

00528  
69



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUIMICA

EVALUACION DE NUTRIENTES DE ORTOFOSFATOS Y SILICATOS EN LA ZONA COSTERA ADYACENTES A LA DESEMBOCADURA DEL RIO BALSAS.

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo titulado:

NOMBRE: Ana María Muñoz Mata

FECHA: 11 Agosto / 2003

FIRMA: [Signature]

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**QUIMICA DE ALIMENTOS**  
**P R E S E N T A :**  
**ANA MARIA MUÑOZ MATA**



MEXICO, D.F.



EXÁMENES PROFESIONALES  
FAC. DE QUÍMICA

2003

A



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## JURADO DESIGNADO

Presidente: PEDRO VILLANUEVA GONZALEZ  
Vocal: FRANCISCA ITURBE CHINAS  
Secretario: MARIA TOMASA LETICIA ROSALES HOZ  
1er. Suplente: LUIS ANTONIO ORTIZ FRADE  
2º. Suplente: RUTH ESTHER VILLANUEVA ESTRADA

Realizado en el Laboratorio de Química Marina y Contaminación, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICM y L) y en El Buque Oceanográfico (B/O) "El Puma", UNAM.

**ASESOR:**

*Ma. T. Leticia Rosales H.*  
**Dra. Ma. Tomasa Leticia Rosales Hoz**

**SUPERVISOR TÉCNICO:**

*Susana Santiago Pérez*  
**Q.F.B. Susana Santiago Pérez**

**SUSTENTANTE:**

*Ana María Muñoz Mata*  
**Ana María Muñoz Mata**

*Es fácil pensar, difícil actuar,  
pero lo más difícil del mundo es  
convertir en acción nuestros pensamientos*

## AGRADECIMIENTOS

*Gracias Dios mío por haberme permitido llegar a cumplir este sueño y hoy por fin lo veo realizado.*

*A la Dra. Leticia Rosales Hoz, por tenerme toda la paciencia del mundo en la realización de este proyecto y por todos sus consejos.*

*A la Q.F.B. Susanita Santiago Pérez por apoyarme siempre, por resolver todas mis dudas y sobre todo por ser una gran persona y amiga.*

*Al Dr. Arturo Carranza Edwards y al M en C. Eduardo Morales de la Garza por su ayuda y apoyo, en la realización de los mapas para este trabajo.*

*Al Hidrobiólogo Fermín Sergio Castillo Sandoval por su apoyo y ayuda en el análisis de las muestras y por su amistad.*

*A mis profesores de la Facultad de Química y sobre todo a mis sinodales, la Maestra Francisca Iturbe Chinas y al Maestro Pedro Villanueva que me guiaron en mi vida académica, por su paciencia y comprensión.*

*A todas las personas que participaron en el Proyecto de la Campaña Oceanográfica Sedimentos III, así como a la tripulación del B/O "El Puma".*

*Gracias a todos mis amigos y amigas que me acompañaron en toda mi vida estudiantil y que siempre me animaron, para seguir adelante:*

*Irma, Estela, Hugo, Guadalupe L., J. Guadalupe D., Laura Angélica, Laura Martell, Raúl A., Toño, (mis compañeros y amigos de la secundaria).*

*Blanca, Claudia, Norma, Verónica, (mis eternas amigas de la prope).*

*Angélica, Andrea, Adriana, Clau, Corina, Gaby, Horacio, Miriam, Ricardo, (mis amigos de la Facultad de Química).*

*Hector, (un buen amigo y compañero), Ruth y Miguel, (amigos del I.C.M. y L).*

*Ya a toda mi familia que siempre me apoyo para seguir adelante y confiaron en mí.*

*Los amigos son ángeles que nos llevan en sus brazos  
cuando nuestras alas tienen problema para recordar como volar*



C

*Algunas personas se convierten en amigos y permanecen por un tiempo...  
dejando huellas hermosas en nuestros corazones...*

## DEDICATORIAS

*Gracias a mis padres, Guadalupe y Francisco,  
por el apoyo incondicional que siempre me han brindado,  
por su amor, cariño y comprensión.*

*Gracias a mis hermanos, Mónica, Luis y Ángel,  
por ser mis hermanos, por acompañarme en esta vida  
y que lleguen a lograr sus metas...*

*Este trabajo, está dedicado a mi abuelita  
Guadalupe Muñoz Moreno ♀, (que en paz descansa),  
que siempre quiso verme titulada y aunque ella no este presente físicamente,  
la tengo en mi mente y en mi corazón.*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

*La dicha de la vida consiste en tener siempre algo que hacer,  
alguien a quien amar y alguna cosa que esperar.*

*Ana María Muñoz Mata*

D

# ÍNDICE GENERAL

1.0	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1	Objetivos.....	6
1.1.1	Objetivo General.....	6
1.1.2	Objetivos Particulares.....	6
1.2	Hipótesis.....	6
2.0	<b>ANTECEDENTES</b> .....	7
2.1	Productividad Primaria.....	8
2.2	Fotosíntesis.....	10
2.3	Factores que afectan el crecimiento del fitoplancton.....	10
2.4	Microorganismos.....	13
2.5	Nutrientes.....	13
2.6	Fósforo.....	14
2.7	Sílice.....	18
2.8	Transporte de nutrientes.....	20
3.0	<b>ÁREA DE ESTUDIO</b> .....	
3.1	Descripción.....	22
3.2	Cuenca del Río Balsas.....	24
3.3	Biogeografía.....	26
3.4	Clima.....	27
3.5	Antecedentes industriales de la zona.....	27
4.0	<b>METODOLOGÍA</b> .....	
4.1	Selección del método analítico para la determinación de nutrientes en campo.....	29
4.2	Trabajo de campo.....	31
4.2.1	Diseño de la red de estaciones.....	31
4.2.2	Colecta de muestras en la zona.....	33
4.2.3	Determinación de ortofosfatos.....	35
4.2.4	Determinación de silicatos.....	37

4.2.5	Determinación de los otros parámetros.....	38
4.2.5.1	Oxígeno disuelto.....	38
4.2.5.2	Temperatura, salinidad, $\text{NO}_2^-$ y $\text{NH}_4^+$ .....	38
4.3	Trabajo de laboratorio.....	39
4.3.1	Determinación de nutrientes con el autoanalizador.....	39
4.3.2	Determinación de ortofosfatos.....	40
4.3.3	Determinación de silicatos.....	41
4.4	Tratamiento de datos.....	42
4.4.1	Análisis estadístico.....	42
5.0	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>44</b>
5.1	Evaluación del método analítico y efecto del tiempo de almacenamiento.....	44
5.2	Condiciones fisicoquímicas.....	46
5.3	Distribución espacial de nutrientes en superficie y fondo.....	52
5.3.1	Ortofosfatos.....	52
5.3.2	Silicatos.....	54
5.4	Distribución de nutrientes en la columna vertical de agua.....	56
5.4.1	Zona A	
5.4.1.1	Concentración de ortofosfatos.....	57
5.4.1.2	Concentración de silicatos.....	61
5.4.2	Zona B	
5.4.2.1	Concentración de ortofosfatos.....	64
5.4.2.2	Concentración de silicatos.....	66
5.4.3	Zona C	
5.4.3.1	Concentración de ortofosfatos.....	67
5.4.3.2	Concentración de silicatos.....	69
5.5	Correlación de nutrientes con otros parámetros.....	71
5.6	Impacto que tienen en el área de estudio.....	73
6.0	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>75</b>
7.0	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>79</b>
8.0	<b>ANEXOS.....</b>	<b>83</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura	Título	Página
No. 1	Distribución de la concentración de nutrientes ( $\mu\text{M}$ ), con respecto a la profundidad (m), en la columna de agua.....	4
No. 2	Ciclo Biogeoquímico del material orgánico particulado (POM), en la columna de agua.....	9
No. 3	Gráfica del comportamiento de la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) con respecto a la profundidad (m), en la columna de agua.....	12
No. 4	Ciclo del fósforo, distribución de fosfatos en sus diferentes formas en agua de mar.....	16
No. 5	Ubicación de la zona de estudio del proyecto SEDIMENTOS III, (abril 1999).....	23
No. 6	Distribución y ubicación de las 33 estaciones en el área de estudio del proyecto SEDIMENTOS III, (abril 1999).....	32
No. 7	Sonda C.T.D. acoplada a una Roseta, en la que se colocan las botellas Niskin, para la colecta de muestras, en el proyecto SEDIMENTOS III, (abril 1999).....	34
No. 8	Isolíneas de profundidad en metros en el área de estudio del proyecto SEDIMENTOS III, (abril 1999).....	48
No. 9	Isolíneas de la distribución espacial de salinidad en ups, en la superficie del área de estudio.....	49
No. 10	Isolíneas de la distribución espacial de salinidad en ups, en el fondo del área de estudio.....	49
No. 11	Isolíneas de la distribución espacial de temperatura en $^{\circ}\text{C}$ en la superficie del área de estudio.....	50
No. 12	Isolíneas de la distribución espacial de temperatura en $^{\circ}\text{C}$ en el fondo del área de estudio.....	50
No. 13	Isolíneas de la distribución espacial de oxígeno disuelto en mL/L, en la superficie del área de estudio.....	51



Figura	Título	Página
No. 14	Isolíneas de la distribución espacial de oxígeno disuelto en mL/L, en el fondo del área de estudio.....	51
No. 15	Isolíneas de la distribución espacial de concentración de ortofosfatos en $\mu\text{M}$ en la superficie del área de estudio.....	54
No. 16	Isolíneas de la distribución espacial de concentración de ortofosfatos en $\mu\text{M}$ en el fondo del área de estudio.....	54
No. 17	Isolíneas de la distribución espacial de concentración de silicatos en $\mu\text{M}$ en la superficie del área de estudio.....	55
No. 18	Isolíneas de la distribución espacial de concentración de silicatos en $\mu\text{M}$ en el fondo del área de estudio.....	55
No. 19	Distribución de las estaciones por zonas, de acuerdo a su profundidad en el área de estudio del proyecto, SEDIMENTOS III.....	56
No. 20	Concentración de ortofosfatos en la columna de agua, zona "A" (Estación 15).....	57
No. 21	Concentración de ortofosfatos en la columna de agua, zona "A" (Estación 5).....	58
No. 22	Concentración de ortofosfatos en la columna de agua, zona "A" (Estaciones 32 y 33).....	59
No. 23	Concentración de ortofosfatos en la columna de agua, zona "A" (Estación 14).....	60
No. 24	Concentración de silicatosatos en la columna de agua de la zona "A" (Estaciones 15 y 33).....	61
No. 25	Concentración de silicatosatos en la columna de agua de la zona "A" (Estaciones 14 y 23).....	62
No.26	Concentración de silicatosatos en la columna de agua de la zona "A" (Estación 32).....	63
No.27	Concentración de ortofosfatos en la columna de agua de la zona "B" (Estaciones 4 y 8).....	64

<b>Figura</b>	<b>Título</b>	<b>Página</b>
No.28	Concentración de ortofosfatos en la columna de agua de la zona "B" (Estaciones 13 y 22).....	65
No.29	Concentración de silicatosatos en la columna de agua de la zona "B" (Estaciones 13 y 26).....	66
No.30	Concentración de ortofosfatos en la columna de agua de la zona "C" (Estaciones 1, 20 y 29).....	68
No.31	Concentración de ortofosfatos en la columna de agua de la zona "C" (Estaciones 9, 11 y 28).....	69
No.32	Concentración de silicatosatos en la columna de agua de la zona "C" (Estaciones 1, 2 y 17).....	70

## **INDICE DE TABLAS**

<b>Tabla</b>	<b>Título</b>	<b>Página</b>
No. 1	Intervalos promedio de concentración de nutrientes en agua marina.....	14
No. 2	Tabla de resultados de concentración de nutrientes en el proyecto SEDIMENTOS III.....	91
No. 3	Resultados de la prueba t para ortofosfatos y silicatos.....	46
No. 4	Resultados del coeficiente de correlación del proyecto SEDIMENTOS III.....	72
No. 5	Concentración de nutrientes en la columna de agua de diversas áreas costeras.....	74

**PAGINACION**

**DISCONTINUA**

# INTRODUCCIÓN

## 1.0 INTRODUCCIÓN

El mar contiene casi todos los elementos químicos conocidos, en diversas formas y concentraciones variables. Entre todas las sustancias disueltas en el agua de mar, el cloruro de sodio es el más abundante por representar el 80 por ciento de las sales que componen esta agua. (Cifuentes y Lemus, 1997)

Además de estas sustancias cuya proporción en el agua de mar es constante, existen otras, cuyas cantidades varían de acuerdo con las estaciones del año, o con la actividad biológica.

Las sustancias disueltas que se encuentran en el mar se pueden dividir en cinco grupos:

1. Constituyentes mayores
2. Constituyentes menores
3. Nutrientes
4. Gases
5. Compuestos orgánicos

**CONSTITUYENTES MAYORES:** Son los que se encuentran en una concentración mayor de 1 ppm (partes por millón). Los iones más comunes en agua de mar son el sodio ( $\text{Na}^+$ ) y el cloruro ( $\text{Cl}^-$ ) seguidos por sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{+2}$ ), calcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ), potasio ( $\text{K}^+$ ), bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), etc.

**CONSTITUYENTES MENORES:** Son constituyentes inorgánicos que están presentes en muy bajas concentraciones, usualmente menores a 1 ppm, y pueden ser encontradas hasta en ppb, (partes por billón) e incluso ppt, (partes

## Introducción

por trillón). Estos constituyentes están involucrados en muchas reacciones químicas y biológicas, lo cual causa que su concentración varíe significativamente de zona a zona.

**NUTRIENTES:** Son componentes esenciales para el crecimiento de organismos. El más importante de ellos es el fósforo (P) y no en menor importancia lo son, el nitrógeno ( $N_2$ ), el silíce (Si), que es importante para el plancton silíceo y finalmente el hierro ( $Fe^{+2}$ ), que juega una parte muy importante en las plantas y en la actividad bacteriana.

**GASES DISUELTOS:** Los principales son, nitrógeno ( $N_2$ ), oxígeno ( $O_2$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ), hidrógeno ( $H_2$ ) y gases nobles. El nitrógeno y los gases nobles son conservativos, su distribución y solubilidad son controladas por procesos físicos. En cambio el oxígeno y el dióxido de carbono no son conservativos y sus concentraciones son altas dependiendo de la fotosíntesis y procesos de respiración.

**COMPUESTOS ORGÁNICOS:** Este grupo incluye una variedad de moléculas orgánicas las cuales aparecen en baja concentración y son producidas por procesos metabólicos y por descomposición de plantas, microorganismos y animales. (Kershaw y Cundy, 2000)

Casi todas las materias disueltas en el mar proceden originalmente de los continentes: la erosión del suelo continental (deforestación), la corrosión de materiales, la combustión, las actividades agrícolas, donde los fertilizantes y

## *Introducción*

pesticidas, presentes en el suelo, son arrastrados por el agua de lluvia y la de deshielo, la actividad industrial y las descargas urbanas. (Libes 1992)

La concentración de nutrientes en el mar está determinado por procesos físicos, biológicos y químicos. Entre los procesos físicos se puede mencionar la introducción de aguas de desecho urbanas, ricas en detergentes y ricas en fertilizantes; lo cual ha causado una elevación en la concentración de fósforo, esto aumenta la productividad de algas (floración), lo que causa aumento en el crecimiento de fitoplancton y por lo tanto un aumento en la productividad primaria, que es el proceso de reducción de carbono y nitrógeno para sintetizar biomoléculas. (Libes 1992)

También la circulación del agua interviene en la concentración de los nutrientes en las diferentes capas del océano. Los nutrientes salen nuevamente a la superficie por corrientes de agua ascendentes, que se producen al cambiar la temperatura de las diferentes masas de agua, en las llamadas zonas de surgencia o afloramiento, donde los toman los pequeños organismos marinos que forman el fitoplancton, los que al utilizar la energía solar y el bióxido de carbono vuelven a elaborar sustancias orgánicas.

Los procesos biológicos afectan la concentración de los nutrientes ya que la actividad de los seres vivos es fundamental en la composición del agua de mar y en los cambios de concentración de sus elementos. Cuando un organismo está realizando su metabolismo utiliza los componentes del agua, pero cuando excreta, defeca o muere se produce la descomposición bacteriana y los elementos vuelven a quedar libres.

## *Introducción*

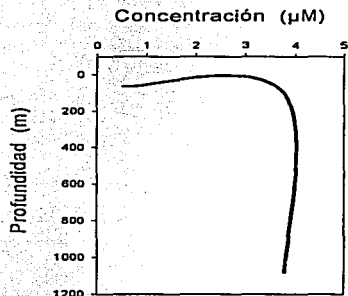
Los procesos químicos hacen que la materia orgánica que llega a la parte profunda de la columna de agua sea descompuesta y regenere los nutrientes, produciendo altas concentraciones de éstos.

Los nutrientes en la superficie del mar presentan bajos niveles de concentración, a menudo indetectables, ya que los microorganismos disponen de ellos para su consumo y son utilizados por el fitoplancton para la fotosíntesis. (que se realiza en los primeros 100 metros de profundidad oceánica en la llamada zona eufótica, que es aquella en que penetra la luz solar), al ir aumentando la profundidad, la concentración aumenta considerablemente y ya en el fondo la concentración de nutrientes es uniforme y alta, esto se debe a la regeneración de nutrientes producidos por la degradación de materia orgánica por las bacterias, como se muestra en la figura No.1.



### Introducción

**Figura No.1** Distribución de la concentración de nutrientes ( $\mu\text{M}$ ), con respecto a la profundidad (m), en la columna de agua.



Un crecimiento mucho mayor del normal por parte de los microorganismos marinos (debido al exceso de nutrientes en el medio), puede disminuir el nivel de oxígeno disuelto, incluso en un caso extremo, originar las llamadas "zonas muertas". Hay evidencias de que estas se generan por una entrada desmedida de nutrientes a través de los ríos, alrededor de los cuales, hay zonas agrícolas que utilizan una gran cantidad de fertilizantes. (Malakkoff 1998).

Conocer los niveles de nutrientes de fósforo y sílice en un área oceánica determinada es de fundamental importancia ya que a través de la concentración de éstos, se puede evaluar la riqueza biológica de una zona, así como el grado de impacto por descargas antrópicas presentes en el área.

## *Introducción*

### **1.1 OBJETIVOS**

#### **1.1.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar los niveles de concentración de ortofosfatos y silicatos en el área costera, inmediata a la desembocadura del río Balsas, saber si ésta es afectada por altas concentraciones de dichos nutrientes y conocer el efecto que tiene la descarga de aguas continentales de dicho río en la concentración de los mismos.

#### **1.1.2 OBJETIVOS PARTICULARES**

- Actualizar las técnicas analíticas para la determinación de ortofosfatos y silicatos en agua de mar.
- Evaluar el efecto del tiempo de almacenamiento en la concentración de ortofosfatos y silicatos.
- Determinar la zona de influencia de la descarga del río Balsas.
- Evaluar la relación entre la concentración de ortofosfatos y silicatos, con otros parámetros tales como:

✓ Temperatura

✓ Oxígeno

✓ Salinidad

✓  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$

### **1.2 HIPÓTESIS**

La descarga de aguas continentales, (especialmente de zonas industriales), afecta el nivel de nutrientes como, el ortofosfato y el silicato, en aguas costeras, provocando un incremento en estos por arriba de los niveles promedio.

# ANTECEDENTES

## **2.0 ANTECEDENTES**

Los organismos marinos utilizan los elementos químicos de maneras muy diferentes. El carbono, el hidrógeno y el oxígeno son empleados en la fotosíntesis, proceso que emplea la energía de la luz para transformar sustancia inorgánica, como el bióxido de carbono y el agua entre otras, en sustancia orgánica, como los hidratos de carbono o azúcares, las grasas y las proteínas, en las que se almacena la energía siendo esto la base de la vida.

La materia orgánica que forman las pequeñas plantas verdes marinas, llegan a otros organismos llamados consumidores que la aprovechan y con ella realizan toda su actividad biológica para posteriormente regresar esta materia al mar cuando realizan su excreción, así como cuando mueren, contando nuevamente con elementos inorgánicos para formar materia orgánica. (Cifuentes y Lemus 1997)

Cuando los organismos expulsan los desechos de su metabolismo o mueren, la materia orgánica queda en las capas superficiales y se hunde por gravedad hasta las profundidades donde, por acción de las bacterias y de la actividad química, se descompone, liberándose así los nutrientes, los cuales pueden ser utilizados nuevamente por otros organismos marinos para elaborar nuevas sustancias orgánicas por el proceso de fotosíntesis.

### *Antecedentes*

V. Hensen y su colega H. Lohman, plantearon la hipótesis de que organismos microscópicos, (plancton), pueden ser el alimento primario de la vida en el mar. El siguiente paso fue entender de que clase y origen son los recursos del plancton para crecer. (Civitarese, et.al 1997)

El plancton remueve  $\text{CO}_2$  y nutrientes del agua y usando energía solar, los convierte en complejos compuestos orgánicos.

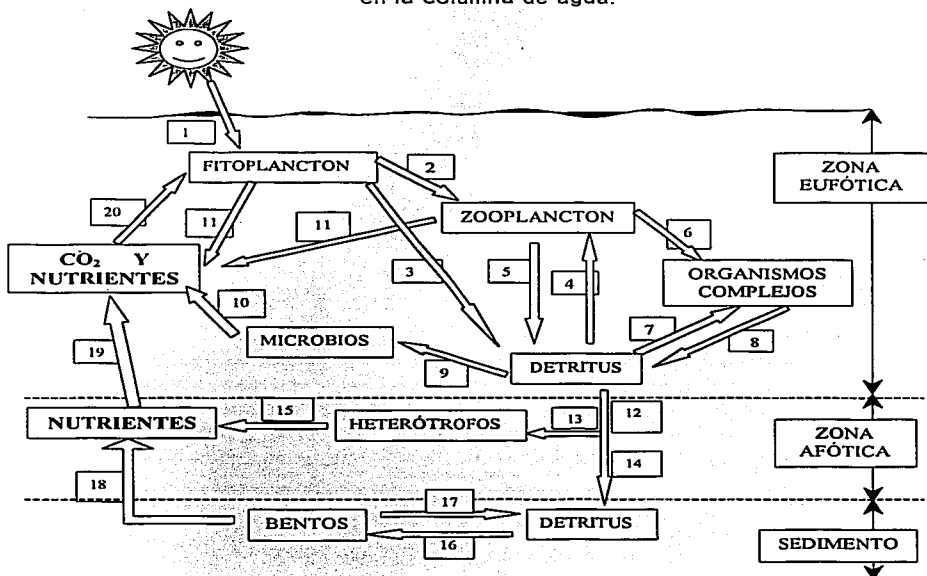
El plancton marino, (de acuerdo a diferencias de tamaño involucra varios tipos, como fitoplancton y zooplancton, entre otros), es base de la productividad marina, que requiere de ciertos elementos traza para crecer y de nutrientes como; ortofosfatos y silicatos, entre otros. Ver figura 2.

### **2.1 PRODUCTIVIDAD PRIMARIA**

La tasa de producción primaria se define como el proceso de reducir carbón y nitrógeno para sintetizar biomoléculas, y se mide con el peso del carbono fijado fotosintéticamente por unidad de tiempo y por unidad de volumen ( $\text{mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ ). La proporción de materia viviente, (biomasa), responsable de ella, se llama productividad primaria. Ambos son ejecutados por el fitoplancton donde los principales actores son organismos unicelulares autótrofos. La abundancia de fitoplancton y la producción primaria están claramente relacionadas con la disponibilidad de nutrientes, de hecho la fotosíntesis marina previene la acumulación de nutrientes en la capa de la superficie, al ser consumidos por los microorganismos. (Civitarese, et.al 1997)

Antecedentes

Figura No. 2. Ciclo Biogeoquímico del Material Orgánico Particulado (POM), en la columna de agua.



- |                               |                                 |  |
|-------------------------------|---------------------------------|--|
| (1) Fotosíntesis              | (8) Excreción de POM y muerte   | (15) Regeneración de nutrientes                                    |
| (2) Consumo                   | (9) Degradación bacteriana      | (16) Consumo   |
| (3) Muerte                    | (10) Regeneración de nutrientes | (17) Excreción de POM y muerte                                     |
| (4) Consumo de detritus       | (11) Excreción de nutrientes    | (18) Regeneración de nutrientes                                    |
| (5) Excreción de POM y muerte | (12) Hundimiento de POM         | (19) Transporte de nutrientes via vertical y difusión en remolinos |
| (6) Consumo                   | (13) Consumo                    | (20) Asimilación de nutrientes                                     |
| (7) Consumo de detritus       | (14) Sedimentación              |  |

Detritus: desechos de organismos y materia orgánica

(Libes 1992)

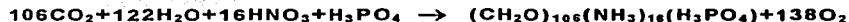
## *Antecedentes*

### **2.2 FOTOSÍNTESIS**

La fotosíntesis se efectúa cuando la energía solar es absorbida por células de fitoplancton y la convierte en energía biológica almacenable en forma de compuestos orgánicos. La absorción de fotones de luz se realiza por pigmentos fotosintéticos, de los cuales el principal es la clorofila.

Usando datos calibrados de satélite, la clorofila en el agua se puede reconocer dando correlación entre color y producción primaria. La concentración de clorofila también se determina por métodos espectrofotométricos y fluorimétricos. El incremento de O<sub>2</sub> en botellas con agua marina sometidas a la luz, es una medida de la fotosíntesis neta.

Redfield (1934), examinó las relaciones entre O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> en aguas marinas basadas en la composición química promedio del plancton. Con base en la relación de Redfield el proceso de fotosíntesis esta dado por:



Esta relación predice la porción de oxígeno y nutrientes consumidos para la producción de fitoplancton causada por la oxidación biológica.

### **2.3 FACTORES QUE AFECTAN EL CRECIMIENTO DEL FITOPLANCTON**

La cinética del crecimiento del fitoplancton es similar a la de las bacterias. Un número de factores físicos y químicos pueden afectar el crecimiento de fitoplancton en los océanos.

### *Antecedentes*

Esto es importante porque el fitoplancton está formado por organismos que degradan los nutrientes y son el principal eslabón de la cadena alimenticia marina.

Los principales factores que afectan a su crecimiento son:

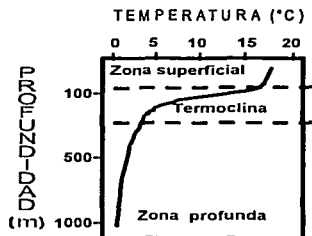
**Luz:** La cantidad de luz que se extiende en la superficie de los océanos esta controlada por la altitud del sol, la cobertura de las nubes, la longitud de onda (400 - 700nm), la reflexión, la absorción y la dispersión. (Boney 1989)

**Temperatura:** El intervalo de temperatura en los océanos es de -2 a 30°C. El fitoplancton se muere rápidamente a temperaturas de 10 a 15°C, por arriba de la temperatura a la que están adaptados a vivir. La figura No.3 muestra la relación entre la temperatura y la profundidad en mar abierto. En la superficie la temperatura es homogénea y va disminuyendo ligeramente con la profundidad, en la siguiente capa, la temperatura baja bruscamente al seguir aumentando la profundidad. En las capas más profundas, la temperatura es baja y estable. La capa intermedia es la zona en la que la temperatura cambia bruscamente con la profundidad y a esto se le llama termoclina. (Garrison 1996)



### Antecedentes

Figura No. 3 Gráfica del comportamiento de la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) con respecto a la profundidad (m), en la columna de agua



**Metales traza:** Algunos metales en cantidades traza como:  $\text{Fe}^{+2}$ ,  $\text{Mn}^{+2}$ ,  $\text{Mo}^{+2}$ ,  $\text{Zn}^{+2}$ ,  $\text{Cu}^{+2}$ ,  $\text{Co}^{+2}$ ,  $\text{V}^{+2}$ , se requieren para el crecimiento del fitoplancton, ya que son necesarios para síntesis de algunas proteínas y enzimas.

Cerca del 10% de la superficie oceánica del mundo, tiene los nutrientes y la luz necesaria, sin embargo presenta niveles de fitoplancton bajos. Estas áreas incluyen el Pacífico Norte, el Pacífico Ecuatorial y las aguas sureñas alrededor de la Antártida, en estas zonas hay una baja fijación de nitrógeno y un bajo nivel de hierro.

Las concentraciones relativas de hierro en fitoplancton son más altas que los niveles en el agua, sugiriendo que esto afecte su crecimiento. De aquí surge la siguiente hipótesis: "la disponibilidad del hierro limita el crecimiento del fitoplancton en zonas HNLC (High Nutrients Low Chlorophyll) en los océanos del mundo", conocida como la hipótesis del hierro. (Millero 1996)

## Antecedentes

### 2.4 MICROORGANISMOS

Los microorganismos en el ambiente marino pueden ser divididos en dos tipos: *Eucariontes* (10-100 $\mu$ m), que tiene una estructura celular completa e incluyen algas (fotosintéticas), protozoarios (depredadores de bacterias), hongos, levaduras y mohos (no fotosintéticas).

*Procariones* (1-10 $\mu$ m), que son células simples e incluyen bacterias (0.5-10 $\mu$ m), algas verde-azules y tal vez virus. Especialmente las bacterias, son agentes importantes en la transformación de materia orgánica, a través de su rompimiento. (Falkowski, et.al. 1998)

### 2.5 NUTRIENTES

Los nutrientes no están distribuidos uniformemente en el mar, debido a factores tales como: la dinámica del área, (zonas industriales, pesqueras, turísticas, etc.) y diferentes aportes externos, (atmósfera y terrigenos), que afectan su variabilidad. La concentración de nutrientes debe estar en un intervalo de concentración tal que permita un crecimiento saludable del plancton. Así mismo el nivel mínimo de ortofosfato necesario es  $\sim 0.3 \mu$ M y el de sílice es de  $\sim 1.8 \mu$ M, variando según la especie. En la tabla No. 1 se describen los <sup>Intervalos</sup> rangos promedio de concentración de nutrientes encontrados en agua marina, en forma general y en cualquier época del año, (Berner, 1998). Un exagerado afloramiento de algas puede ser causado por un exceso de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) y fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) que viene del alcantarillado o de residuos de fertilizantes.

### Antecedentes

Tabla No.1 Intervalos promedio de concentración de nutrientes en agua marina.

COMPONENTE	CONCENTRACIÓN $\mu\text{M}$
silicatos ( $\text{SiO}_2$ )	0.5 - 180
ortofosfatos ( $\text{PO}_4^{-3}$ )	0.1 - 3

### 2.6 FÓSFORO

El fósforo se presenta como fosfatos y es uno de los elementos indispensable para los seres vivos. Forma parte de la cubierta de los dinoflagelados y permite que éstos produzcan bioluminiscencia. (Cifuentes y Lemus, 1997)

El fósforo se encuentra en el agua marina en forma disuelta y particulada.

**Fósforo disuelto:** El fósforo disuelto inorgánico se encuentra en el agua de mar prácticamente todo en forma de iones ortofosfato. Kester y Pytkowicz (1967) demostraron que en agua de mar con salinidad promedio ( $\text{pH}=8$ ), a  $20^\circ\text{C}$ , el 87% del fosfato esta como  $\text{HPO}_4^{-2}$ , 12% como  $\text{PO}_4^{-3}$  y 1% de  $\text{H}_2\text{PO}_4$ . El 99.6% del  $\text{PO}_4^{-3}$  y el 44% del  $\text{HPO}_4^{-2}$  están en forma de ión apareado aparentemente con calcio y magnesio. Iones polifosfato no han sido detectados en el océano, pero se sabe que aparecen en estuarios y aguas costeras como resultado de contaminación con detergentes. (Solorzano y Strickland 1968)

El fósforo orgánico constituye una proporción significativa, pero variable, del fósforo disuelto presente en la capa superior del océano. No se ha identificado del todo, pero se cree que esto se debe principalmente a productos de descomposición y excreción de organismos marinos. (Riley y Chester 1971)

## *Antecedentes*

**Fósforo particulado:** Poco se conoce de la naturaleza del fósforo particulado. Se ha postulado que flóculos de fosfato férrico pueden estar presentes, (Cooper, 1948) y esto confirma que por datos del producto de solubilidad el agua de mar puede estar sobresaturada con estos componentes. El fosfato puede también estar presente y ser adsorbido en materia particulada. El fósforo orgánico particulado está también asociado con la vida y muerte de los organismos. Esto puede por lo tanto contener todo el rango de componentes de fósforo orgánico involucrado en la bioquímica de organismos marinos y sus productos de degradación. (Riley y Chester 1971)

**Ciclo del fósforo:** La distribución de las diferentes formas de fosfatos en el agua está controlada por procesos físicos y biológicos, ver figura No. 4.

En la superficie el  $\text{PO}_4^{-3}$  es tomado por el fitoplancton durante la fotosíntesis, la absorción y conversión a compuestos orgánicos continúa incluso en la oscuridad (Civitaresse, et.al. 1997). Cuando el fitoplancton muere el fósforo orgánico es convertido rápidamente a  $\text{PO}_4^{-3}$ . Ya que mucho de este fitoplancton es consumido por el zooplancton, obteniendo así el  $\text{PO}_4^{-3}$  nuevamente.

El ciclo no está completamente cerrado. Cuando mueren los organismos se hunden y mucho de su fósforo será subsecuentemente regenerado al agua.

Sin embargo una proporción de este experimentará eventualmente un cambio y será convertido en fosfato mineral, como la apatita [ $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{F})$ ]. Esta pérdida de fósforo del mar está balanceada por producción de fosfato por el deterioro de rocas que entra al mar por medio de los aportes fluviales. Ver figura No. 4. (Riley y Chester 1971)



### *Antecedentes*

**Distribución y variación temporal de fósforo en el mar:** En el verano las aguas superficiales contienen cerca del 50% de fósforo orgánico. En aguas profundas la mayoría del fósforo está en forma inorgánica.

La forma predominante del fósforo en aguas costeras de latitudes medias es en forma de ortofosfato, durante el invierno. Este decrece rápidamente en marzo, al ser utilizado por el fitoplancton para su crecimiento.

El zooplancton y los peces se alimentan de este fitoplancton y regresan el fósforo al agua en forma de fosfato y compuestos de fósforo orgánico, este último en la forma predominante de fósforo disuelto. De mayo a junio, los niveles de fósforo decrecen a valores muy bajos (2  $\mu\text{gP/L}$ ), en la zona eufótica.

Después del florecimiento la regeneración del fósforo a partir del fitoplancton, detritus y compuestos de fósforo orgánico se lleva a cabo rápidamente. (Riley y Chester 1971)

**Regeneración:** Cuando el fitoplancton y las bacterias mueren, el fósforo orgánico en sus tejidos es rápidamente convertido a fosfato por la acción de fosfatasa en sus células. En el mar el fitoplancton es consumido por animales, principalmente el zooplancton y de esta forma obtienen sus requerimientos de fósforo. Parte del fitoplancton es asimilado y el fosfato puede aparecer en su orina. El material no asimilado se pierde en heces fecales que contienen considerables cantidades de fosfato orgánico además de ortofosfatos, (Butler et. al. 1969). La hidrólisis del fosfato orgánico continúa rápidamente en las heces fecales a través de la acción de fosforilasas presentes. El fosfato inorgánico es también eliminado de heces fecales y pasa al agua de mar junto con algo de fósforo orgánico descompuesto.

## *Antecedentes*

### **2.7 SÍLICE**

El sílice se encuentra en el mar en forma soluble y particulada. La forma soluble del elemento es probablemente el ácido ortosilícico ( $\text{Si}(\text{OH})_4$ ) en un medio de cloruro de sodio, teniendo una fuerza iónica similar al agua de mar. (Ingri 1959). Esto sugiere que casi 5% está ionizado a  $\text{pH}=8.2$ .

El agua de mar contiene en suspensión una gran variedad de sílice finamente dividido. Mucho de este material es producido por el desgaste ambiental de la superficie de rocas y es transportado a los océanos por ríos y por el viento. (Riley y Chester 1971, Millero 1996)

El material suspendido se hunde hasta el fondo del océano, contribuyendo a la formación de sedimentos, algunos de los minerales presentes en este material reaccionan con el agua de mar, formando minerales secundarios los cuales ayudan a formar estructuras (caparazones y esqueletos) y al crecimiento de otros microorganismos.

En algunas partes del océano en la superficie del agua, abundan organismos como diatomeas y radiolarios, las cuales tienen esqueletos compuestos de formas no cristalinas de sílice hidratado (opal). Cuando estos organismos mueren, sus esqueletos síliceos se disuelven lentamente conforme se van hundiendo. Solo los remanentes de las especies más grandes y resistentes llegan al fondo del mar. En regiones donde estos organismos síliceos proliferan sus remanentes a menudo constituyen una mayor parte de sedimentos, por ejemplo los lodos de diatomeas de las regiones Antárticas. (Riley y Chester 1971, Millero 1996)

### *Antecedentes*

La concentración del sílice varía de acuerdo a las cantidades que utilicen las diatomeas y los dinoflagelados, (organismos microscópicos del plancton), que forman sus caparazones con este elemento.

**Sílice en plantas marinas y su regeneración:** El mar contiene varios grupos de plantas (ej. Diatomeas y algunas crisofitas) y animales (ej. radiolarios, pterópodos y esponjas), que tienen estructuras silíceas. De éstas las diatomeas son ecológicamente mucho más importantes.

No se sabe mucho acerca del proceso por el cual el silicato disuelto es tomado por las diatomeas y depositado como sílica hidratada para formar sus elaborados diseños de válvulas. Se sabe que se requiere energía para depositarlo y que los grupos sulfhidrilo (-SH) son involucrados de alguna forma.

Estudios fisicoquímicos han demostrado que después de que el ácido silícico ha sido absorbido en la monocapa de las proteínas esta se polimeriza y forma estructuras rígidas, probablemente por puentes de hidrógeno entre el grupo imino de la proteína y el grupo hidroxilo del ácido silícico, (Clark, et. al. 1957). Un mecanismo similar puede ser involucrado en el depósito de sílica en diatomeas. (Riley y Chester 1971, Millero 1996)

Estudios recientes han mostrado que las chimeneas hidrotermales contribuyen al aumento de  $\text{SiO}_2$  en los océanos. (Millero 1996)

La regeneración de sílice comienza durante el verano cuando el fitoplancton deja de crecer y continúa hasta que el valor máximo es alcanzado, esto al inicio del invierno. En algunas áreas el afloramiento del fitoplancton en el otoño puede causar una interrupción en la regeneración. (Riley y Chester 1971, Millero 1996)



### *Antecedentes*

**Distribución marina de sílica disuelta:** Los valores de silicatos ( $\text{SiO}_2$ ) son más altos en aguas profundas del Pacífico que en el Atlántico, por que las aguas son más viejas y tienen un mayor tiempo de acumulación de éstos.

La concentración de sílice disuelto en la superficie del agua del océano es generalmente baja, excepto en regiones de brote. En capas muy profundas hay un rápido incremento de concentración. El patrón de distribución general difiere de un océano a otro y es determinado por el patrón de la circulación del agua y por el suministro de sílice disuelto del Antártico y de la disolución de diatomeas cuando caen de la superficie. (Riley y Chester 1971)

## **2.8 TRANSPORTE DE NUTRIENTES**

El fitoplancton sólo tiene movilidad limitada y es distribuido por las corrientes oceánicas o por turbulencias, que es un proceso que requiere energía, (la energía cinética transformada a calor a través de fricción interna), la cual es generada por el viento, el romper de las olas y la fricción en el fondo marino por corrientes y mareas, entre otros. (Civitaresse, et. al 1997)

Los procesos para transferir los nutrientes a la zona fértil, (zonas con alta cantidad de luz y nutrientes), requieren de energía externa. Esta es diferente de la energía química contenida en los metabolitos o de la energía electromagnética utilizada para la reducción asimilatoria de carbono y nitratos por la célula. Esta energía es denominada exosomática o auxiliar.

### *Antecedentes*

Los flujos de nutrientes en la proximidad de la costa son generalmente más fuertes que en océano abierto. Esto hace que las costas sean muy ricas en nutrientes y por lo mismo en biomasa. (Civitaresse, et. al 1997)

Todos los procesos hidrodinámicos que generan el transporte vertical de nutrientes, juegan un papel determinante en el control de la productividad en el océano abierto.

El océano global esta descrito en un sistema de dos capas, con una delgada parte superior, fotosintéticamente activa y una capa muy profunda, donde esta la mayoría del nitrógeno y fósforo. El proceso vertical que favorece el transporte de la reserva profunda a la superficie, conecta las dos capas. Sin embargo, no hay evidencia concluyente de que concentraciones muy bajas de nutrientes, (al menos de nitrógeno y fósforo), depriman la actividad fotosintética *in situ*.

Esto significa que los microorganismos se adaptan al ambiente, regulando su fisiología a un bajo aporte de nutrientes pero todavía fotosintetizando a un nivel aceptable.

# ÁREA DE ESTUDIO

21A

### 3.0 ÁREA DE ESTUDIO

#### 3.1 DESCRIPCIÓN

El área del presente estudio comprende la zona costera inmediata al puerto industrial de Lázaro Cárdenas Michoacán, que se encuentra ubicado en la costa del Océano Pacífico en el estado de Michoacán, entre los 17°35' y 18°00' de latitud norte y entre 101°55' y 102° 35' de longitud oeste. (Fig. No. 5)

El puerto ocupa una superficie aproximada de 600 Km<sup>2</sup> y comprende el delta del Río Balsas, (la isla de Cayacal y La Palma) y la margen del brazo derecho del mismo río.

La cuenca del Río Balsas, presenta un área de drenaje de 105,900 Km<sup>2</sup> siendo uno de los ríos más largos de América Central. (Tamayo y West, 1964)

Su delta tiene una forma triangular, con una base de 13 Km, 9 Km de altura y una superficie de aproximadamente 60 Km<sup>2</sup>. (Gutiérrez, 1971)

Dada la influencia de las descargas del Río Balsas en la zona de estudio es importante analizar la cuenca de dicho río, la cual tiene unos 600 Km de largo y 150 Km en su parte más ancha.

Área de Estudio

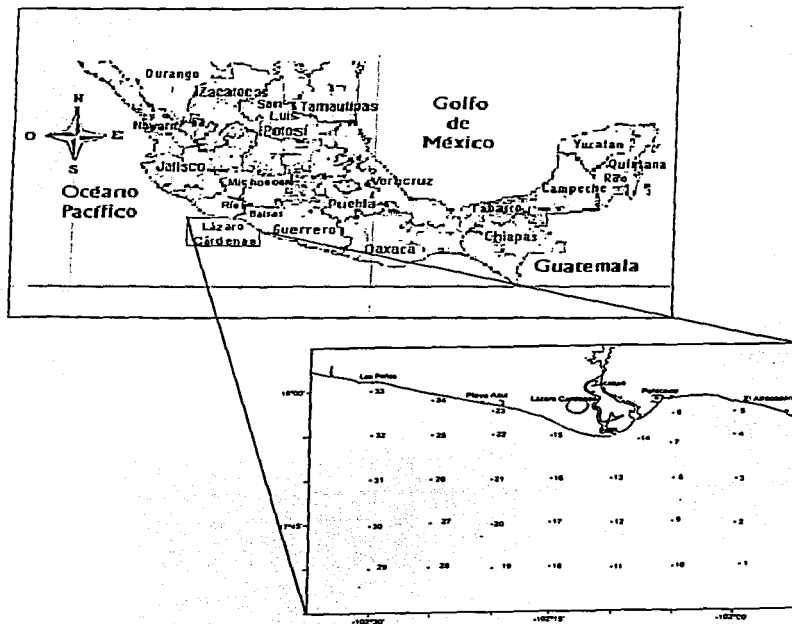


Figura No. 5 Ubicación de la zona de estudio del proyecto SEDIMENTOS III, (abril 1999)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 3.2 CUENCA DEL RÍO BALSAS

La enorme cuenca del Río Balsas queda limitada por la Cordillera Neovolcánica, la Sierra Madre Oriental y la Sierra Madre del Sur, cubre un área de 112,320 Km<sup>2</sup> que comprende importantes porciones de los estados de Oaxaca, Puebla, Tlaxcala, México, Morelos, Michoacán y Guerrero. (Fig. No. 5).

El río Balsas nace en el valle de Puebla a muy elevada altitud y se cree que sus formadores son los ríos San Martín y Lahuapán, a estos dos ríos unidos se les conoce con el nombre de Atoyac poblano. Pasa cerca de la ciudad de Puebla y al sur de ella se ha construido la presa Manuel Ávila Camacho con 500 millones de m<sup>3</sup> de almacenamiento, que permite regar la zona conocida con el nombre de El Valsequillo; posteriormente cambia su dirección al suroeste para recibir al río Mixteco, corriente que se genera en la vertiente occidental de la zona conocida con el nombre de La Mixteca.

Unidos el Atoyac Poblano y el Mixteco Oaxaqueño, forman una corriente que toma una dirección hacia el oeste, recibiendo numerosos afluentes con la peculiaridad de que son los de mayor importancia por su caudal, volumen escurrido y regularidad de arrastre, los de la ribera derecha que drenan la vertiente sur de la cordillera Neovolcánica. Recibe de esa margen los ríos Nexapa, Amacuzac, Cocula, Teloiloapan, Alaxuistlán, Cuetzamala, Tacámbaro, San Pedro Jorullo y el importante río del Marqués. Sobre el río Ixtapan, uno de los formadores del Cuetzamala se ha construido la presa de Villa Victoria, los vasos de Ixtapantongo y Santa Bárbara y se ha construido sobre el Tilostoc, el gran sistema hidroeléctrico antiguamente llamado de Ixtapantongo.

### *Área de Estudio*

En la margen izquierda recibe los arroyos del Zopilote, Ajuchitlán y Coyuca. Después de recibir el río del Marqués cambia de dirección hacia el sur y por medio de un estrecho cañón cruza la Sierra Madre del sur y desemboca en el Océano Pacífico en forma déltica.

La corriente principal recibe el nombre del río Mexcala, en su porción oriental; desde el poblado de Balsas toma ese nombre; en su tramo final la corriente es conocida con el nombre de río Zacatula y es bastante salada.

A 60 Km de la desembocadura del río Balsas se ha construido la presa del Infiernillo en las inmediaciones del poblado de su nombre con una capacidad de almacenamiento de 12,500 millones de m<sup>3</sup> y que es una de las mayores de Iberoamérica. Se instaló así mismo una planta eléctrica con una capacidad inicial de 674,000 Kw y que se espera genere 936,000 Kw para los años próximos.

Aguas abajo al inicio del delta que forma el Balsas al precipitarse al Pacífico, entre los estados de Guerrero y Michoacán, se construyó la presa La Villita, instalándose una planta hidroeléctrica con una capacidad de 300,000 Kw.

Se estima un escurrimiento virgen anual de toda la cuenca en 13,863 millones de m<sup>3</sup>. En su curso medio es navegable, pero no en el inferior. Existen aún muy pocos aprovechamientos con fines agrícolas, si bien parece que por formar en general valles profundos y angostos, no es posible tener grandes áreas disponibles. (Tamayo 1991)

### 3.3 BIOGEOGRAFÍA

La zona a lo largo del Balsas se encuentra en una región neotropical, dentro del sector denominado Balsas-Sudpacífico. Este sector comprende la planicie costera del Pacífico desde la desembocadura del río Santiago hasta el río Ometepe, penetrando también en la parte central y baja del valle del río Balsas. Incluye el sudeste del estado de Nayarit, oriente de Jalisco, casi todo Colima, sur y sudeste de Michoacán, buena parte del estado de Guerrero además las Islas Marias. La llanura es un tanto irregular, cortado por estribaciones de poca altura; tiene temperatura calurosa, que en lo general es elevada en la mayor parte del año, con precipitación escasa, variable en dos periodos de éste. Debido a ello la región muestra una apariencia de aridez y la vegetación llega casi a desaparecer, de diciembre a mayo, tomando una coloración grisácea. Casi todo el territorio es cubierto por sabana y sólo en el Valle de Tepalcatepec y algunos puntos bajos del Valle del Balsas, esta cubierta por estepa y tiene una franja litoral de vegetación costera.

Las plantas dominantes son el cedro, el pochote, el palo de tinte o colorín, el papache y el costeño; los mamíferos más comunes son el murciélago, el tejón, la ardilla, la tuza, la rata espinosa, el ratón de campo y el jabalí; las aves más características son la codorniz, el quebrantahuesos, la cotorra, el salta pared, el jilguero y la calandria. (Tamayo 1991)



## *Área de Estudio*

### **3.4 CLIMA**

En numerosas depresiones en la cuenca del río, predomina la llamada zona seca, caracterizada por una precipitación anual inferior a 700 mm dentro de la zona intertropical; a 400 mm en la zona templada, con lluvias en verano y a 200 mm en las porciones templadas, con lluvias de invierno. En las depresiones de las partes más bajas de la cuenca del río, predomina un clima seco estepario, caracterizado por una precipitación media anual, inferior a 750 mm en la zona intertropical; 500 mm en la zona templada, con lluvias en verano y 300 mm en la templada con lluvias en invierno. Tiene una temperatura media anual superior a los 18°C. (Tamayo 1991)

### **3.5 ANTECEDENTES INDUSTRIALES DE LA ZONA**

El desarrollo económico del municipio de Lázaro Cárdenas era bastante incipiente hace algunos años, siendo la actividad económica más sobresaliente, la agricultura de temporal, con los cultivos del coco, mango, plátano, maíz, frijol y caña de azúcar los más importantes.

Entre 1964 y 1976 el municipio se convirtió en un polo de desarrollo económico motivado por el establecimiento y operación de la primera etapa de la siderúrgica Lázaro Cárdenas.

La ubicación de una serie de industrias en esta área, generan una serie de desechos que en muchas ocasiones presentan efectos nocivos al ambiente tanto terrestre como marino.

### *Área de Estudio*

Desde 1998 y hasta la actualidad, el puerto Lázaro Cárdenas presenta uno de los desarrollos económicos más fuertes del país, debido a la gran cantidad de industria que soporta.

Algunas de las empresas que se encuentran en el complejo son:

#### **EMPRESA**

Fertimex

Sicartsa

Conasupo

Pemex

Latex distribuidora

NKS

Productora mexicana de  
tubería

CELESA

TMM

Astilleros unidos

Cementos Anahuac

Cia. siderúrgica Guadalajara

Constructora tatsa

Micare

#### **GIRO INDUSTRIAL**

Fertilizantes Mexicanos

Siderúrgica de acero laminado

Almacén de alimentos

Almacén y distribución

Químicos

Metalúrgica

Tubos de acero de gran diámetro

Paillería

Transportes líquidos

Reparación y construcción de barcos

Cementera

Procesamiento de chatarra y fierro esponja

Fabricación de premezclado, mezcla  
asfáltica

Recibo y manejo de carbón.

# METODOLOGÍA

## **4.0 METODOLOGÍA**

### **4.1 SELECCIÓN DEL METODO ANALÍTICO PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS NUTRIENTES, (ORTOFOSFATOS Y SILICATOS), EN CAMPO, A BORDO DEL BUQUE OCEANOGRÁFICO (B/O) "EL PUMA"**

Se realizó una revisión bibliográfica de los diferentes métodos utilizados para la determinación de ortofosfatos y silicatos. Se encontró que la mayoría de los métodos, manuales y automatizados, para la determinación de estos nutrientes están basados en la formación de un complejo colorido, que es fácil de determinar y de llevar a cabo a bordo del B/O y que no requiere de un equipo sofisticado para obtener resultados.

En el caso del ortofosfato se han hecho muchas modificaciones al método para su determinación, como el uso de reductores como: cloruro estanoso (II), ácido ascórbico, ácido 1-amino-2-naftol-4-sulfónico, sulfito de sodio, sulfato de hidracina, la combinación de ellos, o la adición de ácidos fuertes, intentando mejorar la selectividad y la estabilidad del cromóforo producido. (Broberg, et. al., 1988)

Los métodos más comúnmente utilizados en análisis automatizados están basados en el método de Murphy y Riley (1962), quienes realizan la reducción con ácido ascórbico y una catálisis con tartrato de antimonio y potasio. El ácido ascórbico es más usado que el cloruro estanoso (II) como agente reductor porque la reacción es menos básica y menos termo sensible produciendo un cromóforo más estable, que se lee a 880 nm.

### *Metadología*

Para la determinación de silicatos en agua de mar, existen dos métodos básicos, ambos están basados en la formación de un heteropoli-ácido por tratamiento de la muestra con disolución ácida de molibdato; en uno de los métodos se mide la absorbancia del ácido silicomolibdico amarillo formado y en el otro método, que es más sensible se reduce el ácido silicomolibdico a un complejo azul de molibdeno, ( $H_4SiMo_{12}O_{40}$ ), el cual se lee espectrofotométricamente a 812 nm.

El método que actualmente se utiliza para la determinación de silicatos, es el de Fanning y Pilson (1973). En este método, es necesario controlar la acidez de la disolución durante el proceso de reducción, con el objeto de evitar la formación del complejo de azul de molibdeno, ya sea por el exceso de molibdato del reactivo o de los heteropoliácidos de otros elementos.

Por lo tanto los métodos utilizados para la determinación de ortofosfatos es el de Murphy y Riley (1962) y para la determinación de silicatos, es el de Fanning y Pilson (1973).

Antes de salir a campo los métodos para la determinación manual de los nutrientes fueron probados en el Laboratorio de Química Marina y Contaminación, del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICM y L), para familiarizarse con la técnica y con la utilización del Espectrofotómetro Modelo Ely-2000, con el cual se determinaron las concentraciones de ortofosfatos y silicatos, por medio de reacciones colorimétricas y de esta forma prever cualquier problema a bordo del B/O "El Puma".

## **4.2 TRABAJO DE CAMPO**

### **4.2.1 DISEÑO DE LA RED DE ESTACIONES PARA LA TOMA DE MUESTRAS EN LA ZONA**

Para la toma de muestra es necesario tener una red de distribución de estaciones a ambos lados de la desembocadura del río Balsas. Se le llama estación al punto geográfico específico, determinado por una latitud y una longitud, donde se toman las muestras. Las estaciones tienen la misma distancia entre ellas, excepto las que se encuentran cerca de la costa, las cuales dependían de tener la profundidad suficiente para la navegación del buque. Las profundidades variaron entre 1 y 1500 m. Dependiendo de la termoclina, (ver la figura No.3), se seleccionaron 4 profundidades según los 4 puntos donde se quiebra la línea de la termoclina.

Se colectó un total de 132 muestras, en 33 estaciones con 4 profundidades en cada estación, tratando de cubrir la mayor superficie posible, alrededor de la desembocadura. En la figura No. 6 se observa la distribución de estaciones de muestreo. La estación número 1 se encuentra en el extremo inferior derecho del área de estudio y continúan conforme lo indican las flechas.

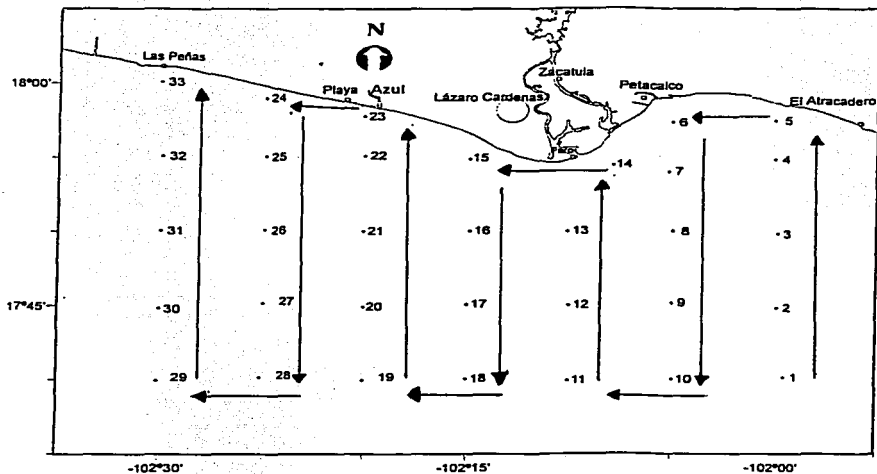


Figura No. 6 Distribución y ubicación de las 33 estaciones en el área de estudio del proyecto SEDIMENTOS III, (abril 1999)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## *Metodología*

### 4.2.2 COLECTA DE MUESTRAS EN LA ZONA

La colecta de muestras se llevó a cabo a bordo del B/O "El Puma", a lo largo de 5 días, en el mes de Abril de 1999, en el proyecto denominado SEDIMENTOS III.

Al llegar a cada estación de trabajo se determinaron las características de la columna de agua por medio del CTD, (conductividad, temperatura y profundidad, siglas en ingles), y como segunda determinación, el oxígeno disuelto, por el método de Winkler.

Basándose en las determinaciones de conductividad, temperatura y profundidad en cada una de las estaciones, se decide la profundidad en la cual serán colectadas las muestras de agua.

El criterio a seguir fue el siguiente:

1. Superficie
2. Inicio de la termoclina
3. Término de la termoclina
4. Fondo

Las muestras de agua marina se recolectaron en botellas Niskin, colocadas en una roseta en la que se pueden coleccionar hasta 24 litros, repartidos en 12 botellas de 2 litros de capacidad cada una, ver figura No. 7.

Posteriormente la muestra es tomada con una jeringa de 50 mililitros y filtrada a través de un portafiltros que contiene una membrana de nitrato de celulosa millipore, con un poro de 0.45  $\mu\text{m}$ , con el fin de evitar el paso de organismos y partículas que podrían modificar la concentración de los nutrientes en el envase.



### *Metodología*

Se colectaron 30 mililitros de muestra y se tomaron por duplicado en botellas de plástico de polietileno, previamente lavados con HCl al 30% y dextran como detergente, igual que todo el material con el que se trabajó posteriormente, teniendo precaución de no usar detergente en polvo, ya que podría haber contaminación con los fosfatos que contiene este.

Una porción fue analizada de inmediato a bordo del B/O "El Puma", en tanto que otra se guardó en las botellas de plástico, para ser analizadas en el laboratorio del ICM y L. 10 días después, utilizando el Autoanalizador (SKALAR Tipo 1521; Serial.24v San<sup>plus</sup> System).

Para almacenar las muestras se le agregó una gota de cloroformo en el caso de los ortofosfatos y se pusieron en congelación a  $-4^{\circ}\text{C}$ . Para los silicatos, solamente se congeló a  $-4^{\circ}\text{C}$  para su conservación, hasta su análisis.

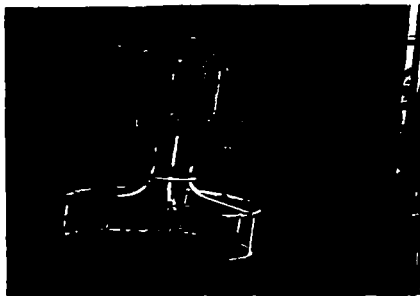


Figura No. 7 Sonda C.T.D. acoplada a una Roseta, en la que se colocan las botellas Niskin, para la colecta de muestras, en el proyecto, SEDIMENTOS III, (abril 1999).

#### 4.2.3 DETERMINACIÓN DE ORTOFOSFATOS

Fundamento: El método a seguir es el de Murphy y Riley (1962).

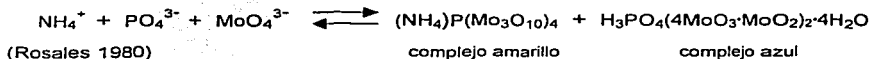
La muestra se trata con reactivo de ácido molibdico que contiene ácido ascórbico y tartrato de antimonio y potasio, resultando ácido fosfomolibdico el cual es reducido produciendo un complejo de color azul púrpura. Este complejo absorbe a una longitud de onda de 880nm, (Millero 1996). La intensidad del complejo azul púrpura es proporcional a la concentración de fósforo presente en el agua de mar y es medida con un espectrofotómetro Modelo Ely-2000, el cual fue calibrado para relacionar la concentración de los nutrientes con la luz absorbida, utilizando celdas de poliestireno de 1 cm de densidad óptica.

Bajo condiciones adecuadas, los iones fosfato reaccionan con el molibdato para formar un complejo como el molibdofosfato ácido de amonio.

Una reducción controlada de este compuesto polimérico produce un complejo azul de molibdeno; la intensidad del cual sirve como base para la medición fotométrica del elemento que constituye el átomo central del complejo, (P). El procedimiento y la preparación de reactivos se puede ver en el anexo I.

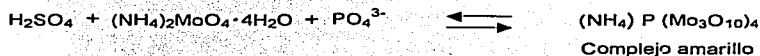
Las reacciones químicas involucradas en este análisis no son conocidas en general, por lo que no se pueden escribir reacciones balanceadas.

La reacción general que se llevan a cabo se representan como sigue:

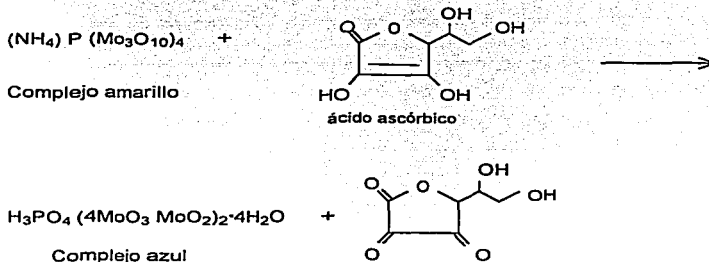


### Metodología

En este método se agrega una disolución de molibdato de amonio en ácido sulfúrico para formar el complejo amarillo de ácido fosfomolibdico, (molibdofosfato de amonio).



Al tratar el complejo molibdofosfato de amonio con un agente reductor como el ácido ascórbico, se reduce a azul de molibdeno. Normalmente la reducción es lenta, pero la adición de un catalizador, en este caso tartrato de antimonilo, hace que se lleve a cabo rápidamente.



(Millero 1996)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## Metodología

### 4.2.4 DETERMINACIÓN DE SILICATOS

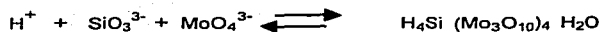
Fundamento: El método a seguir es el de Fanning y Pikon, (1973).

La determinación de silicato disuelto en agua de mar se hace por la formación de un complejo amarillo de ácido  $\beta$ -silicomolibdico, que se forma al agregar a la muestra una disolución ácida de molibdato, este complejo es reducido al adicionar una disolución que contiene metol, (p-metilaminofenol sulfato), formando un complejo más estable de molibdeno de color azul, que absorbe a 812 nm.

Aunque el fosfato produce un complejo azul de color similar la formación de este se puede evitar agregando ácido oxálico en el agente reductor. (Millero 1996)

Las reacciones químicas envueltas en este análisis no son conocidas, en general. Al igual que el fosfato, los iones silicato reaccionan con el molibdato para formar un complejo como el ácido molibdosilísico. Una reducción controlada de este compuesto polimérico produce un complejo azul de molibdeno; la intensidad del cual sirve como base para la medición fotométrica del elemento que constituye el átomo central del complejo (Si). El procedimiento y la preparación de reactivos se pueden ver en el anexo I.

Como las reacciones exactas no se conocen, no se pueden escribir reacciones balanceadas y las representaremos como sigue:



(Rosales, 1980)

## *Metodología*

### 4.2.5 DETERMINACIÓN DE LOS OTROS PARÁMETROS

#### 4.2.5.1 Oxígeno Disuelto

La determinación de oxígeno disuelto en agua de mar es uno de los parámetros fisicoquímicos más importantes que se realizan a bordo del buque.

Es la primera muestra de agua que se toma ya que se debe evitar el intercambio con el oxígeno de la atmósfera, es necesario que al llenar las botellas de vidrio de color ámbar, con el agua que sale de las botellas niskin provistas con mangueras de látex, evitar cualquier burbujeo de agua y que la botella se llene hasta el derrame.

La determinación de oxígeno disuelto se hace por el método de Winkler, el cual consiste en agregar los reactivos de sulfato manganoso y yoduro en medio alcalino, permitiendo fijar el contenido de oxígeno disuelto en el agua, al producir una precipitación equivalente de óxido de manganeso. Posteriormente para determinar la concentración de oxígeno, las muestras son acidificadas para obtener una cantidad equivalente del complejo yodo-yoduro, el cual es titulado con disolución de tiosulfato de sodio, esta acidificación no debe realizarse hasta que se vaya a efectuar la titulación, pues este complejo es fotolábil. (Strickland y Parsons 1972, Grashoff 1983)

#### 4.2.5.2 Temperatura, salinidad, $\text{NO}_2^-$ y $\text{NH}_4^+$

La temperatura y la salinidad, se obtienen a través de sensores de respuesta rápida, en fracciones de segundo, de la sonda C.T.D. Este equipo permite determinar la salinidad y la temperatura *in situ*.

## *Metodología*

En el caso de la temperatura, el sensor es un termómetro de platino, mientras que el de la conductividad, es una celda de unos cuantos centímetros por la que circula el agua con cuatro sensores. (Granados, et. al. 2000)

El  $\text{NO}_2^-$  y  $\text{NH}_4^+$  fueron determinados por reacciones colorimétricas en forma manual, al mismo tiempo que los nutrientes de ortofosfatos y silicatos en el mismo proyecto y con la ayuda del espectrofotómetro Modelo Ely-2000. (Segura, 2000)

### 4.3 TRABAJO DE LABORATORIO

#### 4.3.1 DETERMINACIÓN DE LOS NUTRIENTES, (ORTOFOSFATOS Y SILICATOS), REALIZADOS EN EL LABORATORIO UTILIZANDO UN AUTOANALIZADOR SKALAR Tipo 1521, Serial.24v San <sup>plus</sup> System

El autoanalizador, es un espectrofotómetro con un sistema continuo por donde avanzan los reactivos, los estándares y las muestras, en la proporción exacta que requiere la metodología. Además de que se realizan varias determinaciones con las repeticiones que se deseen. Al mismo tiempo también cuenta con un sistema de enjuague y lavado interno que evita la contaminación de fluidos.

El fundamento del método analítico empleado es el mismo al descrito anteriormente, sin embargo, la concentración de los reactivos utilizados varía, ya que la alícuota que toma el autoanalizador es pequeña y la distribuye en los 5 canales de análisis de los diferentes nutrientes, (entre 1.2 y 0.8 mL en cada canal). Para la línea base, se toma agua desionizada más los reactivos.

En este caso la muestra se analizó por duplicado, diez días después del muestreo.



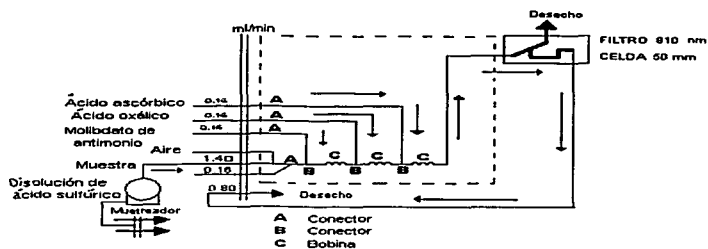
## Metodología

### 4.3.3 DETERMINACIÓN DE SILICATOS

Las disoluciones previamente preparadas, (ver anexo I), contienen los reactivos necesarios para dar la reacción adecuada en la determinación de silicatos, estas disoluciones entran al autoanalizador simultáneamente a una razón de 0.16-1.40 mL/min, para mezclarse con la muestra y obtener el complejo colorido que será leído a través de una celda y utilizando un filtro de 810 nm. (Ver diagrama de flujo).

**Fundamento:** El procedimiento automatizado para la determinación de silicatos esta basada en la siguiente reacción: la muestra es acidificada y mezclada con una disolución de molibdato de amonio formando ácido molibdosilícico. Este ácido es reducido con ácido ascórbico a un color azul el cual es leído con un filtro de 810 nm. Además se agrega ácido oxálico para evitar interferencia con el fosfato.

DIAGRAMA DE FLUJO DEL AUTOANALIZADOR.





#### **4.4 TRATAMIENTO DE DATOS**

##### **4.4.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Los datos obtenidos en la determinación de ortofosfatos y silicatos se analizaron estadísticamente aplicando la prueba de **hipótesis estadística**, que es una declaración o afirmación tentativa acerca del valor de un parámetro o parámetros de una población. Tal declaración se considera tentativa debido a que los verdaderos valores de los parámetros en cuestión, se desconocen.

Las pruebas de hipótesis pueden mostrar si una declaración tentativa se ve apoyada o rechazada por la evidencia de la muestra.

Para realizar esta prueba utilizamos la técnica de la **distribución t**, que se basa en la consideración de que la población a partir de la cual se obtiene la muestra tiene una distribución normal, o al menos aproximadamente normal.

Dado este hecho está permitido que se utilice la **distribución t** para probar la hipótesis acerca de la media de la población o de la diferencia entre dos medias. (Miller and Miller, 1993; Lincoln, 1995 y Douglas, 1991)

Con este análisis sabremos si los datos de cada una de las técnicas realizadas, una a bordo del B/O "El Puma" y otra con el Autoanalizador, tienen alguna diferencia significativa entre sus medias poblacionales.

Con la ayuda del programa **SURFER, Versión 7** y para tener una buena visualización de los resultados, estos se representaron en mapas de isóneas. (líneas con el mismo valor), que nos muestran como varía el parámetro que se está determinando, en la zona de estudio, de acuerdo a la latitud y longitud de

### *Metodología*

cada punto en el muestreo. De esta manera se podrá ver el comportamiento de la concentración de nutrientes y otros parámetros como: oxígeno disuelto, temperatura y salinidad, así como su distribución, tanto en la superficie como en el fondo del área de estudio.

Para saber como se relacionan los nutrientes analizados con los otros parámetros como el oxígeno, temperatura, salinidad y los nutrientes de nitrógeno, se aplicó la **CORRELACIÓN DE PEARSON**, que en esencia es una medida de la relación entre dos variables. El valor del coeficiente de Pearson ( $r$ ) varía desde +1 hasta -1, pasando por el cero. El signo no tiene que ver con la cuantía de la relación solo proporciona información acerca del sentido de la relación. Si el coeficiente de correlación de dos variables es positivo, quiere decir que al aumentar una de ellas también lo hace la otra. (Miller and Miller, 1993; Elorza, 1987)

Para observar el comportamiento de la concentración de nutrientes en la columna de agua a las diferentes profundidades se utilizó el programa de **SIGMA PLOT 2000**, "Gráficas exactas para ciencias exactas".

# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## 5.0 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 EVALUACIÓN DEL MÉTODO ANALÍTICO Y EFECTO DEL TIEMPO DE ALMACENAMIENTO

A pesar de que el método analítico utilizado a bordo del B/O "El Puma" y el utilizado con el autoanalizador tienen el mismo fundamento en cuanto a las reacciones químicas, difieren en la obtención de los resultados, ya que en uno se determinó manualmente, teniendo errores de pipeteo, errores al no hacer las diluciones necesarias por falta de tiempo y la descalibración del espectrofotómetro, y en el otro método, se determinó con un método analítico automatizado, que minimiza los errores de manipulación.

Aún así al hacer el análisis estadístico de ambas determinaciones, para saber si existe una diferencia significativa, entre sus medias poblacionales, se puede observar que mediante la prueba de la **Hipótesis de la distribución t**, las medias poblacionales son iguales, según la Hipótesis nula ( $H_0$ ), planteada:

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2$$

Donde:

$\mu_1$  = media poblacional de los datos obtenidos con el espectrofotómetro.

$\mu_2$  = media poblacional de los datos obtenidos con el autoanalizador.

La decisión que se tomó es:

Si la  $t$  calculada es menor o igual a la  $t$  de tablas la  $H_0$  se acepta.

Si la  $t$  calculada es mayor o igual a la  $t$  de tablas la  $H_0$  se rechaza.

### Resultados y Discusión

Esta prueba de t se calcula mediante la siguiente formula:

$$t = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{\sqrt{\left( \frac{(n_1-1)(s_1)^2 + (n_2-1)(s_2)^2}{(n_1 + n_2 - 2)} \right) \times \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

En la tabla No. 2 del anexo II se observan los resultados obtenidos con el espectrofotómetro y con el autoanализador.

De los resultados obtenidos con el espectrofotómetro solo se utilizaran los valores positivos, ya que son los que entraron en el gráfico estándar y los valores negativos se toman como cero.

El número total de muestras es de 132, para el cual los grados de libertad (g.l.) es igual a  $(n_1 + n_2 - 2) = 262$ , con una  $\alpha = 0.05$ , el gráfico será de una cola y el valor de la t de tablas es igual a 1.645.

Con la ayuda de la distribución t, también se puede saber si el tiempo de almacenamiento afecta la concentración de los nutrientes.

En la tabla No 3 se observa que el valor de t calculada es menor a la t de tablas, tanto para fosfatos como para silicatos, entonces se puede decir que no hay diferencia significativa entre las medias poblacionales, por lo tanto, no hay diferencia entre las dos evaluaciones, (una hecha a bordo de Buque y otra en el laboratorio), y que el tiempo de almacenamiento no afecta la concentración de dichos nutrientes.

## Resultados y Discusión

Tabla No. 3 Resultados de la prueba t para ortofosfatos y silicatos

NUTRIENTES	T calculada	T de tablas	DECISION
ortofosfatos	-0.4512	1.645	Se acepta Hipótesis
silicatos	0.9039	1.645	Se acepta Hipótesis

De acuerdo a estos resultados y para facilitar el análisis de los nutrientes de ortofosfatos y silicatos en agua de mar; en cuanto a su distribución espacial y en la columna de agua, se utilizaran solo los resultados obtenidos con el autoanalizador ya que con este se minimizan los errores de manipulación.

### 5.2 CONDICIONES FISICOQUÍMICAS

Con el objeto de conocer las condiciones fisicoquímicas en el área de estudio analizaremos la salinidad, la temperatura y el oxígeno disuelto, en la zona costera adyacente a la desembocadura del río Balsas.

En la figura No. 8 se observa la profundidad de la zona, en general existe un aumento gradual de la profundidad con la distancia, el intervalo de profundidad es de 20 a 1400 metros conforme se aleja de la costa.

La figura No.9 muestra la distribución espacial de la salinidad en la superficie, ésta varió en un intervalo de 33.2 a 34.5 ups, (unidades prácticas de salinidad); el patrón de distribución de salinidad en agua superficial está asociado a la entrada de agua dulce procedente del río Balsas. La salinidad va aumentando gradualmente conforme se aleja de la desembocadura de este.

### *Resultados y Discusión*

La salinidad en el fondo varió en un intervalo de 34.05 a 34.7 ups., el patrón de distribución no refleja influencia de agua dulce frente a la desembocadura del río Balsas, ver figura No. 10.

La temperatura superficial varió entre 20 y 25.5 °C, ver figura No. 11 y en el fondo varió entre 18 °C y 5 °C, ver figura No. 12. Como se puede observar la temperatura en el fondo es menor, esto es asociado a la profundidad de la columna de agua ya que los rayos solares no penetran más.

El oxígeno disuelto en la superficie varió entre 1 y 7 mL/L, ver figura No. 13. En el fondo la concentración de oxígeno tiene una distribución más uniforme, estando comprendida entre 0.25 a 2.5 mL/L, ver figura No. 14. Como se puede observar en la superficie la concentración de oxígeno disuelto es mayor que en el fondo, ya que hay mayor penetración de luz y se da con mayor facilidad la fotosíntesis. En el fondo los valores más altos corresponden a las zonas someras, ( menos profundas).

Es importante la determinación de estos parámetros ya que estos pueden afectar la disponibilidad o solubilidad de los nutrientes en agua de mar.

## Resultados y Discusión

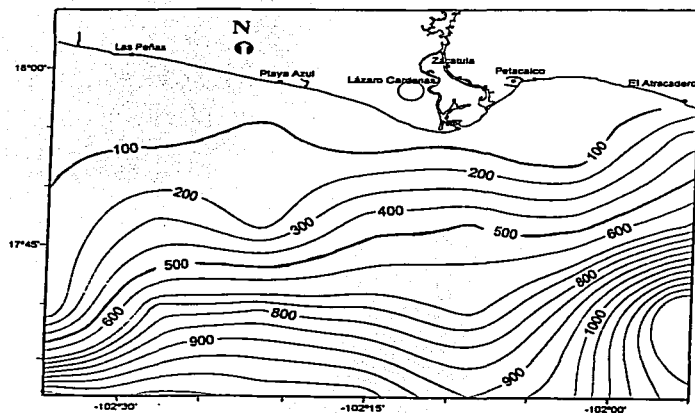


Figura No. 8 Isolíneas de profundidad en metros en el área de estudio del proyecto SEDIMENTOS III, (abril 1999)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## Resultados y Discusión

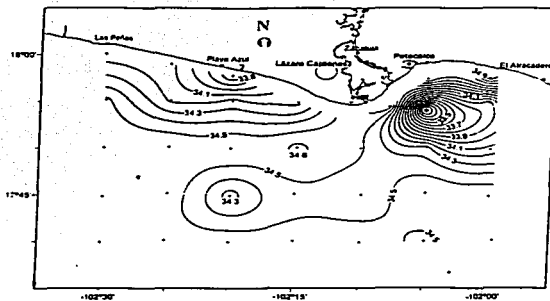


Figura No. 9 Isolíneas de la distribución espacial de salinidad en ups, (unidades prácticas de salinidad), en la superficie del área de estudio

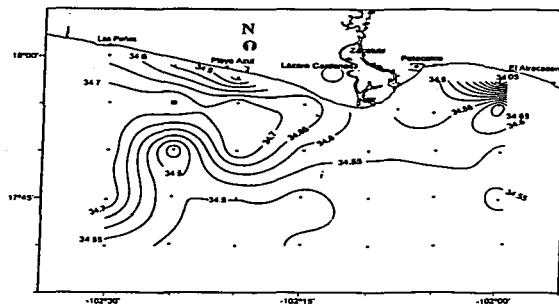


Figura No. 10 Isolíneas de la distribución espacial de salinidad en ups, (unidades prácticas de salinidad), en el fondo del área de estudio

## Resultados y Discusión

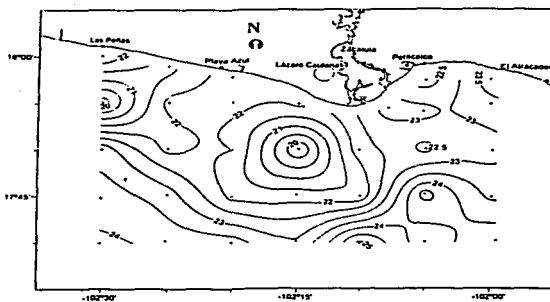


Figura No. 11      Isolíneas de la distribución espacial de la temperatura en ° C en la superficie del área de estudio

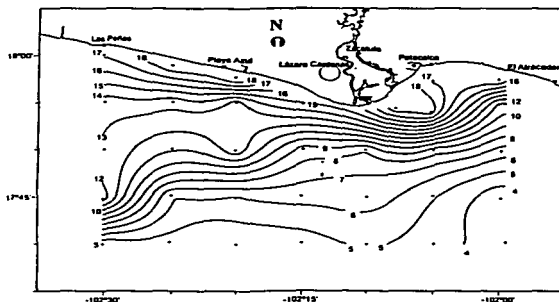
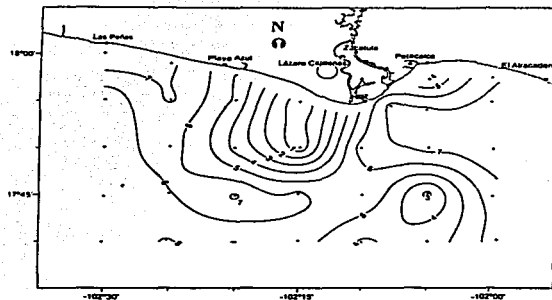


Figura No. 12      Isolíneas de la distribución espacial de la temperatura en ° C en el fondo del área de estudio

## Resultados y Discusión



### **5.3 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE NUTRIENTES EN LA SUPERFICIE Y EN EL FONDO DEL ÁREA DE ESTUDIO**

En base a los resultados obtenidos las muestras serán analizadas en una distribución espacial, en la superficie y en el fondo, a través de isolíneas, (líneas con el mismo valor). El análisis de los patrones de distribución de concentración de nutrientes es más claro a través de estas figuras.

#### **5.3.1 ORTOFOSFATOS**

La concentración de ortofosfatos en la superficie se encuentra en un intervalo de 1 a 4  $\mu\text{M}$ . Como se muestra en la figura No.15, la concentración máxima es de 4  $\mu\text{M}$ , la cual se ubica en la estación 13, (ver la figura No. 6), a un costado de la desembocadura del río Balsas, por lo cual se puede decir que hay un aporte de ortofosfato al mar por dicho río, probablemente, asociados a la presencia de una planta de fertilizantes en el complejo industrial Lázaro Cárdenas. También se observa un núcleo de concentración de 3  $\mu\text{M}$  en las estaciones 9 y 28.

La estación 9 sigue la línea de la desembocadura, por tanto, es afectada por la descarga del río y la estación 28 se puede decir que es afectada por las corrientes del río presentes en el área.

En el fondo se observa un intervalo de 1.5 a 5  $\mu\text{M}$ , ver figura No.16, con una concentración máxima de 5  $\mu\text{M}$ , ubicada en la estación 13, a un costado de la desembocadura del río Balsas, igual que en la superficie, se puede atribuir a la descarga del río. En esta figura se observa que hay una distribución de

## *Resultados y Discusión*

concentración uniforme en toda el área, la cual es similar al valor promedio de 3  $\mu\text{M}$  según la tabla No. 1. (Berner 1996)

Estas altas concentraciones en el fondo probablemente se debe a la descomposición de plantas y excreción de productos de organismos marinos. (Millero 1996)

### **5.3.2 SILICATOS**

Los valores de silicatos obtenidos en la superficie se muestran en la figura No.17, presentan un intervalo de concentración entre 1 y 13  $\mu\text{M}$ , con una concentración máxima de 13  $\mu\text{M}$  en la estación 14, justo en la desembocadura del río Balsas, esta concentración se debe probablemente a la descarga del río y por el deslave de rocas. En el fondo, los valores variaron de 10 a 200  $\mu\text{M}$ , ver figura No.18. En esta figura se observa como aumenta gradualmente la concentración de los silicatos hacia el sureste, (esquina inferior derecha), del área de estudio.

La diferencia en las concentraciones de silicatos que se observan en la superficie y en el fondo pueden ser debidas a que en el fondo no hay gran cantidad de organismos que dispongan de este nutriente y otra de las causas puede ser el deslave de piedras y arcillas por la descarga del río. (Millero 1996)

## Resultados y Discusión

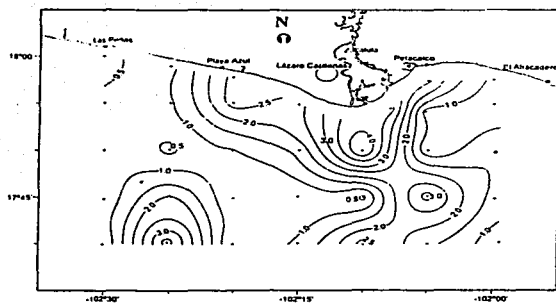


Figura No. 15 Islóneas de la distribución espacial de concentración de ortofosfatos en  $\mu\text{M}$  en la superficie del área de estudio

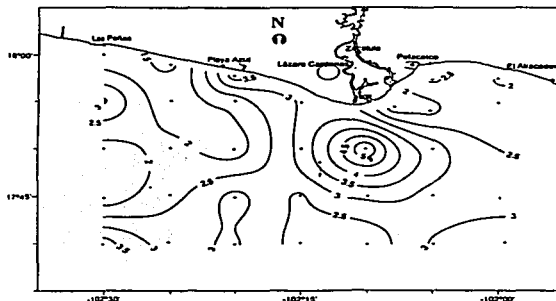


Figura No. 16 Islóneas de la distribución espacial de concentración de ortofosfatos en  $\mu\text{M}$  en el fondo del área de estudio

## Resultados y Discusión

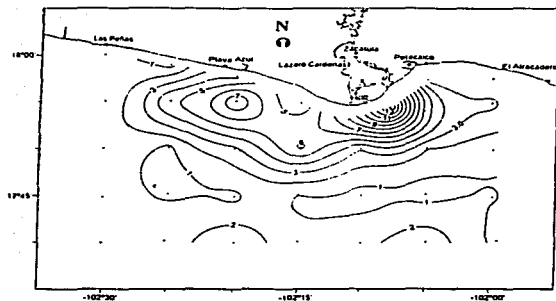


Figura No. 17 Isolíneas de la distribución espacial de concentración de silicatos en  $\mu\text{M}$  en la superficie del área de estudio

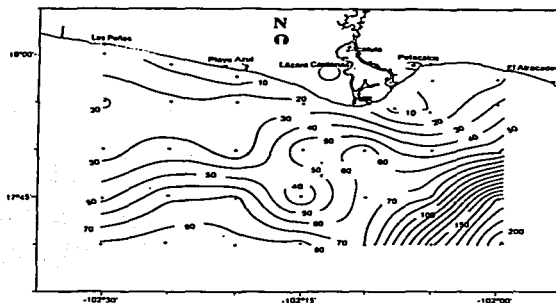


Figura No. 18 Isolíneas de la distribución espacial de concentración de silicatos en  $\mu\text{M}$  en el fondo del área de estudio

## Resultados y Discusión

### 5.4 DISTRIBUCIÓN DE NUTRIENTES EN LA COLUMNA VERTICAL DE AGUA

En base a las diferentes profundidades presentes en el área de estudio y para facilitar el análisis de concentración de nutrientes esta se dividió en tres zonas: Zona A, Zona B y Zona C, ver Fig. No.19.

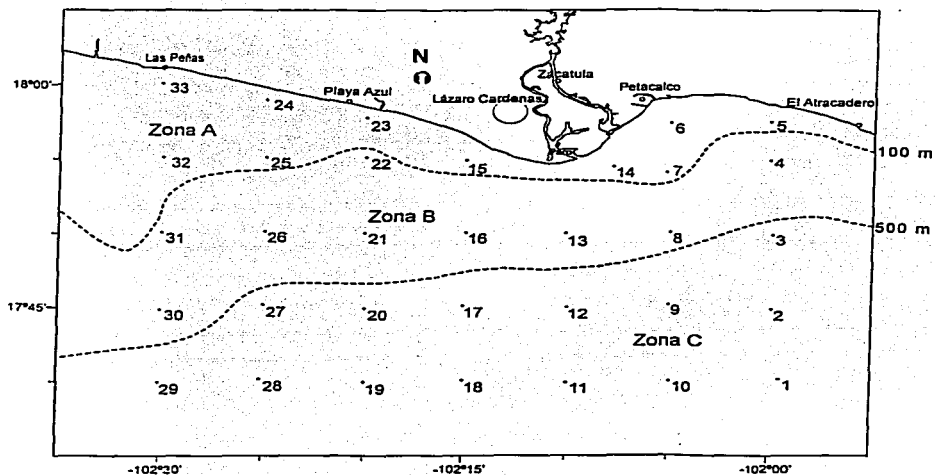


Figura No. 19 Distribución de las estaciones por zonas, de acuerdo a su profundidad en el área de estudio del proyecto.  
SEDIMENTOS III



## Resultados y Discusión

### 5.4.1 ZONA A

Son las estaciones localizadas cerca de la costa y con una profundidad máxima de 80 metros. En esta zona encontramos las siguientes estaciones: 5, 6, 7, 14, 15, 23, 24, 25, 32 y 33. Ver ubicación en la figura No. 19.

#### 5.4.1.1 Concentración de ortofosfatos.

Los ortofosfatos en las estaciones 6, 15 y 23 presentan la misma tendencia. Una concentración similar tanto en la superficie como en el fondo.

En la superficie la concentración es de 2.5  $\mu\text{M}$ , en las tres estaciones y en el fondo, la concentración va de 2.5 a 3.5  $\mu\text{M}$ , con una profundidad máxima de 30 metros. En la parte media, entre los 3 y 10 metros de profundidad, la concentración disminuye, en un intervalo de 0.5 a 1.5  $\mu\text{M}$ . Ver figura No.20.

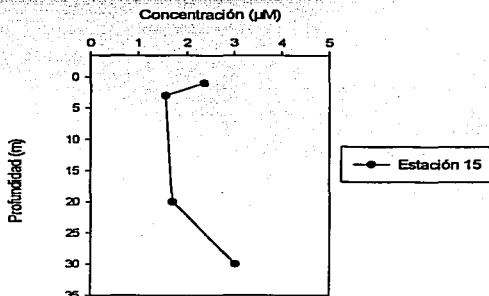


Figura No. 20 Concentración de ortofosfatos en la columna de agua

### Resultados y Discusión

Este comportamiento lo podemos atribuir a que, son estaciones que se encuentran al rededor de la desembocadura del río, muy cerca de la costa y con poca profundidad. La descarga de este propicia una alta concentración de ortofosfatos tanto en la superficie como en el fondo, por ser estaciones muy someras.

Las estaciones 5 y 7 presentan una tendencia similar a las anteriores solo que en este caso la concentración de la superficie y la parte media se mantiene casi constante alrededor de 1  $\mu\text{M}$ , hasta los 10 metros de profundidad, después hacia el fondo alrededor de los 20 o 30 metros, dependiendo de la estación, empieza a aumentar gradualmente hasta llegar a una concentración de 2.5  $\mu\text{M}$ , ver figura No. 21.

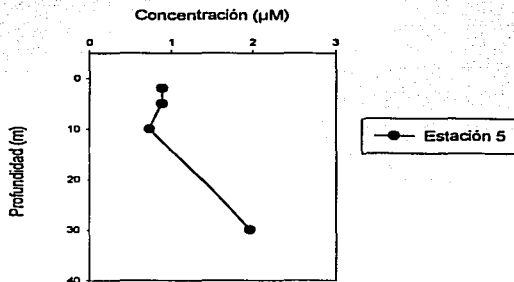


Figura No. 21 Concentración de ortofosfatos en la columna de agua

En esta parte las estaciones a pesar de que se encuentran cerca de la desembocadura la concentración en la superficie no es alta y no son afectadas.

### Resultados y Discusión

Otra tendencia que se observa en esta zona es como la que se muestra en las estaciones 24, 25, 32 y 33. Presentan una concentración menor en la superficie de aproximadamente 1  $\mu\text{M}$  que va aumentando hasta 2.5  $\mu\text{M}$  entre los 10 y 15 metros de profundidad y disminuye casi en forma recta hasta una concentración que va de 1.5 a 3  $\mu\text{M}$ , en el fondo, de los 20 a 80 metros de profundidad según la estación. Como ejemplo tomaremos las estaciones 32 y 33, ver la figura No. 22.

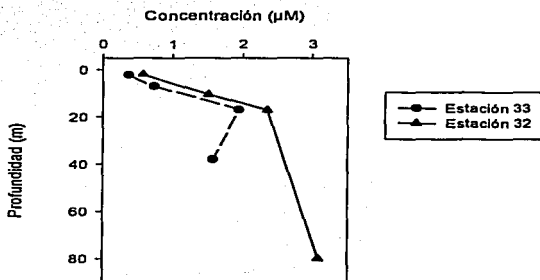


Figura No. 22 Concentración de ortofosfatos en la columna de agua

Estas son estaciones que se encuentran lejos de la desembocadura del río, por lo tanto el comportamiento de la concentración de nutrientes en la columna de agua es la correcta según la literatura, (Cifuentes, et.al 1997), ya que el consumo de nutrientes por los microorganismos en la superficie es mayor, que en el fondo y además en este, se da la regeneración de nutrientes y la excreción de los organismos.

### Resultados y Discusión

Finalmente la estación 14 que se encuentra frente a la desembocadura del río, presenta una concentración alta de ortofosfatos en la superficie, de 4  $\mu\text{M}$  aproximadamente, la cual sobrepasa el intervalo promedio reportado, (Berner 1996); en la parte media va disminuyendo hasta una concentración de 2  $\mu\text{M}$  aproximadamente, entre los 6 y 11 metros de profundidad y hacia el fondo se mantiene constante como se muestra en la figura No. 23.

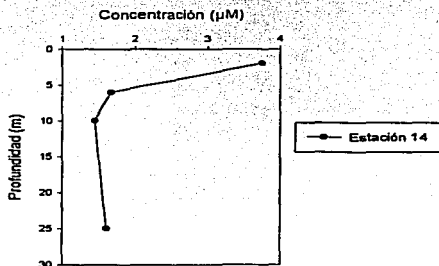


Figura No. 23 Concentración de ortofosfatos en la columna de agua

Este comportamiento se puede deber a que como se encuentra directamente en la desembocadura del río, la descarga de este, provoca un incremento en la concentración de ortofosfatos y una leve contaminación, ya que sobrepasa los intervalos promedio reportados de concentración. (Berner 1996)

## Resultados y Discusión

### 5.4.1.2 Concentración de silicatos

Para los silicatos las estaciones 5, 6, 7, 15, 24 y 33 presentan la misma tendencia en la columna de agua. La concentración en la superficie de estas estaciones está en un intervalo de 1 a 6  $\mu\text{M}$  y se mantiene constante hacia la parte media, entre los 3 y 20 metros de profundidad, para después aumentar hasta llegar a un intervalo de 8 a 23  $\mu\text{M}$  en el fondo hasta llegar a una profundidad máxima de 40 metros, como se observa en la figura No.24.

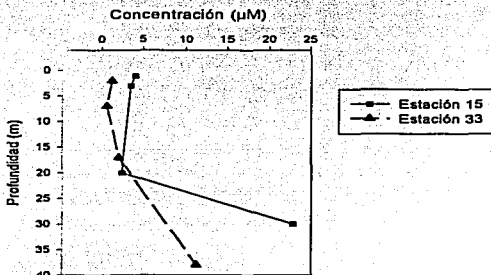


Figura No. 24 Concentración de silicatos en la columna de agua

A pesar de que son estaciones muy someras, ya que se encuentran cerca de la costa y que algunas de ellas como la 5, 6, 7 y 15 están muy cercanas a la desembocadura del río, la concentración está dentro del intervalo promedio, reportado. (Berner 1996)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## Resultados y Discusión

Las estaciones 14 y 23 presentan una concentración mayor en la superficie, que en el fondo. En la superficie tiene una concentración de 4 a 15  $\mu\text{M}$  y va disminuyendo hasta 1  $\mu\text{M}$  entre los 4 y 10 metros de profundidad, para después aumentar hasta una concentración de 3 a 7  $\mu\text{M}$  en el fondo, con una profundidad máxima de 25 metros, como se observa en la figura 25.

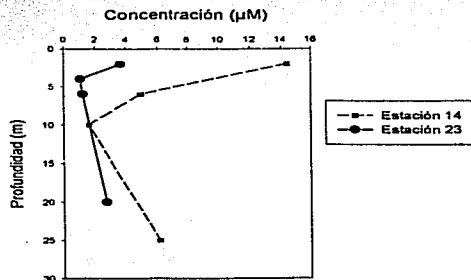


Figura No. 25 Concentración de silicatos en la columna de agua

La estación 14 se encuentra justo frente de la desembocadura del río, que puede ser afectada por la descarga de éste y la estación 23 está muy cerca de la costa, por lo que se observa este comportamiento, con una mayor concentración de silicatos en la superficie que en el fondo.

A pesar de que éstas estaciones se encuentran una frente a la desembocadura y otra cercana a la costa, no rebasan la concentración promedio reportada de silicatos, que es de 180  $\mu\text{M}$ . (Berner 1996)

Otra tendencia que se observa en la zona A, es como la que se muestra en la estación 32, con una concentración menor en la superficie de 1  $\mu\text{M}$  y que

### Resultados y Discusión

aumenta rápidamente hasta 18  $\mu\text{M}$ , desde la superficie hasta los 15 metros de profundidad, para después seguir aumentando conforme aumenta la profundidad hasta llegar a una concentración de 30  $\mu\text{M}$  a los 80 metros, como se observa en la figura 26.

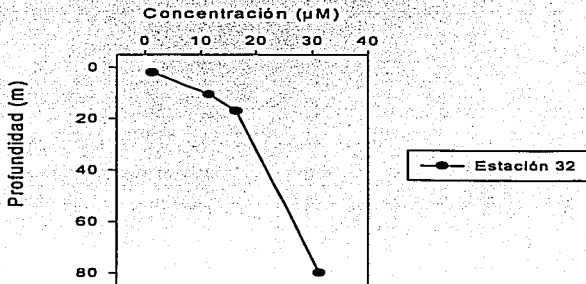


Figura No. 26 Concentración de silicatos en la columna de agua

Esta estación es de las más alejadas de la desembocadura del río y de la costa, aunque no es muy profunda, presenta un comportamiento en la columna de agua adecuada según la literatura, (Cifuentes, et.al 1997), ya que el consumo de nutrientes por los microorganismos en la superficie es mayor que en el fondo y además en este, se da la regeneración de nutrientes y la excreción de los organismos.

Las concentraciones encontradas en esta zona para silicatos, no rebasan los intervalos promedio de concentración de nutrientes en agua de mar, a pesar de que son estaciones someras y cercanas a la costa.

## Resultados y Discusión

### 5.4.2 ZONA B

Son las estaciones localizadas en la parte media y con una profundidad máxima de 500 metros. En esta zona encontramos las siguientes estaciones: 4, 8, 13, 16, 21, 22, 26, 30, y 31, ir a la figura No.19 para ver su ubicación.

#### 5.4.2.1 Concentración de ortofosfatos

Las estaciones que tienen un comportamiento similar en esta zona son: 4, 8, 16, 21, 26, 30 y 31. Presentan una concentración menor en la superficie de  $0.5 \mu\text{M}$ , que aumenta rápidamente hasta llegar a una concentración de 2 a  $5 \mu\text{M}$  en un intervalo de profundidad muy corto, que va desde la superficie hasta los 50 metros aproximadamente, posteriormente disminuye casi constantemente hacia el fondo, con una concentración que va de 2 a  $4 \mu\text{M}$  a una profundidad de 80 a 500 metros, dependiendo de la estación, ver la figura No.27.

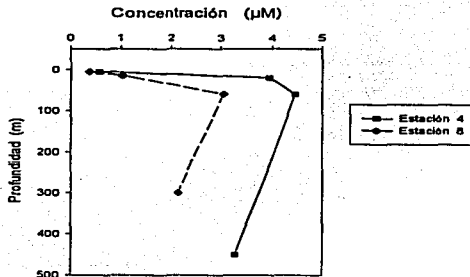


Figura No. 27 Concentración de ortofosfatos en la columna de agua



## Resultados y Discusión

Todas estas estaciones tienen un comportamiento adecuado al consumo y regeneración de nutrientes, en la columna de agua. (Cifuentes, et.al 1997)

Otro comportamiento que se observa es el de las estaciones 13 y 22. La estación 13 presenta una concentración mayor en la superficie (3  $\mu\text{M}$ ), que en el fondo (2  $\mu\text{M}$ ) y en la estación 22, la concentración en la superficie (4.5  $\mu\text{M}$ ), es casi similar a la del fondo (5.5  $\mu\text{M}$ ), en ambas estaciones la concentración disminuye rápidamente en un intervalo muy pequeño de profundidad, desde la superficie hasta los 40 metros, con una concentración que va desde 0.8 a 2  $\mu\text{M}$ . Hacia el fondo la concentración empieza a aumentar en la estación 13 hasta llegar a los 5.5  $\mu\text{M}$ , con un máximo de 500 metros de profundidad y en la estación 22 se mantiene casi constante con un máximo de profundidad de 130 metros.

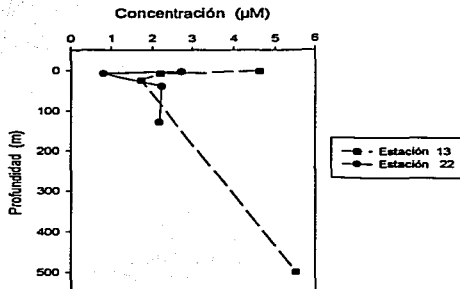


Figura No. 28 Concentración de ortofosfatos en la columna de agua

### Resultados y Discusión

Este comportamiento no es común y esto se puede atribuir a que, la estación 13 se encuentra cerca de la desembocadura del río y con una concentración alta ( $> 4 \mu\text{M}$ ), esta excede a los intervalos promedio reportadas en la literatura (Berner 1996) y la estación 22 se encuentra muy cercana a la costa.

#### 5.4.2.2 Concentración de silicatos

Las estaciones 4, 8, 13, 16, 21, 22, 26, 31 y 30 presentan la misma tendencia. En la superficie las concentraciones están en un intervalo de 0.8 a 6  $\mu\text{M}$  y estas van aumentando hasta llegar a una concentración máxima de 25  $\mu\text{M}$  a una profundidad que va desde la superficie hasta los 50 metros. Esto es, abarcando los tres primeros puntos del muestreo en la columna de agua. Hacia el fondo la concentración sigue aumentando en un intervalo que va de 20 a 60  $\mu\text{M}$ , dependiendo de la estación y con una profundidad que varía desde los 80 a 500 metros, según la estación. Ver la figura No.29.

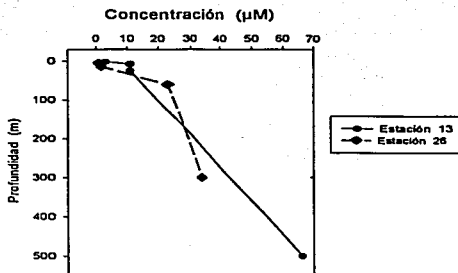


Figura No. 29 Concentración de silicatos en la columna de agua

## *Resultados y Discusión*

El comportamiento de estas estaciones es el adecuado al consumo y regeneración de nutrientes, en la columna de agua. (Cifuentes, et.al 1997)

### 5.4.3 ZONA C

Son las estaciones localizadas lejos de la costa y con profundidad máxima de 1400 metros. En esta zona encontramos las siguientes estaciones: 1, 2, 3, 9, 10, 11, 12, 17, 18, 19, 20, 27, 28 y 29. ir a la figura No.18 para ver su ubicación.

#### 5.4.3.1 Concentración de ortofosfatos

Las estaciones que tienen el mismo comportamiento en esta zona son: la 1, 2, 3, 10, 12, 17, 18, 19, 20, 27, y 29. Estas estaciones en general presentan una concentración menor en la superficie, que en el fondo. En la superficie, (primer punto), la concentración está entre 0.3 y 1.5  $\mu\text{M}$ ,. En el segundo y tercer punto la concentración aumenta desde el 1.5 hasta 7  $\mu\text{M}$ , según la estación, esto se da desde la superficie hasta los 100 metros de profundidad aproximadamente, después, en algunas estaciones como la 10, 17, 20, 27 y 29 la concentración se mantiene constante y en otras como la 1, 3 y 18 disminuye, hasta llegar a una concentración de 2 a 3.5  $\mu\text{M}$ , a una profundidad que va de los 700 a los 1400 metros, dependiendo de la estación. Ver figura No.30.

## Resultados y Discusión

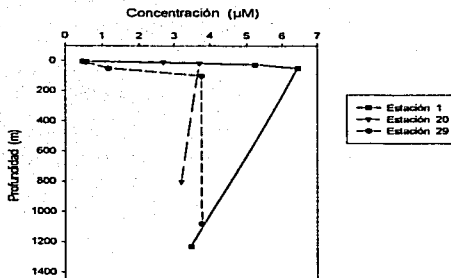


Figura No. 30 Concentración de ortofosfatos en la columna de agua

Todas estas estaciones tienen un comportamiento adecuado al consumo y regeneración de nutrientes en la columna de agua, (Cifuentes, et.al 1997).

A pesar de que se encuentran lejos de la costa presentan una concentración un poco alta rebasando el intervalo promedio de concentración que es de 3  $\mu\text{M}$ , (Berner 1996): Esto debido, tal vez a las corrientes que provoca la desembocadura del río y a que como son estaciones con mayor profundidad y más adentradas, el consumo de nutrientes es menor.

Las estaciones 9, 11, y 28 tienen el siguiente comportamiento, una concentración mayor en la superficie que en el fondo, en la superficie va de 2.8 a 3.8  $\mu\text{M}$ , rebasando el intervalo promedio de concentración que es de 3  $\mu\text{M}$ , (Berner 1996). En los siguientes dos puntos disminuye en un intervalo que va de 0.8 a 3.2  $\mu\text{M}$ , esto se da entre los 15 y 50 metros de profundidad.

Hacia el fondo empieza a aumentar ligeramente entre 1.5 a 3  $\mu\text{M}$ , hasta llegar a los 1050 metros, ver la figura No.31.

## Resultados y Discusión

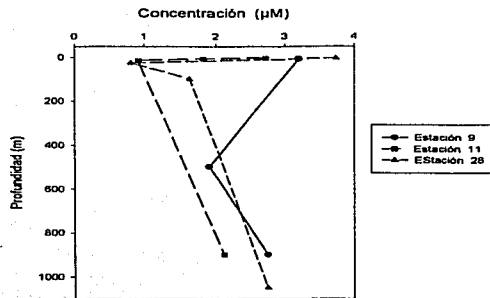


Figura No. 31 Concentración de ortofosfatos en la columna de agua

Este comportamiento no es común pero se puede atribuir a que como se vio en la distribución espacial de nutrientes en la figuras 14 y 15, en estas estaciones se observan núcleos de concentración altos, tanto en la superficie como en el fondo y se puede decir que son afectadas por la descarga del río.

### 5.4.3.2 Concentración de silicatos

Todas las estaciones de esta zona presentan el mismo comportamiento en la columna de agua, con una concentración menor en la superficie que va de 0.8 a 10  $\mu\text{M}$ , según la estación, en el primer y segundo punto, hacia el tercer punto que aun se mantiene en la superficie, empieza a aumentar la concentración hasta llegar a 20  $\mu\text{M}$  como máximo, excepto para la estación No. 1 que aumenta hasta 180  $\mu\text{M}$ , la cual ya se encuentra en el límite del intervalo promedio reportado en agua de mar. (Berner 1996). Hacia el cuarto punto la concentración aumenta rápidamente en un intervalo de 20 a 1400 metros de

### Resultados y Discusión

profundidad, con una concentración máxima de 215  $\mu\text{M}$ , dependiendo de la estación. Todas las estaciones están dentro del intervalo promedio de concentración de nutrientes en agua de mar, (Berner 1996), excepto la estación 1, como se observa en la figura 32.

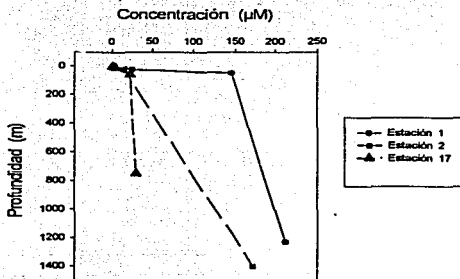


Figura No. 32 Concentración de silicatos en la columna de agua

Todas estas estaciones se encuentran lejos de la costa por lo que tienen un comportamiento adecuado al consumo y regeneración de nutrientes en la columna de agua, (Cifuentes, et.al 1997). Y se encuentra dentro del intervalo promedio de concentración de nutrientes reportados, (Berner 1996).

Con respecto a la estación 1 lo que podemos decir es que a pesar de que es la más alejada, es la que presenta una concentración mayor a la reportada, esto debido tal vez a que las corrientes del río en esa zona se concentró más silicatos y además es una estación muy alejada en donde no hay consumo de nutrientes por los microorganismos.

### **5.5 CORRELACIÓN QUE EXISTE ENTRE LOS NUTRIENTES ANALIZADOS Y LOS OTROS PARÁMETROS DETERMINADOS**

A través de un análisis de correlación de Pearson, se observó la correlación de concentración que existe entre los nutrientes analizados, con otros nutrientes como: amonio, nitratos y nitritos, (determinados en el mismo proyecto, Segura 2000), así como con el oxígeno disuelto, temperatura y salinidad.

Los resultados de la correlación se muestran en la tabla No. 4, para un total de 132 muestras. Para decir que existe una correlación directa entre los parámetros estudiados; la  $r$ , (coeficiente de correlación), calculada debe ser mayor o igual al valor obtenido por tablas (0.163), con una  $\alpha$  de 0.05.

Al observar los resultados en la tabla No. 4, podemos decir que hay una correlación directa de ortofosfatos, con silicatos, amonio, nitritos, nitratos y con la salinidad. Es decir, que al aumentar la concentración de los ortofosfatos aumenta la concentración de los demás nutrientes y de la salinidad.

Los silicatos tienen correlación solo con nitratos, la salinidad con ortofosfatos, nitritos y nitratos y la temperatura con amonio. El oxígeno y la temperatura también tienen una correlación directa.

### Resultados y Discusión

También podemos observar que la correlación de todos los nutrientes y de la salinidad con la temperatura y el oxígeno es inversa, es decir, que los valores máximos de estos nutrientes y de la salinidad están asociados a los valores mínimos de la temperatura y el oxígeno. Excepto para el amonio en ambos casos.

Tabla No. 4 Resultados del coeficiente de correlación, del proyecto  
"SEDIMENTOS III"

	<b>O.D.</b>	<b>T</b>	<b>S</b>	<b>orto-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b>	<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>NH<sub>3</sub></b>	<b>NO<sub>2</sub></b>	<b>NO<sub>3</sub></b>
<b>O.D.</b>	<b>1</b>	0.701	-0.284	-0.493	-0.478	0.048	-0.546	-0.836
<b>T</b>		<b>1</b>	-0.219	-0.405	-0.774	0.163	-0.291	-0.828
<b>S</b>			<b>1</b>	0.193	0.115	-0.028	0.203	0.244
<b>orto-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b>				<b>1</b>	0.461	0.258	0.281	0.563
<b>SiO<sub>2</sub></b>					<b>1</b>	-0.067	0.044	0.764
<b>NH<sub>3</sub></b>						<b>1</b>	-0.031	-0.029
<b>NO<sub>2</sub></b>							<b>1</b>	0.376
<b>NO<sub>3</sub></b>								<b>1</b>

O.D: oxígeno disuelto

S: salinidad

SiO<sub>2</sub> :silicatos

NO<sub>2</sub>:nitritos

orto-PO<sub>4</sub> :ortofosfatos

T:temperatura

NH<sub>3</sub> :amonio

NO<sub>3</sub>:nitratos



## **5.6 IMPACTO QUE TIENEN EN EL AREA DE ESTUDIO**

El patrón de distribución de nutrientes en la zona de estudio considerada, puede ser afectado por las concentraciones aportadas por el Río Balsas, por los patrones de las corrientes en el área y por la productividad biológica de la misma.

En aguas oceánicas alejadas de la costa, los niveles de nutrientes son usualmente bajos, en las zonas costeras los valores son más altos debido a las descargas continentales y a las zonas de surgencias, donde las aguas de fondo más ricas en nutrientes suben a la superficie enriqueciéndolas de nutrientes. (Vázquez 1998).

Como podemos observar la distribución de nutrientes en esta área de estudio se concentra en la desembocadura del Río Balsas.

Estos resultados fueron comparados con los datos reportados en otras zonas, para darnos una idea de la afectación de las aguas continentales en el nivel de nutrientes en agua marina de esta área.

En la tabla No. 5 se observa que los lugares que tiene una alta concentración de ortofosfatos son: el Delta del río Colorado con una concentración máxima de 11.5  $\mu\text{M}$ , en México, le sigue el río Lena con menos de 11  $\mu\text{M}$ , en el mar Ártico, después el río Balsas, (desembocadura), con una concentración máxima de 6.5  $\mu\text{M}$ , en México, el Golfo de Tehuantepec, que tiene una concentración máxima de 4.5  $\mu\text{M}$ , también en México y finalmente Quintana Roo, (mar Caribe), con un máximo de 3.61  $\mu\text{M}$ .

### *Resultados y Discusión*

Estas concentraciones de ortofosfatos rebasan el intervalo de concentración promedio en agua de mar reportado, que va de 0.1  $\mu\text{M}$  a 3  $\mu\text{M}$ . (Berner 1996)

En cuanto a los silicatos, solo en la desembocadura de río Balsas se encontraron concentraciones altas de hasta 212.1  $\mu\text{M}$ , rebasando los intervalos de concentración promedio en agua de mar que se reportan en la literatura y que van de 0.5  $\mu\text{M}$  a 180  $\mu\text{M}$ . (Berner 1996)

**Tabla No. 5 Concentración de nutrientes en la columna de agua de diversas áreas costeras**

LUGAR DE ESTUDIO	AÑO	ORTO-FOSFATOS $\mu\text{M}$	SILICATOS $\mu\text{M}$	AUTOR
Delta del Río Colorado, México	1993	11.5	92	Hernández-Ayon
Quintana Roo, Caribe, México	1991	0.01-3.61	0.1-27.9	Merino y Otero
Río Tuxpam y Laguna Tampamachoco, México	1983	0.06-2.47	0.5-62.36	Contreras
Ensenada de La Paz, B.C.S., México	1991	0.67-2.04		Cervantes
Golfo de Tehuantepec, México	1989 1990 1992	2.7-4.1 2.9-4.5 0.3-4.5	6.5-17.1 23.5-29.1 10.6-158.8	Vázquez
Río Lena (Laptev, mar Artico)	1994	<11	60	Kattner
Mar de creta	1995	0.08-0.5	1.49-2.71	Tselepides
Río Nestos, Grecia	1998	0.03-0.47	3.83-19.1	Pavlidou
Este estudio Desembocadura Río Balsas	1999	0.280-6.5	0.560-212.1	Muñoz
Intervalos promedio reportados	1996	0.1-3	0.5-180	Berner

# CONCLUSIÓN

## **6.0 CONCLUSIONES**

- Los niveles de concentración de ortofosfatos encontrados en el área de estudio están en un intervalo de 0.280 a 6.5  $\mu\text{M}$ , los cuales están por encima de los valores reportados en áreas costeras, que van de 0.1 a 3  $\mu\text{M}$ .  
Lo mismo sucede con los niveles de concentración de silicatos encontrados, que están en un intervalo de 0.56 a 212.1  $\mu\text{M}$ , los cuales están por encima de los valores reportados en áreas costeras que van de 0.5 a 180  $\mu\text{M}$ .
- El patrón de distribución de ortofosfatos y silicatos en el área de estudio refleja la influencia de la descarga del río Balsas.
- No se encontró una diferencia significativa entre las muestras analizadas de inmediato, (en el B/O "El Puma"), y las muestras almacenadas por un tiempo, por lo que se recomienda congelar las muestras y leerlas en el autoanalizador, dado que se minimizan los errores por manejo de muestra.
- El patrón de distribución de nutrientes a lo largo de la columna de agua varío de acuerdo a la profundidad. En general se observa, que en zonas someras existen concentraciones altas en la superficie y disminuye hacia el fondo. En profundidades de 100 a 500 m, la concentración es baja en la superficie, aumenta en la zona intermedia y va disminuyendo ligeramente hacia el fondo. En profundidades mayores de 500 m, la concentración es muy baja en la superficie, aumenta en la zona intermedia y disminuye ligeramente hacia el fondo.

### *Conclusión*

- Se observa una correlación significativa y directa de los ortofosfatos y silicatos con la salinidad y con los otros nutrientes. En cambio la correlación que tienen los ortofosfatos y los silicatos con la temperatura y el oxígeno es inversa, ya que los valores máximos de ortofosfatos y silicatos se encontraron asociados con los valores mínimos de temperatura y oxígeno. Esto indica un adecuado comportamiento de la concentración de nutrientes en la columna de agua, con los otros parámetros fisicoquímicos como la temperatura y el oxígeno.

# BIBLIOGRAFÍA

76A

## 7.0 BIBLIOGRAFÍA

- Baar, De, H.W.J. (1994). *Progress in Oceanography*, **33**, 347.
- Berner, K. E., Berner, R. A. (1996). *Global Environment: Water, Air and Geochemical Cycles*. Prentice Hall, pp. 312-359.
- Boney, A. D. (1989). *Phytoplankton 2ª Edición* 18.
- Brobery, O. And Pettersson, K. (1988). *Hidrobiología*, **170**, 133.
- Butler, E. I., Corner, E.D.S. and Marshall, S.M. (1969). *Journal of Marine. Biology Association. U. K.* **49**, 977.
- Cervantes D. R., S. Aguiñaga y R. Guerrero. (1991). Variación estacional de temperatura, salinidad y nutrientes en la Ensenada de La Paz, B.C.S. *Revista de Investigación Científica*. **2** (2), 56-64.
- Cifuentes, Juan L. Lemus, (1997). *El Océano y sus recursos II. Las Ciencias del Mar: Oceanografía Geológica y Oceanografía Química*. <http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/htlm/biologia.htm>
- Civitarese, G., Ribera, M. y Saggiomo, V. (1997). *Marine Chemistry*. Kluwer Academic Publishers, pp. 99 - 113.
- Clark, S. G., Holt, F. P. and Went, C. W., (1957). *Trans. Faraday Society.*, **53**, 1500.
- Contreras F. (1983). Variaciones de la hidrología y concentraciones de nutrientes del área estuario lagunar de Tuxpam Tampamachoco, Veracruz, México. *Biótica*. **8** (2), 201-213.
- Cooper, L. H. N., (1948). *Journal of Marine. Biology Association. U. K.* **27**, 314.
- Douglas C., (1991). *Diseño y Análisis de Experimentos*, Grupo Editorial Iberoamérica, 3ª edición, México.
- Elorza, Haroldo, (1987). *Estadística para Ciencias del Comportamiento*. Harla, pp.74-85
- Falkowski, P. G., Barber, R. T. y Smetacek, V. (1998). *Biogeochemical Controls and Feedback on Ocean Primary Production Science*, pp 281, 200-206.
- Fanning, K. A., M.E.Q. Pilson. (1973). On the spectrophotometric determination of dissolved silica in natural waters. *Analytical Chemistry*, **45**, 136.

## Bibliografía

- Fichez, R., T. D. Jickells y H. M. Edmuns. (1992). Algal blooms in high turbidity, a result of the conflicting consequences of turbulence on nutrient cycling in a shallow water estuary. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, **35**, 577-592.
- Garrison T. (1996). *Oceanography An Invitation to Marine Science*. Wadsworth Publishing Co. 2ª Edición, pp. 162.
- Granados Barba, Alejandro; Solís Weiss, Viviano; Bernal Ramírez, Rocío. (2000). Métodos de Muestreo en la Investigación Oceanográfica. p. 135.
- Grashoff, K., M. Ehrhard and K. Kremling. (1983). *Methods of seawater Analysis*. Verlag Chemie, Weinheim. 2ª ed. p. 419.
- Gutierrez, E.M. (1971). *Fisiografía y Sedimentología del delta del río Balsas, Michoacán, México*. Vol. No.93 Instituto de Geología UNAM.
- Hernández-Ayon, J.M., M. S. Galindo-Bect, B. P. Flores-Baez, y S. Alvarez-Borrego. (1993). Nutrient concentrations are high the turbid waters of the Colorado River Delta. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, **20**, 729-742.
- Ingrí, N. (1959). *Acta Chemistry Scand*, **13**, 758.
- Kattner, G.; Lobbes, J.M., Fitznar, HP.; Engbrodt, R.; Nothing, EM.; Lara, RJ. Tracing dissolved organic substances and nutrients from the Lena River through Laptev Sea (Arctic). *Marin Chemistry*. Vol. 65, no. 1-2, pp. 25-39, 1 May.
- Kershaw Steve & Cundy Andy, (2000). *Oceanography an Herat Science Perspective*. pp. 20-23.
- Kester, D.R., and Pytkowics, R.M. (1967). *Limnology Oceanography*, **12**, 243.
- Libes S. M. (1992). *An Introduccion To Marine Biogeochemistry*. John Wiley & Sons, Incorporation. pp. 130, 603, 604.
- Lincoln L. Chau, (1995). *Introducción a la Estadística*. Editorial CECSA, XI impresión, México.
- Malakoff, D. (1998). Dead by Suffocation in the Gulf of Mexico *Science*, **281**, 190 – 192.
- Merino, M., A. González, E. Reyes, M. Gallegos y S. Czitrom. (1992). Eutrophication in the lagoons of Cancún, México. *Science of the total environment*. Supplement: 861-870.
- Millero, F. J. (1996). *Chemical Oceanography*. CRC. pp. 281 – 305.



### *Bibliografía*

- Miller, J.C., Miller, J.N. (1993). Estadística para Química Analítica 2ª Ed. Addison-Wesley Iberoamericana, p. 44
- Murphy, J., and Riley, J.P. (1962). Analytical Chemistry Acta. 27, 31-36.
- Pavlidou, A. (2000). Influence of Nestos river (North Greece) in dissolved oxygen and nutrients distribution during January 1998. 6<sup>th</sup> Hellenic Symposium on Oceanography and Fisheries. Chios, Greece, May 23-26, 2000. Proceedings. Vol.1. Oceanography. 60 Panellinio Symposio Okeanografias Kai Alieis. Chios, 23-26 Maiou 2000. Praktika. Tomos 1. Okeanografia, NCMR association of Employees, 2000. vol.1, pp. 549-551.
- Redfield A.C., Ketchum B. H. and Richards F.A. (1963). The sea (vol. 2). Interscience, New York, 26.
- Riley, J.P. y Chester, R. (1971). Introduction to Marine Chemistry. Academic Press London and New York. pp. 167-179.
- Rosales, Hoz, M.T.L. (1980). Manual de Laboratorio de Oceanografía Física. pp., 62-69, 96-101.
- Segura Betancourt Claudia Oliva, (2000). Evaluación de nutrientes de nitrógeno en la zona costera adyacente a la desembocadura del río Balsas. Tesis de Licenciatura, Facultad de Química UNAM.
- Solórzano, L. y Strickland, J.D.H. (1968). Limnology Oceanography. 13, 515.
- Strickland, D.H. & Parsons, T. (1972). A Practical Handbook of seawater Analysis Fish Res. Bd. Can. Ottawa. pp. 310.
- Tamayo J. L. (1991). Geografía Moderna de México. Editorial Trillas 10ª Edición. pp. 109-113, 139, 140, 166.
- Tamayo, J.L., y West, R.C. (1964). The hidrography of Middle America. In: R.C. WEST (Ed.). Handbook of Middle American Indians. J. Natural Environment and Early Culture, Univ. of Texas. Press, Austin, Texas. pp. 84-121.
- Tselepidis, A; Zervakis, V; Polychronaki, T; Danovaro, R; Chronis, G. (2000) Distribution of nutrients and particulate organic matter in relation to the prevailing hydro graphic features of the Cretan Sea (NE Mediterranean). Progress in Oceanography. Vol. 46, no. 2-4, pp. 113-142.

### *Bibliografía*

**Valdez, L.D.S. (1995).** Procesos que regulan el Nitrógeno inorgánico y variaciones estacionales de la Hidrología, en la laguna Chelem, Yucatán. (Tesis de Doctorado, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología). pp. 101.

**Vázquez, F., Salvador, G., Ramírez, A. (1998).** El golfo de Tehuantepec. El Ecosistema y sus recursos. UAM, Unidad Iztapalapa. pp. 35-50.

**ANEXOS**

80A

## ANEXO I

## PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE ORTOFOSFATOS EN EL B/O "EL PUMA"

- Se toman 10 mL de muestra, filtrada con un filtro de 0.45  $\mu\text{m}$ .
- Se ajusta el pH de la muestra, utilizando fenoftaleína como indicador. Se agrega una gota de NaOH 6N y unas gotas de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1N, hasta que la solución sea incolora, (se homogeniza la muestra en cada una de las adiciones).
- Se agregan 2mL de la mezcla reductora, preparada al momento de usarlo, ya que es estable por 4 horas.

## MEZCLA REDUCTORA

Reactivo	(Concentración)	Volumen (mL)
Acido sulfúrico	(5N)	50
Tartrato de antimonio y potasio	( $8.11 \cdot 10^{-3}$ M)	5
Molibdato de amonio	( $6.06 \cdot 10^{-2}$ M)	15
Acido ascórbico	(0.1 M)	30
Aforar		100

- Dejar reposar por 10 minutos y leer la absorbancia en el espectrofotómetro Modelo Ely-2000 a una longitud de onda de 880 nm, utilizando celdas de poliestireno de 1 cm de densidad óptica.

**Nota:** Este mismo tratamiento se le da a los estándares.

## PREPARACION DE REACTIVOS

**Mezcla reductora:**1. Disolución de ácido sulfúrico

- $\text{H}_2\text{SO}_4$  (97.8% de pureza)
- $\text{H}_2\text{O}$  destilada (cbp)

5 N

13 mL

100 mL

## Anexos

*Preparación:* Agregar el ácido a 50 mL de agua poco a poco y con agitación, aforar a 100 mL.

2. Disolución de tartrato de antimonio y potasio 8.11\*10<sup>-3</sup> M
- K(SbO)C<sub>4</sub>H<sub>4</sub>O<sub>6</sub>.1/2 H<sub>2</sub>O 0.136 g
  - H<sub>2</sub>O destilada 50 mL

*Preparación:* Mezclar, guardar en frasco ámbar y refrigerar.

3. Disolución de molibdato de amonio 6.06\*10<sup>-2</sup> M
- (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub> 4H<sub>2</sub>O 6 g
  - H<sub>2</sub>O destilada 50 mL

*Preparación:* Mezclar, guardar en frasco ámbar y refrigerar.

4. Disolución de ácido ascórbico 0.1 M
- C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>6</sub> 1.76 g
  - H<sub>2</sub>O destilada 100mL

*Preparación:* Mezclar, guardar en frasco ámbar y refrigerar. Estable una semana.

**Disolución para ajustar el pH**

5. Disolución de fenoftaleína.
- Fenoftaleína 0.5 g
  - C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O 50 mL
  - H<sub>2</sub>O destilada 50 mL

*Preparación:* Mezclar y guardar en frasco.

6. Disolución de ácido sulfúrico 1N
- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1.3 mL
  - H<sub>2</sub>O destilada (cbp) 50 mL

*Preparación:* Agregar el ácido a 25 mL de agua poco a poco y con agitación, aforar a 50 mL

7. Disolución de hidróxido de sodio 6N
- NaOH 12 g
  - H<sub>2</sub>O destilada (cbp) 50 mL

*Preparación:* Mezclar y guardar en frasco.

PREPARACIÓN DE LA SERIE ESTÁNDAR PARA LA OBTENCIÓN DEL GRÁFICO DE CALIBRACIÓN

1. Disolución stok de fosfatos (100 ppm como  $\text{PO}_4^{3-}$ )  
Disolver 0.0439 g de fosfato diácido de potasio ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ), previamente secado en horno 1 hora a 105 °C, en 60 mL de agua destilada y aforar a 100mL con agua destilada. Mezclar y guardar en frasco.
2. Disolución estándar de fosfatos  
Tomar 75  $\mu\text{L}$  de la solución stok y aforar a 25 mL con agua destilada.

GRÁFICO ESTÁNDAR:

No. de matraz	Disolución estandar de $\text{PO}_4^{3-}$ ( $\mu\text{L}$ )	Aforo con $\text{H}_2\text{O}$ dest. cbp (mL)	Concentración ( $\mu\text{M/L}$ )
1	0	25	0
2	75	25	0.3
3	150	25	0.6
4	225	25	0.9
5	300	25	1.2
6	600	25	2.4

Con un límite de detección de: 0.639  $\mu\text{M/L}$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE SILICATOS  
EN EL B/O "EL PUMA"

- Agregar 1.5mL de ácido molibdico en botellas de plástico
- Agregar 10mL de muestra filtrada a través de un filtro de 0.45 µm.
- Mezclar y dejar reposar 10 min.
- Agregar 7.5mL de mezcla reductora

MEZCLA REDUCTORA

Reactivo	Volumen (ml)
Metol-sulfito	50
ác. oxálico	30
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (25%)	60
Aforar	150

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- Mezclar y ajustar a 25 ml con agua destilada
- Dejar reposar por 3 hrs y leer la absorbancia en el espectrofotómetro modelo Ely-2000 a una longitud de onda de 812 nm, utilizando celdas de poliestireno de 1 cm de densidad óptica.

Nota: Este mismo tratamiento se le da a los estándares.

PREPARACIÓN DE REACTIVOS

1.-Molibdato ácido:

- Paramolibdato de amonio [(NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub> Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>.4H<sub>2</sub>O] 1 g
- Agua destilada (H<sub>2</sub>O) 30 mL
- Ácido clorhídrico conc. HCl (peso específico 1.18) 3 mL

Preparación: Mezclar y disolver completamente, aforar 50ml. Si hay precipitado blanco en las paredes, se descarta el reactivo.

Mezcla reductora:

2.-Metol-sulfito.

- sulfito de sodio anhidro (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 1.2 g
- metol (p-metil-aminofenol sulfato) [(CH<sub>3</sub>NHC<sub>6</sub>H<sub>4</sub>OH)<sub>2</sub> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>] 2 g

Anexos

- agua destilada ( $H_2O$ ) 100 mL

*Preparación:* Disolver el metol, si es necesario filtrar en papel Whatman No.1. Guardar en frasco de vidrio.

3. Disolución saturada de ácido oxálico

- Acido oxálico ( $(COOH)_2 \cdot 2H_2O$ ) 10 g
- Agua destilada ( $H_2O$ ) 100 mL

*Preparación:* Decantar sin pasar cristales. Guardar en frasco de vidrio. Estable indefinidamente.

4. Ácido sulfúrico 25% v/v.

- Acido sulfurico ( $H_2SO_4$  conc.) 62.5 mL
- Agua destilada ( $H_2O$ ) 250 mL

*Preparación:* Agregar el ácido a 150 mL de agua poco a poco y con agitación, aforar a 250 mL

PREPARACIÓN DE LA SERIE ESTÁNDAR PARA LA OBTENCIÓN DEL GRÁFICO DE CALIBRACIÓN

1. Disolución stok de silicatos (100ppm como Si).

Se parte de una disolución de sílice certificada con 10,000 ppm. Se toman 2.5 mL de este y se afora a 25 mL con agua destilada para tener 1000 ppm, de éste se toman 2.5 mL y se afora a 25 mL para tener 100 ppm.

GRÁFICA ESTANDAR:

No. de matraz	Disolución estandar de $PO_4^{3-}$ ( $\mu L$ )	Aforo con $H_2O$ cbp (mL)	Concentración ( $\mu M/L$ )
1	0	25	0
2	50	25	0.2
3	100	25	0.4
4	150	25	0.6
5	200	25	0.8
6	250	25	1.0

Con un limite de detección de: 0.2983 ppm.



PREPARACION DE REACTIVOS PARA LA DETERMINACIÓN  
DE ORTOFOSFATOS EN EL AUTOANALIZADOR

1. Disolución de molibdato de amonio

- Tartrato de antimonio y potasio ( $K(SbO)C_4H_4O_6 \frac{1}{2} H_2O$ ) 230 mg.
- Ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$  al 97 %) 69.4 ml.
- Molibdato de amonio ( $(NH_4)_6 Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$ ) 6 gr.
- Agua destilada ( $H_2O$ ) 1000 ml.
- FFD 6 2 ml.

*Preparación:* Disolver el tartrato de antimonio y potasio en 800 ml de agua destilada. Posteriormente colocarlo en baño de agua helada e ir agregando cuidadosamente el ácido sulfúrico con movimiento ligero. Después de esto agregar el molibdato de amonio y disolverlo, aforar a 1 litro y finalmente agregar el FFD 6 y mezclar perfectamente.

2. Disolución de ácido ascórbico

- Ácido ascórbico ( $C_6H_8O_6$ ) 11 gr
- Acetona ( $C_3H_6O$ ) 60 mL
- Agua destilada ( $H_2O$ ) 1000 mL
- FFD 6 2 mL

*Preparación:* Disolver el ácido ascórbico en 800 ml de agua destilada. Después agregar la acetona. Aforar a 1 litro, agregar el FFD 6 y mezclar perfectamente. Estable por una semana a 4 °C

**Nota:** El FFD 6 es una solución jabonosa que no interfiere en la reacción y ayuda a que los reactivos corran libremente por los canales en todo el equipo ya que estos son muy pequeñitos.

*Anexos*

Disolución Estándar de fosfatos (100 ppm como  $\text{PO}_4^{3-}$ )

Disolver 0.4394 gr de fosfato diácido de potasio ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) en 800 mL de agua destilada y aforar a 1 litro. Esta disolución equivale a 100 ppm de P.

GRÁFICO ESTANDAR

Disolución estándar (mL)	Aforo con $\text{H}_2\text{O}$ (mL)	Concentración ( $\mu\text{M/L}$ )
0	25	0
0.081	25	0.325
0.162	25	0.65
0.322	25	1.29
0.485	25	1.94
0.645	25	2.58
0.807	25	3.23

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

PREPARACION DE REACTIVOS PARA LA DETERMINACIÓN  
DE SILICATOS EN EL AUTOANALIZADOR

1. Disolución de ácido sulfúrico

- Ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$  97 %) 10 ml.
- Agua destilada ( $H_2O$ ) 1000 ml.
- FFD 6 2 ml.

*Preparación:* disolver el ácido sulfúrico en 800 ml de agua destilada, aforar a 1 litro, agregar el FFD 6 y mezclar perfectamente.

2. Solución de molibdato de amonio

- Molibdato de amonio ( $(NH_4)_6 Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$ ) 20 gr
- Agua destilada ( $H_2O$ ) 1000 mL
- FFD 6 2 mL

*Preparación:* disolver el molibdato de amonio en 800 mL de agua destilada, aforar a 1 litro, agregar el FFD 6 y mezclar perfectamente.

3. Solución de ácido oxálico

- Ácido oxálico ( $C_2H_2O_4 \cdot 2 H_2O$ ) 44 gr
- Agua destilada ( $H_2O$ ) 1000 mL

*Preparación:* disolver el Ácido oxálico en 800 ml de agua destilada y aforar a 1 litro.

4. Solución de ácido ascórbico

- Ácido ascórbico ( $C_6H_8O_6$ ) 40 gr
- Agua destilada ( $H_2O$ ) 1000 mL

*Preparación:* disolver el ácido ascórbico en 800 ml de agua destilada y aforar a 1 litro.

Nota: El FFD 6 es una solución jabonosa que no interfiere en la reacción y ayuda a que los reactivos corran libremente por los canales en todo el equipo ya que estos son muy pequeños.

*Anexos*

Disolución Estándar de SiO<sub>2</sub> (100ppm)

Disolver 0.4464 g de metasilicato de sodio (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> · 9 H<sub>2</sub>O) en 800 mL de agua destilada y aforar a 1 litro. Esta disolución equivale a 100 ppm de SiO<sub>2</sub>

GRÁFICO ESTANDAR

Disolución estándar (mL)	Aforo con H <sub>2</sub> O (mL)	Concentración (μM/L)
0	25	0
0.965	25	3.86
2.22	25	8.89
4.45	25	17.79
8.89	25	35.58
17.79	25	71.17
26.67	25	106.7

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Anexos

**ANEXO II**

**Tabla No. 2** Tabla de resultados de concentración de ortofosfatos y silicatos determinados con el espectrofotómetro y con el autoanalizador en el Proyecto **SEDIMENTOS III**

Estación	Profundidad (m)	Ortofosfatos ( $\mu\text{M}$ )		Silicatos ( $\mu\text{M}$ )	
		Autoanalizador	Espectrofotometro	Autoanalizador	Espectrofotometro
1	5	0.580	0.5484	0.740	1.500
	25	5.230	2.5161	25.340	20.286
	50	6.470	3.6452	145.650	71.964
2	1230	3.490	5.8065	212.120	99.657
	3	1.330	1.0323	1.040	1.679
	6	2.240	0.3548	1.120	1.036
3	20	2.200	2.7742	14.710	11.857
	1400	2.660	3.4516	172.120	112.536
	3	1.510	0.0000	1.270	0.0000
4	5	0.840	0.0000	1.280	0.0000
	30	3.770	2.1290	23.220	17.107
	700	2.500	3.3871	59.700	64.857
5	3	0.800	0.6129	3.220	0.0000
	10	1.880	0.9032	1.060	1.321
	20	1.700	1.6129	10.370	8.893
6	350	2.090	2.8065	31.270	33.143
	2	0.890	3.2258	1.990	0.0000
	5	0.890	1.1613	0.930	0.000
7	10	0.740	0.6774	1.730	0.821
	30	1.970	1.9032	17.140	14.821
	5	2.600	1.0000	2.640	0.714
8	15	1.230	0.8710	4.990	3.214
	20	1.730	1.4839	10.080	0.0000
	39	2.620	1.9677	17.130	17.571
9	2	0.820	0.1290	5.700	5.571
	4	0.850	0.3226	3.870	3.729
	10	1.180	0.8387	4.190	4.239
10	20	1.870	1.4194	10.630	12.532
	5	0.570	0.0000	2.070	2.500
	20	3.930	0.0000	0.970	1.168
11	60	4.470	2.4194	23.270	28.600
	450	3.280	0.1290	44.060	61.050

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Anexos

Tabla No. 2 Continuación de resultados...

Estación	Profundidad (m)	Ortofosfatos (µM)	Ortofosfatos (µM)	Silicatos (µM)	Silicatos (µM)
		Autoanalizador	Espectrofotometro	Autoanalizador	Espectrofotometro
9	5	3.200	2.9032	0.760	0.0000
	10	3.200	1.0323	5.570	4.750
	500	1.910	2.2903	20.370	25.121
10	900	2.760	3.8387	78.100	102.914
	5	1.580	0.5161	2.820	2.500
	25	3.400	2.4516	24.690	26.143
11	35	3.260	2.2258	16.790	22.561
	1000	3.060	3.3548	146.500	112.021
	3	2.730	0.4516	1.800	0.000
12	7	1.830	0.4839	1.040	0.000
	15	0.920	0.8710	2.060	0.000
	900	2.120	4.0645	69.440	85.339
13	7	0.380	0.6452	0.660	0.000
	15	2.570	0.1290	0.740	0.000
	100	0.850	0.8710	1.230	0.000
14	680	3.120	3.3871	64.280	73.129
	2	4.620	0.0000	3.110	1.068
	8	2.180	1.8387	11.090	7.207
15	25	1.720	1.8452	11.030	8.436
	500	5.510	0.3516	66.370	46.307
	2	3.760	2.3710	14.440	0.000
16	6	1.670	3.7871	4.930	0.000
	10	1.440	1.3226	1.630	0.000
	25	1.610	2.0613	6.140	0.000
17	1	2.370	1.3871	3.980	1.782
	3	1.560	1.1935	3.450	2.193
	20	1.700	2.3226	2.350	1.475
18	30	3.030	2.6774	22.620	16.161
	2	1.670	0.8710	6.140	3.521
	10	1.760	1.8710	8.450	6.493
19	50	2.740	2.1935	23.790	16.521
	450	3.170	29.6774	57.940	20.207
	5	0.600	0.7419	1.000	0.0000
20	10	1.290	1.2581	4.280	2.807
	60	2.250	2.1290	22.630	18.571
	750	2.430	2.1290	30.190	25.836

Anexos

Tabla No. 2 Continuación de resultados...

Estación	Profundidad (m)	Ortofosfatos (µM) Autoanalizador	Ortofosfatos (µM) Espectrofotometro	Silicatos (µM) Autoanalizador	Silicatos (µM) Espectrofotometro
18	3	1.110	0.0000	1.310	0.0000
	25	0.280	0.0000	1.290	0.0000
	100	5.060	2.1613	11.540	10.482
	1020	2.280	3.5806	83.110	38.836
19	3	0.520	0.0645	3.050	1.475
	22	1.180	1.2903	2.430	1.579
	98	1.810	1.9032	14.080	12.018
	1029	3.050	3.4839	83.950	16.521
20	4	0.570	0.0000	0.840	0.146
	7	2.680	0.0000	1.910	0.146
	14	3.720	14.5161	7.350	5.468
	800	3.210	3.4516	72.790	31.671
21	3	0.970	0.7419	2.820	1.375
	8	3.090	1.7097	7.760	6.082
	25	1.790	2.1613	14.940	0.0000
	140	1.690	2.5484	21.630	21.948
22	3	2.730	3.3548	7.960	5.671
	8	0.790	0.6452	1.680	0.861
	40	2.220	2.6452	18.590	16.011
	130	2.160	2.5161	26.850	22.561
23	2	2.640	4.0323	3.700	3.421
	4	1.130	1.5806	1.100	0.352
	6	0.740	1.2581	1.240	0.964
	20	3.760	1.2581	2.750	2.396
24	5	0.850	0.3226	0.670	0.0000
	10	2.830	0.3226	0.670	0.0000
	15	0.610	0.7097	1.350	1.168
	20	1.360	1.6774	7.420	5.057
25	5	0.940	0.2258	5.010	0.964
	15	0.620	0.8710	2.520	1.989
	25	1.670	2.2581	9.250	9.154
	75	1.670	2.3871	22.590	20.411
26	5	0.380	0.3355	0.820	0.0000
	15	1.030	1.2000	1.760	0.861
	60	3.060	2.8000	22.940	0.657
	300	2.150	2.6161	33.900	0.0000

Anexos

Tabla No. 2 Continuación de resultados...

Estación	Profundidad (m)	Ortofosfatos ( $\mu\text{M}$ )		Silicatos ( $\mu\text{M}$ )	
		Autoanalizador	Espectrofotometro	Autoanalizador	Espectrofotometro
27	5	2.010	0.4000	0.920	0.0000
	10	2.210	2.4935	20.360	0.932
	60	2.510	2.5548	20.040	19.489
	750	2.330	3.6032	67.200	4.750
28	5	3.740	0.6452	1.440	1.068
	25	0.810	0.5839	1.830	2.604
	100	1.640	3.1290	13.870	13.146
	1050	2.760	3.6032	85.980	28.089
29	3	0.480	0.8290	1.440	15.193
	50	1.180	0.4613	1.440	0.554
	100	3.780	2.8161	19.520	10.789
	1080	3.780	3.4194	81.710	15.500
30	3	0.590	0.4613	1.440	1.068
	6	0.620	0.8290	3.210	2.911
	25	1.770	3.1290	13.310	13.454
31	100	1.630	3.6645	46.870	26.143
	2	0.930	2.7677	1.630	0.964
	12	2.650	2.7677	1.140	0.657
	40	1.740	2.3710	14.080	18.161
32	110	1.810	2.6774	23.820	22.664
	2	0.590	2.7677	1.290	0.554
	10	1.500	2.0613	11.410	10.586
	17	2.360	2.1839	16.490	13.964
33	80	3.090	2.8161	31.190	22.461
	2	0.380	0.4613	1.120	0.286
	7	0.740	0.4000	0.560	0.250
	17	1.940	1.0774	2.020	0.643
	38	1.570	1.9387	11.240	1.143

TEST CON FALLA DE ORIGEN



*Amigos verdaderos  
son los que vienen a compartir  
nuestra felicidad cuando se les ruega  
y nuestra desgracia sin ser llamados.*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

*Ana María Muñoz-Mata*