

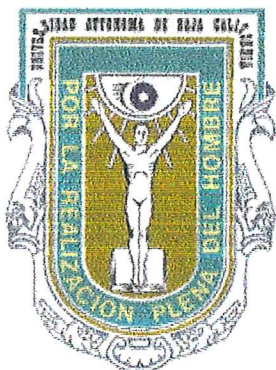


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS



"FOSFATOS EN SURGENCIA EN UN ÁREA ADYACENTE  
A LA FRANJA COSTERA FRONTERIZA  
MÉXICO-EUA"

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
O C E A N O L O G O  
PRESENTA  
VANESSA CLAUDIA ROBLEDO HURTADO

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, DICIEMBRE DEL 2001.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

"FOSFATOS EN SURGENCIA EN UN ÁREA ADYACENTE

A LA FRANJA COSTERA FRONTERIZA

MÉXICO-EUA"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

O C E A N O L O G O

PRESENTA:

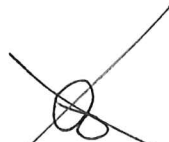
VANESSA CLAUDIA ROBLEDO HURTADO

ENSENADA, B.C., DICIEMBRE DEL 2001

"FOSFATOS EN SURGENCIA EN UN ÁREA ADYACENTE  
A LA FRANJA COSTERA FRONTERIZA  
MÉXICO- EUA "

T E S I S  
QUE PRESENTA:  
VANESSA CLAUDIA ROBLEDO HURTADO

Aprobada por:



\_\_\_\_\_  
Presidente del Jurado  
M en.C. José Antonio Segovia Zavala



\_\_\_\_\_  
M. en C. Sergio R. Canino H.  
Sinodal Propietario



\_\_\_\_\_  
Dr. Francisco Delgadillo Hinojosa  
Sinodal Propietario

# AGRADECIMIENTOS

A mi alma mater la **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**, en especial a la **FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS**, por la oportunidad de ser profesionalista.

Al M.C José Antonio Segovia Zavala, por su paciencia, su entrega, su confianza y su siempre oportuno consejo durante la realización de este trabajo.

GRACIAS MIL!!!!!!

Al M.C. Sergio R. Canino Herrera y al Dr. Francisco Delgadillo Hinojosa. Por que lo que se aprende en las aulas nunca será suficiente comparado a esta experiencia. Gracias por los comentarios y el apoyo brindado para mejorar este trabajo.

Al. M.C. Albino Muñoz Barbosa y al Oc. Bernardo Flores Baez por que siempre estuvieron ahí, justo en el momento. Gracias por todo su apoyo.

A CONACYT por el apoyo económico mediante el convenio 88-01-79.

A la Secretaría de Educación Publica por su apoyo económico mediante el convenio DGICSA 880531

Al **Instituto de Investigaciones Oceanológicas** por el apoyo y facilidades otorgadas durante la realización de este trabajo e impresión. A Magui, Rosita, Suemy y Araceli. Chicas no tengo como agradecerles.

A mis amigos (ahora colegas) con quienes compartí no solo la carrera, sino parte de mi vida. Todos ellos con un grado distinto, que no importa, lo que vale es lo que son y lo que significan para mi.

Gracias por que hicieron de esta travesía una experiencia inolvidable. Oc.

**GABRIEL RODRÍGUEZ RUIZ, M.C. DAGOBERTO ALVARADO AGUILAR .Y  
Oc. EDGAR ROJAS ESTRADA**

A la M.C Graciela Guerra Rivas y a la M.C. Ana Iñiguez, por todo su cariño, por darme su confianza y apoyo en momentos de desesperación. Por que me abrieron las puertas de su casa y de su corazón..... GRACIAS MIL, les debo mucho de lo que ahora soy.....

A todos y cada uno de los maestros que hicieron este sueño posible.

A mis amigos del almacen MILY, ARTURO, NACHITO, EPY, por la experiencia a lado suyo.

Gracias a TODOS.

A Rene, Raquel y Alejandro, Ruth, Paty Alvarado, Benjamin, Ana Manguilar, Ruth Montenegro y a todos aquellos que compartieron la experiencia de querer ser profesionista.

Gracias a cada uno de ellos.

# DEDICATORIA

## A MIS HIJOS

POR QUE SON LA COSA MAS MARAVILLOSA QUE ME HA SUCEDIDO EN LA VIDA Y POR QUE CON SOLO MIRARME Y BRINDARME UNA SONRISA ME DAN LA FUERZA PARA SALIR ADELANTE TODOS LOS DIAS:

## GRACIAS

A MIS PADRES: CARMEN HURTADO R. Y A ERNESTO ROBLEDO POR EL DON DE LA VIDA, LA CONFIANZA, EL AMOR, EL APOYO.

A TI MADRE POR EL CORAJE Y EL EJEMPLO DE LUCHA ANTE LA VIDA, ESA ES EL ARMA SECRETA ANTE MOMENTOS DIFICILES.  
LOS AMO Y GRACIAS MIL

A MIS HERMANOS, GABY, DANY, BETO, MAYO, FER Y AL "POLLO", Y A MI CASI HERMANA ROCIO, POR QUE CADA UNO ASU FORMA, APORTO SU GRANITO DE ARENA PARA QUE ESTE SUEÑO SE HICIERA REALIDAD  
LOS QUIERO, GRACIAS.

**A LALO**

**" DEBES DAR PARA RECIBIR. ES NECESARIO PLANTAR LA SEMILLA ANTES DE  
COSECHAR TUS FRUTOS" . AQUI ESTA UNO DE ELLOS.  
POR TODO ESTE TIEMPO. GRACIAS**

**A LOS VERDADEROS AMIGOS, POR QUE SIN ELLOS MUCHO DE ESTO NO  
HUBIERA SIDO POSIBLE.**

**EMPIEZA POR HACER LO NECESARIO,  
LUEGO LO QUE ES POSIBLE  
Y DE PRONTO,  
TE ENCONTRARAS HACIENDO  
LO IMPOSIBLE**

***SAN FRANCISCO DE ASIS***

Quizás siempre tengas un ángel a tu lado; un ángel que  
observa todo lo que haces...

Que te ayuda a mantener la fe en que siempre habrá días  
mejores...

Que te muestra la manera de realizar tus sueños y deseos...

Que te llena de fuerza y serenidad para que te guíen.

Quizás nunca te falten el amor, la tranquilidad y el valor...

Quizás porque siempre tienes un ángel a tu lado....

Uno que te sostiene cuando caes, que anima tus sueños que  
inspira tu felicidad, que toma tu mano y te ayuda con todo.

En todos y cada uno de nuestros días, nuestras vidas están  
cambiando siempre.

A veces vienen las lágrimas, a veces las sonrisas.

A lo largo de tu viaje por la vida, el camino será más fácil si  
no estás solo...

Quizás tu ángel sea para ti como un regalo infinito...el amor  
de un amigo en quien puedes confiar.

Quizás tengas un arco iris al final de cada tormenta...

Y quizás sea porque siempre tendrás un ángel a tu lado.

Solo que yo tengo la suerte de tener tres...GRACIAS!!

**David, Alan y Lalo**

## RESUMEN

Con el objetivo de identificar los principales factores que influyen en la distribución del fosfato en un sistema costero que se encuentra bajo la influencia de fertilización natural (surgencia) y fertilización antropogénica (descargas de aguas negras), se utilizaron datos obtenidos por el proyecto ECOBAC, durante Junio de 1990 en la zona costera fronteriza México-EUA. Las variables temperatura, densidad y fosfatos revelaron la presencia del fenómeno de surgencia en la parte Sur del área de estudio (Punta Descanso) encontrando que la isoterma de 13°C, la isolinéa de densidad de 25 y la isofosfina de 0.75  $\mu\text{M}$  se ubicaron en la superficie cerca de la línea de costa; mientras que en la parte Norte se evidenció un evento de fertilización, manifestado por altas concentraciones de Clorofila "a" (13.85  $\text{mg m}^{-3}$ ) así como bajas concentraciones de fosfatos (0.45  $\mu\text{M}$ ). Sin embargo, no fué posible identificar su posible fuente.

Los valores de concentración de fosfatos medidos en la zona costera fueron de  $0.63 \pm 0.35 \mu\text{M}$  y para la zona oceánica fueron de  $0.9 \pm 0.63 \mu\text{M}$  ambos son característicos de la Corriente de California correspondiente a aguas sub-superficiales, las cuales sufren una advección por arriba de los 100 m de profundidad. Para este sistema costero, la distribución de fosfatos se encuentra asociado a procesos físicos (surgencia) y biológicos (biomasa fitoplanctónica). Los aportes de fosfatos son por surgencia, la cual contribuye con el 83.86% (2160 kg P/d), mientras que las descargas antropogénicas son de 16.13% (451.5 kg P/d). La remoción biológica de fosfato estimada es del 28% (730 kg P/d) de lo que se introduce al sistema.

En este estudio, no fué posible utilizar a la Razón N:P (menores a 10:1) como criterio de identificación de zonas influenciadas por descargas de aguas residuales. Sin embargo, concuerdan con las obtenidas en aguas del Pacífico Norte.

# C O N T E N I D O

RESUMEN		
LISTA DE FIGURAS		
INTRODUCCIÓN		1
ANTECEDENTES		6
OBJETIVOS		12
AREA DE ESTUDIO		13
METODOLOGÍA		17
Recolección y Análisis de muestras	17	
Procesamiento de Datos		
<i>Hidrográfico</i>	18	
<i>Razón N:P</i>	19	
<i>Estadístico</i>	20	
RESULTADOS		21
HIDROGRAFICO		
<i>Superficie</i>	24	
<i>30 metros</i>	27	
<i>75 metros</i>	30	
<i>Razón N:P</i>	32	
ESTADISTICO	34	
DISCUSIONES		37
<i>Surgencia</i>	37	
<i>Distribución de Fosfato con respecto a las variables conservativas y no conservativas..</i>	41	

CONCLUSIONES	64
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	66
ANEXOS	76

### LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Fig.1 Localización del area de estudio y distribución de las estaciones de muestreo.	15
Fig.2 Distribución vertical de la temperatura en los transectos norte y sur.	24
Fig.3 Distribución superficial de temperatura.	23
Fig.4 Distribución vertical de fosfatos en los transectos norte y sur.	25
Fig.-5 Isolíneas superficiales de densidad, fosfatos y clorofila <i>a</i> en el área de estudio.	26
Fig. 6 Isolíneas de 30 metros de profundidad de densidad, fosfatos y Clorofila <i>a</i> en el área de estudio.	28
Fig. 7 Isolíneas de 75 metros de profundidad de densidad, fosfatos y Clorofila <i>a</i> en el área de estudio.	31
Fig. 8 Razón N:P en el área de estudio.	33
Fig. 9 Correlación entre el fosfato (PO <sub>4</sub> ) y nitratos (NO <sub>3</sub> ) vs. Salinidad en el área de estudio	35

Fig.- 10	Análisis de agrupamiento para el fosfato con las variables conservativas y no conservativas.	36
Fig.-11	Distribución vertical del fosfato comparado con las variables conservativas y no conservativas en la estación 37.	43
Fig.- 12	Correlación entre la salinidad y la clorofila "a" a concentraciones mayores de $2 \text{ mg m}^{-3}$	47
Fig. 13	Distribución vertical del fosfato comparado con las variables conservativas y no conservativas en la estación 13.	49
Fig. 14	Distribución vertical del fosfato comparado con las variables conservativas y no conservativas en la estación 17.	53
Fig. 15	Distribución vertical del fosfato comparado con las variables conservativas y no conservativas en la estación 32.	54
Fig.- 16	Contribución relativa de las entradas y salidas en el area de estudio	56
Fig..17	Relación $\text{PO}_4$ y $\text{NO}_3$ vs. Oxígeno disuelto sin las estaciones frente a Punta Descanso.	50

---

## INTRODUCCIÓN

La productividad primaria en el medio ambiente marino se encuentra controlada en gran medida, por la disponibilidad de los nutrientes en la columna de agua, debido a que estos forman compuestos importantes para el crecimiento óptimo de plantas y del mismo fitoplancton. La disponibilidad de los nutrientes llega a limitar la razón de crecimiento, la productividad y hasta pueden controlar el contenido bioquímico, la reproducción, el desarrollo y por ende la distribución de los organismos (Boyton *et al.*, 1982). Lo anterior muestra él por qué de la importancia de su estudio.

Uno de los nutrientes considerado como limitante en el medio ambiente marino es el fósforo. Este ocurre de forma natural en el agua de mar de tres formas principalmente: fósforo inorgánico disuelto (**PID**), fósforo orgánico disuelto (**POD**) y fósforo particulado. La disponibilidad o tiempo de residencia promedio en la superficie del agua es menor a un año, mientras que en el océano es aproximadamente de 10 años (Schlesinger, 1991).

Existen principalmente, dos **mecanismos de introducción** del fósforo a los sistemas costeros: el primero, mediante procesos de **fertilización natural** dentro de los cuales destacan los fenómenos de surgencia, el aporte por ríos, la erosión y los escurrimientos por tormentas; y el segundo proceso, conocido como **fertilización antropogénica**, producto de la actividad humana y en el que destacan las descargas de aguas residuales domésticas e

---

industriales, las emisiones atmosféricas de partículas así como los escurrimientos terrestres de zonas agrícolas los cuales contribuyen con importantes concentraciones de este nutriente (Libes, 1992).

Sin embargo, no son los únicos factores que influyen en la distribución del fósforo en la columna de agua. De acuerdo con Lewis y Platt (1982), existen variaciones estacionales de las diferentes formas combinadas de los nutrientes, las cuales se encuentran determinadas por la magnitud de los procesos biológicos (asimilación, fotosíntesis, respiración), físicos (advección y difusión) y químicos (procesos de oxidación y reducción del material orgánico). Se ha calculado que en las aguas costeras de California, región a la cual pertenece el presente estudio, aproximadamente el 68 - 87 % del fósforo utilizado por el fitopláncton, es regenerado por arriba de los 75 m de profundidad (Knauer et al.,1979 citado por Valiela, 1995). Por lo tanto son diferentes los procesos que influyen en la distribución de este compuesto en la columna de agua.

De forma particular, en la zona fronteriza México-EUA se ha determinado que los principales mecanismos de introducción que determinan o influyen de forma importante en la distribución de este nutriente son: a) la **fente alóctona** que proviene de lugares distantes producto de las corrientes litorales y vientos, destacando los eventos de surgencia los cuales ocurren la mayor parte del año, pero con mayor intensidad durante los meses de primavera-verano (Bakun y Nelson, 1977;

---

Torres-Moye y Acosta-Ruiz, 1986) con una duración que va desde los tres hasta los 10 días (Amador-Buenrostro, 1978); así como a la mezcla de aguas de baja estabilidad vertical; y b) **las fuentes autóctonas**, las que se producen de forma local y entre los que destacan las descargas de aguas residuales tanto industrial como doméstica, a la diagénesis de la plataforma continental y en menor proporción a la descomposición de la materia orgánica contenida en los escurrimientos pluviales y fluviales (Del Valle Villorín, 1984).

El fenómeno de surgencia costera o de fertilización natural, es considerado uno de los procesos oceanográficos más significativos por su asociación con actividades pesqueras de importancia económica (Cushing, 1971). Cálculos realizados por Ryther en 1969, estiman que aún cuando las zonas de surgencia comprenden sólo el 0.1% de la superficie del océano, estas pueden generar la mitad de la producción total de peces en el mundo.

Dicho fenómeno es más intenso a lo largo de las costas de Perú, California, Oregon y noroeste y sudoeste de África, así como de forma estacional en algunas partes del Océano Índico (Pickard, 1990; Jewell, 1994). Sin embargo, esta alta producción pesquera genera que en estos sistemas costeros se desarrolle en conjunto, una intensa actividad humana ocasionando una alteración en el funcionamiento y propiedades naturales del agua, haciendo al sistema susceptible al desequilibrio.

Esto quiere decir que los ciclos biogeoquímicos de los elementos considerados esenciales y limitantes para los organismos como son el

---

carbono, nitrógeno, **fósforo** y azufre sufren modificaciones en su consistencia biogeoquímica producto de la competencia ocasionada por los procesos naturales así como por los derivados de las actividades productivas del hombre.

Se ha establecido que en el medio ambiente marino el fósforo se encuentra en una razón de 15:1 con respecto al nitrógeno (Redfield, 1963). Actualmente se sabe que dicha razón no es universalmente aplicable y se encuentra definida por la región del océano que se estudia, (Fanning, 1992 y Rubin, *et al.*, 1998) encontrando bajas razones cerca de la costa, en mares marginales de poca circulación y en lugares que se encuentran bajo la influencia de descargas de aguas negras.

Por lo anterior, podemos inferir que la fertilización inducida puede afectar la consistencia oceanográfica del modelo de Redfield. Ketchum (1982) reportó que en aguas costeras cercanas a las descargas de aguas residuales, la razón N:P (15:1), se modifica debido a la relativa abundancia del fósforo sobre el nitrógeno reflejándose en razones bajas de N:P (<10:1). Lo anterior permite considerar al fósforo como un indicador de contaminación por descargas de aguas residuales urbanas (Faganeli, 1982).

Las descargas de aguas negras contienen un alto contenido de materia orgánica con compuestos ricos en nitrógeno y fósforo. Este último incrementa su concentración debido a que es el constituyente principal de los detergentes. Estas altas concentraciones de fósforo estimulan el crecimiento

de las poblaciones planctónicas, produciendo diversos efectos en los cuerpos receptores. En algunos casos se genera un sobre-enriquecimiento de dichos elementos en la zona costera y bajo condiciones extremas de biomasa fitoplanctónica, se llega a producir una disminución en la cantidad de oxígeno producto de los procesos de oxidación bacteriana de la materia orgánica. Cuando éste se agota por completo, se produce el ácido sulfhídrico, compuesto tóxico para los organismos favoreciendo así el proceso de eutroficación (Ehrlich y Ehrlich, 1991, Libes, 1992).

Por todo lo anterior, se establece que dentro del ecosistema costero el fósforo sufre una competencia en su movilización y debido a que se ha considerado como un compuesto indicador de eventos de surgencia y de áreas de influencias por descargas de aguas residuales, resulta interesante conocer los principales mecanismos que afectan la distribución de dicho elemento en la zona costera.

---

---

## ANTECEDENTES

En la Cuenca del Sur de California, se han realizado diversas investigaciones oceanográficas en amplia escala por parte del proyecto CalCOFI. Sin embargo, la zona costera que se encuentra influenciada por la fertilización inducida, ha sido escasamente estudiada salvo en zonas muy puntuales de las costas de EUA.

Ryther y Dunstan (1971) estudiaron la distribución del nitrógeno y fósforo inorgánico en dos bahías, observando que los compuestos nitrogenados actúan como factor limitante en el crecimiento óptimo de las algas y que ambos nutrientes son la causa principal del fenómeno de eutroficación.

Eppley *et al.*, (1972) reportaron enriquecimientos superficiales del agua desde Long Beach hasta Punta Loma debido a las descargas de aguas negras de las ciudades de San Diego y Los Ángeles, encontrando un incremento en la productividad primaria de hasta tres veces el promedio normal en la zona, asociándolo a altas concentraciones de clorofila "a", ATP, así como de nitrógeno y carbono orgánico en su forma particulada. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en los nutrientes y compuestos orgánicos en su forma disuelta entre las zonas de influencia por las descargas y mar abierto, lo que sugiere una rápida asimilación de nutrientes o una efectiva dispersión de los mismos.

---

Haury y Shulenberg (1982) estimaron, en un área de  $4.2 \times 10^5$  km<sup>2</sup> frente a las costas de Baja California y California, una exportación neta de fósforo que fue de 300 g-atm P/s para el invierno y una importación de 400 g-atm P/s para el verano. La diferencia estacional se debe probablemente a que existe mayor advección hacia el sur en verano y/o a concentraciones medias de fosfato más altas a lo largo del área. Observaron grandes variaciones estacionales e interanuales en el transporte, así como en el balance neto de fósforo, y explican que dichas variaciones se deben a cambios en la fuerza de la Corriente de California y a la variabilidad causada por la turbulencia y remolinos a gran escala. Por lo tanto no se define una influencia antropogénica.

En un área más delimitada, entre la frontera y Punta Banda, la información acerca del comportamiento oceanográfico y en particular sobre la dinámica de nutrientes, se torna más escasa. Se destacan los trabajos de Hubbs (1960), quien evidenció con datos mensuales de temperatura durante 20 años, diversas zonas de surgencia o de fertilización natural, asociadas a puntas y salientes topográficas en un área comprendida desde La Joya, California hasta Punta Eugenia, B.C., destacando Punta Banda, B.C; como el lugar donde se presentan las anomalías más fuertes de temperatura.

Entre la frontera México-EUA y Punta Banda, la información relacionada al comportamiento oceanográfico y a la dinámica de nutrientes se torna aún más escasa. Gómez Valdez (1983) emplea datos producidos por

---

CalCOFI en la línea 100 que se encuentra situada frente a Punta Banda, B.C., encontrando que los eventos de surgencia son más intensos durante los meses de abril a julio y que las aguas que sufren la advección provienen de aguas de profundidad no mayores a los 100 m y de una estructura horizontal superficial con una distancia de 50 km. fuera de la costa.

Torres Moya y Acosta Ruiz (1986), consideraron al fosfato y oxígeno disuelto como indicadores de surgencia costera en Punta Colonet, B.C. Utilizaron los valores de concentración de fosfatos de 0.75 a 1.5  $\mu\text{M}$  como las isolíneas características de dicho fenómeno. Determinaron con los fosfatos preformados, la contracorriente subsuperficial, la cual mostró una estructura compleja por debajo de los 150 m hasta los 600 m de profundidad, y alcanzando distancias hasta de 100 km. fuera de la costa.

En 1988 se pone en marcha el proyecto denominado **ECOBAC** por parte del Instituto de Investigaciones Oceanológicas, el cual contempla estudios que permitan diagnosticar en forma permanente la contaminación en la franja costera fronteriza, de este proyecto se citan los siguientes estudios:

En 1991, Sañudo-Wilhelmy y Flegal reportaron un gradiente de metales traza de norte a sur, encontrando las mayores concentraciones en la línea marítima fronteriza asociándolo a procesos advectivos y de surgencia. Ortega-Lara en el mismo año, encontró en sedimentos marinos el mismo gradiente de enriquecimiento para la plata siendo más evidente en la isóbata

---

de los 60 m de profundidad. Quero-Santiago (1992) determinó la concentración de bacterias coliformes fecales en el agua de mar de la costa noroccidental, durante el verano de 1988, 1989 y 1990, encontrando diferencias significativas entre 1990 y los dos años anteriores a este, se reportan valores máximos de estas bacterias en la región de las Islas Coronado, determinando que la fuente principal podría provenir del emisor de Punta Loma, EUA.

Gutiérrez-Galindo *et al.* (1994), reportan que este ecosistema costero recibe crónicamente contaminantes de naturaleza química (metales y nutrientes) y biológica en forma disuelta y particulada, producto de sistemas de tratamiento deficientes provenientes de las plantas de tratamiento de las ciudades fronterizas de Estados Unidos y México, confirmando el gradiente norte-sur para metales en sedimento.

Canino-Herrera (1995) realizó un estudio espacio-temporal desde Punta Loma, EUA, hasta Ensenada, B.C. para establecer las condiciones fisicoquímicas que prevalecen en el área, así como las zonas afectadas por aguas residuales; reportó que las concentraciones de fosfatos y nitratos oxidativos en combinación con la clorofila "a", permiten identificar la magnitud relativa de los procesos biológicos, además observó que los nitritos y el amonio permiten evidenciar la zona costera afectada por las descargas de aguas residuales en la frontera México-EUA. Así mismo Segovia- Zavala *et al.*, (1998) caracterizaron la distribución de cadmio en un área de surgencia

---

de la costa fronteriza México-EUA, encontrando enriquecimiento de cadmio sobre la plataforma en un orden de 5.5 veces mayores que las encontradas en mar abierto, los valores máximos fueron de 0.166 y 0.14 nM cerca de la frontera México-EUA y Punta Descanso, respectivamente. Esta distribución es explicada por procesos de surgencia y actividad biológica.

En 1990, a este sistema costero eran vertidas las aguas de desecho de la Cd. de San Diego, EUA mediante un emisor submarino localizado en Punta Loma, el cual descargaba aproximadamente 800,000 m<sup>3</sup> diarios a una razón de 9.2 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> y a una profundidad de 60 m de profundidad conteniendo cerca de 46 toneladas de sólidos en suspensión (Shaeffer, 1984; Engineering Science, 1988) y una concentración de fosfatos de 40 mM (Langworthy, 1992). Mientras que por parte de la ciudad de Tijuana, B.C., la principal planta de tratamiento ubicada en Punta Bandera, descargaba a cielo abierto y en la zona de rompiente un flujo aproximado de 130, 000 m<sup>3</sup> diarios a una razón de 1.5 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> y de 6,000 toneladas de sólidos en suspensión al año (SCCWRP, 1989) así como una concentración de fosfato de 9.08 x10<sup>-3</sup> mM.

Actualmente el volumen promedio aportado para las principales descargas son: Punta Loma aporta 8275.46 l s<sup>-1</sup>, mientras que la Cd. de Tijuana el volumen es de 1000 litros s<sup>-1</sup> (Flores-Baez, 2001.com. per.) y la ciudad de Rosarito contribuye con 30 l s<sup>-1</sup>, el tratamiento se realiza mediante lagunas de oxidación y descarga directamente sobre la playa (Canino-Herrera, 2001 com. per.).

Por los antecedentes previamente citados, este trabajo pretende estudiar la dinámica y distribución de fosfatos en la zona costera fronteriza donde se ha identificado que existen las dos formas de fertilización: la natural y la inducida. Estos eventos en Baja California y en particular en la franja costera fronteriza entre México y EUA, pueden representar un beneficio o un problema potencial que requiere ser investigado para presentar las alternativas de solución basadas en el conocimiento oceanográfico de la zona, donde es factible que se dé la competencia entre ambas formas de fertilización.

---

## OBJETIVOS

### GENERAL

- Caracterizar y explicar la distribución de fosfatos en una zona de surgencia costera y aporte de aguas residuales en la zona costera fronteriza México-EUA.

### PARSICULARES

- Identificar los principales factores que influyen en la distribución y concentración de fosfatos en la zona costera fronteriza México-EUA.
- Aplicar la relación N:P como indicador o criterio de identificación de la influencia producida por las descargas antropogénicas de nutrientes.

---

## ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra situada dentro de la región conocida como Southern California Bight (SCB), que se extiende desde Punta Concepción, California en EUA, hasta Cabo Colonett, Baja California en México. La SCB incluye un área de aproximadamente 78,000 km<sup>2</sup>, con una distancia de la línea de costa hacia mar abierto de 300 km. teniendo como límite a la Corriente de California. Esta zona costera en particular, ha sufrido un cambio notorio en los últimos 100 años producto de las continuas y deficientes, descargas de aguas negras tanto domésticas como industriales (Dailey *et al.*, 1993, en Sheppard, 2000).

A lo largo de esta zona, se presenta una gran variedad de rasgos batimétricos y de circulación, dentro de los que destacan islas, planicies y cuencas con profundidades que van desde los 600 y 2000 m. Sin embargo, el patrón global de circulación del agua en la zona, sigue al del Sistema de la Corriente de California (SCC), que se encuentra determinado en una franja de 300 millas de amplitud. El SCC presenta un flujo superficial de agua fría, de baja salinidad y rica en nutrientes hacia el Sur y con un contra flujo a 200 m de profundidad hacia latitudes altas, (Sverdrup y Fleming, 1941; Jones, 1971; Jakson, 1986; Schwing *et al.*, 1997).

---

La población en la zona costera de la SCB se ha duplicado en los últimos 30 años por lo que se considera como una de las áreas más densamente pobladas. Tan sólo del lado de los EUA habitan aproximadamente 17 millones de personas y se espera que se incremente a 2 millones más para el año 2010. Este rápido crecimiento representa un riesgo importante debido al incremento en la contribución de contaminantes a la zona costera (Dailey *et al.*, 1993, en Sheppard, 2000).

En particular el área de estudio se encuentra comprendida entre los 32° 10' y 32° 40' de latitud N y 117° 00' y 117° 38' de longitud W. Geográficamente se extiende de Norte a Sur desde Punta Loma en San Diego California, hasta Punta Descanso en Baja California, México y de Este a Oeste desde la línea de costa hasta 60 km. hacia mar abierto (Fig. 1). A lo largo del área antes mencionada, se encuentran establecidos importantes desarrollos urbanos, como son la Cd. de San Diego, California y Tijuana, B.C., además de una terminal de descarga de hidrocarburos en la Cd. de Rosarito, así como diversos conjuntos residenciales y turísticos que incrementan el número de descargas afectando en distintas magnitudes las playas tanto de EUA como de México.

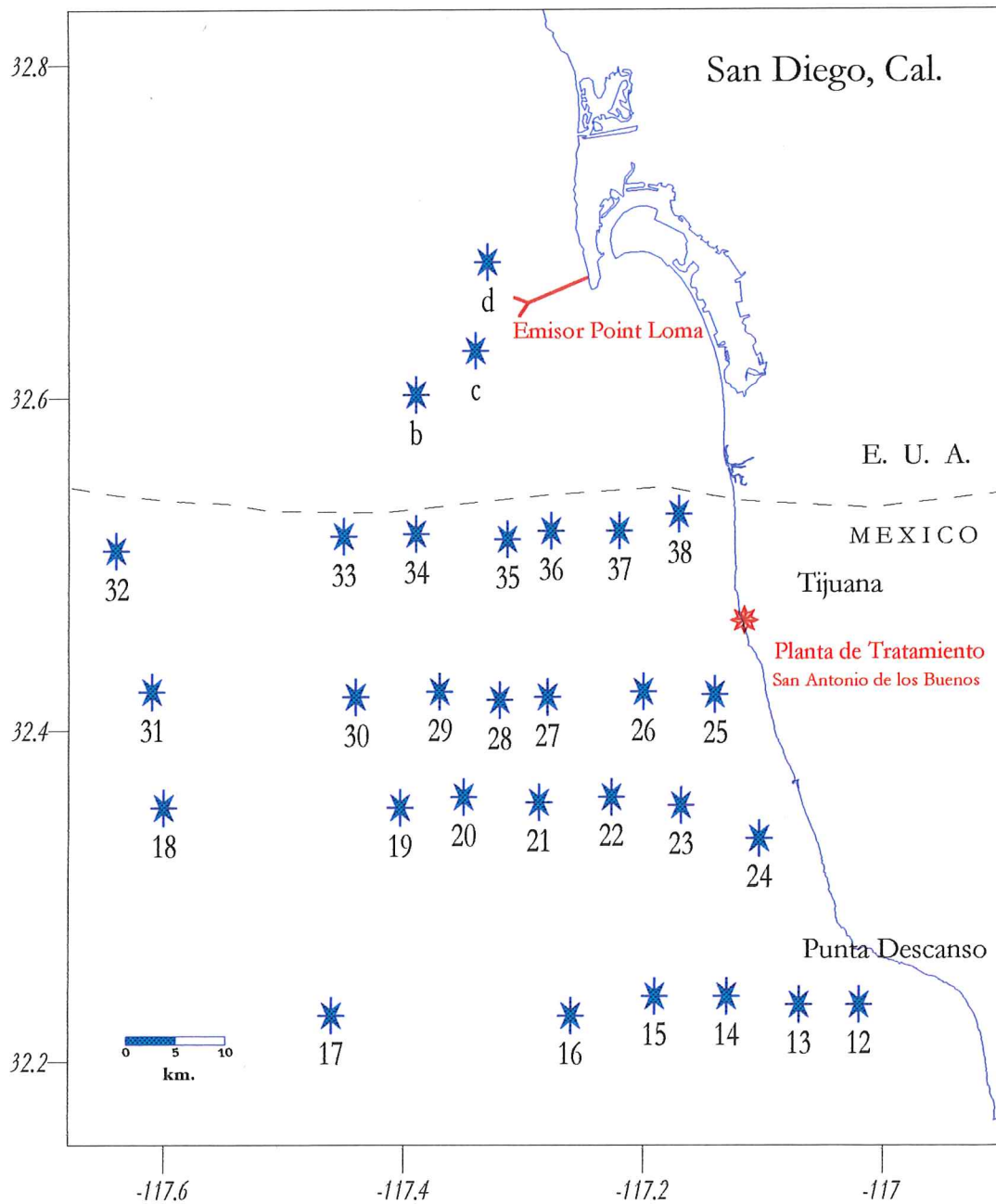


Fig. 1.- Localización del área de estudio y distribución de las estaciones de muestreo.

\* Localización de las descargas más importantes.

Emisor submarino de Point Loma (isóbata de los 60 m),

San Antonio de los Buenos, cielo abierto.

Estudios de corrientes y difusividad realizados por Álvarez-Sánchez (1986), permiten modelar la acción del viento en la columna de agua. Estos modelos indican que bajo el efecto de advección y difusión, el transporte de sustancias de desecho es paralelo a la costa y es más eficiente hacia el sur que hacia el norte. Así mismo, Sañudo y Flegal (1991) mediante estudios sobre metales en aguas costeras en la misma región, describen un gradiente norte a sur.

---

## METODOLOGÍA

### RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE MUESTRAS

La toma de muestras se realizó en el verano de 1990 durante los días 19 al 26 de junio a bordo del buque oceanográfico "El Puma". El plan de crucero constó de 40 estaciones en total, sin embargo para la finalidad de este trabajo, sólo se consideran 30 estaciones. El área comprende desde Pta. Loma, EU, hasta Punta Descanso, B.C (Fig. 1). Las profundidades de muestreo fueron 0, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 200 y 300 m, donde la zona lo permitió.

El muestreo hidrológico se realizó con botellas Niskin de 5.0 litros considerando las variables de oxígeno disuelto (OD), clorofila "a" (cl "a"), nitratos (NO<sub>3</sub>), nitritos (NO<sub>2</sub>) y fosfatos (PO<sub>4</sub>). Se utilizó además, un CTD Neil Brown Mark V para llevar a cabo mediciones de temperatura (T° C) y salinidad (S). Las lecturas se calibraron y corrigieron con determinaciones discretas de salinidad y temperatura *in situ*, estas se obtuvieron con un salinómetro de inducción y termómetros reversibles.

Con excepción del OD, el cual fué analizado a bordo por el método Winkler de acuerdo a Parsons *et al.*, (1984), las demás variables una vez tomadas las muestras fueron almacenadas para su posterior análisis en tierra. Las clorofilas fueron filtradas utilizando filtros Gelman A/E (45 mm), posteriormente etiquetadas y almacenadas en papel aluminio y congeladas

---

hasta su análisis, el método empleado fué el de Holm-Hansen (1965) empleando un fluorímetro Turner 112.

Por lo que respecta a los nutrientes ( $\text{NO}_3$ ,  $\text{NO}_2$  y  $\text{PO}_3$ ), las muestras una vez tomadas, se etiquetaron y congelaron para su preservación. Posteriormente fueron analizados con las técnicas descritas en Strickland y Parsons (1972). Las lecturas analíticas se realizaron con un espectrofotómetro digital Milton Roy, modelo 1001 plus.

### *PROCESAMIENTO DE DATOS*

#### *HIDROGRÁFICO*

Para identificar los procesos físicos, químicos o biológicos que prevalecen en el área de estudio, se realizó un análisis gráfico de los gradientes verticales y horizontales de las variables densidad, temperatura y fosfatos. La elección de estas variables se hizo en función a los criterios utilizados por Gómez Valdez (1983) para los dos primeros y de Torres-Moye y Acosta-Ruiz (1986) para el último. Ambos criterios emplean los siguientes valores específicos: para temperatura, las isotermas de 12 - 14 °C, para densidad, la isopicna de 25 y para los fosfatos las isolíneas de 0.75  $\mu\text{M}$  a 1.50  $\mu\text{M}$ . Estos valores son considerados como indicativos del fenómeno de surgencia en las costas de Baja California. La descripción de los gradientes horizontales se realizó para superficie, 30 metros y 75 metros de profundidad

---

respectivamente. El criterio de selección de las profundidades, se basa en un análisis previo exploratorio, donde se observó que los cambios más evidentes para dichas variables son a estas profundidades. Además de que para esta región, el surgimiento de aguas sub-superficiales se realiza por arriba de los 100 m de profundidad hasta la superficie (Gómez Valdez, 1983).

#### *RAZÓN N:P*

La razón N: P se empleó para identificar zonas de influencia natural y la posible área de influencia antropogénica que se produce por efecto de las descargas de aguas residuales de ambas naciones. Una relación 15:1 nos habla de la razón de asimilación oceánica del nitrógeno y el fósforo por parte del fitopláncton. Así mismo permite describir con mayor claridad los procesos químicos del nitrógeno y del fósforo que se realizan en el océano. (Redfield *et al.*, 1963). Dicha razón se encuentra en aguas profundas y por debajo de la termoclina.

Las excepciones de esta razón N:P de 15:1 se dan en aguas costeras y superficiales debido a que los organismos alteran la concentración de nutrientes. De igual forma se pueden observar variaciones estacionales y por procesos de fertilización inducida, teniendo entonces que una relación menor a 10:1 nos puede sugerir un efecto por descarga de aguas residuales y donde predomina la concentración del fósforo (Ketchum, 1982). Para realizar este

---

análisis y de acuerdo con Fanning (1992), se emplearon las formas inorgánicas tanto del fósforo como del nitrógeno, por lo que tenemos:



argumentando que estas tres formas químicas sufren una remineralización en la zona eufótica y son asimilados igualmente por el fitoplancton en la zona fótica.

### *ANÁLISIS ESTADÍSTICO*

Se realizó un análisis de agrupamiento empleando el programa STATISTIC, para revelar la covariación entre el fosfato y las variables conservativas y no conservativas. Además, se realizaron análisis de correlación para establecer con mayor claridad los posibles procesos que se asocian con la distribución del fosfato en el área de estudio.

---

## RESULTADOS

En la fig. 2a se presenta la distribución vertical de temperatura, donde se puede observar la termoclina estacional (15-17 °C) entre los 20 - 30 m de profundidad y a 21 - 60 km. fuera de la costa. En general las pendientes más definidas de las isotermas se localizan sobre el borde de la plataforma continental. En la parte sur del área de estudio (fig. 2a), el levantamiento de las isotermas es mucho más intenso, destacando la isoterma de 13 °C, misma que se ubica a 60 m de profundidad y a 50 km. mar abierto elevándose hasta la superficie en la zona costera. Con respecto a la región norte (fig. 2b), esta misma isoterma sólo alcanza a emerger hasta los 10 m de profundidad. Lo anterior permite distinguir gradientes de mayor a menor de temperatura en dirección norte-sur y de menor a mayor temperatura de la costa hacia mar adentro.

La figura 3, permite observar claramente un gradiente de temperaturas superficiales de la costa hacia mar adentro, presentándose las temperaturas más frías en la costa (13 °C) y las más cálidas (19 °C) hacia mar adentro. Destaca una lengüeta de baja temperatura (13 °C), ubicada frente a Punta Descanso que se extiende a lo largo de la costa, hacia el norte entre las estaciones 24 y 25.

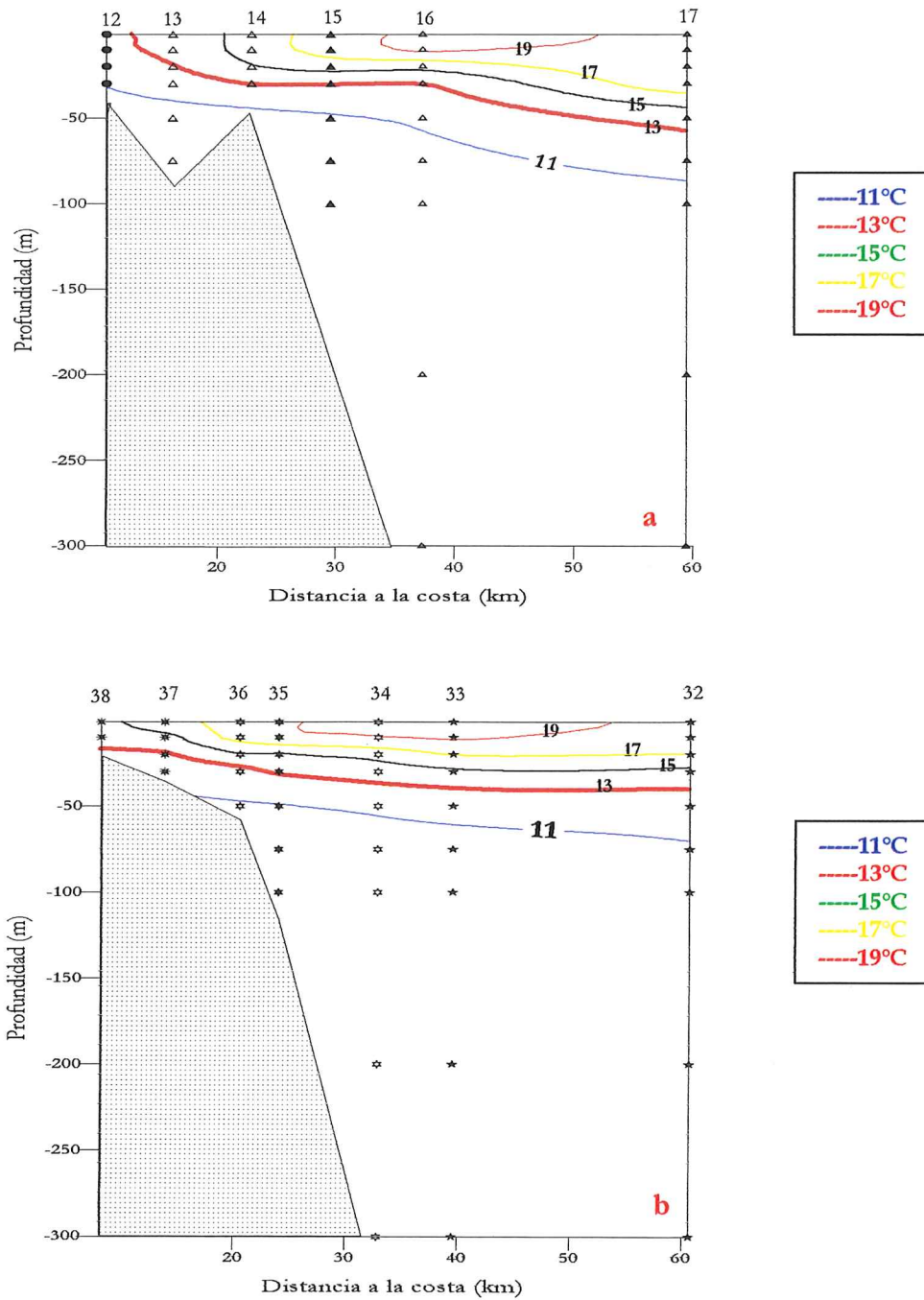


Fig. 2.- Distribución vertical de la temperatura (°C) en el área de estudio

a) Transecto Sur y b) Transecto Norte

Los números en la parte superior indican las estaciones en las que se realizó el muestreo

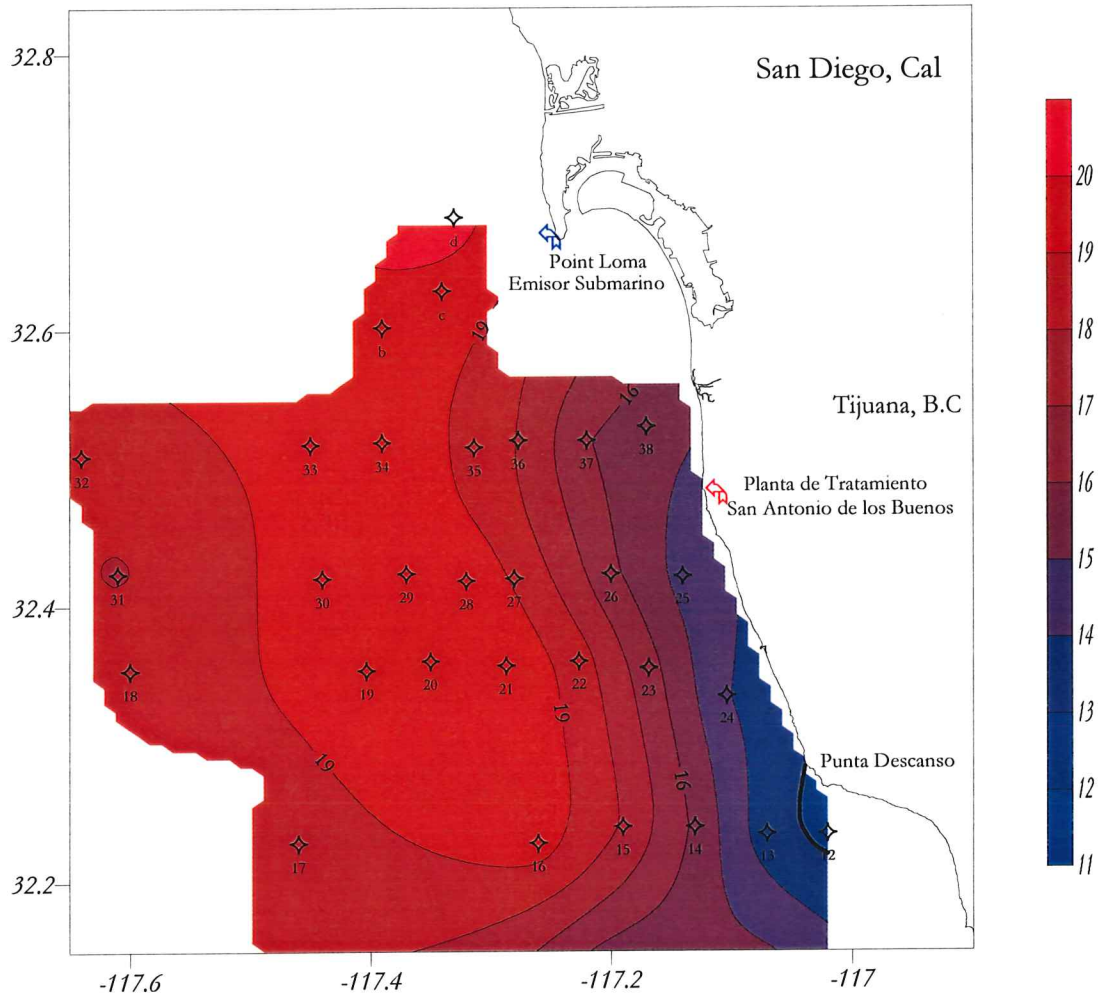


Fig 3.- Distribución superficial de la temperatura (°C)  
en el área de estudio.

 Localización de los puntos de descarga.

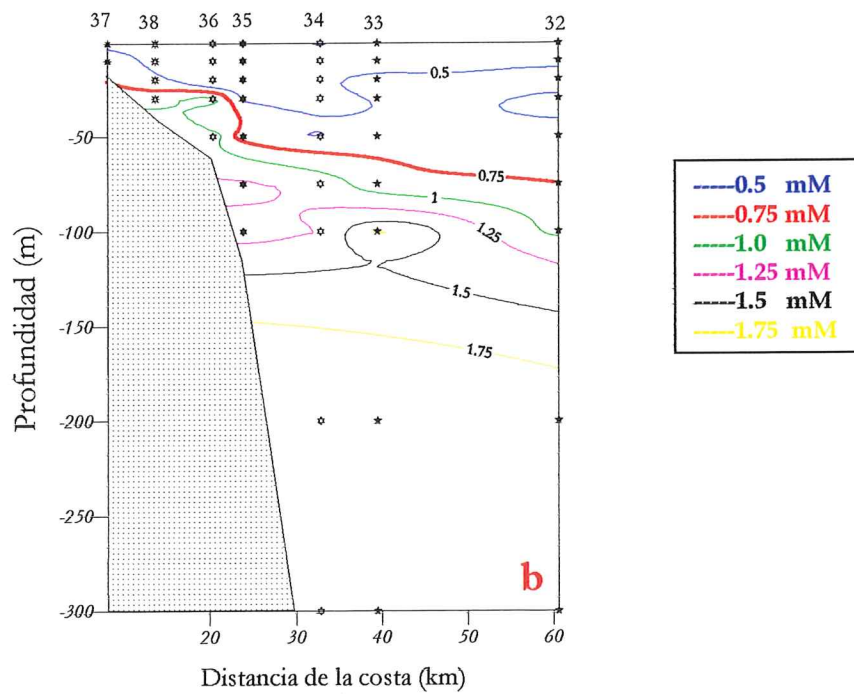
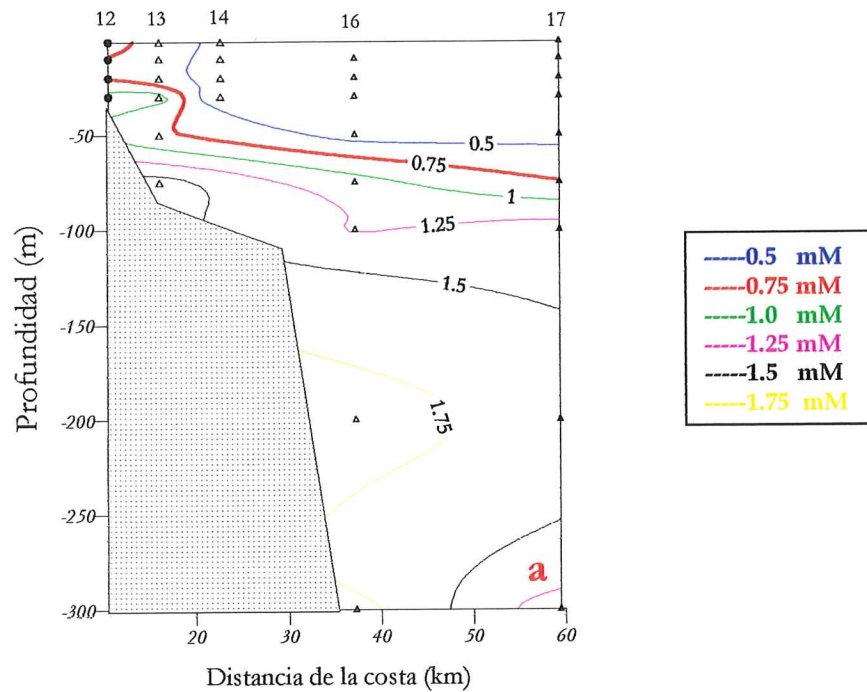
En la figura 4a y b se muestra la distribución vertical del fosfato la cuál presenta un comportamiento similar al de la temperatura. Se observa una elevación de las isolíneas de mar abierto hacia la línea de costa destacando la isolínea de  $0.75 \mu\text{M}$  característica del fenómeno de surgencia que se presenta en la superficie en el transecto sur (fig. 4a). Sin embargo para el transecto norte sólo alcanza a elevarse a los 30 m de profundidad (fig. 4b). En esta región, se encuentran concentraciones superficiales de  $0.5 \mu\text{M}$

### *SUPERFICIE*

La distribución superficial de la densidad, fosfatos y clorofila "a" (figs. 5a, b y c respectivamente) presentan un claro gradiente con valores más altos cerca de la costa y disminuyendo hacia mar abierto.

Para el caso específico de la **densidad** (fig. 5a) se pueden observar valores de 25 a 24, dentro de los primeros 40 km. a partir de la línea de costa. A partir de esta distancia el comportamiento de la densidad es mucho más homogéneo, encontrando el valor mínimo (23.62) cerca de la descarga de Punta Loma (estación d). La isopicna estacional (25), considerada para evidenciar eventos de surgencia (Gómez-Valdez, 1983) se encuentra ubicada frente a Punta Descanso (estación 12).

La distribución de **fosfatos** (fig. 5b) muestra un gradiente mucho más intenso que va de  $0.04$  a  $0.8 \mu\text{M}$ , destacando un valor máximo de  $0.8 \mu\text{M}$



**Fig.4.- Distribución vertical de Fosfatos ( $\mu\text{M}$ ) en el área de estudio.**

**a) Transecto Sur , b) Transecto Norte.**

**Los números superiores indican las estaciones en las que se realizó el muestreo**

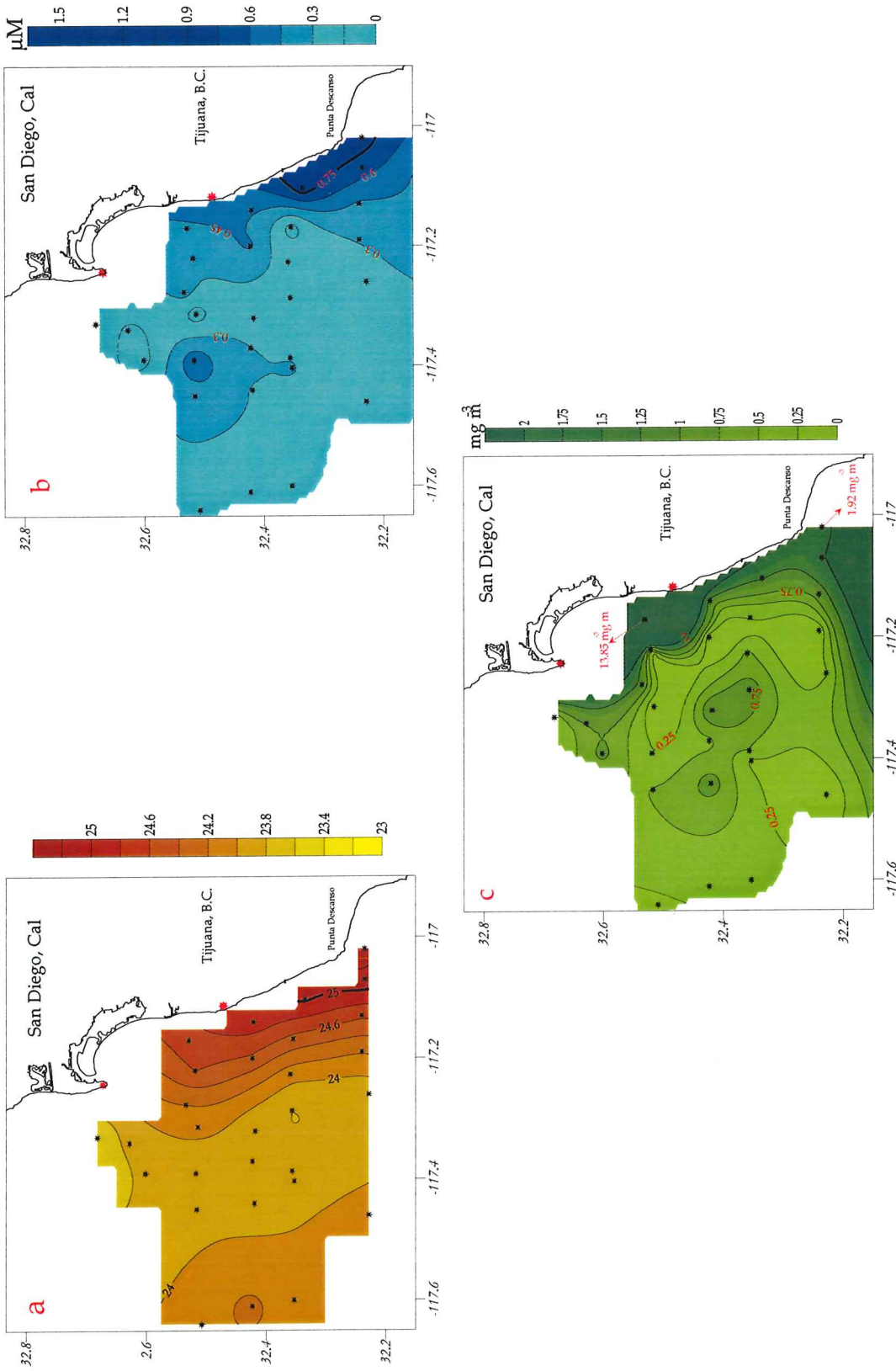


Fig.5.- Isolíneas en superficie en el área de estudio, donde a) Densidad, b) Fosfatos y c) Clorofila "a" . \* Principales puntos de descarga.

en la estación 12 y un valor mínimo de  $0.04 \mu\text{M}$  correspondiente a las estaciones 27 y 33. En general se puede observar un gradiente en los valores de densidad y fosfatos de norte a sur, presentándose los valores más altos en la parte sur (frente a Punta Descanso).

Para la distribución de la **clorofila "a"** (fig. 5c) se observa un intervalo de concentración de  $0.04$  a  $13.85 \text{ mg m}^{-3}$ , destacando dos zonas de alta concentración. La primera localizada en la zona norte y cerca a la costa con un valor extremo en la estación 38 de  $13.85 \text{ mg m}^{-3}$ , disminuyendo en dirección sur hasta la estación 25 con una concentración de  $2.03 \text{ mg m}^{-3}$ . La segunda zona se localiza en la región localizada frente a Punta Descanso con un valor relativamente alto de  $1.92 \text{ mg m}^{-3}$  (estación 13). Sin embargo entre las dos zonas antes mencionadas, se ubican concentraciones de clorofila "a" menores a  $1 \text{ mg m}^{-3}$ .

En general las concentraciones de clorofila "a" presentaron valores más altos en la zona norte con respecto a la zona sur, mientras que los fosfatos presentan un gradiente inverso presentándose las menores concentraciones en la parte norte y las mayores en la zona sur.

### *30 METROS*

El comportamiento de la densidad y los fosfatos a esta profundidad, (figs. 6a y 6b) muestran gradientes menos pronunciados de la línea de costa hacia mar adentro, con respecto al de superficie.

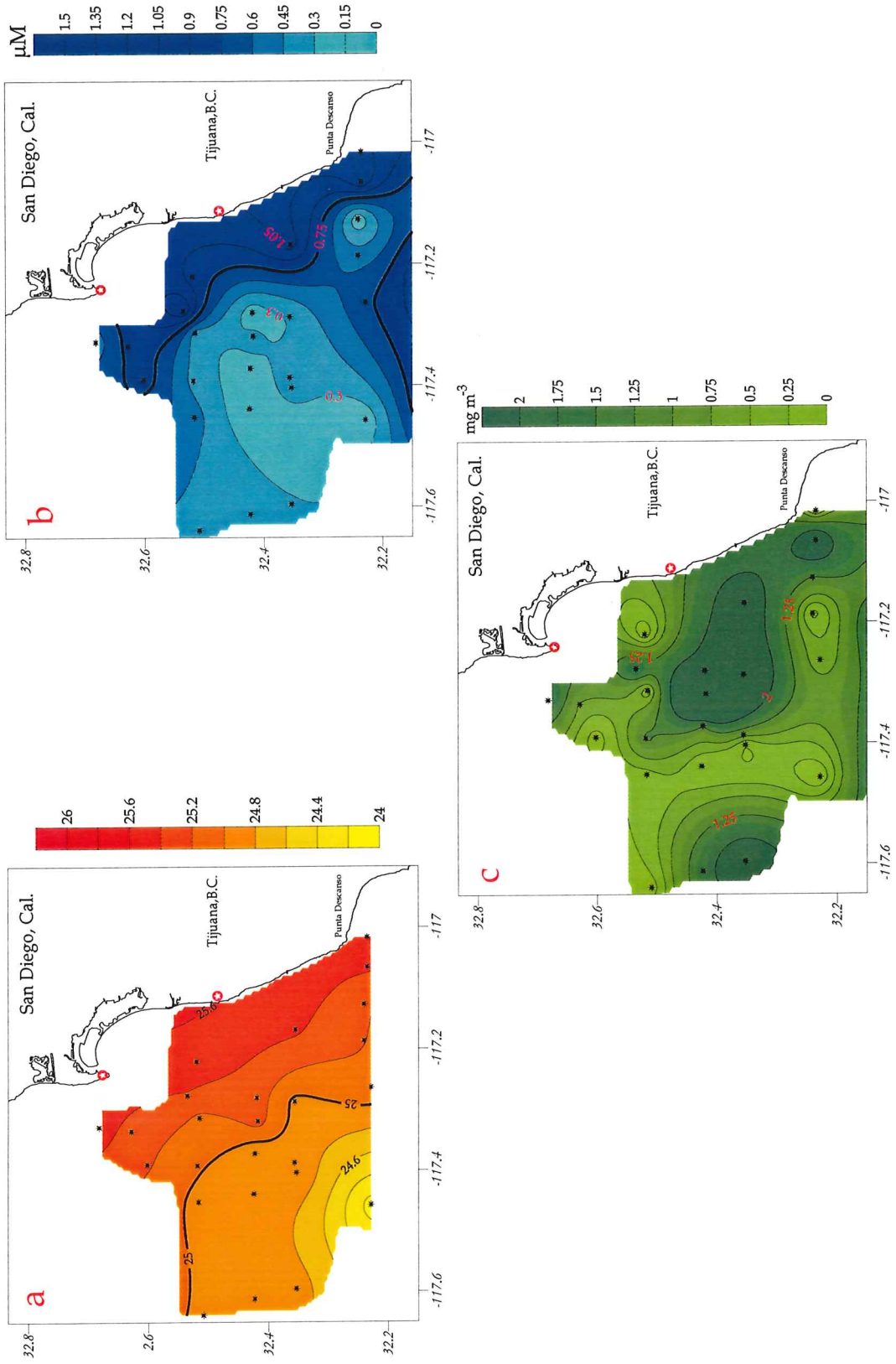


Fig 6.- Isolíneas a 30 m de profundidad en el área de estudio, donde a) Densidad, b) Fosfatos y c) Clorofila "a" . ⊕ Principales puntos de descarga.

Sin embargo, el gradiente norte-sur, ya no se observa a esta profundidad. Para la **densidad** (fig. 6a), los valores van desde 25.6 ubicado frente a Punta Descanso (estación 12) a un mínimo de 24.1 ubicado a 50 km. fuera de la línea de costa. La isopícnica estacional (25) se proyecta de mar adentro llegando hasta el borde de la plataforma continental.

Para los **fosfatos** (fig. 6b) los valores máximos ( $1.19 \mu\text{M}$ ) se localizan frente a la línea de costa, identificándose tres puntos importantes en las estaciones cercanas a la costa: Punta Descanso (estación 12), Punta Bandera (estación 23) y costas de Tijuana (estación 36). La isolínea de  $0.75 \mu\text{M}$  se ubica claramente por detrás de estos tres puntos de advección. Después del borde de la plataforma continental el gradiente es más suave hacia mar adentro. A esta profundidad destacan dos núcleos de concentración mínima ( $0.18 \mu\text{M}$ ); uno a 23 km. de la costa (estación 14) y el segundo a 60 km. de la costa (estación 17).

Para la **clorofila "a"** (fig. 6c) se distingue un núcleo de máxima concentración ( $6.32 \text{ mg m}^{-3}$ ) entre las costas de Tijuana y Punta Descanso (estación 28), el cual coincide con el núcleo de concentración mínima de fosfatos, esto puede evidenciar un consumo del nutriente por actividad del fitopláncton.

---

*75 METROS*

A esta profundidad, se sigue observando el mismo comportamiento anteriormente descrito para la densidad y fosfatos, es decir, con mayores concentraciones en las estaciones que se localizan sobre el borde de la plataforma continental y disminuyendo hacia mar adentro. En contraste la máxima concentración de clorofila "a" se encuentra hacia mar abierto (figs. 6 a, b y c), presentando un gradiente suave en los cambios de concentración.

Para la **densidad** (fig7a), se encuentran valores que van desde los 25.9 frente a las costas de Tijuana y Punta Descanso, hasta un valor mínimo de 25.41, localizado a 50 km. de la línea de costa (estación 17). Cabe destacar que a esta profundidad no se presenta la isopicna de 25 característica de eventos de surgencia. La isopicna de 25.9 forma una lengüeta frente a las costas de Tijuana (estación 28).

Para los fosfatos el gradiente a esta profundidad frente a Punta Descanso va desde 0.31 a 1.56  $\mu\text{M}$ , de la línea de costa hacia mar adentro (estaciones 13 a la 17). En general las isolíneas 1.05 y 1.15  $\mu\text{M}$  forman una lengüeta hacia mar adentro (fig. 7b,), frente a las costas de Tijuana. Sin embargo, no se observa la isolínea de 0.75  $\mu\text{M}$  característica de eventos de surgencia (Torres-Moye y Acosta-Ruíz; 1986).

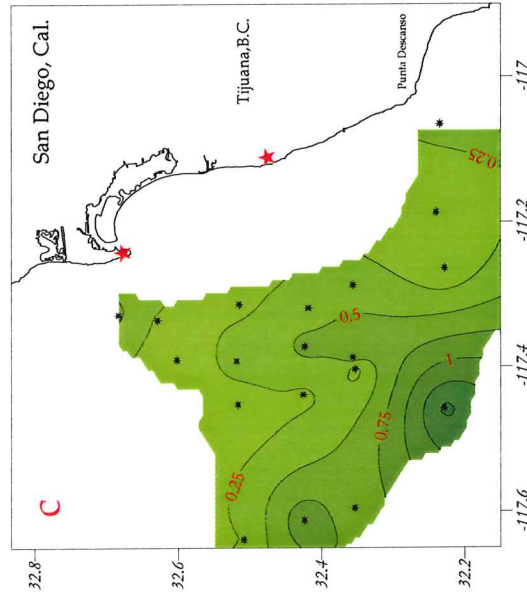
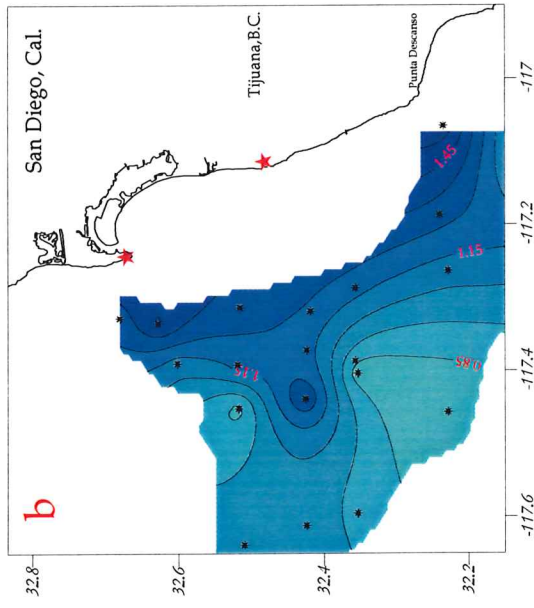
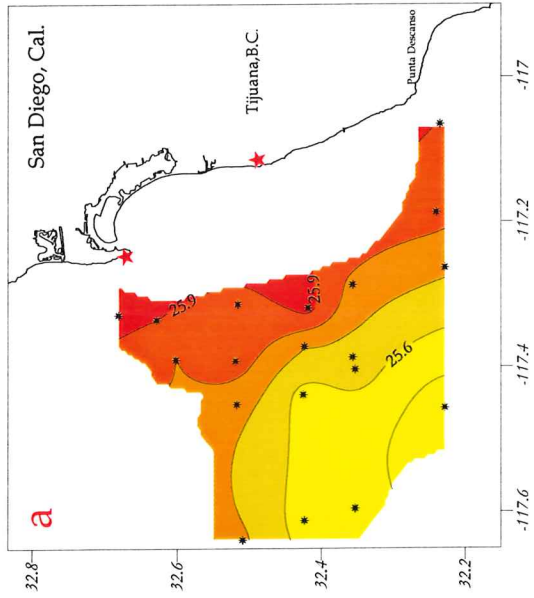


Fig.7.- Isolíneas a 75 m de profundidad en el área de estudio, donde a) Densidad, b) Fosfatos y c) Clorofila "a" . ★ Principales puntos de descarga.

---

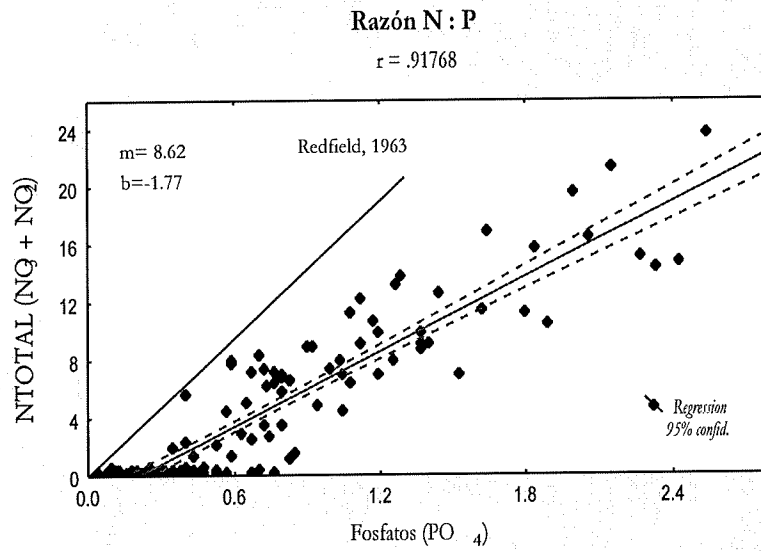
Referente a la **clorofila "a"** se puede observar que el gradiente de concentraciones, presentó valores relativamente bajos con respecto a los encontrados en agua de menor profundidad. El gradiente de concentraciones ( $0.02$  a  $1.56 \text{ mg m}^{-3}$ ) es de menor a mayor del borde de la plataforma hacia mar adentro. Presentando la mínima concentración la estación 16 y la máxima la estación 17. La única isolínea definida en el área de estudio es la de  $0.25 \text{ mg m}^{-3}$  (fig. 7c).

### *RAZÓN N:P*

Debido a que este sistema costero se encuentra bajo la influencia del fenómeno de surgencia, es posible encontrar razones similares o cercanas a la razón N:P de 15:1, como evidencia del agua sub-superficial que emerge. Para evitar los posibles valores de traslape entre la zona costera y oceánica se dividió el área de estudio en zona costera y oceánica. El criterio empleado para realizar dicha división fué el borde de la plataforma continental (Vallega, 1992).

Un análisis previo de los datos mostró la necesidad de realizar un análisis de residuos para eliminar valores extremos. Este análisis mostró que no existían diferencias entre la razón costera y la razón oceánica, por lo que se decidió obtener la razón N:P con todos los datos, después de haber sido filtrados.

La razón N:P en la zona de estudio fue de  $8.62 \pm 3.71$  (fig. 8) mostrando una correlación de 0.917.



**Fig 8.- Razón N:P en el área de estudio.**

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En la fig. 9 se muestra el resultado del análisis de correlación entre las variables salinidad y nutrientes el cual explica con un 95 % de confianza, la existencia de dos cuerpos de aguas con características diferentes. El primer grupo comprende agua de salinidad menores a 34.0 el cual se encuentra asociado a concentraciones de fosfatos y nitratos bajos de  $1.6 \mu\text{M}$  ( $r= 0.63$ ) y de  $16 \mu\text{M}$  ( $r=0.61$ ) respectivamente. En este primer grupo, se encuentran estaciones tanto costeras como oceánicas, lo que sugiere un proceso de mezcla. El segundo grupo se caracteriza por salinidades por arriba de 34.0 y concentraciones de fosfatos y nitratos mayores a  $2 \mu\text{M}$  y  $20 \mu\text{M}$  respectivamente. Dentro de este segundo grupo se encuentran las estaciones oceánicas con profundidades por debajo de los 100 m.

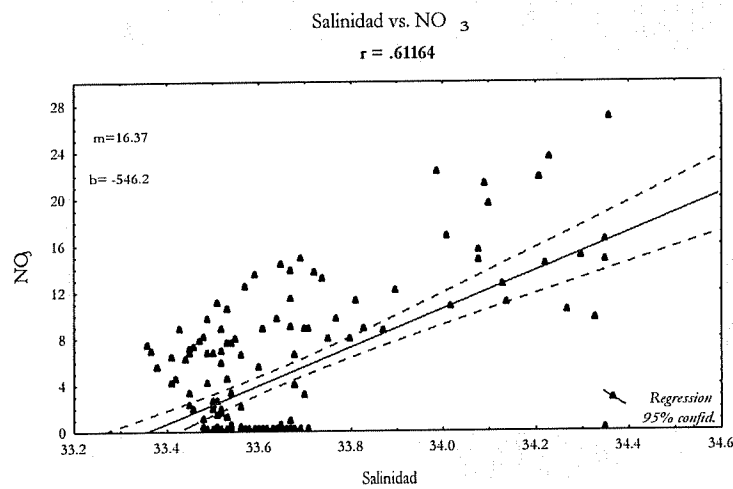
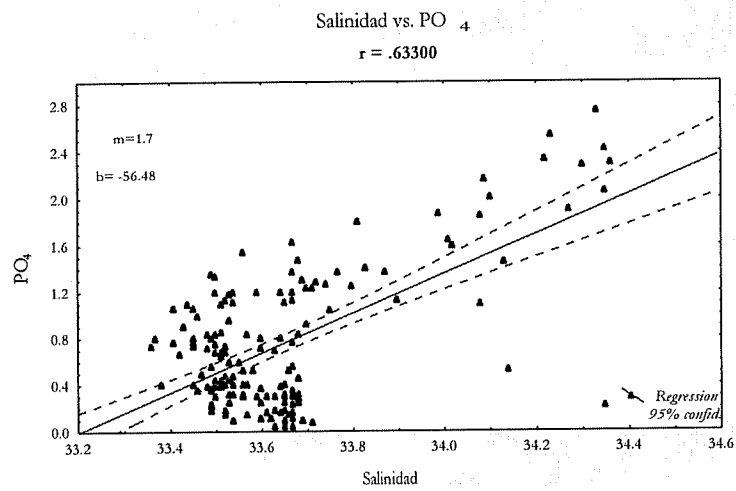
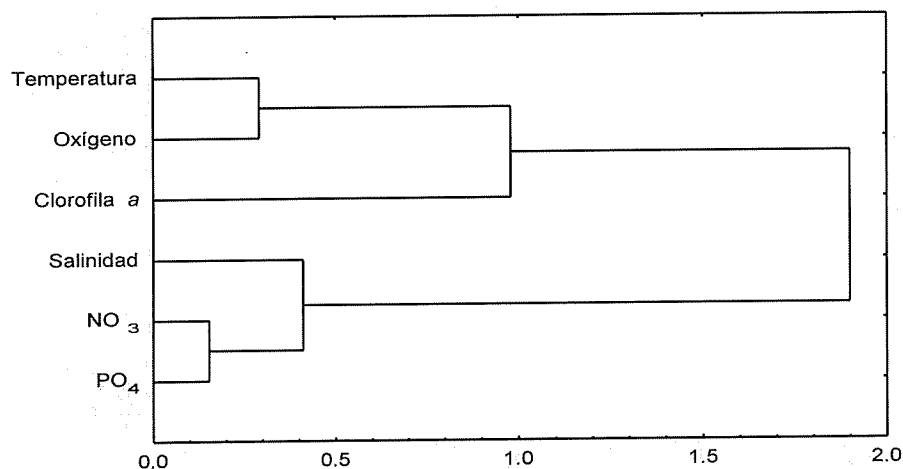


Fig. 9.- Correlación entre el fosfato ( $\text{PO}_4$ ) y nitrato ( $\text{NO}_3$ ) vs. Salinidad en el área de estudio

El análisis de agrupamiento para el fosfato (fig 10) con las variables conservativas (temperatura, salinidad y densidad) y no conservativas (oxígeno, clorofila "a", nitratos "NO<sub>3</sub>"). En general se presentan dos grupos representativos: el primero donde el fosfato tiene covariación con NO<sub>3</sub> y salinidad. El segundo grupo, donde covarían el oxígeno y la temperatura con la clorofila "a". Dicho análisis estadístico, muestra un resultado consistente con el régimen anteriormente descrito en la hidrología



**Fig. 10.- Análisis de agrupamiento (1-Pearson r) del fosfato con las variables conservativas y no conservativas**

## DISCUSIONES

### SURGENCIA

La distribución tanto vertical como horizontal de las variables temperatura, densidad y fosfatos, muestran la elevación de las isolíneas provenientes de aguas sub-superficiales (por arriba de los 100 m de profundidad) hacia la costa, así como de aguas advectadas fuera de esta. Estas características sugieren la presencia del fenómeno de surgencia (Figs. 2 a la 7).

A este respecto, trabajos realizados en Punta Banda, por González-Morales y Gaxiola-Castro (1991) y por Gómez-Valdez (1983), definieron que a 100 m de profundidad y a 50 km de la costa las isoterms entre los 12 y 14 °C se comportan como una termoclina permanente, pero que al emerger hacia superficie se consideran como indicadoras de surgencia. Lo anterior coincide con los resultados presentados en este trabajo, ya que la isoterma de 13 °C se ubicó entre los 40 y 55 m de profundidad a una distancia de 60 km. mar adentro, mientras que en las estaciones ubicadas frente a Punta Descanso emergió hasta superficie (fig. 2a).

Los movimientos de las masas de agua hacia afuera de la costa son otra forma de evidenciar el evento de surgencia. Este desplazamiento es

---

causado principalmente por el transporte de Ekman, el cual es inducido por el esfuerzo del viento con dirección predominante hacia el Ecuador.

De acuerdo con Barton y Argote (1980), éste es el factor principal para que se desarrolle una surgencia en las Costas de Baja California. En este estudio se hace evidente en la distribución superficial de temperatura mostrada en la figura 3, donde se observa la formación de una lengüeta de agua fría (13 °C) frente a Punta Descanso. Lo anterior es producto del transporte de Ekman reafirmando con ello la presencia del fenómeno de surgencia en la zona sur del área de estudio.

Con respecto a la densidad, Gómez Valdez (1983) describe a la isopicna estacional de 25.0, como característica de eventos de surgencia, cuando ésta emerge por encima de la isopicna permanente (25.2 - 25.8) hasta la superficie. Tal fenómeno también fué descrito por Barton y Argote (1980) para las costas de Punta Colonet y por Cervantes-Duarte *et al* (1991) para las costas de San Hipólito en B.C.S. Para el presente estudio, la isopicna de 25.0 se evidenció claramente a los 30 m de profundidad (estac. 34 a la 16) y en la superficie en las estaciones ubicadas frente a Punta Descanso (fig. 5a, 6a y 7a), lo anterior, es consistente con lo reportado por los autores previamente citados.

Con relación a los fosfatos, Torres-Moye y Acosta-Ruiz (1986) utilizaron la isolínea de 0.75  $\mu\text{M}$  como indicadora de eventos de surgencia en Punta Colonet, B.C. Utilizando el mismo criterio, en este estudio se observa

---

que dicha isolínea se encuentra por debajo de los 75 m de profundidad tanto para la zona sur como para la norte (figs. 4a y 4b).

Sin embargo conforme la profundidad disminuye, esta isolínea se hace evidente hasta emerger en las estaciones 13 y 23, localizadas frente a Punta Descanso cerca de la costa. En particular, esta isolínea resalta con claridad en toda la zona de estudio a los 30 m de profundidad (fig. 4 y 6b). Sin embargo, a nivel superficial la distribución de fosfatos sólo muestra advección en la zona sur del área de estudio (fig. 4a y 5b). De acuerdo con Sverdrup *et al.* (1942), la surgencia es más intensas frente a puntas y cabos lo que coincide con la mayor evidencia del fenómeno en Punta Descanso.

La evidencia de surgencia en Punta Descanso por sobre toda el área de estudio puede ser explicada debido a un desfase en el tiempo de ocurrencia del fenómeno de surgencia. Badan-Dangon *et al* (1985), analizaron las características del esfuerzo atmosférico a lo largo del Golfo de California durante un evento de surgencia, estimando que éste sufre un cambio en dirección sureste en un área de 300 km. en un lapso de 5 a 10 días, lo cual provoca que el fenómeno de surgencia no sea simultáneo a lo largo de la costa este del Golfo de California. Dicho fenómeno puede estar ocurriendo para esta zona de estudio.

En general, el fenómeno de surgencia ha sido descrito por diversos autores como el movimiento ascendente de aguas sub-superficiales del océano, las cuales son transportadas hacia la superficie y advectadas lejos de

la región de transporte vertical por un flujo superficial horizontal hacia fuera de la costa (Smith, 1968, Barber y Smith, 1981, Jewell, 1994).

Para el Sistema de la Corriente de California, la surgencia se caracteriza por presentar aguas frías y con poco oxígeno mientras que los nutrientes y la salinidad se incrementan (Reid, 1963 en López-Castillo, 1994).

El análisis de las propiedades hidrográficas anteriormente descritas, demuestra la presencia de un evento de surgencia en la zona sur del área de estudio ya que las distribuciones verticales y horizontales de temperatura, densidad y fosfatos muestran que aguas sub-superficiales presentaron una advección vertical por lo menos desde los 100 m hasta profundidades menores. En esta zona se presenta un flujo superficial horizontal hacia fuera de la costa, durante el periodo de estudio.

## DISTRIBUCIÓN DE FOSFATO CON RESPECTO A LAS VARIABLES CONSERVATIVAS Y NO CONSERVATIVAS.

Las concentraciones promedio de fosfato para la zona costera fueron de  $0.63 \pm 0.35 \mu\text{M}$ , mientras que para la zona oceánica fueron de  $0.78 \pm 0.63 \mu\text{M}$ . Las máximas concentraciones fueron de 0.9 a  $2.7 \mu\text{M}$  y se localizaron por debajo de los 75 m de profundidad. Estos valores son similares a los reportados por Eppley *et al* (1986) para el Sistema de la Corriente de California en aguas ubicadas por arriba de los 100 m de profundidad ( $0.3$  a  $1.7 \mu\text{M}$ ). Así mismo, por los reportados en un estudio realizado por la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, 1980), para el mismo Sistema de la Corriente de California encontrando concentraciones de fosfatos durante eventos de surgencia entre los  $0.973$  a  $2.126 \mu\text{M}$  en los primeros 150 m de profundidad. De igual forma coinciden con los reportados por Torres-Moye y Acosta-Ruiz (1986) para Punta Colonet, B.C y por González-Morales y Gaxiola Castro (1991) para Punta Banda, B.C. Estas dos regiones se ubican más hacia el sur del presente estudio, formando parte del mismo Sistema de la Corriente de California.

Debido a que la surgencia se presentó con mayor intensidad en la zona costera sur del área de estudio con respecto a la del norte, es necesario analizar por separado al fosfato en función a las variables conservativas y no conservativas para cada una de las zonas y interpretar con mayor facilidad,

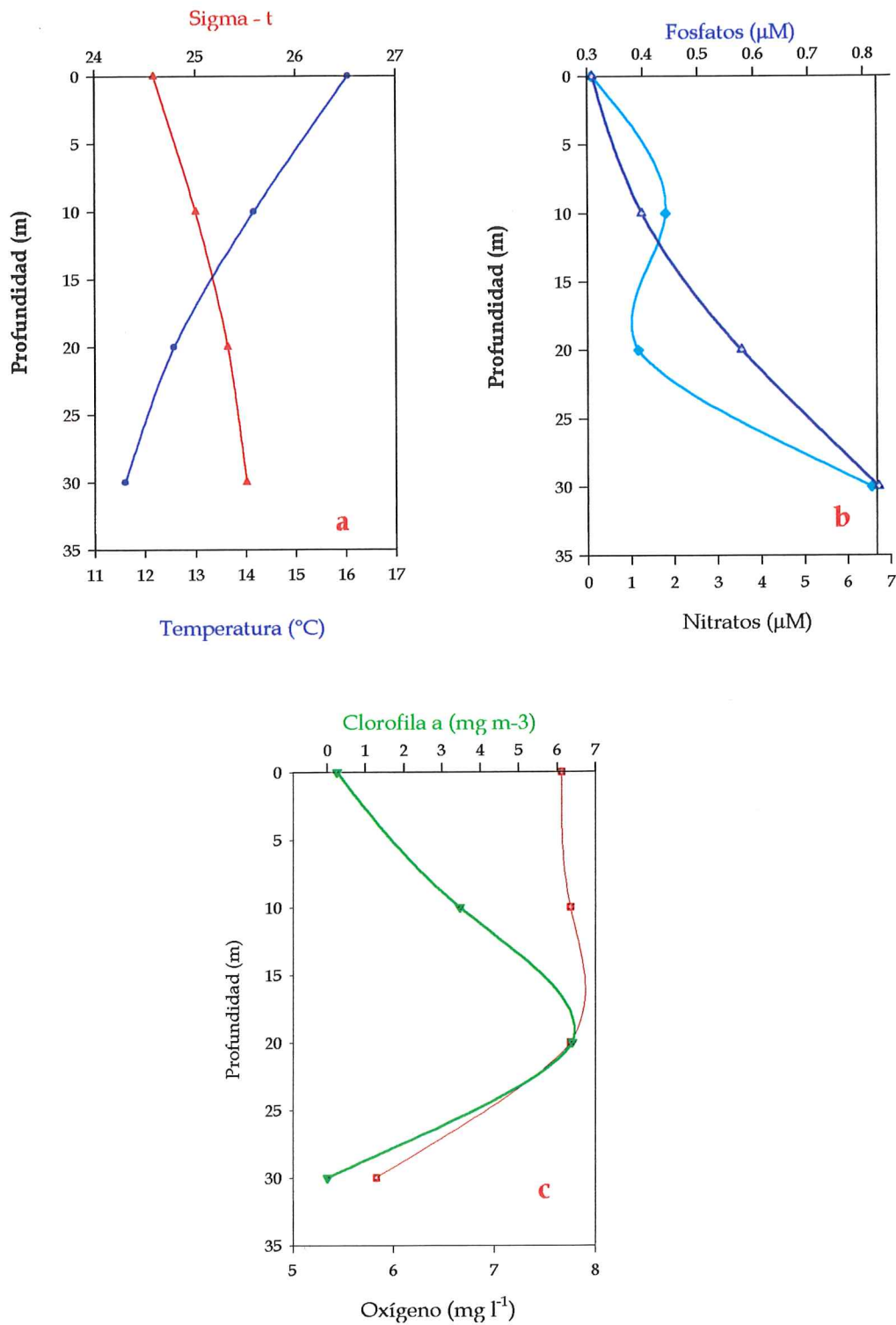
---

los posibles factores involucrados en su distribución. Por lo tanto se analizaron las estaciones 37 y 13 correspondientes a las zonas norte y sur respectivamente. De igual forma para diferenciar el régimen costero del oceánico se consideraron las estaciones 32 y 17 localizadas a 60 km. de la costa en sentido norte y sur, respectivamente (fig. 11, 12,13 y 14).

El análisis mostrado en los perfiles verticales del régimen costero (estaciones 37 y 13) y oceánico (estaciones 32 y 17), evidencia que los **factores** que influyen en la distribución del fosfato son de orden y magnitud distinta. Para fortalecer lo anterior, fué necesario utilizar un análisis estadístico de correlación y de agrupamiento (Cluster) entre las variables involucradas.

Para la zona costera Norte (estac. 37) y de acuerdo con la figura 11b la concentración de fosfatos sigue un perfil característico: se incrementa ligeramente hasta los 10 m de profundidad, en un rango de temperatura de 12 - 13 °C, mientras que la máxima biomasa fitoplanctónica se observa a los 20 m de profundidad (fig. 11c), lo cual coincide con un mínimo relativo de concentración de fosfatos. La concentración de fosfatos se incrementa hasta los 30 m de profundidad, coincidiendo este máximo, con valores bajos de clorofila "a" y oxígeno disuelto (fig 11c).

En esta zona el fenómeno de surgencia no es tan evidente. Sin embargo en la estación 38, superficie, se presentó un valor de concentración de clorofila "a" de 13.85 mg m<sup>-3</sup>.



**Fig. 11** Distribución vertical del fosfato comparado con las variables conservativas y no conservativas en la estación 37, zona norte del área de estudio.

---

Cardona-Canizales *et al.* (1990) reportaron para las costas de Baja California concentraciones mayores de clorofila "a" durante el periodo de relajamiento de la surgencia, encontrando valores máximos subsuperficiales de hasta  $20 \text{ mg m}^{-3}$ .

Barber y Ryther (1969) argumentan que dicho desfasamiento entre la máxima intensidad de un afloramiento y la respuesta del fitoplancton, se debe a la necesidad de que ocurra un proceso de quelación para que el fitoplancton disponga de los nutrientes necesarios para desarrollarse adecuadamente. Segovia Zavala *et al.*, (1998) reportan para esta región, una fuerte asociación del metal cadmio con alta biomasa fitoplanctónica, explicando la quelación del metal para que se manifieste el afloramiento de fitopláncton.

Otro factor causal de este afloramiento puede deberse al tiempo de respuesta del campo hidrográfico al efecto del viento. Datos de viento promedio durante dos días previos al muestreo (21-22 de Junio) en una estación fija a 25 km. de la costa mar adentro (línea fronteriza México-EUA) fueron de  $5.5 \text{ m s}^{-1}$  (Segovia-Zavala, 1994). Amador Buenrostro (1976, 1978) y García Córdova (1983) reportaron para Punta Banda y Punta Colonet, respectivamente que el tiempo de respuesta para vientos de  $3 \text{ m s}^{-1}$  es de uno a dos días en estas zonas.

Así mismo Dormar y Plamer (1981) reportaron que durante el verano las surgencias costeras entre la Jolla y Balboa, California fueron provocadas

---

por el forzamiento de vientos locales de 2.8 - 3.87 m s<sup>-1</sup>. Lo antes expuesto nos sugiere que en la parte norte el evento de surgencia posiblemente ya había sucedido y cuando se realizó el muestreo la columna de agua ya estaba restablecida.

Para reforzar lo anterior, se realizó un análisis de agrupamiento (Anexo A y B) en el que no se considera al transecto correspondiente a Punta Descanso (estaciones 12 a 17), debido a que en este punto el fenómeno de surgencia fué mucho más intenso y evidente. En este análisis se muestra la covariación que existe entre los nutrientes, con la biomasa fitoplanctónica para superficie y 10 m de profundidad. Lo anterior nos sugiere un consumo del fosfato y del nitrato realizado por la biomasa fitoplanctónica, lo que puede explicar en parte la quelación del metal para que se manifieste el afloramiento del fitopláncton. Esta covariación de nutrientes con biomasa fitoplanctónica, se asocia posteriormente con el oxígeno. El análisis anterior sugiere el proceso de producción en la columna de agua.

Sin embargo, Canino-Herrera (1999) reportó valores altos de clorofila "a" de hasta 50mg m<sup>-3</sup> a dos km. de distancia de la costa y a 10 m de profundidad frente a la planta de tratamiento de San Antonio de los Buenos. Este valor alto en la concentración de clorofila "a", se encuentra asociado a valores bajos de salinidad (33.4) y a altas concentraciones de nitratos y oxígeno. Este autor sugiere que el comportamiento antes descrito es una consecuencia de las descargas de aguas residuales de dicha planta, pero que

---

también existe una influencia de un punto más hacia el norte del área de estudio.

Bajo el contexto anteriormente descrito, se puede sugerir que el valor máximo de clorofila "a" encontrado en la estación 38 en superficie de 13.85 mg m<sup>-3</sup> posiblemente corresponde al límite de influencia de las descargas de aguas residuales. Debido al diseño en el muestreo con respecto a las estaciones cercanas a la costa realizado en este trabajo, la afirmación anterior es difícil de comprobar, no obstante debido a que estos valores altos de concentración de clorofila "a" persisten aún después de nueve años, el efecto de las descargas podría estar presente en estas estaciones.

Un análisis con los datos obtenidos de clorofila "a" en este estudio, en el cual sólo se consideran valores por arriba de 2 mg m<sup>-3</sup> con respecto a la salinidad (fig 12), permite observar que los valores extremos de clorofila "a" localizados en las estaciones 24 y 38 están asociados a valores de salinidad de 33.51. La estación 38 se encuentra próxima a la desembocadura del Estuario Río Tijuana, lo que podría explicar este valor de salinidad. Para esta estación en particular se observa un gradiente con respecto a la profundidad, encontrando una concentración de 13.85 mg m<sup>-3</sup> en superficie y a 10 m de profundidad de 6.85 mg m<sup>-3</sup>, lo cual sugiere que estos valores de salinidad y clorofila "a", pueden deberse al efecto antropogénico.

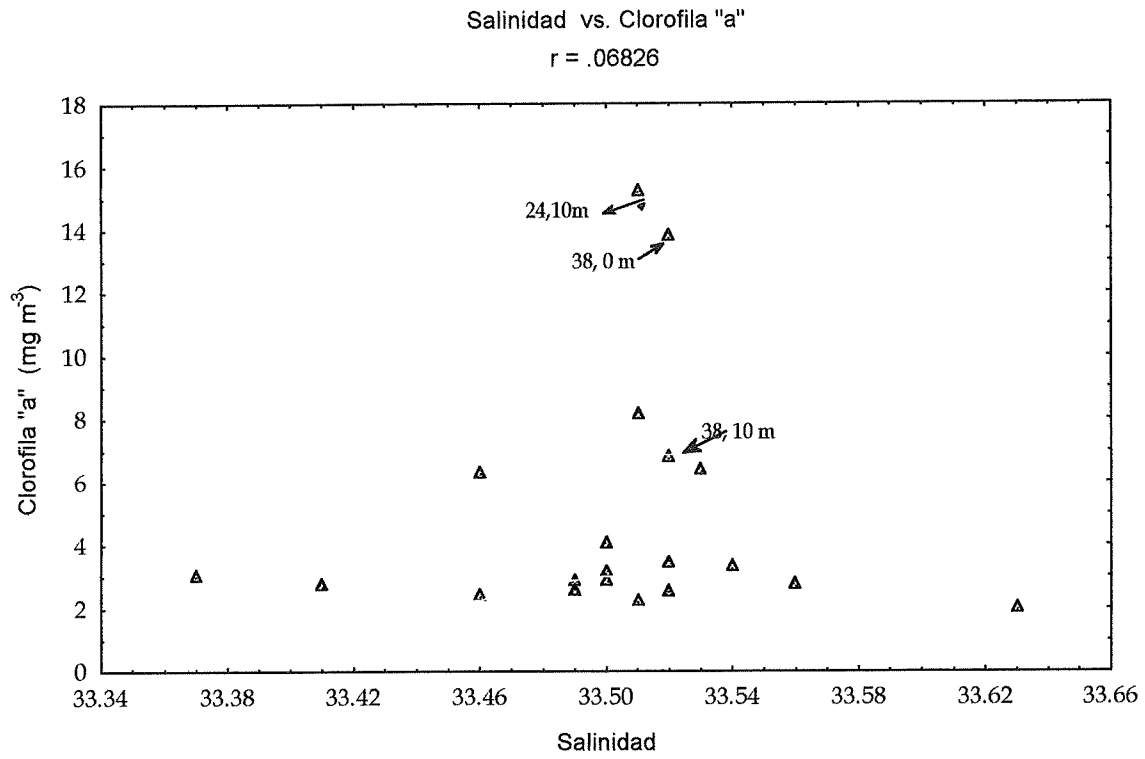


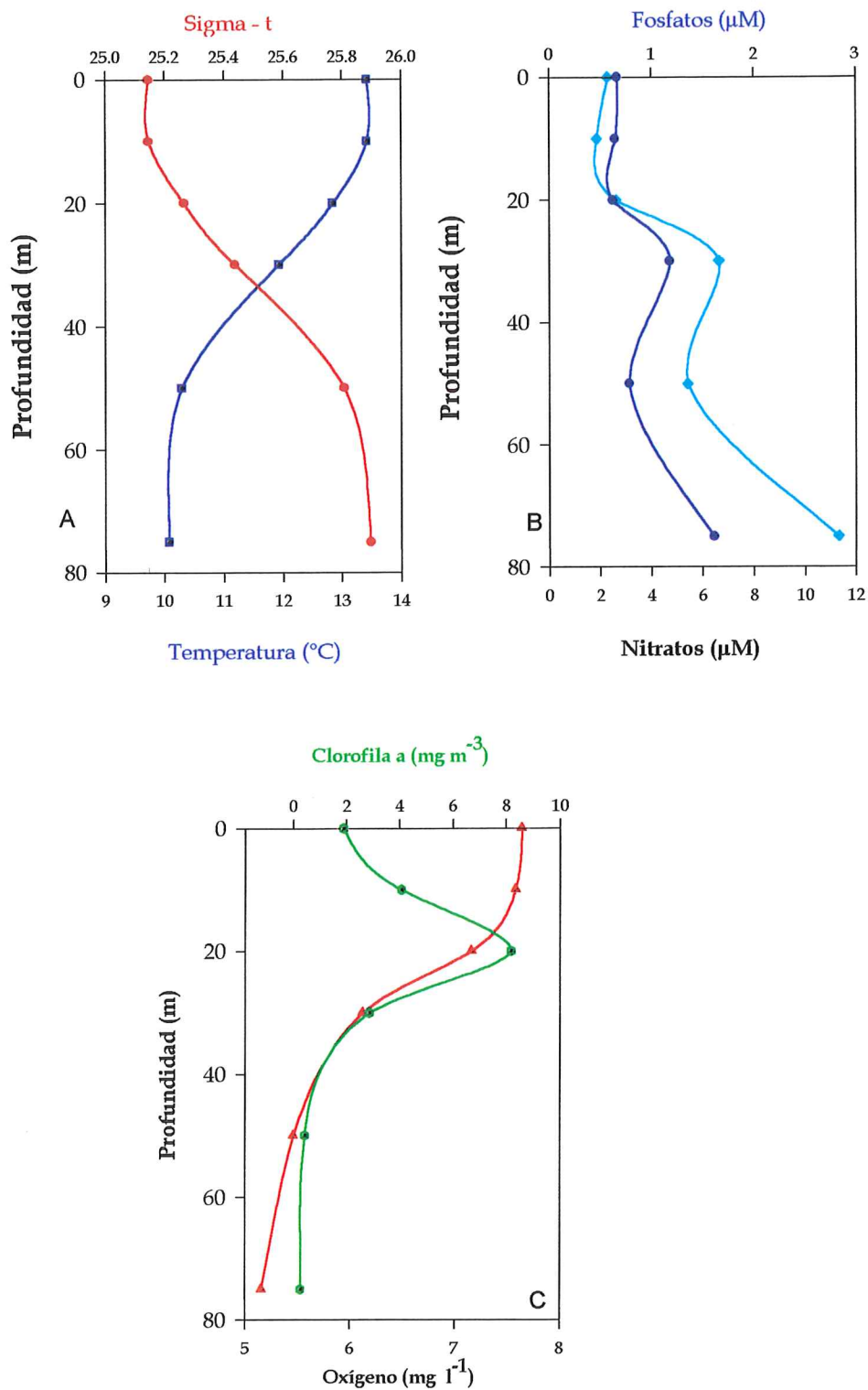
Fig 12.- Correlación entre la salinidad y clorofila "a" a concentraciones mayores de  $2 \text{ mg m}^{-3}$ .

---

Canino-Herrera (2001, com. pers.) ha demostrado que por efecto de las corrientes, la pluma de la descarga de Punta Loma, se desplaza hacia el sur por debajo de la termoclina, en forma paralela a la costa. Lo anterior podría sugerir que los valores altos de clorofila "a" son producto del efecto de los aportes de aguas residuales. La estación 24 se encuentra ubicada hacia la parte sur del área de estudio, por lo que estos valores de clorofila "a" y salinidad podría ser efecto de esta descarga.

Por lo anterior se sugiere que durante el periodo de muestreo en la zona norte del área de estudio existió un proceso de fertilización y que los factores que afectan la distribución del fosfato son principalmente de orden biológico, esto es, consumo de nutrientes por medio de la fotosíntesis del fitoplancton, así como respiración bacteriana. No existen elementos para poder separar el efecto de la descarga del efecto de la surgencia y posible pos-surgencia.

Para la zona Sur (estac. 13), la figura 13 permite observar los diferentes factores que influyen en la distribución del fosfato en la columna de agua: inicialmente se evidencia un factor de mezcla entre los 0 y 10 m de profundidad definidos por la densidad y la temperatura (fig. 13a). Los fosfatos son asimilados por el fitopláncton hasta los 20 m de profundidad (fig. 13b) ya que coinciden con un máximo relativo de clorofila "a" (8.22 mg m<sup>-3</sup>) y mínimos de concentración de fosfatos (0.63 μM) y nitratos (2.64 μM) (fig 13b y c).



**Fig13.- Distribución vertical del fosfato comparado con las variables conservativas y no conservativas en la estación 13, zona sur del area de estudio.**

---

Sin embargo, contrario a la zona norte, en la zona sur la concentración de ambos nutrientes vuelve a incrementarse con la profundidad, esto puede explicarse por la entrada de agua subsuperficial rica en nutrientes, de baja temperatura y alta densidad. Lo anterior se observa en las figuras 2 y 5b y se confirman con un análisis de correlación entre las variables temperatura y nutrientes (Anexos C y D). El análisis explica con un 95% de confianza, la correlación entre aguas frías con un aporte de nutrientes ( $r = -0.80$ , para temperatura vs.  $\text{NO}_3$  y  $r = -0.76$  para temperatura vs.  $\text{PO}_4$ ).

Por debajo de los 50 m de profundidad, la concentración de ambos nutrientes tiende a incrementarse nuevamente. Lo anterior sugiere un proceso de remineralización del material orgánico identificado por las relativas bajas concentraciones de oxígeno disuelto ( $5.16 \text{ mg l}^{-1}$ ) presentes en la columna de agua (fig. 13c). En el medio ambiente marino, el fitoplancton, durante el proceso de fotosíntesis, produce gran parte del material orgánico particulado presente en la columna de agua a partir de compuestos inorgánicos, como son el nitrato y el fosfato. Cuando la materia orgánica es asimilada y posteriormente excretada por organismos superiores, conforman al detritus, luego la materia orgánica, sufre una **remineralización** en presencia de oxígeno por organismos heterotróficos. Cuando se ha llevado a cabo la oxidación completa de este material orgánico, las concentraciones de nitratos y fosfatos tienden a incrementarse con una consecuente disminución del oxígeno presente en la columna de agua (Libes, 1992).

---

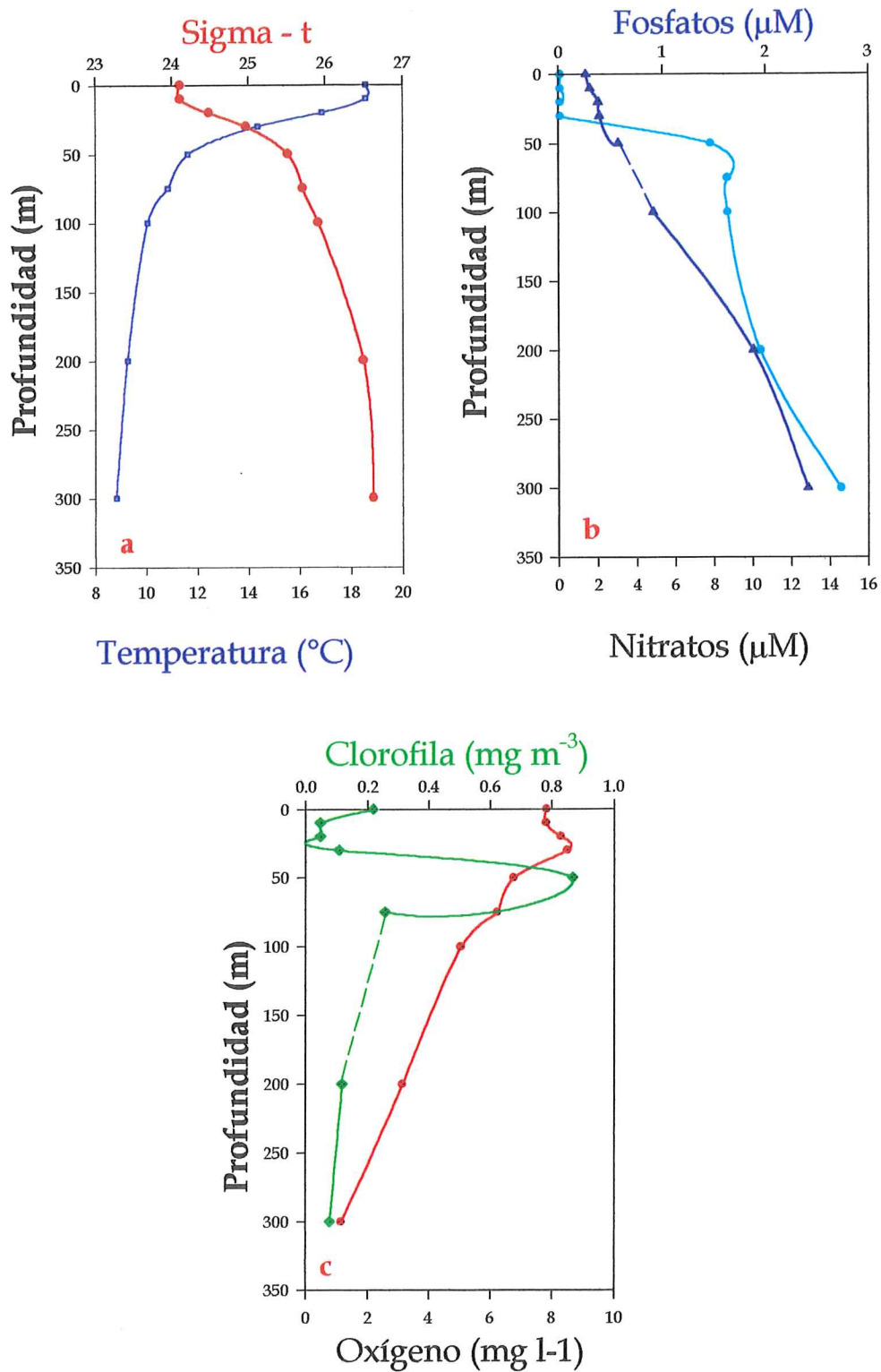
Las características hidrológicas descritas para la zona sur y norte son distintas, por lo que hablando en un contexto global del área existe un "enmascaramiento" producto al parecer, de los tiempos de ocurrencia del fenómeno de surgencia y efectos costeros de las descargas. El fenómeno de surgencia es un evento de corta duración (semanas a días). Se ha reportado que el fenómeno no es simultáneo para un área hasta de 300 km., ocurre y se propaga a lo largo de la costa con tiempos de secuencia diferentes, debido a cambios en la dirección del viento que las causa (Badan-Dangon et al., 1985).

En la zona norte el análisis sugiere que la fertilización ya había ocurrido cuando se realizó el muestreo. La evidencia más clara es las altas concentraciones de clorofila "a" reportadas en esta zona debido a que el fitoplancton se encontraba en una fase de adaptación al medio para asimilar eficientemente los nutrientes presentes en la columna de agua. Mientras que cuando el muestreo se realizó en la zona sur el fenómeno de surgencia se encontraba en su etapa más evidente frente a Punta Descanso. De acuerdo con lo anterior, el comportamiento del fosfato con respecto a las variables conservativas y no conservativas nos permite sugerir que la distribución de dicho nutriente se encuentra asociado principalmente a procesos de carácter biológico en la zona norte, mientras que en la zona sur esta asociado a un proceso de carácter físico.

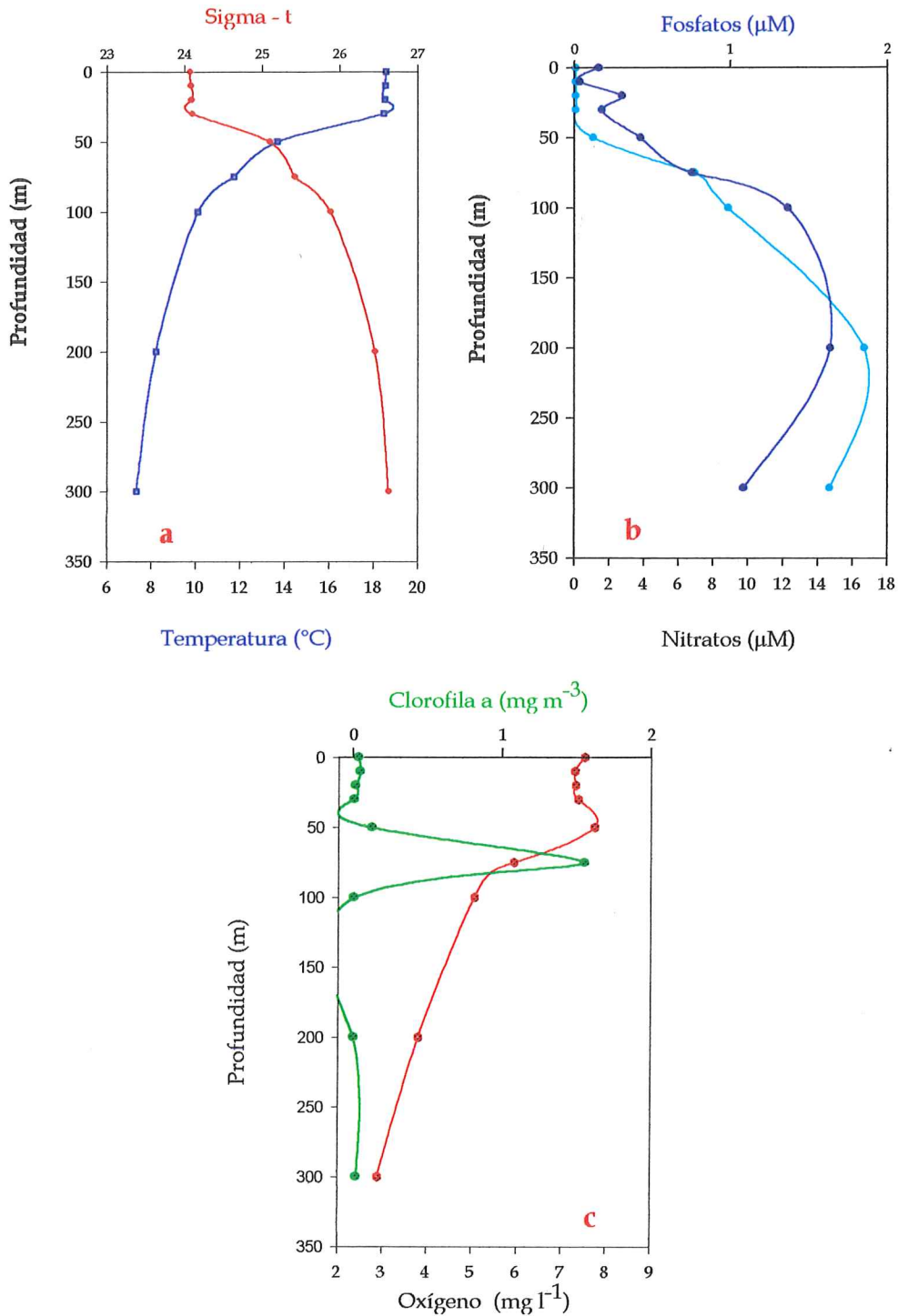
---

En cuanto a los factores que influyen en la distribución de fosfatos para la zona oceánica, las figuras 14 y 15 muestran que no existe gran diferencia entre la zona norte y la zona sur. La concentración superficial de fosfatos en la zona oceánica depende del intercambio que existe con aguas profundas, siendo alta en lugares donde ocurre el fenómeno de surgencia (Riley y Chester, 1989). Para este trabajo, las concentraciones superficiales y hasta los 100 m de profundidad, no excedieron de  $1\mu\text{M}$ , incrementándose después de esta profundidad como resultado de la oxidación del detritus. El oxígeno y la clorofila "a", siguen un mismo patrón en ambas zona, observándose la máxima concentración de clorofila "a" entre los 50 y 75 de profundidad (fig 14c y 15c).

En general no se observan diferencias entre los valores de concentración de fosfatos para la zona costera y la oceánica, ya que ambos coinciden con los reportados por diversos autores para el Sistema de la Corriente de California. Lo anterior puede ser explicado por la presencia de aguas sub-superficiales oceánicas en la costa, las cuales están siendo afectadas por diferentes procesos costeros.



**Fig 14.- Distribución vertical del fosfato comparado con las variables conservativas y no conservativas en la estación 32, zona norte del área de estudio.**



**Fig 15.- Distribución vertical del fosfato comparado con las variables conservativas y no conservativas en la estación 17, zona sur del área de estudio.**

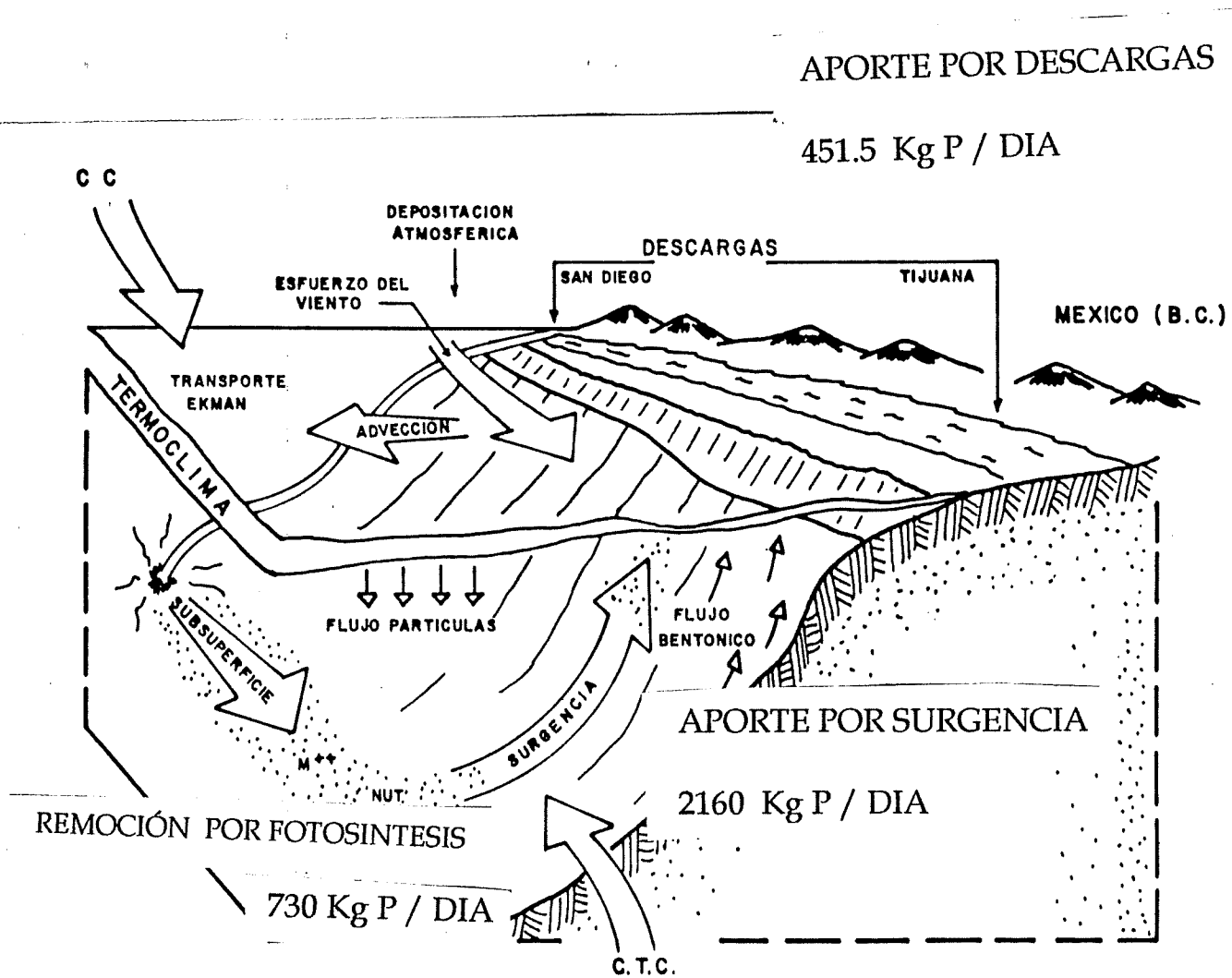
---

Para poder cuantificar los factores físicos y biológicos en el área, se estimó la contribución relativa de las principales entradas y salidas de fosfato en este sistema. Para ello se utilizó el modelo empleado por Segovia-Zavala (1994) para el cadmio.

Este análisis considera un prisma triangular con dimensiones de 32 km. de largo por 15 km. de ancho por 60 m de profundidad. Este comprende desde Punta Loma hasta Punta Descanso y desde la costa hasta el borde de la plataforma continental. Únicamente se estimaron los aportes por surgencia (natural) y por descargas de aguas residuales (antropogénicas), mientras que la única salida que se consideró fue la remoción biológica. Este análisis está esquematizado en la fig. 16.

Se calcula que la surgencia aporta 2160 kg P/d (83.86 %) y que las descargas contribuyen con una cantidad menor de 451.5 kg P/d (16.13 %), mientras que el consumo de fósforo por fotosíntesis considerado es de 730 kg P/d, mismo que representa el 28% de lo que entra al sistema. Las descargas de aguas residuales aportan el 62% de lo que es consumido por el fitopláncton durante la fotosíntesis (los cálculos se muestran en el Anexo F).

Hemingway (1979) utilizando un análisis de factores, reportó una descripción del ecosistema de la Corriente de California mostrando que la varianza del ecosistema se puede explicar por el surgimiento de nutrientes (36.0 %), por el factor mezcla (18.0 %) y por la producción primaria (7.3 %). Segovia-Zavala (1994), reportó para este mismo periodo de estudio que el



**Fig. 16- Contribución relativa de las entradas y salidas en el área de estudio**

.....

régimen oceanográfico localizado en la frontera México-EUA se encuentra asociado a tres factores: 1) régimen de surgencia de alto contenido de nutrientes, bajo oxígeno y temperatura; 2) mezcla costera, identificada por bajas temperaturas y salinidad y altas concentraciones de clorofila "a" y 3) aportes de fosfatos. Lo anterior está de acuerdo con los resultados previamente descritos, lo que sugiere que el fosfato podría estar influenciado por alguno de los factores anteriormente mencionados.

En resumen, desde la perspectiva cuantitativa y cualitativa el principal factor que influye en la distribución del fosfato en la zona sur del área de estudio es de carácter físico, considerado al fenómeno de surgencia como la principal fuente de introducción. Lo anterior se establece por las características hidrológicas descritas, así como por la presencia en superficie, de la isolínea de 0.75 mM de fosfatos, además de la isopicna de 25, las cuales son características de dicho fenómeno, frente a Punta Descanso. Mientras que en la región norte, los factores biológicos son los principales responsables de la distribución de dicho nutriente, evidenciándose por las relativas altas concentraciones de clorofila "a" y que coinciden con bajas concentraciones de nutrientes, lo que sugiere un consumo de estos por parte del fitoplancton.

## RAZON N:P

La razón N:P permite entender los ciclos biogeoquímicos de los nutrientes (Redfield *et al.*, 1963, Takahashi *et al.*, 1985, Fanning, 1992) debido a que estos limitan la producción primaria en los océanos. En este estudio, se intentó utilizar a la razón N:P, como un criterio de identificación de zonas de influencia por descargas de aguas negras. La hipótesis que se planteó en este trabajo, fué de que las aguas costeras próximas a los puntos de descargas de aguas negras, verían afectada la razón natural de N:P (15:1), consecuencia de la relativa abundancia del fosfato sobre el nitrato, obteniendo entonces, una baja razón de N:P (<10:1).

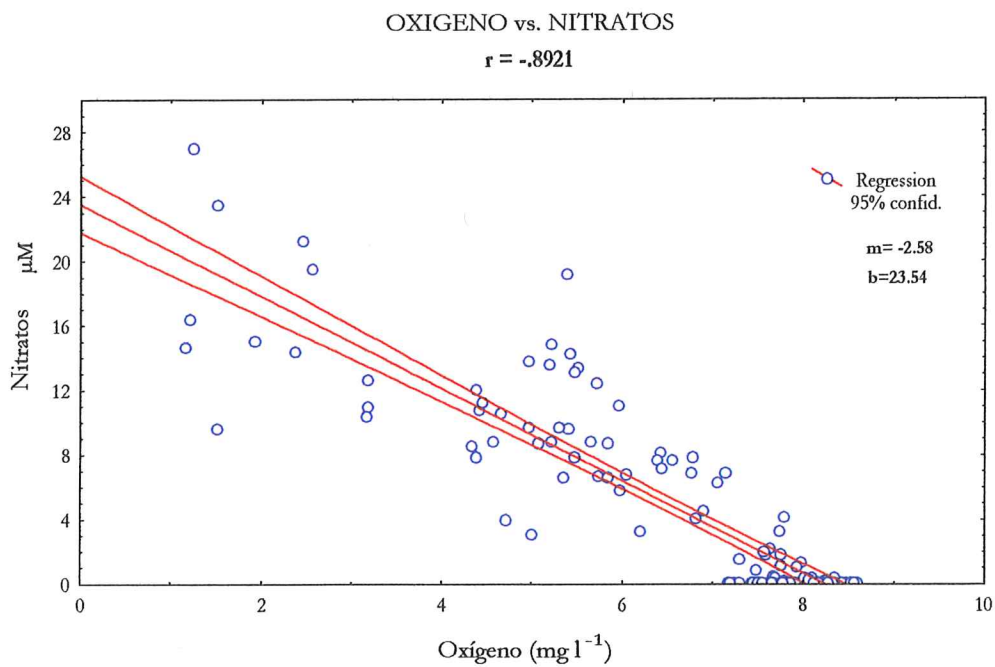
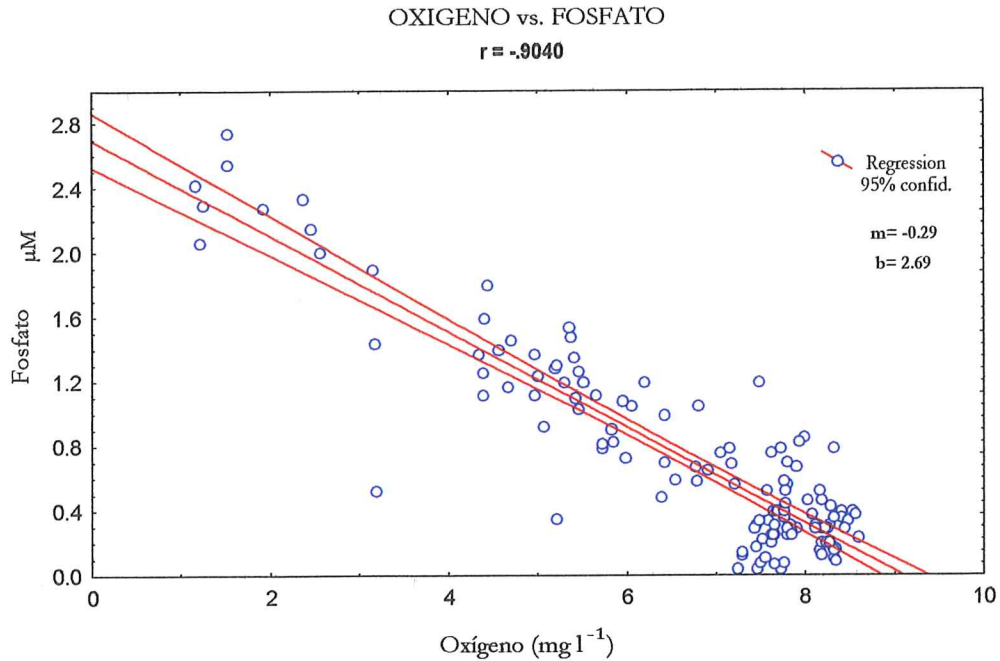
En la figura 8 se puede observar que la razón N:P se encuentran por debajo del valor 10:1, lo que podría sugerir que sí existe una influencia de las descargas de aguas negras. Sin embargo, esta situación no es consecuencia del exceso de fosfato presente en las descargas, ya que en ninguno de los gráficos realizados para los diferentes niveles de profundidad, se observa la presencia de una pluma que denote un excesivo aporte de este nutriente proveniente de los puntos de descarga en Punta Loma y en San Antonio de los Buenos.

Eppley *et al* (1972) analizaron las concentraciones de nutrientes en un área perteneciente al Sistema de la Corriente de California, próxima a las descargas de aguas residuales de las ciudades de San Diego y Los Angeles.

Estos autores observaron poca diferencia entre las muestras colectadas directamente en las descargas con respecto a las colectadas cerca de los puntos de descarga, lo cual sugiere una rápida difusión y/o dilución de dichos nutrientes pero también, a una rápida asimilación por parte del fitopláncton. Dicho fenómeno puede estar ocurriendo durante esta investigación ya que en la zona costera, las concentraciones de  $\text{NO}_3$  y  $\text{PO}_4$  de las estaciones que se ubican cercanas a las descargas de aguas negras, presentan valores que no permiten distinguir en la razón N:P, algún efecto por parte de las descargas.

Analizando a la salinidad con respecto a la razón N:P, se observa que para valores por debajo de 33.5, son identificables estaciones oceánicas (16, 30, 31) las cuales no presentan influencia antropogénica. Por lo anterior, la razón N:P para este trabajo no puede considerarse como trazadora de la fertilización inducida.

En la zona costera norte existió una fertilización, el fitoplancton se encontraba asimilando a los nutrientes en aguas superficiales; lo que explica las concentraciones de fosfatos encontradas en esta región. Lo anterior se puede justificar por la relación inversa que existe entre el  $\text{NO}_3$  y el  $\text{PO}_4$  vs. oxígeno disuelto; esto nos sugiere que existe una captación o consumo de nutrientes y una producción de oxígeno mediante el proceso de la fotosíntesis (fig. 17a y b).



**Fig. 17. Relación entre el nitrato (NO<sub>3</sub>) y fosfato (PO<sub>4</sub>) vs. Oxígeno Disuelto sin las estaciones frente a Punta Descanso.**

Segovia-Zavala *et al* (1995) evaluaron la distribución de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y bacterias coliformes totales (BCT) en la franja costera entre la Frontera México-EUA y la parte norte de Rosarito, Baja California en invierno y verano. Se observaron a nivel superficial, una dispersión lateral y perpendicular a la costa y con dirección predominante hacia el sur-sureste. Así mismo utilizando la concentración de bacterias y la velocidad de la corriente costera, observaron la proyección de una pluma orgánico-bacteriológica de 5 a 5.5 km. de la costa y de aproximadamente ocho km. en forma paralela a la línea de costa.

En la figura 1, se observa la ubicación del punto de descarga correspondiente a Punta Bandera, el cual se ubica entre las estaciones 38 y 25, que se ubican a 8.14 y 4.58 km. de la línea de costa respectivamente y a una distancia entre ellas de 6.5 km., por lo que una influencia de la descarga, estaría en el límite o fuera del alcance de las estaciones muestreadas en el presente estudio. Álvarez-Sánchez, *et al* (1990) analizaron frente a las costas de Tijuana corrientes superficiales por periodos de medición de por lo menos 10 días, encontrando corrientes costeras de rapidez variable y con un flujo en dirección paralela a la costa, pero con inversiones en sentido con duración de varios días.

Sin embargo Dorantes-Parral (1998), quien utilizó la razón NOD/POD para diferenciar la influencia de aguas residuales entre la zona fronteriza Tijuana- San Diego hasta Punta Banda, B.C., observó que en la región cercana

a Tijuana, la influencia del nitrógeno es mayor que la de fósforo (NOD/POD=50.87), mientras que para la región de Punta Bandera y Rosarito, es mayor la influencia del fósforo que la del nitrógeno (NOD/POD<7). Sin embargo la distancia en la cual se realizó el muestreo (aproximadamente a 3 km. de la línea de costa) no permite evidenciar una influencia por parte de las descargas. Segovia-Zavala et al (1995) establecen que las descargas de aguas negras en la zona costera de Tijuana, son diluidas a pocos kilómetros de la costa y que su efecto no es mayor a los 3.5 y 4.0 km. en forma perpendicular a la descarga. Es posible que lo anterior este ocurriendo en el área de estudio, por lo que no es posible evidenciar la influencia de las descargas de aguas negras. Segovia Zavala *et al* (1998) reportan que no existe un gradiente de concentración de cadmio producto de las descargas de aguas negras de San Diego, Cal., y Tijuana, B.C., lo cual reitera un efecto local de las descargas.

Los valores de N:P obtenidos en este trabajo, son menores al propuesto por Redfield *et al* (1963), sin embargo concuerdan con la obtenida por Fanning (1992), para la región oceánica del Pacífico Norte (< 14) quien reporta razones N:P en aguas superficiales entre los 0 - 3 y en aguas profundas (>2000 m) de 13.5 - 14.5. Este autor explica que las razones bajas de N:P encontradas pueden deberse a la presencia dominante del grupo de diatomeas así como al proceso de denitrificación, ambos, ocurren durante el fenómeno de surgencia (Libes, 1992).

Arrigo et al (1999) citado por Torres-Valdés (2000) señala que en cuerpos costeros donde predominan el grupo de las **diatomeas**, se encuentran razones N:P de  $9.6 \pm 0.3$ . Lo anterior es debido a que cada especie fitoplanctónica tiene diferentes requerimientos de nutrientes, es por ello que existe poca uniformidad en la distribución de las distintas especies a lo largo de la zona eufótica. Durante los eventos de surgencia, el primer grupo en florecer es el de las diatomeas, disminuyendo con ello la concentración del nitrógeno en la zona eufótica, produciendo razones bajas de N:P. Aunado a esto y debido a que los productos metabólicos generados por el zooplancton, son lentamente regenerados, el nivel de dicho nutriente permanece bajo a lo largo del verano. No obstante, existen florecimientos sólo que en menor grado de dinoflagelados y crisoficeas, ya que dichos organismos captan nitrógeno y fósforo de forma auxotrófica por lo que son capaces de soportar bajas concentraciones de ambos nutrientes (Riley y Chester, 1989).

La interpretación ecológica del fitoplancton con respecto a los nutrientes suele ser demasiado compleja. Davis y Sleep, (1989) citados por Giffard, (1997) demostraron que la tasa de asimilación de fósforo es independiente del nitrógeno, pero que cuando se encuentra en combinación con el amonio o nitrato (como es el caso de una descarga de aguas negras o de un evento de surgencia) resulta un incremento en la fotosíntesis.

Lo anterior puede estar sucediendo en la zona norte, dando como consecuencia relativas bajas razones N:P consideradas como naturales de la

zona producto de los diversos factores físicos y biológicos que afectan el aporte y consumo de dicho nutriente. Es muy posible que la relación si se vea afectada en áreas próximas a las descargas, pero el diseño de estaciones del presente estudio no permite distinguirlo.

---

## *CONCLUSIONES*

- Las variables temperatura, densidad y fosfatos, revelan una surgencia costera con advección vertical subsuperficial y transporte hacia fuera de la costa en Punta Descanso, zona sur del área de estudio.
- En contraste en la parte norte, se presenta un florecimiento el cual se manifiesta en altos valores de biomasa fitoplanctónica y concentraciones bajas de fosfatos.
- La concentración de fosfatos medidos, son característicos de la Corriente de California correspondiente a aguas subsuperficiales advectadas por arriba de los 100 m de profundidad.
- El análisis hidrográfico y estadístico, sugiere que la distribución del fosfato está asociada a procesos físicos y biológicos.
- Se estimó que la surgencia aporta 2160 kg P/día (83.86%) del fosfato que entra al sistema, mientras que las descargas de aguas residuales aportan 451.5 kg P/día (16.13%). De igual forma, se estimó que la remoción de fosfato por efecto de la fotosíntesis es de 730kg P/día (28%) de lo que es introducido al sistema.

- 
- La utilización de la razón N:P durante el periodo de estudio no evidenció de zonas que se encuentra bajo la influencia de descargas de aguas residuales.
  - No fue posible identificar en las estaciones cercanas a los puntos de descarga, los factores que influyen en la distribución y transporte del fósforo

- 
- Álvarez-Sánchez, L.G., Godínez, V.M. y Lavín, M.F. (1990) Dispersión en la franja costera de Tijuana Baja California. *Ciencias Marinas*, 16(4): 87-109
  - Amador-Buenrostros, A. (1976) Características de las áreas de surgencia en las aguas adyacentes a la bahía de Todos Santos. Tesis profesional. Escuela Superior de Ciencias Marinas, UABC, 54 pp
  - Amador Buenrostro, A.(1978) Análisis de vientos, corrientes y nivel de mar en una zona de surgencia cerca de Punta Colonet. Tesis de Maestría. CICESE. Ensenada, B.C. México pp32
  - Badan-Dangon, A Koblinsky, C.J. y Baumgartner, T. (1985) Spring and summer in the Gulf of California: observations of surface thermal patterns. *Oceanologica Acta* 8, 13-22.
  - Bakun, A. y C.S. Nelson (1977) Climatology of upwelling related proceses of Baja California, *CalCOFI Rep.*, XIX:107-127.
  - Barber, R.T. y J. H. Ryther (1969) Organic chelators: factors affecting primary production in the Cromwell Current upwelling. *J. Exp. Mar Biol. Ecol.*, 3:191-199.
  - Barber, R. T. y R. L. Smith (1981) Coastal upwelling ecosystems: In: A. Longhurst (ed). *Análisis of Marine Ecosystems*. Academic Press. New York. pp 31-68.

- 
- Barton, E.D. y M.L. Argote (1980) Hydrographic variability in an upwelling area off Northern Baja California in June 1976. *J. Marine Res.*, 38 (4):631-649.
  - Boyton W. R., Kemp W.H y Keefe C.V. (1982) A comparative Analysis of Nutrients and other factors influencing. Estuarine phytoplankton production. En: *Estuarine Comparasions*. U.S. Kennedy, Ed. Academic Press, New York. pp 69-90.
  - Canino-Herrera, S.R. (1995) Clorofila "a" y nutrientes en la zona costera de la Ensenada del Sur de California y su relación con las condiciones fisicoquímicas durante el verano de 1990. Tesis de Maestría UABC FCM Ensenada, B.C. pp 84
  - Canino-Herrera, S.R. (1999) Reporte técnico. Programa de Medio ambiente (PMA) 95-2000 SEMARNAP. Sin publicar.
  - Canino-Herrera, S.R. (2001) Comunicación personal. Académico de la Facultad de Ciencias Marinas, UABC. Tel. 174-45-70 Ext. 112.
  - Cardona-Canizalez, C., Millán-Nuñez, R., Lara-Lara, J.R. y Valdez-Holguín, J.E. (1990) Variabilidad espacio temporal de la Clorofila a en una zona de surgencia frente a Baja California. *Ciencias Marinas* 16(2):31-46.
  - Cervantes-Duarte, R., S. Aguñiga-Garía y S. Hernández-Trujillo. (1992) Condiciones de surgencia asociadas a la distribución de zooplancton en San Hipólito B.C.S. *Ciencias Marinas*, 19(1):117-135.

- 
- Cushing, D.H. (1971) Upwelling and the production of fish. *Adv. Mar. Biol.*, Vol 9: 255-334.
  - Del Valle Villorín, F.D (1984) Efectos de la contaminación orgánica en la concentración de nutrientes en la zona costera de la Bahía Todos Santos, Baja California. Tesis de Licenciatura. Escuela Superior de Ciencias Marinas, U.A.B.C. pp56.
  - Dorantes-Parral, L.A.(1998). Distribución de nitrógeno y fósforo orgánico disuelto en la Ensenada del Sur de California, usados como indicadores de contaminación. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. U. A.B. C. pp 58
  - Dormarn E. C y D.P. Palmer (1981) Southern California summer coastal upwelling. In. P.H. Richards (ed), *Coastal Upwelling*, Am. Geoph. Union, Wash., D.C., 49-55
  - Ehrlich, P.R. y H. Ehrlich (1991) *Healing the Planet. Strategies for resolving the enviromental crisis*. Addison Wesley Publishing Co. Inc. pp 36.
  - Engineering Science, (1988) Tijuana Ocean engineering study. Executive summary. June 1988 pp100.
  - Eppley, R.W, A.F. Carlucci, O. Holm-Hansen, D. Kiefer, J. J. McCarthy and P. M. Williams (1972) Evidence for eutrophication in the sea near Souther California Coastal sewage outfall - July; 1970 *Calif. Mar Res. Comm.*, CalCOFI Rept., 16:74-83

- 
- Eppley, R.W. (1986) Plankton dynamics of the Southern California Bight. R.W. Eppley (Ed). Springer-Verlag, Germany. pp 373
  - Faganeli, J. (1982) Nutrient dynamics of the Souther California Bight. R.W. Eppley (Ed). Springer-Verlag, Germany. pp 37.
  - Fanning, K.A. (1992) Nutrient provinces in the Sea: Conentración ratios, reaction rate ratios, and ideal covariation. J. Geophys. Res., 97:5693-5712
  - Flores-Baez, B. (2001) Comunicación personal Investigador del Instituto de Investigaciones Oceanológicas , Ensenada. B.C. Tel.- 174-46-01 ext 129.
  - Garcia-Cordova, J. (1983) Variaciones hidrográficas y eventos de surgencia frente a Punta Colonet, B.C. en julio de 1980. UABC escuela de Ciencias Marinas Tesis profesional. 119pp
  - Gómez-Valdez, J. (1983) Estructura hidrográfica promedio frente a Baja California. Ciencias Marinas 9(2):75-86
  - González-Morales y G. Gaxiola-Castro.(1991) Variación día a día de características fisicoquímicas, biomasa y productividad primaria del fitoplancton en una zona de surgencia costera de Baja California. Ciencias Marinas 17(3):21-37.
  - Giffard-Mena, I. (1997) Variación del fitoplancton con relacion a las aguas residuales en la Bahía de Todos santos, B. C. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. U. A. B. C. pp 53

- 
- Gutiérrez-Galindo, E.A., Flores-Muñoz, G. Ortega-Lara, V., Villaescusa-Celaya, J.A. (1994) Metales pesados en sedimentos de la costa fronteriza de Baja California (México) - California (EUA). *Ciencias Marinas* 20 (1):105-124.
  - Haury, L. y E. Shulenberg (1982) Horizontal transport of phosphorus in the California Current. *CalCOFI. Rep. Vol. XXIII*
  - Hemingway, G. (1979) A description of the California current ecosystem by factor análisis. *CALCOFI Rep. Vol. XX:164-177.*
  - Hubbs, C.L. (1960) Data reports, surface water at shore station U.S, Scripps Inst. of Oceanogr. Pp 69-74.
  - Jackson, G.A.(1986) Physical Oceanography of the Southern California Bight. In: *Plankton Dynamics of the Southern California Bight*. R.W. Eppley (Ed) Springer Verlag, Germany, p373.
  - Jewell, P.W. (1994). Mass balance models of Ekman transport and nutrient fluxes in coastal upwelling zones. *Global Biogeochemical Cycles*, Vol.. 8, No. 22 pp165-177.
  - Jones, J.H. (1971). General circulation and water characteristics in the Southern California Bight. *Southern California Coastal Water Research Project (SCCWRP)*, p1-35.
  - Ketchum, B.H (1982) Man's impact on the coastal environment: nutrients in the marine environment. In: *Impact of man on the Coastal*

- 
- Environment. E.P.A. United States Environmental Protection Agency.  
Washington, D.C. pp 68-85
- Langworthy, A.C. (1992) point Loma Ocean Outfall Annual Monitoring Report. Water Utilities Department. San Diego. January December 5-2
  - Lewis M.R and T. Platt (1982) Scales of Variability in Estuarine Ecosystems. En: Estuarine Comparisons. U.S. Kennedy, Ed. Academic Press, New York. pp 3-20.
  - Libes, S.M. (1992) An Introduction to Marine Biogeochemistry. Jhon Wiley & Sons, Inc. pp 423
  - López-Castillo, G. (1994) Condiciones de surgencia costera y masas de agua al NW de Baja California, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. U.A.B.C.
  - National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (1980) A climatology and Oceanographic Análisis of the California Pacific Outer Continental Shelf Region. U.S. Department of Comerse National Tecnical Information Service.
  - Ortega-Lara, V. (1991). Metales traza en sedimentos superficiales marinos de la región Noroccidental fronteriza México-EUA. Tesis de Licenciatura F.C.M. U.A.B.C. Ensenada, B.C. pp75

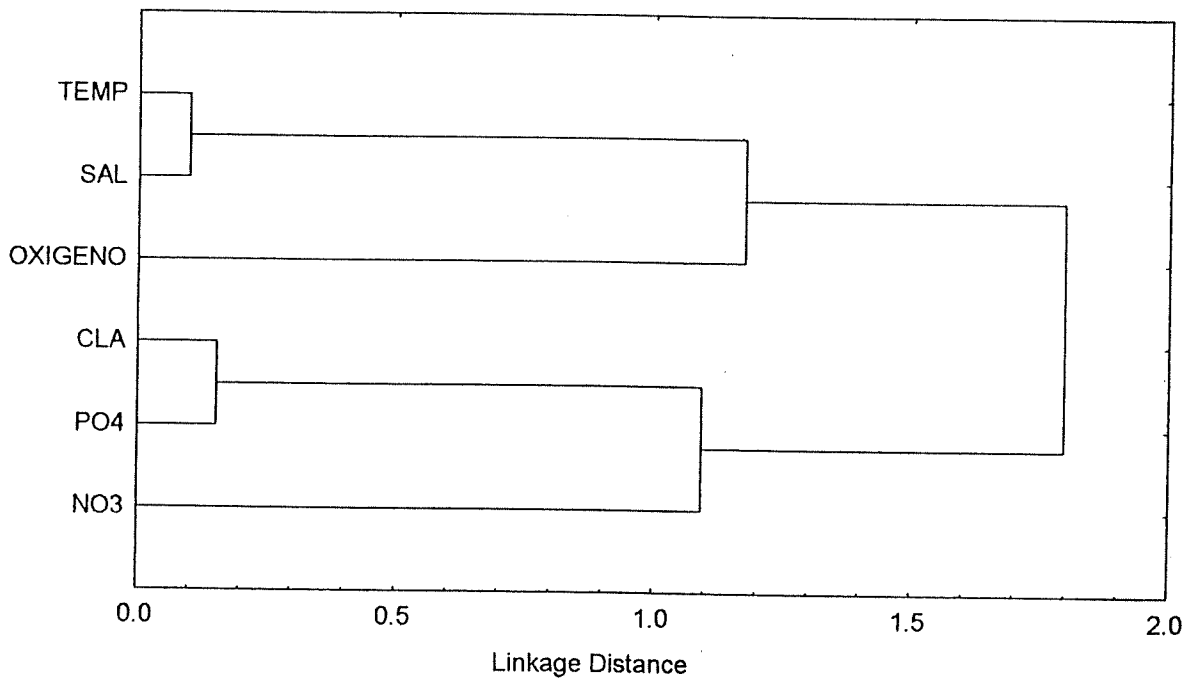
- 
- Pickard, G.L. and W.J. Emery (1990) Descriptive Physical Oceanography: an Introduction. 5<sup>a</sup>. Ed. Oxford: Butter worth Heinemann. pp320.
  - Quero-Santiago, R. (1992). Contaminación bacteriológica en la costa Noroccidental de la Frontera México-EUA. Tesis de Licenciatura F.C.M. U.A.B.C. Ensenada, B.C. pp 72
  - Redfield, A.C., B.C. Ketchum y F.A. Richards (1963) The influence of organisms on the composition of sea-water. In Hill M.N. (Ed) "The Sea" vol. 2 Interscience Publisher.
  - Riley, J.P y R. Chester. (1989) Introducción a la Química Marina. Academic Press London and New York. pp 459.
  - Rubin, S.I, T. Takahashi, D.W Chipman y J.G. Goddard (1998) Primary productiviti and nutrient utilization ratios in the Pacific sector of the Southern ocean based in seasonal changes in sweater chemistry Dep.- Sea Res. 45(I):1211-1234.
  - Ryther, J.H.(1969) Relationship of photosynthesis to fish production in the sea. Science, 166:72-76
  - Ryther, J.H.,y DunstanW.M. (1971). Nitrogen, phosphorus and eutrophication in the coastal marine environment. Science, 171:1008-1013.

- 
- Sañudo-Wilhelmy S.A y A. Rusell-Flegall (1991) Trace element distributions in procesos vs. Antropogenic inputs. *Mar. Chem.*, 33:371-392.
  - Schlesinger, W.H. (1991) *Biogeochemistry. An anlysis of global change.* Academic Press. pp 425
  - Schwing, F.B., Hayward, T.L., Sakuma, K.M., Murphree, T., Mascarenas Jr., A.S., Larios-Castillo, S.I., Mantyla, A.W., Cummings, S.L., Chávez, F.P., Baltz, K. Y Ainley, D.G. (1997). The state of California current, 1996-1997: mixed signals from the tropics. *CalCOFI Rep.*, Vol 38.
  - Segovia-Zavala (1994) Variación de cadmio en zona de surgencias de la costa noroccidental de Baja California. Tesis de Maestría CICESE Departamento de Ecología Marina. Pp49
  - Segovia-Zavala, J. A., Delgadillo-Hinojosa, F., Orozco-Borbón, M. V. Muñoz-Barbosa, A. y Canino-Herrera, S. R.(1995) Distribución de DBO y bacterias en la costa fronteriza México-EUA. *Ciencias Marinas*, 21(4):415-426.
  - Segovia-Zavala, J.A., Delgadillo-Hinijosa, F. y Alvarez-Borrego, S. (1998) Cadmium in the Coastal Upwelling Area Adjacent to the California-Mexico Border. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. Vol 46, 475-481.

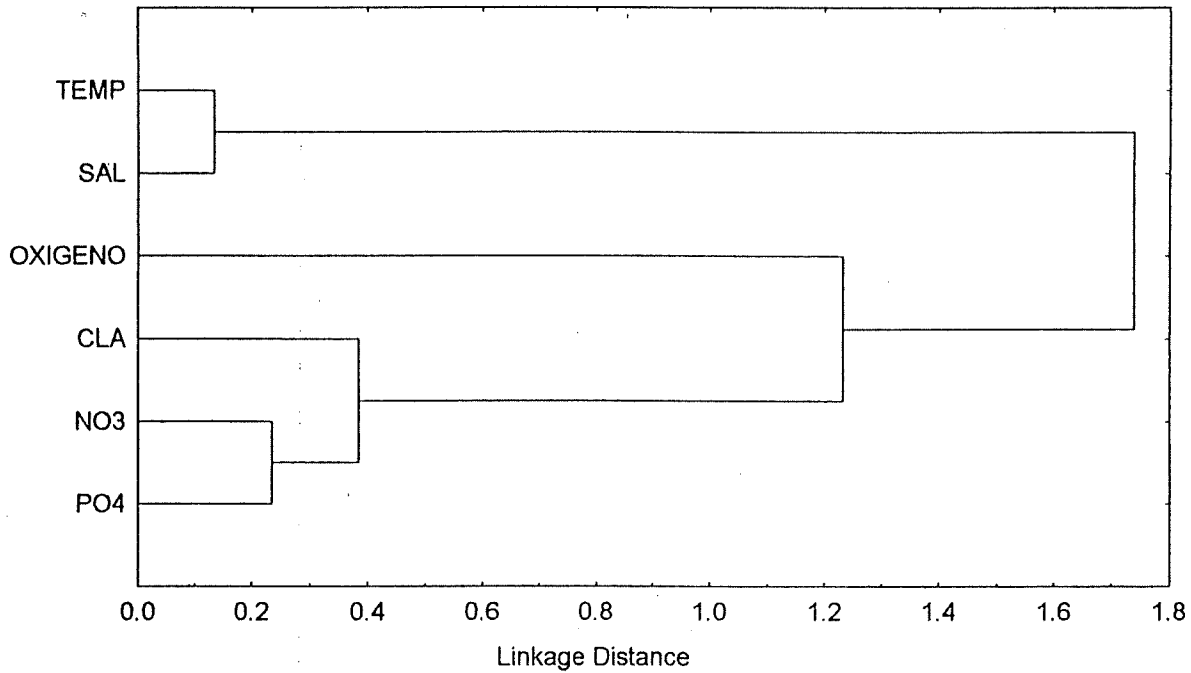
- 
- Shaeffer, H.A ( 1984) Characteristics of municipal wastewater. Coastal Water Research Project. Biennial Report 1983-1984 pp 11-20.
  - Sheppard, Charles R.C. ( 2000) Seas at the Millennium. An Enviromental Evaluation. Vol. 1. Pergamon Press. 1<sup>a</sup>. Ed.
  - Smith. R.L. (1968) Upwelling Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev. 6-1146.
  - Southern California Coastal Water Research Project (1989) Marine Outfalls: 1987 inputs from wastewater treatment plant power plant and industrial facilities. Southern California Water Research Project. Annu., Report. 1989 Long Beach California. pp30-37.
  - Strickland, J.D. and T.R. Parson (1972) A practical handbook for seawater analysis. Fisheries Research Board of Canada Bulletin., 2nd ed. pp 167.
  - Sverdrup, H.V. y Fleming, R.H. (1941). The waters off the coast of Southern California March to July 1937. Bulletin Scripps Institute. Oceanog., 4:261-378.
  - Sverdrup, H.V., M.W Johnson y Fleming, R.H. (1942).The Oceaan: theirphysiss, chemistry and general biology. Prentice Hall. Englewood Cliffs. N.J. pp 1087.
  - Takahashi T., W. Broecker and S. Langer (1995) redfield ratio based on chemical data from isopycnal surfaces. Journal of Geophysical research, 90, 6907-6924.

- 
- Torres-Moye, G. y M.J. Acosta-Ruiz (1986) Algunas propiedades químicas de eventos de surgencia costera y de la contracorriente subsuperficial en un área cercana a Punta Colonet, Baja California, México. *Ciencias Marinas* 12 (3):327-343.
  - Torres-Valdez, S. (2000) Distribución espacial y variabilidad temporal de nutrientes en el Golfo de California. Tesis de Maestría. *Oceanografía Costera. Facultad de Ciencias Marinas. U.A.B.C.* pp62
  - Vallega, A. (1992) *Sea Management . A Theoretical Approach.* Science Publishers LTD. London & N.Y. pp 259.

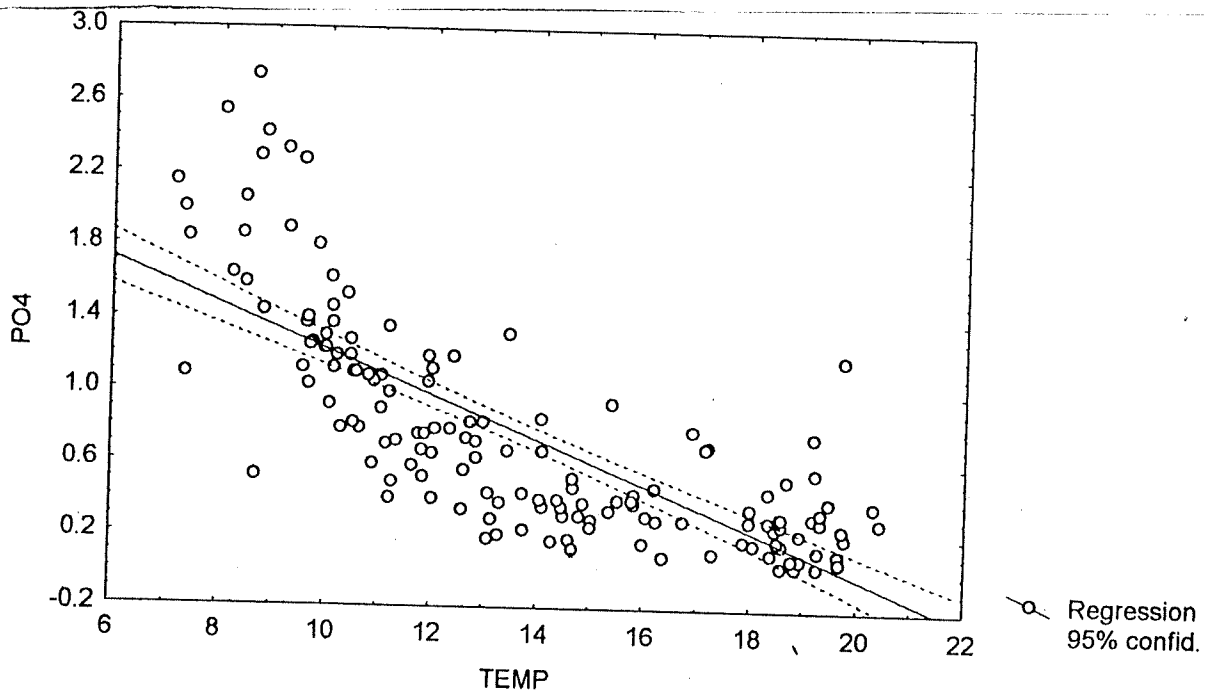
## A N E X O S



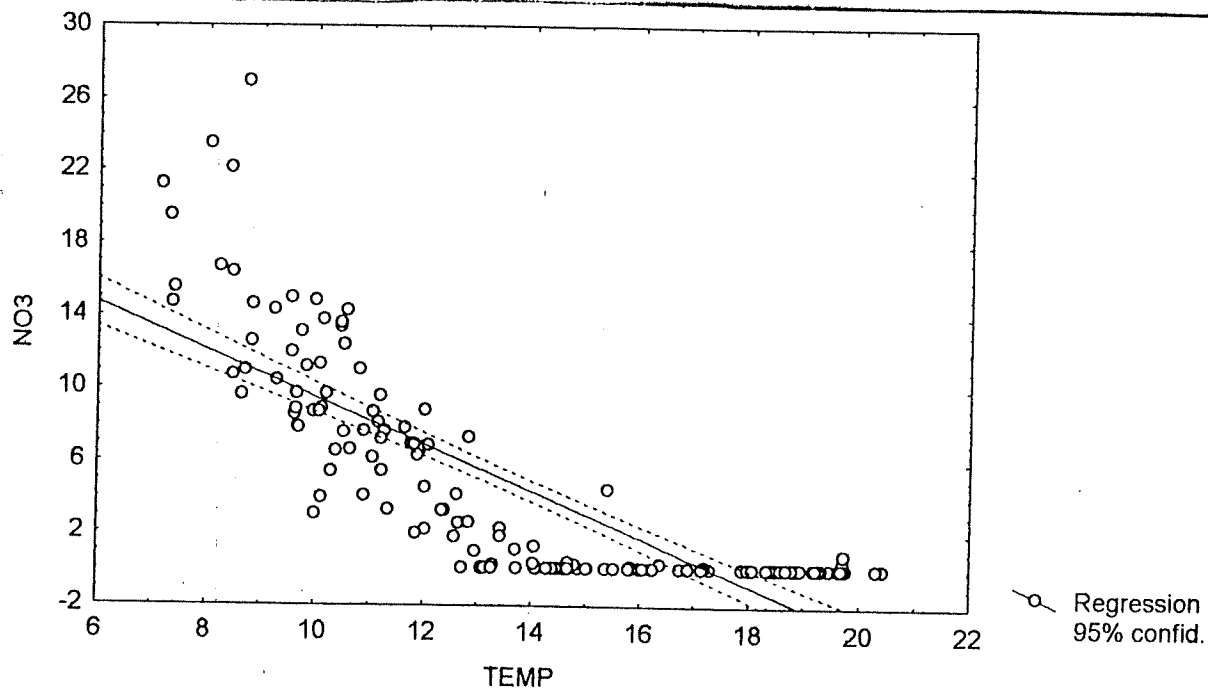
ANEXO A .- ANÁLISIS DE AGRUPAMIENTO PARA LAS VARIABLES  
CONSERVATIVAS Y NO CONSERVATIVAS SIN EL TRANSECTO DE  
PUNTA DESCANSO EN SUPERFICIE



ANEXO B.- ANÁLISIS DE AGRUPAMIENTO PARA LAS VARIABLES  
CONSERVATIVAS Y NO CONSERVATIVAS SIN EL TRANSECTO DE  
PUNTA DESCANSO A 10 M DE PROFUNDIDAD.



ANEXO C.- ANÁLISIS DE CORRELACION ENTRE EL FOSFATO vs  
TEMPERATURA EN EL AREA DE ESTUDIO



ANEXO D.- ANÁLISIS DE CORRELACION ENTRE EL NITRATO vs  
TEMPERATURA EN EL AREA DE ESTUDIO