguas; a este comportamiento se unió la constante influencia antropogénica como consecuencia de una mayor concentración de la actividad portuaria en el área norte (*Figura 4*) y la presencia de capas de aceites y combustibles en los muestreos de junio y noviembre,.

En noviembre, hubo una tendencia a la hipoxia (< 3 ml/L) en más de la mitad del puerto, y el contenido mínimo en el área norte (1.7 ml/L), consecuencia probable de un incremento en las descargas de materia orgánica de las instalaciones asentadas en esa área; o de la resuspensión de sedimentos, ricos en materia orgánica (Galindo-Bect *et al.*, 1984) por el tránsito de embarcaciones. Además, el muestreo se realizó un día caracterizado por una velocidad baja de los vientos (1 – 5.0 kph), que pudieron contribuir escasamente a la difusión del gas en el agua.

La disminución en el contenido de oxígeno disuelto en cuerpos de aguas costeros, como consecuencia directa de altas cargas orgánicas, ha sido descrita por varios autores (Merino *et al.*, 1992; Rinaldi *et al.*, 1992; Romero-López y Suárez-Álvarez, 1993 y Lucena *et al.*, 2002)

Saad y Hemeda (1992) atribuyeron el déficit de oxígeno disuelto de una zona del Puerto de Alejandría, Egipto, a la constante descarga de materiales orgánicos e inorgánicos por parte de las embarcaciones, y a la resuspensión del sedimento debido al tránsito de las mismas, provocando un incremento en el consumo de oxígeno en la degradación de materia orgánica por los heterótrofos.

Aún cuando los perfiles verticales de oxígeno y de saturación, de marzo y septiembre fueron diferentes a los de junio; en los tres hubo un incremento de la

concentración del gas con la profundidad, lo que permitió una mayor oxigenación de las aguas en el fondo que en superficie. Este resultado contradice lo planteado por Lizárraga–Partida (1974) y Donath-Hernández y Loya–Salinas (1989) quienes encontraron condiciones de anoxia en algunas zonas del puerto precisamente en estas épocas.

El incremento en los niveles de oxígeno entre 6 - 8 m en marzo, en las estaciones 6 y 7, se debió a una mayor actividad fotosintética a esas profundidades, ya que el perfil de clorofila *a* fue similar al de oxígeno en ambas estaciones (*Figura 46 a, b*). En junio y septiembre no fue posible observar esta similitud, por lo que en ambos muestreos este aumento debió estar más asociado a la temperatura ($r=-0.96$ y $r=-0.99$, $p=0.0001$ en junio; $r=-0.60$ y $r=-0.55$; $p=0.001$ en septiembre).

En las estaciones 6 y 7, el perfil de oxígeno en noviembre se asoció a la clorofila *a*, ya que ambos mostraron una tendencia a disminuir, después de los dos metros de profundidad (*Figura 47a, b*).

La distribución espacio temporal del oxígeno disuelto y su saturación, coincidieron con los estudios realizados en el Puerto de Ensenada y áreas costeras aledañas por Orozco-Borbón y Gutiérrez-Galindo (1983); González-Morales y Gaxiola-Castro (1991) y Martínez *et al.* (2001), quienes encontraron intervalos desde 1.0 hasta 9.0 ml/L

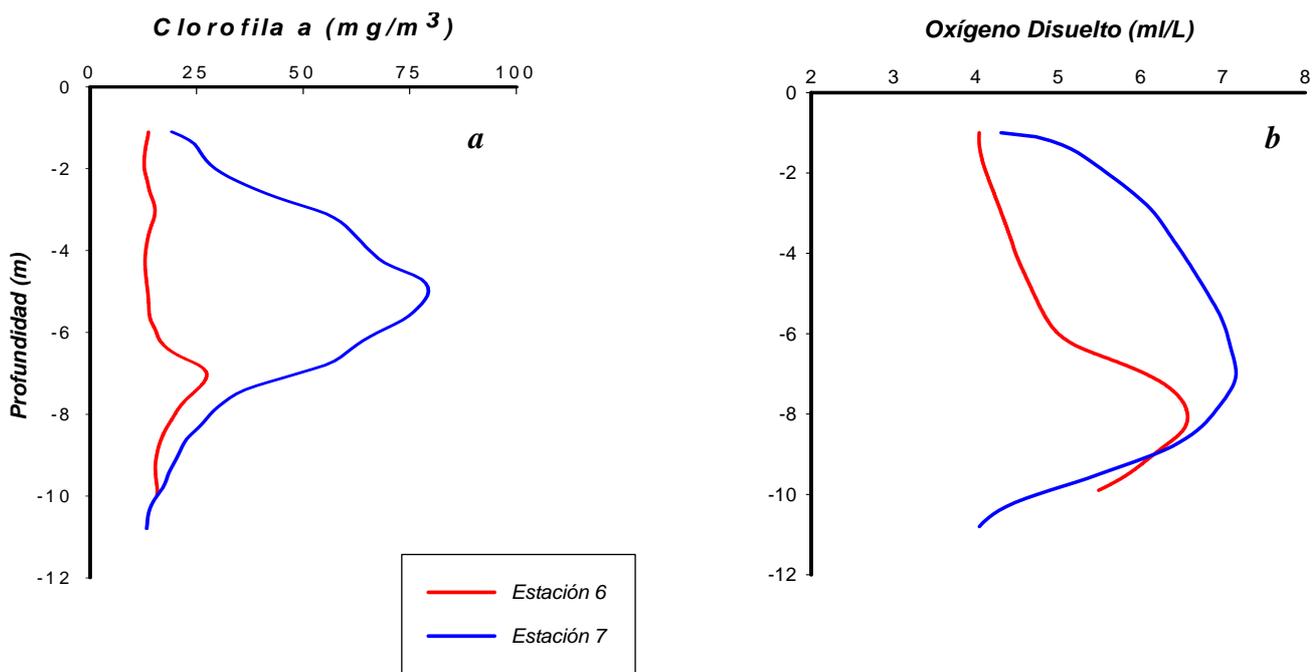


Figura 46. Perfiles verticales de clorofila *a* (a) y oxígeno disuelto (b) en las estaciones 6 y 7 en el Puerto de Ensenada, B. C. en marzo.

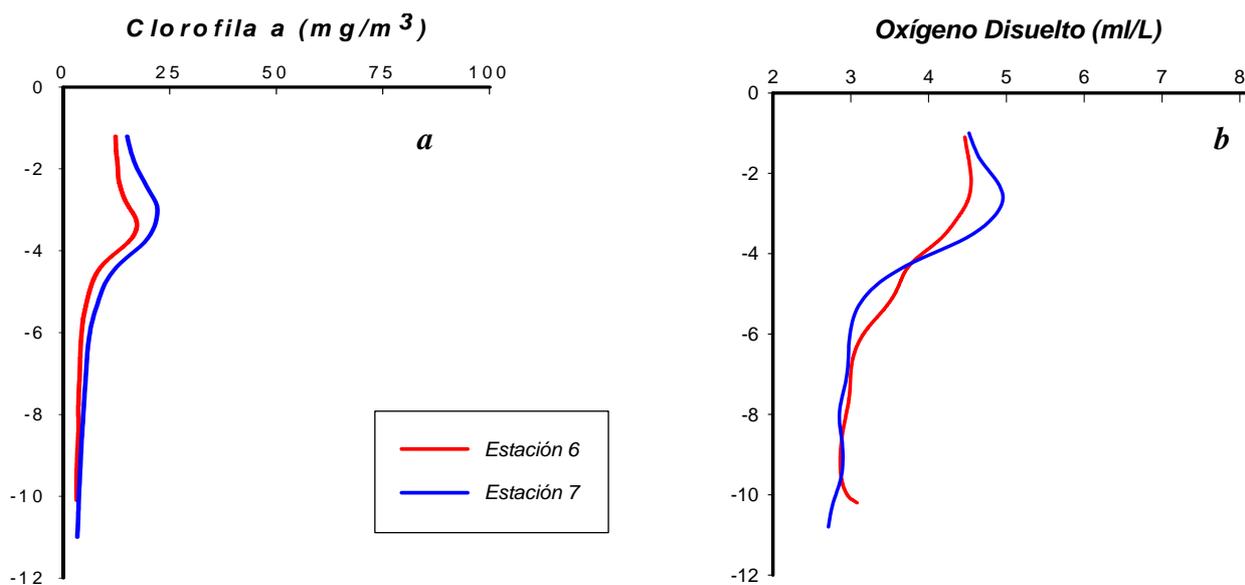


Figura 47. Perfiles verticales de clorofila *a* (a) y oxígeno disuelto (b) en las estaciones 6 y 7 en el Puerto de Ensenada, B. C. en noviembre.

5.4 Nutrientes.

Las concentraciones de amonio y fosfatos, al igual que de nitratos + nitritos y silicatos fueron bajas en general, comparadas con las características de sistemas acuáticos que reciben altos subsidios de nutrientes acarreados por ríos, o aportados por escorrentía superficial, incluso por debajo de zonas con fuertes impactos humanos (Flores-Verdugo, 1985; De la Lanza-Espino *et al.*, 1986; De la Lanza-Espino y Rodríguez-Medina, 1993 y Tovilla-Hernández y de la Lanza-Espino, 1999).

5.4.1 Amonio.

El amonio cuantificado en la zona marina adyacente al puerto fue estable (0.8 – 3.0 μM), tanto en superficie como en el fondo, con contenidos semejantes a las aguas oceánicas y costeras de la zona de estudio (Rivera-Duarte *et al.*, 1986; Millán-Núñez y Rivas-Lozano, 1988 y Martínez *et al.*, 2001).

El nitrógeno amoniacal dentro del puerto, tuvo niveles similares en marzo, junio y septiembre; y un incremento importante en noviembre (hasta 19.0 μM), que pudo ser causado principalmente por dos factores; el primero, un “pico” en la descarga portuaria en la dársena, ya que el muestreo fue realizado en un período caracterizado por una elevada presencia de turistas en la ciudad (evento deportivo internacional), y un aumento en el número de embarcaciones (vida a bordo, cruceros) que permanecieron en el puerto; el segundo, al efecto de resuspensión del sedimento, debido al tránsito de embarcaciones capaces de remover materiales en zonas de baja profundidad, promoviendo la liberación del amonio, lo que fue más explicable ya que los mayores contenidos estuvieron en el fondo. Esto se apoya incluso, con un incremento de amonio en noviembre, que mostró un gradiente de mayor a menor (19.0 – 6.5 μM) desde la zona norte hacia la boca del puerto. En este mismo sentido, el efecto del prisma de

marea en la sección sur del puerto, diluyó este nutriente y señaló que el intercambio mareal fue más efectivo cerca de la boca. Mediante un modelo numérico de mezcla y circulación, Coronado-Méndez (2002) estudió el efecto de la marea en el puerto a través de un trazador y explicó que en la zona norte la concentración del trazador permaneció inalterable después de un ciclo de marea viva, mientras que en la zona sur el trazador fue evacuado completamente debido al intercambio con la Bahía de Todos Santos.

El incremento de nutrientes y materia orgánica producto de descargas residuales de origen doméstico e industrial tuvo importancia en el aumento de las concentraciones de amonio, sobre todo considerando los trabajos previos en la región de estudio relacionados con la contaminación y las afectaciones antropogénicas (Segovia-Zavala *et al.*, 1981; Segovia-Zavala, 1982; Rivera-Duarte *et al.*, 1986 y Martínez *et al.*, 2001). En noviembre, la distribución del oxígeno se correlacionó con el amonio ($r=-0.72$; $p=0.001$).

Millán-Núñez *et al.* (1981) en un estudio en el Estero de Punta Banda, Baja California, plantearon que en las zonas donde la circulación fue limitada, la acumulación de sedimentos ricos en material orgánico fue mayor que en otras con más dinamismo en la circulación, por lo que fue determinante el papel de los sedimentos en el balance de nutrientes en la columna de agua. Contreras-Espinosa y Zabalegui-Medina (1991) argumentan que la circulación escasa en ciertas áreas de la Laguna de La Joya-Buenavista, Chiapas, y el suministro constante de nutrientes provocaron la acumulación de materia orgánica en el fondo, donde la amonificación tiene una función importante. El efecto sobre la resuspensión de sedimentos durante y después del paso de una tormenta fue simulado por Oviatt *et al.* (1981) quienes encontraron que durante el experimento, se liberaron amonio, nitratos, fosfatos y silicatos a la columna de agua, además de que se redujo la concentración de oxígeno disuelto. Blackburn (1997) simuló el efecto de la resuspensión de sedimentos en la liberación de compuestos de nitrógeno, y concluyó que los procesos oxidativos de la materia orgánica fueron determinantes en la incorporación de estos nutrientes a la columna de agua. De la Lanza-Espino y Flores-Verdugo (1998) consideraron que la mayor concentración de amonio en una laguna del noroeste de México se debió a la resuspensión del sedimento por el tránsito continuo de embarcaciones en regiones de poca profundidad.

Una de las áreas con mayor concentración de amonio en el muestreo de noviembre fue en el NE del puerto frente al muelle de cruceros, principalmente en el fondo; este comportamiento pudo deberse a la existencia de un giro ciclónico durante el reflujó, tal y como lo describió Coronado-Méndez (2002) y que podría ser importante en la distribución de nutrientes y materia orgánica (Czitrom *et al.*, 2002). El arribo durante la semana de dos cruceros, pudieron contribuir a la resuspensión del sedimento depositado en el fondo del muelle de atraque, ya que estos barcos fueron de gran calado (8.5 - 10 m), coincidiendo con lo explicado para la zona norte del puerto; además, por el número de pasajeros que arribaron (alrededor de 4000), la visita de estos barcos pudo incidir directa o indirectamente en la descargas de residuales hacia la rada portuaria. Los experimentos de Oviatt *et al.* (1981) y Blackburn (1997) demostraron que los efectos de la resuspensión del sedimento en la columna de agua son persistentes hasta por cinco días.

Contreras-Espinosa *et al.* (1995) registraron contenidos más elevados de amonio en un buen número de lagunas costeras mexicanas en lapsos de heterotrofia (invierno) y en zonas aisladas en donde los procesos de descomposición de la materia orgánica dominaron en el fondo lagunar.

5.4.2 Nitratos + nitritos.

Aunque el intervalo anual fue poco significativo comparado con otros cuerpos de agua costeros (*Tabla 14*), el comportamiento estacional de los nitratos en Bahía de Todos Santos, tuvo los mayores contenidos en marzo (6.2 μM). Este incremento, principalmente en el fondo, pudo deberse a varios factores; el primero, la fertilización natural de las aguas cercanas a la zona de estudio, debido a la posible influencia de surgencias costeras, que son comunes en los meses de primavera y verano en Bahía de Todos Santos; el segundo, la liberación de compuestos de nitrógeno de los sedimentos superficiales debido a la alta energía que prevaleció en la zona cercana al rompeolas oeste del puerto; por último, el aporte fluvial de los arroyos que desembocan sobre la costa sur de la Bahía de Todos Santos (el Gallo, San Carlos y las Ánimas), sobre todo si los meses de mayor lluvia fueron febrero y marzo (más de 100 mm) (CNA, 2003) y que a través de las corrientes, que fueron intensas más cerca de la costa y en dirección norte con predominio del viento del SW (Argote *et al.*, 1991) hayan sido transportados hacia las inmediaciones de la dársena portuaria.

Tabla 14. Intervalos de concentración de nitratos + nitritos (μM) en cuerpos costeros.

	Nitratos + nitritos (μM)	Referencia
Golfo de Nicoya, Honduras	0.07 – 52.4	Kress <i>et al.</i> , 2002
Mar de Irlanda, Irlanda	0.2 – 10.2	Gibson <i>et al.</i> , 1997
Golfo de Riga, Letonia	4 – 38	Yurkovskis <i>et al.</i> , 1993
Estuario del Río Moresby, Australia	2.2 – 31.2	Eyre 1994
Puerto de Alejandría, Egipto	0.1 – 103.5	Emara <i>et al.</i> , 1992
Laguna de Corralero, México	1 – 35	Contreras - Espinosa <i>et al.</i> , 1995
Bahía de Nipe, Cuba	10 - 57	Romero – López y Suárez – Álvarez, 1993

De estos factores, los más sólidos fueron el aporte de nitratos a través de las descargas fluviales y la liberación de nitratos + nitritos de los sedimentos, ya que las imágenes de temperatura superficial (*Figura 48 a, b, c*) descartaron el afloramiento de agua profunda (temperaturas bajas) en las zonas características para que estas ocurran (Punta San Miguel y Punta Banda) (Ladah, 2003).

Segovia–Zavala *et al.* (1988) cuantificaron 4 μM de nitratos + nitritos en marzo justificando que los niveles registrados fueron consecuencia de las precipitaciones, que provocaron un acarreamiento de material orgánico e inorgánico desde tierra firme a la zona costera. En los meses característicos de precipitaciones (febrero y marzo) en la región de Todos Santos han sido observadas las plumas de las escorrentías superficiales y de las corrientes fluviales estacionales (Czitrom–Baus y Carranza–Edwards, com. pers.).

Los nitratos + nitritos cuantificados dentro de puerto (0.1 – 6.4 μM) tuvieron niveles que han permanecido constantes con base en las comparaciones hechas con estudios previos de hace 15 años.

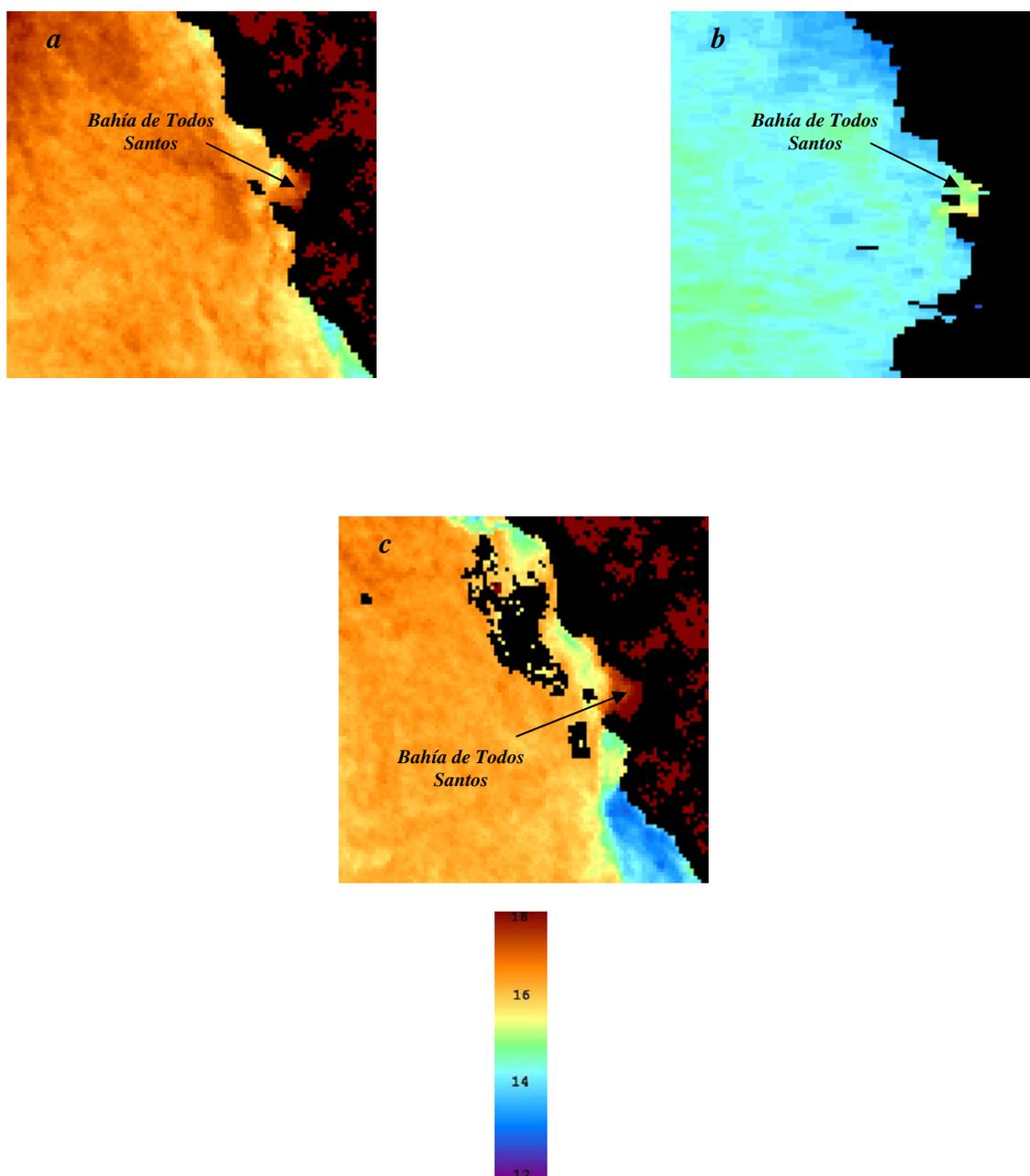


Figura 48. Imágenes de temperatura superficial en la Bahía de Todos Santos, los días 22 de marzo (a), 24 de marzo (b) y 26 de marzo (c) de 2003.

Según Segovia-Zavala *et al.* (1988), los niveles de nitratos y nitritos en la zona interior del puerto (0.05 – 12 μM) se debieron al vertimiento de desechos industriales y domésticos, así como al material proteico desechado por la industria pesquera (actualmente no se vierte); además de las condiciones de protección y de dinámica limitada de la rada portuaria. Estos resultados fueron coincidentes con los reportados por Rivas-Lozano y Millán-Núñez (1991); González-Morales y Gaxiola-Castro (1991); Millán-Núñez y Loya-Salinas (1993) y Martínez *et al.* (2001), quienes cuantificaron las concentraciones más elevadas de nitratos + nitritos en los meses de mayor actividad pesquera (junio – septiembre). Sin embargo, estos niveles son característicos de la zona costera de la Península de Baja California, por lo que el impacto de las actividades antropogénicas ha repercutido escasamente en el comportamiento de este parámetro (Rosas-Molina, 1997; Ladah, 2003).

En marzo se observó una proporción de 1:1 de nitratos + nitritos y amonio, condicionado por la importación de los primeros desde el mar adyacente; además de que las mayores concentraciones de clorofila *a* cuantificadas en el estudio fueron en la misma época, sugiriendo una elevada población de productores primarios, que posiblemente utilizaron con preferencia el amonio sobre los nitratos. En los muestreos de junio, septiembre y noviembre, el amonio fue la forma nitrogenada predominante.

La predominancia del amonio sobre los nitratos + nitritos ha sido observada también en diferentes cuerpos de agua costeros, justificada principalmente por la acumulación de materia orgánica en los sedimentos y los procesos de amonificación, así como por el vertimiento constante de aguas residuales producto de la influencia antrópica (Domínguez-Parra, 1986; Gibson *et al.*, 1997, Guerrero-Galván, 1997 y Martínez *et al.*, 2001).

En la **Figura 19 a** se observa la distribución de fondo de los nitratos + nitritos en marzo; este comportamiento pudo tener el mismo origen de los máximos de amonio y nitratos + nitritos observados en el muelle de cruceros en noviembre; es decir, la existencia de un giro ciclónico que contribuyó con la distribución concéntrica de nutrientes. El sistema de giros que se forma debido a la dinámica de circulación dentro del Puerto de Ensenada, ha sido documentado por Czitrom *et al.* (2002) y Coronado-Méndez (2002); los primeros, a través de un modelo bidimensional encontraron evidencias de los mismos en el sureste, la rada de la Marina Baja Internacional (MBI), la zona noroeste y en la zona sur del muelle de contenedores; el segundo autor, a partir de un modelo tridimensional documentó la formación de al menos cuatro giros (sureste, muelle de cruceros, muelle de SEMAR y boca del puerto).

A pesar de que superficialmente en marzo y septiembre, la distribución de nitratos + nitritos tuvo un ligero incremento de la boca del puerto hacia el norte; en noviembre este comportamiento fue más evidente en la distribución de fondo, coincidiendo con la disminución de oxígeno disuelto ($r=-0.59$; $p=0.002$) y el incremento del amonio ($r=0.74$; $p=0.001$) en la misma dirección, debido a las mismas causas mencionadas anteriormente. Celis-Ceseña y Álvarez-Borrego (1975) plantearon que la distribución de nutrientes en el Estero de Punta Banda era similar a San Quintín, incrementándose desde la boca hacia los extremos internos, como resultado de la acumulación de materia orgánica en zonas con elevada vegetación acuática y circulación limitada.

5.4.3 Fosfatos

En general, los contenidos de este ión en las aguas del exterior del puerto, estuvieron comprendidos en aquellos para los ambientes costeros aledaños a la zona de estudio (0.2 – 1.1 μM), siendo ligeramente superiores en marzo a los cuantificados en el interior del puerto, considerando el mismo origen que el propuesto para los nitratos + nitritos (Millán-Núñez *et al.*, 1981; Cardona-Canizalez *et al.*, 1990; Millán-Núñez y Loya-Salinas, 1993; y Martínez *et al.*, 2001).

Los fosfatos, a pesar de que duplicaron sus niveles en noviembre, presentaron el patrón menos variable durante el estudio (0.1 – 2.5 μM). Este incremento pareció ser consecuencia de los mismos factores mencionados para los compuestos de nitrógeno; un aumento en el vertido de materiales residuales y la resuspensión de los sedimentos debido al tránsito de embarcaciones, con la consecuente liberación del fósforo.

En marzo, un contenido ligeramente más elevado de fosfatos en el muelle de contenedores, coincidió con los nitratos + nitritos ($r=0.80$; $p=0.001$), lo que pudo deberse a la presencia de giros ciclónicos en la dinámica de circulación del Puerto de Ensenada. En noviembre, fue posible relacionar el incremento de la concentración puntual de fosfatos en el fondo, con la formación de los giros ciclónicos señalados por Coronado - Méndez (2002) cerca del muelle de cruceros, que coincidió con el amonio y nitratos + nitritos en la misma época (*Figuras 17 d; 19 d*). Los efectos de la influencia antropogénica y la resuspensión del sedimento por el tránsito de embarcaciones, sobre todo de gran calado, pudo también, explicar estos máximos puntuales.

El efecto del paso de barcos de pasajeros y turísticos en la resuspensión del sedimento en canales de navegación del río Mississippi fue evaluado por Smart *et al.* (1985), quienes encontraron que más de 70 % del número de ambos tipos de embarcaciones, contribuyeron a un incremento hasta de un 20 % de los niveles normales de sólidos en suspensión, incluso en las ramas laterales del canal principal.

Principalmente en noviembre, este nutrimento contribuyó a delimitar los ambientes dentro del puerto con mayor influencia del intercambio mareal con el mar adyacente, con bajas concentraciones en la zona sur del puerto y los de circulación limitada y mayor influencia antrópica, con incremento en sus niveles hacia la zona norte. Esta distribución fue semejante a las del amonio ($r=0.95$; $p=0.0001$) y los nitratos + nitritos ($r=0.87$; $p=0.002$), todos con un nivel de significancia menor que 0.05.

5.4.4 Silicatos

Los silicatos en la Bahía de Todos Santos tuvieron la mayor concentración en marzo en el fondo (7.9 μM), coincidiendo con los nitratos + nitritos. Las causas mencionadas anteriormente para los compuestos de nitrógeno (influencia de aportes fluviales en épocas de lluvias o resuspensión de los sedimentos en una zona de alta energía) pudieron condicionar este comportamiento.

En marzo, se cuantificaron niveles máximos en la boca del puerto (18.2 μM), los cuales pudieron estar asociados a la resuspensión del sedimento en las zonas cercanas a la boca debido a la velocidad de las corrientes en la zona. Según Coronado-Méndez (2002) en la boca del puerto la velocidad de las corrientes puede llegar a alcanzar 7 cm/s en el flujo y el reflujo.

Green-Ruiz *et al.* (1983) reportaron una variabilidad de los silicatos en la columna de agua en el Estero de Punta Banda, con los mayores contenidos en el fondo (12 μM); provocados por las corrientes de marea, que fueron más intensas en la boca que en las zonas interiores; además señalaron que el origen principal de este nutriente en los

sedimentos se debía a la descarga de los arroyos de la zona en época de lluvias. Stern *et al.* (1986) encontraron en el canal de Willow – Bayou (USA), un incremento de nutrientes y sólidos suspendidos después de la pleamar, asociado a la velocidad de las corrientes; y una disminución de los mismos parámetros después del reflujo.

El máximo puntual registrado en marzo en el muelle de contenedores ($12 \mu\text{M}$) coincidió con la distribución espacial de nitratos + nitritos y fosfatos, lo que pudo deberse, no sólo a la permanencia de un giro ciclónico en las inmediaciones del muelle de contenedores, que había sido descrito mediante la aplicación de modelos físicos, sino también al efecto del tráfico de embarcaciones en la resuspensión de sedimentos.

Los silicatos, al igual otros nutrientes determinados (amonio, nitratos + nitritos y fosfatos) tuvieron un incremento en sus concentraciones desde la boca del puerto hasta el extremo norte, con un gradiente que corroboró el efecto de dilución que tuvo el prisma de marea en el sur del puerto. Además los niveles máximos de silicatos en la zona del muelle de cruceros, coincidieron con los demás nutrientes (amonio, nitratos + nitritos y fosfatos), provocado por las corrientes del giro ciclónico reportado por Coronado–Méndez (2002).

La correlación entre la salinidad y los silicatos fue débil en todos los muestreos, por lo que el incremento de nutrientes, pudo deberse a la combinación de varios factores.

Kennington *et al.* (2002) reportaron que, probablemente, la contribución de las descargas de aguas residuales a lo largo de la costa de Cumbria, Irlanda, combinada con la posible resuspensión de sedimentos ricos en nitratos, fosfatos, y silicatos, fueron los responsables de la variación espacio temporal de los nutrientes y su escasa correlación con la salinidad durante 1997.

Los trabajos relacionados con los silicatos en la zona de estudio son escasos; González–Morales y Gaxiola–Castro *et al.* (1991) reportaron un contenido de $13 \mu\text{M}$ en una zona de surgencia frente al Estero de Punta Banda; y Rosas–Molina (1997) cuantificó niveles de silicatos en invierno a nivel superficial de 9.4 a $20.2 \mu\text{M}$.

5.5 Clorofila *a*

Se apreció una mayor concentración en primavera que en verano y otoño. En general, la variación temporal fue irregular. Las concentraciones fueron elevadas ($0 - 16 \text{ mg/m}^3$) comparadas con las reportadas por otros autores para la Bahía de Todos Santos ($0 - 1 \text{ mg/m}^3$) (Galarza–Placencia y Gaxiola–Castro, 1987; González–Morales y Gaxiola–Castro, 1991). Sin embargo, coincidieron con lo cuantificado por Cardona–Canizales *et al.* (1990) y Millán–Núñez y Loya–Salinas (1993) en épocas de surgencias costeras en Bahía de Todos Santos y Estero de Punta Banda (20 mg/m^3).

La correlación de la clorofila *a* con los nutrientes fue débil en la mayoría de muestreos en superficie y fondo; las causas principales de este comportamiento, pudieron ser, la distribución heterogénea del fitoplancton (formación de “parches”), la dinámica de circulación del puerto que influyó en la estabilidad de la comunidad fitoplanctónica, y las tasas de crecimiento de la biomasa, en las cuales existió un desfase con la utilización de los nutrientes (Harris, 1980 y Cardona–Canizales *et al.*, 1990).

Espacialmente, la distribución del pigmento siguió un patrón poco definido, comparado con los demás parámetros determinados. En marzo, esta heterogeneidad fue más evidente que en los muestreos de septiembre y noviembre, con los contenidos más elevados en el sur y el centro del puerto. La distribución de fondo en noviembre mostró una mayor concentración de clorofila *a* en la región con mayor influencia del medio marino adyacente, siendo menores sus concentraciones hacia la zona norte, donde las

condiciones de turbidez, debido a la suspensión de partículas fueron más elevadas (Martínez *et al.*, 2001 y Guillermo Martínez, com. pers.).

La distribución en la columna de agua fue similar al perfil de oxígeno disuelto, principalmente en marzo y noviembre (*Figuras 46 a, b; 47 a, b*), señalando que la actividad fotosintética en la distribución vertical influyó significativamente en el contenido de oxígeno y su saturación. El incremento de la producción primaria a profundidades entre 6 y 8 m, contribuyó con los elevados niveles de oxígeno disuelto registrados en marzo cerca del fondo, favoreciendo la disponibilidad del gas en las capas profundas para la oxidación de materia orgánica.

La variabilidad en el comportamiento espacio - temporal de la clorofila *a* fue observada también por Cardona-Canizalez *et al.* (1990), en la zona costera de Baja California y De la Lanza-Espino y Lozano-Montes (1999) en una laguna del Golfo de México.

5.6 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno (DQO), representada por un conjunto de materiales orgánicos biodegradables o no, mostró variaciones temporales en su comportamiento dentro del puerto. En la Bahía de Todos Santos los intervalos fueron pequeños (0.2 – 2.5 mg O₂/L), en correspondencia con las características de sus aguas.

Los resultados de este trabajo indicaron que los contenidos más elevados fueron en noviembre, y pudieron ser consecuencia de un aumento en el volumen de descargas residuales; o a la resuspensión de sedimentos ricos en materia orgánica debido al tránsito de embarcaciones, ya que en este mes se observó un incremento en el número de embarcaciones fondeadas en el puerto con respecto a los muestreos de marzo, junio y septiembre. Estas han sido las causas principales con que algunos autores han justificado el incremento de la DQO y los nutrientes, en estudios previos (Lizárraga-Partida, 1974; Rivera-Duarte *et al.*, 1979; Segovia-Zavala *et al.*, 1981; y Segovia-Zavala, 1982).

El comportamiento estacional estuvo asociado a la distribución espacial, ya que los mayores contenidos en marzo y noviembre estuvieron en la zona norte, donde la concentración de fuentes antropogénicas fue mayor (*Figura 4*), lo que combinado con las limitaciones del área en cuanto a su circulación favorecieron el enriquecimiento de las aguas. Estos fenómenos han sido ya descritos como posibles causantes directos de los elevados niveles de nutrientes y las condiciones de hipoxia (menos de 3 ml/L) registradas en la misma región, lo cual se corroboró con las correlaciones de la DQO con el oxígeno disuelto, el amonio, los nitratos + nitritos, y los fosfatos ($r=-0.69$; $r=0.82$; $r=0.55$; $r=0.71$, $p=0.001$).

Donath-Hernández y Loya-Salinas (1989); Macías-Carranza *et al.* (1997); Martínez *et al.* (2001) y los monitoreos de la SEMAR coincidieron en señalar las mayores evidencias de contaminación orgánica en el sector norte de la rada portuaria.

La concentración fue mayor o similar en el fondo que en superficie en todos los muestreos; esta diferencia pudo estar condicionada, por las descargas residuales intermitentes de emisores situados en el fondo; o el contacto directo de las capas más profundas de la columna de agua con los sedimentos superficiales, ricos en materia orgánica (Galindo-Bect *et al.*, 1984).

La presencia de giros ciclónicos, mencionados anteriormente, que pudieron ser la causa de niveles máximos de nutrientes en el muelle de contenedores en marzo y de cruceros en noviembre; también fue detectada en la distribución espacial de DQO.

5.7 Relación N:P

La relación N:P mostró que el nitrógeno fue el nutriente limitante en todos los muestreos, con los valores más bajos en marzo y septiembre (4.9:1 y 3.8:1) y los mayores en junio y noviembre (6.7:1 y 7.1:1), con una estrecha dependencia de la variabilidad espacio – temporal mostrada por los compuestos de nitrógeno, principalmente el amonio.

En la **Figura 49 a, b, c, d** se puede observar como el intercepto en la línea de tendencia de distribución N *versus* P siempre fue positivo en el eje correspondiente a P, por lo que al agotarse el nitrógeno, todavía el fósforo hubiera estado presente en cantidades detectables (mayores que 0.09 μM), lo que pudo estar relacionado con la cinética de reciclamiento de fósforo, la cual fue más rápida que la del nitrógeno (Dale y Prego, 2003).

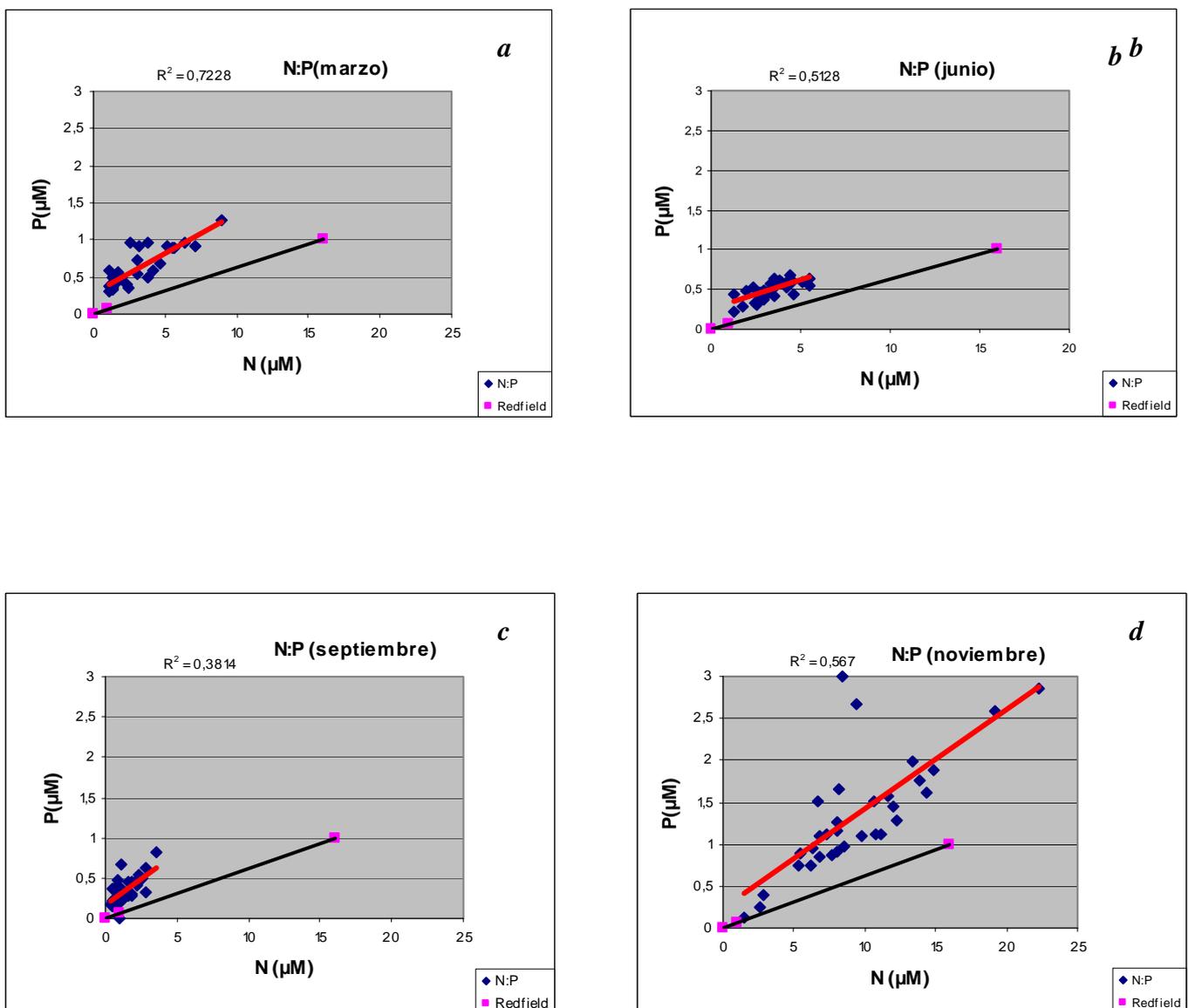


Figura 49. Concentración de N (nitratos + nitritos + amonio) vs F (fosfatos) en el Puerto de Ensenada, B. C. en marzo (a), junio (b), septiembre (c) y noviembre (d).

Aún cuando el nitrógeno fue limitante según la relación N:P, éste comportamiento no influyó en el crecimiento fitoplanctónico, ya que durante todos los muestreos, las concentraciones de clorofila *a* fueron elevadas, por lo que las cantidades de los nutrientes en cada muestreo, fue suficiente para satisfacer las necesidades de los productores primarios. Este resultado se corroboró con las cantidades de nitrógeno y fósforo utilizada por el fitoplancton en marzo, septiembre y noviembre, las cuales fueron inferiores a las cantidades de nitrógeno y del fósforo presentes en el agua del puerto (**Tabla 15**), registrándose un reciclamiento alto de ambos compuestos.

Tabla 15. Cantidades de N y P utilizadas en la producción primaria en el Puerto de Ensenada, en marzo, septiembre y noviembre.

	Conc.de N ($\mu\text{g/L}$)	Conc. de P ($\mu\text{g/L}$)	N para Prod. primaria ($\mu\text{g/L}$)	P para Prod. primaria ($\mu\text{g/L}$)	Porciento N	Porciento P
Marzo	40.3	18.3	24.8	3.4	61	18
Septiembre	18.6	10.8	14.6	2.0	78	18
Noviembre	131.5	40.9	13.0	1.81	10	5

Algunos autores han señalado que algunas especies de fitoplancton pueden crecer incluso en concentraciones más bajas de nitrógeno que las del estudio (Caperon, 1968). Este conocimiento derivó de la aplicación de la ecuación de cinética de crecimiento de Michaelis–Menten, encontrándose que concentraciones por debajo de $1 \mu\text{M}$ fueron suficientes para alcanzar una tasa máxima de consumo (Carpenter y Guillard, 1970; Dugdale, 1967).

Redfield *et al.* (1963) concluyeron que una proporción de N:P en promedio de 7:1 fue óptima para la producción primaria, y si N o P estuvo presente en un grado menor que el otro, fue este el elemento que limitó. Redfield (1958) había concluido previamente que el fósforo limitaba la producción primaria en el mar.

Los resultados del estudio coincidieron con Rinaldi *et al.* (1992), que propusieron que una relación N:P de 5 a 10, no influía en la productividad de las aguas marinas litorales.

5.8 Análisis Estadístico.

Sólo en el mes de noviembre, hubo diferencias significativas en la mayoría de los parámetros tanto en superficie como en fondo; debido posiblemente a que las mayores concentraciones de materia orgánica y nutrientes que tuvo el puerto estuvieron localizadas en la zona norte, asociadas a la mayor concentración de las principales descargas residuales, elevada afluencia turística, gran número de embarcaciones de turismo y de vida a bordo, así como a circulación limitada.

Por los resultados de la ANOVA en marzo, junio y septiembre, se puede señalar que los parámetros fisicoquímicos fueron semejantes como para encontrar diferencias significativas entre sus varianzas. Este análisis coincidió con los resultados de la distribución de los parámetros fisicoquímicos, en cuanto a que noviembre fue el mes diferente a marzo, junio y septiembre, en las aguas del Puerto de Ensenada.

De los trabajos realizados sobre el Puerto de Ensenada, la mayoría ha coincidido en que la zona norte ha tenido características diferentes en cuanto a circulación hidrodinámica, volumen de residuales que recibe, concentración de metales pesados y compuestos tóxicos, bacterias fecales y fauna bentónica (Macías–Carranza *et al.*, 1997; Peynador, 2000; Czitrom *et al.*, 2002 y Coronado–Méndez, 2002).

5.9 Balance y tiempo de permanencia de nitrógeno (N) y fósforo (P) antes de la instalación del SIBEO en el Puerto de Ensenada, B. C. según la metodología de LOICZ.

5.9.1 Balance de Agua.

La región de estudio se encuentra situada en una zona templada, con una precipitación media anual de 100 – 200 mm y una evaporación media anual de 1400 mm (Camacho–Ibar *et al.*, 2003). En el balance de agua, según Gordon *et al.* (1996), el volumen residual (V_R') fue positivo para cada muestreo, ya que el volumen de agua dulce perdido por evaporación tuvo que ser subsidiado al puerto por el mar adyacente. En marzo, V_R' fue aproximadamente tres veces menor que en junio, septiembre y noviembre, ya que febrero y marzo fueron los meses de mayor precipitación (CNA, 2003).

A pesar de las limitaciones en la circulación dentro del Puerto de Ensenada, el efecto de las mareas a través de la boca fue suficiente como para que la salinidad del mar adyacente y las del puerto fueran similares, incluso dentro del puerto la salinidad fue homogénea. Este comportamiento dificultó el cálculo del volumen de mezcla (V_X') a través de la metodología propuesta por Gordon *et al.* (1996) por lo que se optó por utilizar el método del prisma de marea, por el volumen de mezcla (V_X') fue constante, al igual que el tiempo de residencia por mareas (τ_m) en todos los muestreos y para el cálculo anual (**Tabla 7**). Usando este método, el tiempo de intercambio por mareas en la rada portuaria fue de 3.7 días ya que la marea fue semidiurna y con una amplitud aproximada de un metro. Este resultado fue determinante en el tiempo de residencia total de la rada (τ_r), calculado a partir de la ecuación 7, ya que el tiempo de residencia hidráulico (τ_{hid}) fue mucho mayor que el de las mareas.

En algunas estimaciones del tiempo de residencia se utiliza el prisma de marea como una medida del agua marina que se intercambia con el océano adyacente en cada ciclo de marea (Fischer *et al.*, 1979). Este método, sin embargo, puede subestimar seriamente el tiempo real de permanencia de las partículas en el cuerpo de agua, ya que supone que cada vez que entra el prisma de marea se mezcla con el agua en el interior y luego sale con el reflujó para no volver a penetrar en la siguiente marea (Czitróm *et al.*, 2002). De ser adecuado este cálculo, el tiempo de residencia del agua en la rada estaría completamente dominado por las mareas, y las condiciones de mayor concentración de nutrientes y materia orgánica, en la zona norte, principalmente en noviembre, no se presentaría un gradiente de nutrientes, DQO y oxígeno disuelto desde la zona norte hacia la boca de puerto.

5.9.2 Balance de nitrógeno (N) y fósforo (P) antes de la instalación del SIBEO en el Puerto de Ensenada, B. C.

Según los cálculos a partir de la metodología LOICZ, en el mes de marzo el Puerto de Ensenada importó nutrientes nitrogenados y fosforados, con una mayor proporción de los primeros; principalmente desde el medio marino adyacente. Los contenidos más altos de nutrientes (fundamentalmente nitratos + nitritos) en la Bahía de Todos Santos en este estudio fueron en marzo (6.4 μM), debido posiblemente al efecto de las precipitaciones, lo que condicionó la fertilización de las aguas interiores de la rada. Este subsidio fue suficiente para soportar la alta producción primaria observada en

marzo, ya que el nitrógeno y fósforo utilizados para producción primaria fueron menores que la cantidad de ambos presentes en el puerto (*Tabla 15*).

En junio, septiembre y noviembre, el puerto exportó nutrientes; estas cantidades fueron mayores en noviembre, siendo directamente proporcionales a los incrementos que se registraron en este mes (amonio y fosfatos), y a la menor utilización de nutrimentos por los productores primarios.

El nitrógeno amoniacal representó el 80 % del total de nitrógeno exportado en noviembre, debido a que el incremento de este compuesto fue significativo (hasta 19 μM) y considerando que sólo el 10 % del mismo pudo ser utilizado por los productores primarios, permitió un mayor subsidio de nitrógeno al medio marino.

El fósforo egresado e ingresado al puerto tuvo cantidades similares, asociado a que los contenidos de este nutriente (principalmente de fosfatos) fueron estables durante todo el estudio.

Tomando en cuenta el volumen del puerto ($14.25 \times 10^6 \text{ m}^3$), el balance anual de nitrógeno y fósforo indicó que la rada portuaria fue exportadora, siendo cinco veces más, la cantidad exportada de nitrógeno (27.7 ton/año) que fósforo (5.5 ton/año). En el balance individual, el amonio aportó el 60 % de todo el nitrógeno exportado (16.6 ton/año) y los fosfatos (4.9 ton/año), más del 90 % del total de fósforo que se exportó. Esto sugirió que las exportaciones pudieron estar influidas directamente por el aporte antropogénico y el aporte que realizaron los sedimentos que, según Galindo-Bect *et al.* (1984) son ricos en materia orgánica; y que al igual que los eventos de surgencias costeras comunes en Punta Banda y Punta San Miguel, son parte del subsidio de nutrientes que reciben las aguas oceánicas de la región.

Valdés-Lozano (1995) encontró en la laguna de Chelem una exportación neta de compuestos nitrogenados cuya fuente principal fueron las descargas de aguas residuales y domésticas procedentes de astilleros, empacadoras de pescado y centros turísticos.

Por los resultados obtenidos en la caracterización fisicoquímica, se puede plantear que el Puerto de Ensenada estuvo la mayor parte del año verticalmente estratificado; en noviembre, la mayoría de los parámetros tuvieron un gradiente desde el norte hacia el sur; la salinidad fue homogénea, tanto horizontal como verticalmente; y las principales fuentes antropogénicas se localizaron en el norte del puerto. A partir de estas consideraciones se pudo observar que el cálculo utilizando del modelo de LOICZ fue poco representativo para el conocimiento real de la dinámica de importación y exportación de nutrientes, ya que asumir que el puerto fue una sola caja horizontal y verticalmente mezclada, pudo haber traído errores; sobre todo relacionados con el aporte y pérdida de los nutrientes debido a la existencia de un gradiente horizontal; y la estimación del tiempo de residencia a través del balance de agua y sal. Además, al no estimarse variaciones estacionales en el intercambio de agua, el balance de nutrientes estuvo definido por las diferencias de concentración de nutrientes entre el puerto y el mar adyacente.

La extrapolación del cálculo asumiendo variaciones temporales de meses y años fue otro de los factores que pudo influir en los resultados del balance de nutrientes, ya que el ingreso y el egreso de estos compuestos varía diariamente, en función de la marea, la asimilación por productores primarios y la naturaleza de los aportes e incluso la sedimentación.

Estas desventajas observadas en la utilización del modelo LOICZ señalaron reservas en el uso del balance propuesto por Gordon *et al.* (1996) en sistemas estratificados verticalmente debido a la temperatura más que a la salinidad; con gradientes horizontales de nutrientes; y con circulación limitada en determinadas secciones.

Webster *et al.* (2000) concluyeron previamente que la existencia puntual de fuentes y sumideros de nutrientes además de la presencia de un gradiente en un estuario, podría ser subestimado a través del modelo de LOIZC de una caja completamente mezclada vertical y horizontalmente y en estado estacionario.

En estos resultados pudieron tener influencia además, varios factores como: la morfología del puerto; la formación de giros ciclónicos; los contenidos medios de nutrientes utilizados en el balance para el medio marino fueron de una sola estación; y que el volumen de residuales vertido fue estimado constante todo el año ($20 \text{ m}^3/\text{día}$).

Considerando que las cantidades de nitrógeno y fósforo que salieron de sistema, para producción primaria y exportada al medio marino, representaron aproximadamente el 45 % y 10 % de las cantidades totales anuales de cada compuesto; los tiempos de residencia de cada nutriente en el puerto fueron poco reales. El asumir solo la existencia de dos entradas de nutrientes al puerto (las descargas de aguas residuales y la importación del medio marino, en el muestreo de marzo), contribuyó además a subestimar todos los posibles aportes, pudiendo influir en los resultados.

Si utilizando la ecuación 10 planteada por Stumm y Morgan (1970), se tienen en cuenta las pérdidas de nitrógeno y fósforo (por producción primaria y exportación), y considerando que el amonio fue predominante en la fracción nitrogenada; los tiempos de residencia de ambos nutrientes tuvieron resultados diferentes y mucho más compatibles con la dinámica del puerto, siendo de diez días para el amonio y de 20 días para los fosfatos (De la Lanza-Espino, com. pers.).

Sin embargo, al igual que lo planteado anteriormente con respecto a la aplicación del modelo de LOICZ, la extrapolación de los datos obtenidos a períodos mayores de tiempo, por ejemplo un año, produjo resultados que se pudieron ajustar poco a la realidad, ya que en el intercambio y balance de energía y nutrientes en los cuerpos de agua influyen diferentes factores, como el clima, la geomorfología y los aportes autóctonos y alóctonos (Tovilla-Hernández y de la Lanza-Espino, 1999).

La utilización de este tipo de modelo y ecuaciones se torna difícil cuando los sistemas presentan características intrínsecas en cuanto a la dinámica de circulación e influencia antropogénica y lo más importante la difusión del sedimento y el atrapamiento.

Algunos de los sistemas litorales estudiados en la región, se comportaron como exportadores netos de nutrientes en el cálculo de su balance anual; con cambios estacionales en las cantidades de ingresos y egresos, producto de eventos de surgencias o aportes de aguas con altos contenidos de compuestos inorgánicos disueltos (Poumian-Tapia *et al.*, 1997; Padilla-Arredondo *et al.*, 1997; y Camacho-Ibar *et al.*, 2003).

5.10 Balance anual de nitrógeno (N) y fósforo (P), tomando en consideración el flujo estimado para el SIBEO en el Puerto de Ensenada, B. C según la metodología de LOICZ.

Al realizar el balance de nutrientes para el puerto según la metodología de LOICZ, sumando el flujo aportado por el SIBEO, los resultados fueron similares a los obtenidos sin considerar este flujo; con una exportación neta anual de nitrógeno y fósforo; lo cual fue explicable si se toma en cuenta que el volumen de intercambio (V_x) de las mareas entre el puerto y el mar adyacente sería más de 40 veces que el flujo que aportaría el SIBEO. En consecuencia los procesos de importación y exportación de nutrientes estuvieron dominados en el sistema por el volumen de agua que se intercambió a través de la boca por marea.

Lo anterior fue otra de las desventajas señaladas para la utilización del modelo de LOICZ para el Puerto de Ensenada, ya que no se observaron los efectos del SIBEO en una de las secciones del puerto, debido a que se consideró a la rada como una sola caja, cuando realmente por los resultados obtenidos hubo, principalmente en noviembre, un gradiente de oxígeno, nutrientes y materia orgánica desde el norte hacia el sur.

El tiempo de residencia de cada nutriente (τ_{rY}) calculado, sumando el aporte del SIBEO, permaneció prácticamente inalterable debido a que la ecuación 10 fue insuficiente para contemplar la contribución del volumen de agua que ocupará el SIBEO en la sección norte del puerto.

5.11. Consideraciones generales en cuanto a la instalación del SIBEO.

El SIBEO se pretende instalar en la zona noroeste del puerto por razones relacionadas con el oleaje, pues esta posición sería ventajosa en cuanto a la captación de olas, y además según los modelos aplicados, donde su flujo afectaría el área más extensa dentro de la rada. Sin embargo Czitrom *et al.* (2002) y Coronado-Méndez (2002) encontraron que este aporte sería poco significativo en la zona norte de puerto. Los resultados de este trabajo sugirieron que la zona más afectada fue la norte, por lo que el flujo y posición del SIBEO, deberían garantizar principalmente la evacuación de estas aguas.

Coronado-Méndez (2002) concluyó que la eliminación de condiciones anóxicas en el fondo de la rada, a través del aporte de agua más oxigenada del mar adyacente, sería poco probable. Los resultados del estudio señalaron la ausencia de zonas anóxicas en el fondo del puerto; por lo que resultaría más productivo el saneamiento de la zona norte a partir de promover la evacuación de sus aguas.

Peynador (2000) sugirió la posibilidad de que el uso del SIBEO para remoción de contaminantes impactaría a áreas aledañas a la zona de estudio. Los mayores contenidos de materia orgánica y nutrientes en el puerto fueron en noviembre, con concentraciones características de zonas costeras, por lo que la evacuación de éstos, traerían prácticamente ningún impacto; además en estas épocas (otoño e invierno) las corrientes los transportarían a mar abierto (Argote *et al.*, 1991).

La presencia de giros en la dinámica de circulación del puerto fue reportada por Czitrom *et al.* (2002) y Coronado-Méndez (2002). El posible incremento de nutrientes y materia orgánica en dos giros ciclónicos; uno en el muelle de contenedores y el otro en el muelle de cruceros; deben ser tomadas en cuenta en las perspectivas del SIBEO de contribuir a la liberación de contaminantes de la rada portuaria.

Una de las posibles causas del incremento de nutrientes y materia orgánica en el puerto pudo ser la resuspensión del sedimento por el tránsito de embarcaciones, sugiriendo que en los estudios posteriores para la instalación del SIBEO y la evaluación de su impacto, el papel de los sedimentos debe ser tomado en cuenta.

Peynador (2000) cuestionó las posibles implicaciones que sobre la resuspensión del sedimento tendría el flujo del SIBEO; sin embargo por los resultados de este estudio, el tránsito de embarcaciones y las corrientes dentro del puerto pudieron tener más efectos en la fisicoquímica de las aguas, que la cantidad de sedimento que pudiera resuspender la corriente generada por el flujo del SIBEO.

6. CONCLUSIONES

- La estructura termohalina del puerto fue similar a la de la Bahía de Todos Santos, con temperatura y salinidad superficiales uniformes en todos los muestreos, y una estratificación por temperatura en marzo, junio y septiembre. Cabe destacar que esta similitud fue más evidente en las estaciones de mayor profundidad (región central de la dársena).
- En el Puerto de Ensenada, principalmente en noviembre, los desechos industriales y domésticos y la resuspensión de sedimentos debido al tránsito de embarcaciones, pudieron contribuir a la generación de aguas con características hipóxicas ($< 3\text{ml/L}$). Estos factores, además de la circulación limitada en la zona norte y la existencia de giros ciclónicos frente a los muelles de cruceros y contenedores, condicionaron la distribución espacio – temporal de los nutrientes (amonio, nitratos + nitritos, fosfatos y silicatos) y la materia orgánica (DQO). En noviembre, los contenidos más elevados amonio ($19\ \mu\text{M}$), nitratos + nitritos ($3.1\ \mu\text{M}$), fosfatos ($2.8\ \mu\text{M}$), silicatos ($12\ \mu\text{M}$) y DQO ($28\ \text{mgO}_2/\text{L}$) estuvieron en la zona norte, presentándose un gradiente de mayor a menor desde la zona norte hacia la boca, señalando que el prisma de marea influyó principalmente en la mitad sur del puerto.
- Aunque la relación N:P, menor que 10 en todos los muestreos, sugirió la limitación por N, las altas concentraciones de clorofila *a* cuantificadas (hasta $16\ \text{mg/m}^3$) señalaron que los contenidos de nitrógeno fueron suficientes para soportar una elevada producción primaria.
- El balance de agua señaló que el volumen residual (V_R) fue positivo en todos los muestreos y anualmente, ya que la evaporación excedió la precipitación y la descarga de aguas residuales, por lo que la Bahía de Todos Santos compensó la pérdida de agua dulce. Al no existir diferencias de salinidad entre el puerto y el mar adyacente, el volumen de intercambio ($3.8 \times 10^6\ \text{m}^3/\text{día}$) fue calculado a través del prisma de marea, lo que determinó que el tiempo de residencia de las aguas del puerto (3.7 días) estuviera dominado por las mareas y fuera constante para todos los muestreos.
- En marzo, la importación de nitrógeno ($139\ \text{kg/día}$) y fósforo ($30\ \text{kg/día}$), estuvo condicionada por los aportes de materiales orgánicos e inorgánicos en época de lluvias hacia la zona costera de la Bahía de Todos Santos. En junio, septiembre y noviembre los nutrientes fueron exportados hacia el medio marino, en cantidades más elevadas, especialmente de nitrógeno ($364\ \text{kg/día}$) en noviembre. En el intercambio mareal con el medio marino, el puerto exportó $33.2\ \text{ton/nutrientes/año}$.
- Considerando que las cantidades de nitrógeno y fósforo que se retiraron del sistema, para producción primaria y exportada al medio marino, representaron el 45 % y 10 % de los totales anuales de cada compuesto; el tiempo de residencia (100 días para el nitrógeno y 80 días para el fósforo) de cada nutriente, calculados asumiendo solo las entradas en el puerto fueron poco reales. Utilizando la ecuación de Stumm y Morgan (1970), teniendo en cuenta lo que se retira de nitrógeno y fósforo (por producción primaria y exportación), el tiempo de residencia de ambos nutrientes tuvo resultados diferentes y mucho más compatible con la dinámica del puerto, siendo de diez días para el nitrógeno y de 20 días para el fósforo.
- Debido a que la diferencia entre el volumen de intercambio ($1,387 \times 10^6\ \text{m}^3/\text{año}$) y el aportado por el SIBEO ($31.5 \times 10^6\ \text{m}^3/\text{año}$) fue elevada, el balance anual de nutrientes asumiendo el aporte del SIBEO señaló escasa influencia, siendo similar al calculado sin el flujo del SIBEO.

- Para sistemas como el Puerto de Ensenada, donde la salinidad es similar a la Bahía de Todos Santos, la metodología de LOICZ para el cálculo del presupuesto de nutrientes debe ser aplicada con cautela, ya que se generarían incertidumbres principalmente en el volumen real de intercambio con el mar adyacente. En particular, asumir el puerto como una sola caja con estratificación térmica, la distribución de los nutrientes con un gradiente horizontal y la escasa información sobre las descargas residuales señalaron limitaciones en aplicación de esta metodología para el cálculo del tiempo de residencia y balance de nutrientes.

7. VALORACIÓN DEL TRABAJO DE TESIS

El tema de esta investigación reviste primordial importancia en el contexto actual para la recuperación de cuerpos de agua contaminados en México. Los datos obtenidos en este trabajo no sólo tienen importancia en la caracterización fisicoquímica y la valoración ambiental actual del Puerto de Ensenada, sino que además pueden ser usados en la implementación de distintos modelos hidrodinámicos y de la calidad del agua para llegar a un conocimiento más profundo en el funcionamiento de otros cuerpos de agua costeros.

Uno de los mayores logros de esta investigación es que por primera vez se realizó una caracterización espacio – temporal de las aguas del Puerto de Ensenada, lo que enriquece además los estudios que sobre el tema existen en la zona costera de la Bahía de Todos Santos. La existencia de un gradiente de nutrientes en el muestreo de noviembre, que prácticamente dividió al puerto en dos secciones, una con mayor influencia antropogénica y circulación limitada y otra con un mejor efecto del prisma de marea que entra por la boca del puerto, es uno de los mayores resultados del estudio.

La posibilidad de utilizar la metodología de LOICZ para evaluar el intercambio de nitrógeno y fósforo con el océano adyacente también repercutió positivamente en la concepción del trabajo, fundamentalmente porque fue posible notar las principales fortalezas y debilidades de esta metodología en su aplicación a diferentes cuerpos de agua costeros, con características intrínsecas en cuanto a funcionamiento de morfología.

La realización del estudio, fue importante para conocer el estado actual de la rada portuaria, de vital importancia en los objetivos para la implementación del SIBEO.

8. LÍNEAS FUTURAS DE TRABAJO

La concepción del Proyecto de Tesis de Maestría “Caracterización fisicoquímica del Puerto de Ensenada, Baja California, con vistas a la instalación de un Sistema de Bombeo por Energía del Oleaje (SIBEO)” es sólo una contribución inicial de la fisicoquímica del agua, que permitiría a mediano y largo plazo implementar un Sistema de Bombeo por Energía de Oleaje (SIBEO). Por lo anterior, las principales líneas de trabajo que se pudieran desarrollar en el futuro serían:

- Debido a las características hidrodinámicas y geomorfológicas, así como al efecto de la resuspensión de sedimentos dentro de la rada, se recomienda realizar estudios sobre la biogeoquímica de los sedimentos del Puerto de Ensenada, en su estado actual y posteriormente a la instalación del SIBEO.
- Modelación de los principales flujos biogeoquímicos en el agua y sedimentos principalmente asumiendo un estado no estacionario.
- Introducir modelos numéricos de fisicoquímica y calidad de agua en zonas costeras con o sin actividades antropogénicas.
- Efecto de los giros en la geoquímica de cuerpos de agua costeros.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar-Rosas, L. E. e I. Pacheco-Ruiz. 1989. Influencia de desechos municipales-industriales sobre macroalgas del Norte de Baja California, México. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*. Univ. de Oriente. 28(1): 77-84.
- Álvarez-Sánchez, L. G., R. Hernández-Walls y R. Durazo-Arvizu. 1988. Patrones de deriva de trazadores lagrangeanos en la Bahía de Todos Santos. *Ciencias Marinas*. 14(4): 135-162.
- American Public Health Association (APHA), American Water Work Association, Water Pollution Control Federation (1986). *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water*. 16th Edition. Washington. D. C. 1268 pp.
- API. 2002. El Puerto de Ensenada y su entorno de mercado. Administración Portuaria Integral de Ensenada, S.A. de C.V.
http://www.puertoensenada.org/el_puerto_y_su_entorno.html.
- Argote-Espinoza, M. L., F. J. Gaviria-Medina y A. Amador-Buenrostro. 1991. Wind Induced Circulation in Todos Santos Bay, B. C., México. *Atmósfera*, 4: 101-115.
- Arredondo-García, M. C. 1995. Análisis del sistema portuario de Ensenada, B.C: sectores, problemática y alternativas preferentes de utilización. Tesis de Maestría en Ciencias. FCM. UABC. 106 pp.
- Bendschneider, K. y R. J. Robinson. 1952. A new spectrophotometric method for the determination of nitrite in seawater. *Journal of Marine Research*. 1(11): 87 – 96.
- Blackburn, T. H. 1997. Release of nitrogen compounds following resuspension of sediment: Model prediction. *Journal of Marine Systems*. 11: 343 – 352.
- Cabrera-Muro, H. R. 1974. Distribución de Temperatura en la Bahía de Todos Santos. *Ciencias Marinas*. 1(1): 65 – 77.
- Camacho-Ibar V., J. D. Carriquiry y S. Smith. 1997. Bahía San Quintín, Baja California (a teaching example). In S. V. Smith, S. Ibarra-Obando, P. R. Bourdreau, and V. F. Camacho-Ibar (eds.), *Comparison of Carbon, Nitrogen and Phosphorus Fluxes in Mexican Coastal Lagoons. LOICZ Reports and Studies No. 10*. LOICZ, Texel, The Netherlands.
- Camacho-Ibar V., J. D. Carriquiry y S. Smith. 2003. Non – conservative P and N fluxes and Net Ecosystem Production in San Quintín Bay, México. *Estuaries*. 26(5): 1220 – 1237.
- Caperon, J. 1968. Population growth response of *Isochysis galbana* to nitrate variation at limiting concentration. *Ecology*. 49: 866 – 872.
- Cardona-Canizales, C., R. Millán-Núñez, J. R. Lara-Lara y J. E. Valdez-Holguín. 1990. Variabilidad espacio temporal de la clorofila *a* en una zona de surgencia frente a Baja California. *Ciencias Marinas*. 16 (2): 53 – 65.

- Carpenter, E. J. y R. R. L. Guillard. 1970. Intraspecific differences in nitrate half – saturation constant for three species of marine phytoplankton. *Ecology*. 52: 183-195.
- Carranza-Edwards, A, L. Rosales-Hoz y S. Santiago-Pérez. 1994. Provenance memories and maturity of holocene sands in northwest México. *Can. J. Earth Sci.* 31: 1550 – 1556.
- Celis-Ceseña, R. y S. Álvarez-Borrego. 1975. Distribución superficial de algunos parámetros hidrológicos, físicos y químicos en el Estero de Punta Banda. *Ciencias Marinas*. 2(1): 98 – 105.
- Chee–Barragán, A. y R. Pérez-Higuera. 1982. Patrón de circulación a partir de algunas características naturales de los sedimentos en Bahía de Todos Santos. IIO-UABC. Reporte Anual. Ensenada, B.C., México. 48 pp.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 2003. Gerencia Regional de la Península de Baja California, Subgerencia Regional Técnica, Jefatura de Proyecto de Meteorología. Av. Reforma y Calle “L”-2do. Piso, Colonia Nueva, Mexicali, Baja California 21100, México.
- Contreras–Espinosa, F. y L. M. Zabalegui-Medina. 1991. Hidrología, nutrientes y productividad primaria en la laguna la Joya-Buenavista, Chiapas, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*. 18(2).
- Contreras-Espinosa E. F., O. Castañeda L., A. García-Nagaya y F. Gutiérrez. 1995. Nutrientes en 39 lagunas costeras mexicanas. *Biología Tropical*. 44(2).
- Coronado-Méndez, C. 2002. Aplicación de un Modelo Hidrodinámico Tridimensional en el Puerto de Ensenada, B.C. Tesis de Licenciatura. UABC. Ensenada. B. C.
- Czitrom, S. P. R. 2000. Implementación de un Sistema de Bombeo por la Energía del Oleaje para el Manejo de Pesquerías. Informe Ejecutivo. UNAM/North American Fund for Environmental Cooperation.
- Czitrom, S. P. R., M. Merino, F. Ruiz y M. A. Alatorre, 1993. Premio León Bialik a la Innovación Tecnológica (CIT, UNAM), por el proyecto “Bombeo de Agua Mediante Ductos Resonantes”.
- Czitrom, S. P. R., E. Prado, R. Godoy, R. Rodríguez y R. Peralta-Fabi, 1996: Sea-Water Pumping by Resonance. Second European Wave Power Conference, Lisboa, November 8-10, 1995.
- Czitrom, S. P. R., I. Penié y G. De la Lanza-Espino. 2000. Modelo matemático para el control de la salinidad y manejo de pesquerías.
- Czitrom, S. P. R., I. Núñez e I. Ramírez. 2002. Innovative uses of wave power: Environmental management of Port of Ensenada, México. *Journal of the Marine Technology Society*. En Prensa.

- Dale, A. W. y R. Prego. 2003. Tidal and seasonal nutrient dynamics and budget of the Chupa Estuary, White Sea (Russia). *Estuarine Coastal and Shelf Science*. 56: 377 – 389.
- De la Cruz-Orozco, M. 2002. Efecto de El Niño 1998 – la Niña 1999 en el oxígeno disuelto de la región sur de la Corriente de California. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas, UABC. 83 pp.
- De la Lanza-Espino, G., V. Arenas-Fuentes y M. A. Rodríguez-Medina. 1986. La fijación de nitrógeno asociada a la descomposición de halófitas en una laguna litoral del Noreste de México. *Anales del instituto de Ciencias del Mar y Limnología*. 13 (1): 27 – 44.
- De la Lanza-Espino, G. y M. A. Rodríguez-Medina. 1990. Caracterización de la Laguna de Caimanero, Sinaloa, México, a través de algunas variables geoquímicas. *Ciencias Marinas*. 16(3): 27 - 44
- De la Lanza-Espino, G. y M. A. Rodríguez-Medina. 1993. Nutrient exchange between subtropical lagoons and the marine environment. *Estuaries*. 16(2): 273 – 279.
- De la Lanza-Espino, G y C. Cáceres. 1994. *Lagunas Costeras y el Litoral Mexicano*. Universidad Autónoma de Baja California Sur. 127 – 182 p.
- De la Lanza-Espino, G. y S. Hernández-Pulido. 1994. Nutrientes y productividad primaria en sistemas acuícolas, capítulo 2. En: Martínez, L (Edit.). 1994. *Ecología de sistemas acuícolas*. AGT Editor. México.
- De la Lanza-Espino, G. y F. Flores-Verdugo. 1998. Nutrient fluxes in sediment (NH_4^+ y PO_4^{3-}) in N.W. coastal lagoon México associated with an agroindustrial basin. *Water, Air, and Soil Pollution*. 107: 105–120.
- De la Lanza-Espino, G. y H. Lozano-Montes. 1999. Comparación físico – química de las lagunas de Alvarado y Términos. *Hidrobiológica*. 9(1): 15 - 30
- De la Lanza-Espino, G. y S. Hernández-Pulido. 1999. Informe final de fisicoquímica de la laguna Lagartero, Oax. En: (S. Czitrom, coord.). Implementation of a Wave Driven Sea Water Pump (SIBEO) to Manage Fisheries and for Coastal Management in Rural Communities. UNAM/North American Fund for Environmental Cooperation.
- De la Lanza-Espino, G. 2002. Contaminación marina en el Puerto de Ensenada, Baja California. Condiciones preliminares al empleo del SIBEO para su rehabilitación. Proyecto de Investigación Científica.
- Domínguez-Parra, S. 1986. Estudio de la calidad reglamentaria y ecológica de las aguas costeras de Acapulco, Guerrero y proximidades, realizado de noviembre de 1978 a marzo de 1979. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. 153 pp.

- Donath-Hernández, F. E y D. H. Loya-Salinas. 1989. Contribución al estudio de la contaminación orgánica marina en la Bahía de Todos Santos, B.C. *Ciencias Marinas*. 15(1): 73 – 88.
- Dugdale, R. C. 1967. Nutrient limitation in the sea; dynamics, identification and significance. *Limnology and Oceanography*. 12: 685 – 695.
- Economopoulos, A. 1993. Assessment of Sources of Air, Water and Land Pollution. *Environment Technology Serie*. OMS. Ginebra. 230 pp.
- Emara, H.I., M.A. Shriadah, Th.H. Moustafa y M.S. El – Deek. 1992. Effects of sewage and industrial wastes on the chemical characteristics of the Eastern Harbour and El – mex bay waters of Alexandria, Egypt. p. 356 - 364. In R. A. Vollenweider, R. Marchetti & R. Viviani. (eds.). *Marine coastal eutrophication*. Elsevier Sci. Pub. 1310 pp.
- Eyre, B. 1994. Nutrient Biogeochemistry in the tropical Moresby River Estuary System North Queensland, Australia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 39: 15 – 31.
- Fisher, H.B., E. Jhon, R.C. R.C.Y Koh, J. Imberger y N.H. Brooks. 1979. Mixing in Inland and Coastal Waters. *Academic Press*. 430 pp.
- Flores-Verdugo, F. J. 1985. Aporte de materia orgánica por los productores primarios a un ecosistema lagunar estuarino de boca efímera. Tesis Doctoral. UNAM. México. 89 pp.
- Galarza-Placencia, J. y G. Gaxiola-Castro. 1987. Variación de clorofila, fitoplancton y nutrientes en agua costera de Baja California, enriquecida con EDTA. *Ciencias Marinas*. 13(3): 113 – 130.
- Galindo-Bect, M. S., J. A. Segovia-Zavala e I. Rivera-Duarte. 1984. Contenido de materia orgánica en sedimentos superficiales de la Bahía de Todos Santos, B.C. *Ciencias Marinas*. 10(3): 93 – 102.
- Gibson, C. E., B. M. Stewart y R. J. Gowen. 1997. A Synoptic Study of Nutrients in the North-west Irish Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 45: 27–38
- Godoy, R. 1999. Sintonización de un sistema de bombeo por resonancia con el oleaje. Tesis de Maestría en Ciencias, Facultad de Ciencias, UNAM.
- Gómez-Valdez, J. 1983. Estructura hidrográfica promedio frente a Baja California. *Ciencias Marinas*. 9(2): 75 – 86.
- González-Morales, A. T y G. Gaxiola-Castro. 1991. Variación día a día de de características físico – químicas, biomasa y productividad del fitoplancton en una zona de surgencia costera de Baja California. *Ciencias Marinas*. 17(3): 21 – 37.
- Gordon, Jr., D. C., P. R. Boudreau, K. H. Mann, J. E. Ong, W. L. Silvert, S. V. Smith, G. Wattayakorn, F. Wulff y T. Yanagi. 1996. LOICZ Biogeochemical Modelling Guidelines. *LOICZ Reports and Studies*. 5: 1-96.

- Grasshof, K., M. Ehrhardt y K. Kremling. 1983. *Methods of seawater analysis*. Verlag CEIME. Second Edition.
- Green-Ruiz, Ma de J., S. Caschetto y S. Álvarez-Borrogo. 1983. Sílice disuelto en la columna de agua y en las aguas intersticiales de una laguna costera. *Ciencias Marinas*. 9(2): 51 – 74.
- Grijalva-Chon, J.M., R. Castro-Longoria y M. G. Hamman. 1983. Temperatura y visibilidad en la Bahía de Todos Santos, B.C., México, octubre de 1982 a septiembre de 1983. *Ciencias Marinas*. 11(1): 39 – 48.
- Guerrero-Galván, S. 1997. Estudio biogeoquímico de los procesos de mezclado estuarino en una laguna costera subtropical de México. Tesis de Doctorado. CCH – UACPyP. UNAM. México. 105 pp.
- Harris, G. P. 1980. Temporal and spatial scales in phytoplankton ecology. Mechanisms, methods, models, and Management. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37: 877 – 900.
- Jacobs, W. C. 1951. The energy exchange the sea and the atmosphere and some of its consequences. *Bull. Scripps of Oceanography*. Univ. of Calif. 6: 27 – 122.
- Jiménez-Pérez, L., F. Molina-Peralta y E. Núñez-Fernández. 1992. Efectos de las aguas residuales sobre la macrofauna bentónica de playas arenosas en la Bahía de Todos Santos. *Ciencias Marinas*. 13(1): 35-54.
- Kennington, K., A. Wither, T. M. Shammon, P. Jones, y R. G. Hartnoll. 2002. Nutrient inputs to the Irish Sea: temporal and spatial perspectives. *Hidrobiología*. 475/476: 29–38.
- Krees, N., S. Leon, C. L. Brenesc, S. Brennera y G. Arroyo. 2002. Horizontal transport and seasonal distribution of nutrients, dissolved oxygen and chlorophyll-a in the Gulf of Nicoya, Costa Rica: a tropical estuary. *Continental Shelf Research*. 22:51–66.
- Ladah, L. 2003. The shoaling of nutrient-enriched subsurface waters as a mechanism to sustain primary productivity off Central Baja California during El Niño winters. *Journal of Marine Systems*. 42: 145– 152.
- Lizárraga-Partida, M. L. 1974. Organic Pollution in Ensenada Bay, México. *Marine Pollution Bulletin*. 5(7): 109 – 112.
- Lucena, J. R., J. Hurtado y F. A. Comín. 2002. Nutrients related to the hydrologic regime in the coastal lagoons of Viladecans (NE Spain). *Hidrobiología*. 475/476: 413–422.
- Macías-Carranza, V. A., J. V Macías-Zamora y J. A. Villaescusa-Celaya. 1997. Compuestos organoestañados en agua y sedimentos marinos del Puerto de Ensenada, B.C. México. *Ciencias Marinas*. 23(3): 377-394.

- Manual del equipo. 1994. The SAN^{plus} segmented flow analyzer seawater analysis. Skalar Analytical B.V. Holanda. 50 pp.
- Martínez, E., M. Sánchez y F. Moreno. 2001. Estudio de Calidad del Agua en la Bahía de Ensenada, B.C. Informe Final. IMTA.
- Merino, M., A. González, E. Reyes, M. Gallegos y S. Czitrom. 1992. Eutrophication in the lagoons of Cancún, México. p. 861 – 870. In R. A. Vollenweider, R. Marchetti and R. Viviani. (eds.). *Marine coastal eutrophication*. Elsevier Sci. Pub. 1310 pp.
- Millán-Núñez, R., F. J. Ortiz-Cortés y S. Álvarez-Borrego. 1981. Variabilidad temporal y espacial de nutrientes y fitoplancton en una laguna costera, a finales de verano. *Ciencias Marinas*. 7(1): 103 – 128.
- Millán-Núñez, R. y A. M. Rivas-Lozano. 1988. Nutrientes y clorofilas en Bahía de Todos Santos (mayo 1983). *Ciencias Marinas*. 14(4): 23 – 42.
- Millán-Núñez, E. y D. H. Loya-Salinas. 1993. Variabilidad temporal del fitoplancton en una zona costera del noroeste de Baja California. *Ciencias Marinas*. 19(1): 61 – 74.
- Morales-Zúñiga, C. 1977. Variaciones estacionales de la temperatura en la Bahía de Todos Santos. *Ciencias Marinas*. 4(1). 23 – 33.
- Murphy, J. y J. P. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta*. 27: 31 – 36.
- Orozco-Borbón, V. y E. A. Gutiérrez-Galindo. 1983. Contaminación fecal costera en la zona del puerto de Ensenada, B.C. *Ciencias Marinas*. 9(1): 27 – 34.
- Oviatt, C. A., C. D. Hunt, G. A. Vargo y K. W. Kopchinsky. 1981. Simulation of a storm event in marine microcosms. *Journal of Marine Systems*. 39(4): 605 – 625.
- Padilla-Arredondo, G., J. A. Arreola-Lizárraga. y C. H. Lechuga-Devéze. 1997. Arid Pacific and Gulf of California coasts: Las Guásimas coastal lagoon, Sonora, Mexico, p. 12–16 In S. V. Smith, S. Ibarra-Obando, P. R. Bourdreau, and V. F. Camacho-Ibar (eds.), Comparison of Carbon, Nitrogen and Phosphorus Fluxes in Mexican Coastal Lagoons. *LOICZ Reports and Studies No. 10*. LOICZ, Texel, The Netherlands.
- Peynador, C. 2000. Evaluación de impacto ambiental del Proyecto SIBEO. (Inédito). Elaborado por Lorax Consultores SA de CV de Ensenada. 20 pp.
- Poumian-Tapia, M., S. Ibarra-Obando, y V. F. Camacho-Ibar. 1997. Arid Pacific and Gulf of California coasts: Estero de Punta Banda, Baja California, p. 4–8. In S. V. Smith, S. Ibarra Obando, P. R. Bourdreau, and V. F. Camacho-Ibar (eds.). Comparison of Carbon, Nitrogen and Phosphorus Fluxes in Mexican Coastal Lagoons. *LOICZ Reports and Studies No. 10*. LOICZ, Texel, The Netherlands.
- Raymond, J. E. G. 1980. Plankton and productivity in the oceans. Second Edition. Vol. 1. *Phytoplankton*. Pergamon Press. New York. 489 pp.

- Redfield, A. C. 1934. On the proportions of organic derivatives in sea water and their relation to the composition of plankton. *James Johnstone Mem* (Univ. Liverpool). pp 176 – 192.
- Redfield, A.C. 1958. The biological control of chemical factors in the environment. *American Scientist*. 46: 205 – 221.
- Redfield, A. C., B. H. Ketchum y F. A. Richards. 1963. The influence of organisms on the composition of seawater. p. 26 – 77. In: M. N. Hill (Ed.). *The Sea*. Wiley and Sons. New York.
- Reyes-Coca, S. y R. Troncoso-Gaytán. 2001. "El Niño Oscilación del Sur" y los fenómenos hidrometeorológicos en Baja California: el evento de 1997-1998. *INP. SAGARPA. México. Ciencia Pesquera No. 15*.
- Rinaldi A., G. Montanari, A. Ghetti., C. R. Ferrari y A. Ferrari. 1992. Eutrophy and dystrophy in the Goro lagoon, p. 457-470. In R. A. Vollenweider, R. Marchetti and R. Viviani. (eds.). *Marine coastal eutrophication*. Elsevier Sci. Pub. 1310 pp.
- Rivas-Lozano, A. M y R. Millán-Núñez. 1991. Distribución y abundancia del fitoplancton en la Bahía de Todos Santos. *Ciencias Marinas*. 17(1): 13 – 24.
- Rivera-Duarte, I., J. A. Segovia-Zavala, y M. S. Galindo-Bect. 1979. Comportamiento de la materia orgánica en la aguas de Bahía de Todos Santos, B.C. Estudios básicos para el diagnóstico permanente de la contaminación en Baja California. IIO – UABC, Ensenada, B.C., México.
- Rivera-Duarte, I., K. Nishikawa Kinamura, S. Sañudo-Wilhelmy y J. A. Segovia-Zavala. 1986. Efecto de los contaminantes derivados de la industria de la harina de pescado en la Bahía de Todos Santos, B.C. *Ciencias Marinas*. 12(2): 69 – 84.
- Romero-López, T. y G. Suárez-Álvarez. 1993. Distribución orgánica en la Bahía de Nipe, Cuba. *Ciencias Marinas*. 19(3): 371 – 386.
- Rosas-Molina, A. 1997. Caracterización fisicoquímica de la costa occidental de la Península de Baja California durante la temporada de invierno y primavera de 1990, Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México.
- Ruiz, F., M. Merino, M. A. Alatorre, S. P. R Czitrom y V. Franco. 1994. Un dispositivo de bombeo de agua marina activado por el oleaje. *Ingeniería Hidráulica en México*, 9(2): 45 – 51.
- Saad, M. A. H y E. I. M Hemeda. 1992. Effect of pollution on the Western Harbour of Alexandria. I. Environmental characteristics, p. 737 - 753. In R. A. Vollenweider, R. Marchetti & R. Viviani. (eds.). *Marine coastal eutrophication*. Elsevier Sci. Pub. 1310 pp.

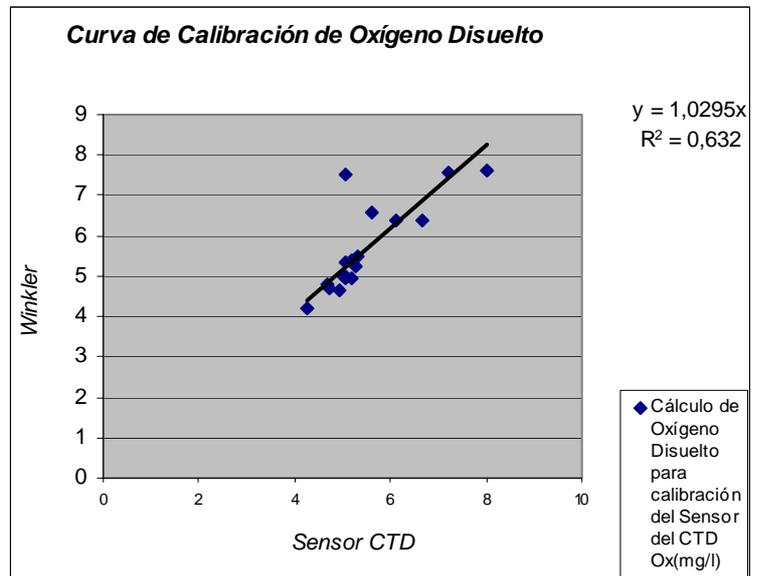
- Salas-Flores, L. M. 1984. Determinación de hidrocarburos derivados del petróleo en las grasas y aceites de la capa superficial del agua y sedimento en la dársena del Puerto de Ensenada, B.C, en condiciones de baja producción pesquera. Tesis de Licenciatura. ESCM. UABC.
- Sañudo-Wilhelmy, S., I. Rivera-Duarte, J. A. Segovia-Zavala, M. V Orozco-Borbón, F. Delgadillo-Hinojosa y J. del Valle-Villorin. 1985. Estado actual de la contaminación marina en la Bahía de Todos Santos, B.C: diagnóstico y alternativas para su reducción y control. Reporte Técnico 85-01. IIO-UABC. 32 pp.
- Sea-Bird. 2002. *SEASOFT-Win32: SBE Data Processing-Win32: CTD Data Processing and Plotting Software*. Sea-Bird Electronics, Inc. Software Release 5.26 and later.
- Segovia-Zavala, J. A., M. S. Galindo-Bect e I. Rivera-Duarte. 1981. Estudio de contaminación orgánica por desechos domésticos e industriales de Ensenada, B.C. En: Estudios básicos para el diagnóstico de la contaminación en Baja California. IIO-UABC, Ensenada, B.C, México.
- Segovia-Zavala, J. A. 1982. Estudio de la contaminación por materia orgánica en la zona industrial de El Sauzal, B.C. Tesis Oceanología, E.S.C.M – UABC, Ensenada, B.C.
- Segovia-Zavala, J. A, I. Rivera Duarte y J. del Valle-Villorin. 1988. Efectos de desechos orgánicos en las zonas adyacentes a los efluentes en Bahía de Todos Santos. *Ciencias Marinas*. 14(1): 81 – 94.
- Serrano, J. 2000. Subsistema submareal en el corredor costero Tijuana – Ensenada: un ensayo de clasificación con propósitos aplicados. Tesis de Maestría. CICESE. 87 pp.
- Schwing, F. B., S. J. Bograd y C. A. Collins. 2002. The California Current, 2001–2002. *Calcofi report*. vol. 43.
- Smart, M., R. Rada, D. Nielsen y T. Clafin. 1985. The effect of comercial and recreational traffic on the resuspensión of sediment in Navigation Pool 9 of the Upper Mississippi River. *Hydrobiologia*. 126: 263 – 274.
- Stern, M., J. W Day y K. G. Teague. 1986. Seasonality of materials transport through a coastal freshwater marsh: riverine *versus* tidal forcing. *Estuaries*. 9(4A): 301 – 308.
- Stumm, W. y J. J. Morgan. 1970. *Aquatic Chemistry*. Willey Interscience. Nueva York. 779 pp.
- Swan, A. R. M. y M. Sandilands. 1995. *Introduction to Geological Data Analysis*. Blackwell Science. Oxford. 446 pp.
- Torres-Rodríguez, J. y L. Gómez-Morín. 1989. Estimación cuantitativa y cualitativa del azolvamiento en el Puerto de Ensenada, B. C., México. *Ciencias Marinas*. 15(4): 39 - 50.

- Tovilla-Hernández, C y G. de la Lanza-Espino. 1999. Balance hidrológico y de nutrientes en un humedal costero del Pacífico Sur de México. *Hidrobiológica*. 11(2): 133 – 140.
- Valdés-Lozano, S. D. 1995. Procesos que regulan el nitrógeno inorgánico y variaciones estacionales de la hidrología de Chelem, Yucatán. Tesis de Doctorado. CCH – UACPyP. Universidad Nacional Autónoma de México. 197 pp.
- Van Dooren-Osio, K. 1991. Cuantificación del volumen de sedimento depositado frente al rompeolas (lado no protegido) del puerto de Ensenada, B.C. Tesis de licenciatura. UABC. Ensenada, B.C., México. 63 pp.
- Webster, I. T., J. S. Parslow y S. V. Smith. 2000. Implications of spatial and temporal variation for biogeochemical budgets of estuaries. *Estuaries*. 23(3): 241 – 350.
- Yanagi, T. 2000. Un método simple para la estimación de V_X a partir de ecuaciones de mezcla para un modelo unidimensional y un sistema en estado estacionario. LOIZC.
- Yurkovskis, A., F. Wulff, L. Rham, A. Andruzaitis y M. Rodríguez-Medina. 1993. A nutrient budget of the Gulf of Riga, Baltic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 37: 113 – 127.

10. ANEXOS

Anexo 1. Calibración del Sensor del Oxígeno Disuelto SBE 43 SeaBird.

Método de Winkler	Sensor de Oxígeno
4,66676157	4,78349
6,13345806	6,36638
5,33344179	5,48138
4,26675343	4,21868
5,00010168	5,00974
5,26677377	5,24109
5,0667697	4,98732
5,20010575	5,386
4,73342959	4,70228
5,20010575	4,96489
5,60011388	6,58354
5,0667697	5,34881
6,66680224	6,37178
8,00016269	7,59402
7,20014642	7,55829
5,0667697	4,94894
4,93343366	4,63567
5,0667697	7,51958



Prueba t – Student para conocer si el coeficiente de correlación es significativo o no al 95 % de confianza.

$n=20$

$t_{crítica} = 1.725$

Calculamos el error estándar.

$$E = \sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}} = 0.142$$

Multiplicamos el error estándar y la $t_{crítica}$, el resultado es de 0.244.

Si el valor calculado de r supera al valor del error estándar multiplicado por la $t_{crítica}$ con n-2 grados de libertad, el coeficiente de correlación es significativo.

$r=0.7949 > 0.2444$, el coeficiente correlación es significativo.