

CENTRO DE INVESTIGACION
CIENTIFICA Y DE
EDUCACION SUPERIOR DE ENSENADA

VARIACION TEMPORAL DE LAS CONCENTRACIONES
DE METALES PESADOS EN EL OSTION

CRASSOSTREA GIGAS CULTIVADO EN
BAHIA SAN QUINTIN, B.C., MEXICO.

TESIS

MAESTRIA EN CIENCIAS

TALIA CRISTINA OLMOS AGUILERA

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, MEXICO. JUNIO DE 1993.

RESUMEN de la Tesis de Talia Cristina Olmos Aguilera presentado como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN CIENCIAS en OCEANOLOGIA con opción en ECOLOGIA MARINA. Ensenada, Baja California, México. Diciembre de 1992.

**VARIACION TEMPORAL DE LAS CONCENTRACIONES DE METALES PESADOS
EN EL OSTION *Crassostrea gigas* CULTIVADO EN
BAHIA SAN QUINTIN, B.C., MEXICO.**

Resumen aprobado por:

M.C. Blanca Claudia Farfán

Se estudió la variabilidad temporal de largo (meses) y corto plazo (días) de las concentraciones de Cd, Cu, Zn, Mn y Al en *Crassostrea gigas* y *Ulva lactuca* y de algunas variables indicadoras de surgencia en la zona ostrícola de Bahía San Quintín, B.C. El estudio de variabilidad mensual comprende el período febrero - octubre de 1985; para determinar la variabilidad de corto plazo, en el mes de julio se generó información sobre las variables de interés durante 25 días consecutivos con un intervalo de muestreo de 48 horas.

En el estudio de la variabilidad de período largo (fluctuación mensual), la concentración de metales en *C. gigas* fue en general baja. Únicamente la concentración de cadmio en julio y de zinc en mayo (15.3 y 623 $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco, respectivamente) sobrepasaron los límites legislados para mariscos de consumo humano. En el estudio de la variabilidad de corto plazo las concentraciones de estos dos metales rebasaron los límites legislados en varias ocasiones, aunque en la mayoría de los casos las concentraciones registradas estuvieron muy cerca de dichos niveles. Para ambos metales, esto ocurrió los días 5, 7, 9, 19 y 21 de julio, la concentración de Zn en el ostión además registró valores altos los días 14, 15, 27 y 29.

Las concentraciones de los cinco metales analizados en *C. gigas* y *U. lactuca* registraron fluctuaciones de corto plazo significativas y frecuentes y no presentaron patrones de variación conjunta o asociados a los índices de surgencia, ni aún desfasando éstos hasta 10 días. Lo anterior sugiere que en el interior de Bahía San Quintín las aguas de surgencia pudieran no ser una fuente importante de metales al medio o bien que el período en que se realizó el estudio o la amplitud de éste

fueron insuficientes para resolver dicha asociación.

Uno de los resultados más relevantes de este trabajo es la significativa variación en la concentración de metales en *C. gigas* y *U. lactuca* en períodos de 48 y hasta de 24 horas. En el estudio de la variabilidad de corto plazo el intervalo de variación total registrado en las concentraciones de Cd, Cu y Mn en el ostión fue similar al obtenido en la serie mensual y para *U. lactuca* el intervalo de variación de todos los metales analizados fué incluso mayor. Estos resultados cuestionan fuertemente la utilidad de estos organismos como bioindicadores en programas de monitoreo de período largo, incluyendo al realizado en este trabajo, ya que dichos programas se basan en la capacidad de los organismos de integrar condiciones pasadas. La capacidad de *C. gigas* y *U. lactuca* de cambiar su concentración de metales en períodos cortos, los cuales incluso pudieran ser menores a 24 horas, y la posibilidad de que esta situación también se presente en otros organismos que se utilizan regularmente en los programas de monitoreo, requieren ser investigadas.

TESIS DEFENDIDA POR: **TALIA CRISTINA OLMOS AGUILERA**

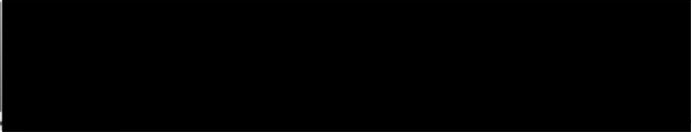
Y APROBADA POR EL SIGUIENTE COMITE:



M.C. BLANCA CLAUDIA FARFAN.- Director del Comité



DR. JOSE RUBEN LARA LARA. Miembro de Comité



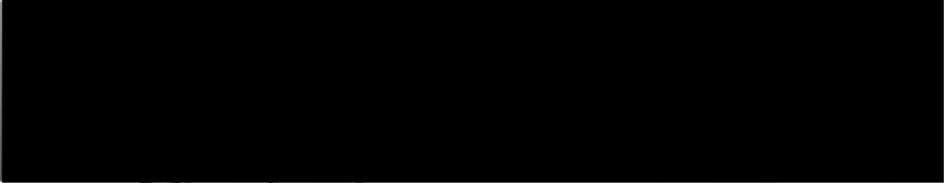
DRA. DIANA TENTORI SANTACRUZ.- Miembro del Comité



M.C. GUILLERMO TORRES MOYE.- Miembro del Comité



DR. ERIC MELLINK BIJTEL.- Jefe Depto. Ecología Marina



DR. LUIS EDUARDO CALDERON AGUILERA.- Director de Estudios de Posgrado

11 DE DICIEMBRE DE 1992

CENTRO DE INVESTIGACION CIENTIFICA Y DE
EDUCACION SUPERIOR DE ENSENADA.

DIVISION DE OCEANOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA MARINA.

VARIACION TEMPORAL DE LAS CONCENTRACIONES DE METALES PESADOS
EN EL OSTION *Crassostrea gigas* CULTIVADO EN
BAHIA SAN QUINTIN, B.C., MEXICO.

TESIS

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para
obtener el grado de MAESTRO EN CIENCIAS presenta:

TALIA CRISTINA OLMOS AGUILERA

Ensenada, Baja California. Diciembre de 1992.

DEDICATORIA

A mis papás, Rodolfo Olmos Colín y Raquel Aguilera de Olmos

A mis hermanas y hermanos: Ligia, Ireri, Rodolfo y Miguel

A mis sobrinos: Mario, Marco, Santana, Zianya Natasha
y Viania Rebeca

A la memoria de mis abuelos, tíos y del Dr. Katsuo Nishikawa

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios, por haberme dado la fe y fortaleza necesarias para terminar este trabajo.

A mis papás por la confianza que han depositado en mi, así como por su apoyo económico.

A mi Asesora la M.Sc. Claudia Farfán por su paciencia y comprensión.

A los miembros de mi Comité de Tesis, Dr. Rubén Lara Lara, Dra. Diana Tentori Santacruz y al M. en C. Guillermo Torres Moye.

A mis hermanos y hermanas por darme tantas muestras de amor y amistad.

A todos mis sobrinos, por sus enseñanzas e incomparable amor.

A los M. en C. Lucila Lares y Guido Marinone por su ayuda en el trabajo de campo.

Al M. en C. Julio Villascusa, Prof. Gilberto Flores y M. en C. Vicente Ferreira por su ayuda en el trabajo de laboratorio.

Al M. en C. Alberto Amador, Oc. Joaquín García y Oc. Modesto Ortíz por su ayuda en el procesamiento de los datos de temperatura.

A María Elena Corona, por su gran ayuda en el procesamiento del texto, elaboración de tablas y otros detalles.

A los dibujantes José María Domínguez y Francisco Javier Ponce por su paciencia y colaboración.

CONTENIDO		Página
I.	INTRODUCCION	1
	I.1 Objetivo	7
II.	MATERIALES Y METODOS	8
III.	RESULTADOS	15
	III.1 Variaciones de largo plazo	15
	III.1.1 Variables ambientales	15
	III.1.2. Características biométricas de <i>Crassostrea gigas</i>	19
	III.1.3 Variación mensual de la concentración de metales pesados	22
	III.1.4 Análisis de correlación y de factores	30
	III.2 Variaciones de corto plazo	36
	III.2.1 Variables ambientales	36
	III.2.2 Características biométricas de <i>Crassostrea gigas</i>	42
	III.2.3 Variación de corto plazo en la concentración de metales pesados	44
	III.2.4 Análisis de correlación y de factores	52
IV.	DISCUSION	61
V.	CONCLUSIONES	80
	LITERATURA CITADA	82



Figura

LISTA DE FIGURAS

Página

1. Bahía San Quintín B.C., () ubicación del termógrafo y sitio de muestreo. 9
2. Termograma e índices de surgencia. a) Registros horarios de la temperatura del agua ($^{\circ}\text{C}$) en la cabeza de Bahía Falsa B.C. de abril a octubre de 1985. b) Índices de surgencia diarios ($\text{m}^3 \text{seg}^{-1}$ por 100 m de costa) de enero a diciembre de 1985 para la zona de estudio; datos proporcionados por la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). 16
3. Variación mensual de: a) Índices de surgencia; promedio mensual y correspondiente desviación estándar ($\text{m}^3 \text{seg}^{-1}$ por 100 m de costa). b) Precipitación pluvial total en mm. 18
4. Variación mensual en la concentración de: a) Fosfatos disueltos ($\mu\text{g-at l}^{-1}$); b) Clorofila a (mg m^{-3}); se indican valores promedio y correspondientes desviaciones estándar. 20
5. Variación mensual del seston total expresado en: a) Peso seco (mg l^{-1}) y concentración (número de partículas l^{-1}); b) Volumen total del material particulado en suspensión ($\mu\text{m l}^{-1}$) y densidad específica ($\text{mg } \mu\text{m}^{-3}$). 21
6. Variación mensual en las características biométricas e índices de condición de los especímenes de *C. gigas* colectados para el análisis de metales pesados: a) Talla en mm; b) Peso húmedo del tejido blando en g; c) Índices de condición en g cm^{-1} . Se indican valores promedio y correspondientes desviaciones estándar. 23
7. Variación mensual de: a) Concentración y contenido de cadmio en: *C. gigas*; b) Concentración de cadmio en *U. lactuca*. Concentraciones en $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco y contenidos en μg . Se indican valores promedio y correspondientes desviaciones estándar. 24

Figura**LISTA DE FIGURAS****Página**

8. Variación mensual de: a) Concentración y contenido de cobre en: *C. gigas*; b) Concentración de cobre en *U. lactuca*. Concentraciones en $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco y contenidos en μg . Se indican valores promedio y correspondientes desviaciones estándar. 26
9. Variación mensual de: a) Concentración y contenido de manganeso en: *C. gigas*; b) Concentración de manganeso en *U. lactuca*. Concentraciones en $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco y contenidos en μg . Se indican valores promedio y correspondientes desviaciones estándar. 27
10. Variación mensual de: a) Concentración y contenido de zinc en *C. gigas*; b) Concentración de zinc en *U. lactuca*. Concentraciones en $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco y contenidos en μg . Se indican valores promedio y correspondientes desviaciones estándar. 29
11. Variación mensual de: a) Concentración y contenido de aluminio en *C. gigas*; b) Concentración de aluminio en *U. lactuca*. Concentraciones en $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco y contenidos en μg . Se indican valores promedio y correspondientes desviaciones estándar. 31
12. Variaciones de corto plazo en a) temperatura del agua (---) e índices de surgencia () y b) Niveles de marea (-) ($^{\circ}\text{C}$, $\text{m}^3 \text{seg}^{-1}$ por 100 m de costa y m, respectivamente). 38
13. Variaciones de período corto en: a) Concentración de fosfatos disueltos ($\mu\text{g-at l}^{-1}$); b) Concentración de clorofila a (mg m^{-3}). Se indican valores promedio y correspondientes desviaciones estándar. 40

Figura**LISTA DE FIGURAS****Página**

14. Variaciones de período corto del seston total expresado en: a) Peso seco (mg l^{-1}); concentración en número de partículas l^{-1} ; b) Volumen total de las partículas en suspensión ($\mu\text{m}^3 \text{l}^{-1}$) y densidad específica ($\text{mg } \mu\text{m}^{-3}$). 41
15. Variaciones de período corto en las características biométricas de los especímenes de *C. gigas* colectados para el análisis de metales pesados: a) Talla en mm; b) Peso en g; c) Índice de condición en g cm^{-1} . Se indican valores promedio y correspondientes desviaciones estándar. 43
16. Variaciones de período corto en la concentración de cadmio en: a) *C. gigas*; b) *U. lactuca*. Concentraciones en $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco. Se indican valores promedio y correspondientes desviaciones estándar. 45
17. Variaciones de período corto en la concentración de cobre en: a) *C. gigas*; b) *U. lactuca*. Concentraciones en $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco. Se indican valores promedio y correspondientes desviaciones estándar. 46
18. Variaciones de período corto en la concentración de manganeso en: a) *C. gigas*; b) *U. lactuca*. Concentraciones en $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco. Se indican valores promedio y correspondientes desviaciones estándar. 48
19. Variaciones de período corto en la concentración de zinc en: a) *C. gigas*; b) *U. lactuca*. Concentraciones en $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco. Se indican valores promedio y correspondientes desviaciones estándar. 49
20. Variaciones de período corto en la concentración de aluminio en: a) *C. gigas*; b) *U. lactuca*. Concentraciones en $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco. Se indican valores promedio y correspondientes desviaciones estándar. 51

LISTA DE TABLAS

<u>Tabla</u>		<u>Página</u>
I.	Análisis de los estándares de referencia. Hígado de bovino (NBS # 1577) para cadmio y hojas de hortaliza (NBS #1571) para los otros metales estudiados.	13
II.	Matriz de correlación de las variables incluidas en el estudio de fluctuaciones de período largo (serie mensual). Para la concentración de metales en <i>U. lactuca</i> n=8, variables remanentes n=9. Niveles de significancia ^(a) $\alpha \leq 0.10$; (*) $\alpha \leq 0.05$; (**) $\alpha \leq 0.01$; (***) $\alpha \leq 0.001$.	32
III.	Análisis de factores después de rotación varimax del estudio de la variabilidad de período largo (serie mensual). No incluye las variables PO4, clorofila, y seston de la matriz de correlación. Interpretación en base a cargas > 0.400.	35
IV.	Análisis de factores después de rotación varimax del estudio de la variabilidad de período largo (serie mensual) sustituyendo la concentración de metales en <i>C.gigas</i> por los contenidos de metales en el ostión. Interpretación con base a cargas > 0.400.	37
V.	Correlación cruzada entre la temperatura del agua e índices de surgencia. Segmentos de longitud variable. Se indican ^(a) los coeficientes significativos a $\alpha \leq 0.10$; el resto son significativos a $\alpha \leq 0.05$.	53
VI.	Correlación cruzada entre índices de surgencia y variables ambientales y concentración de metales en los organismos indicadores. Desfase máximo, 10 días. En todos los casos n=12. Solo se incluyen los coeficientes significativos a $0.10 > \alpha > 0.001$. Significancia $\alpha \leq 0.10$ ^(a) ; $\alpha \leq 0.05$ (*); $\alpha \leq 0.01$ (**); $\alpha \leq 0.001$ (***) .	54
VII.	Matriz de correlación de las variables incluidas en el estudio de fluctuaciones de período corto (1-4 días). Niveles de significancia: ^(a) $\alpha \leq 0.10$; (*) $\alpha \leq 0.05$; (**) $\alpha \leq 0.01$; (***) $\alpha \leq 0.001$.	56

- VIII. Análisis de factores después de rotación varimax del estudio de la variabilidad de período corto (1-4 días). Interpretación con base a cargas > 0.400 . 59

**VARIACION TEMPORAL DE LAS CONCENTRACIONES DE METALES PESADOS
EN EL OSTION *Crassostrea gigas* CULTIVADO EN
BAHIA SAN QUINTIN, B.C., MEXICO.**

I. INTRODUCCION

En ambas costas de los E.U.A., el programa de monitoreo del "Mussel Watch" ha venido proporcionado índices de las tendencias espaciales y temporales de algunos contaminantes en el medio acuático como son los metales pesados, plaguicidas, hidrocarburos de petróleo y elementos radioactivos (Martin y Severeid, 1982). En este programa se utilizan moluscos sedentarios como organismos "centinela" de la concentración de contaminantes en el medio acuático, por ser eficientes bioacumuladores (Brooks y Rumsby, 1965; Goldberg, 1975), cosmopolitas y generalmente tolerantes a amplios intervalos de condiciones ambientales (Bayne, 1976).

En las últimas dos décadas se ha incrementado el interés por estudiar la contaminación por metales pesados debido a las grandes cantidades que se liberan en los procesos industriales, y se introducen a las regiones costeras (Goldberg, 1977; Craig, 1980), así como por sus efectos acumulativos en organismos terrestres, marinos y en el hombre (Bryan, 1976; Ketchum, 1980; y Calabrese, 1973).

Los metales pesados más importantes desde el punto de vista de su toxicidad y utilización en la industria son el mercurio, el plomo, el estaño y el cadmio. Ampliamente conocidos son los

trágicos casos de envenenamientos masivos por el consumo de alimentos contaminados con metales pesados en Japón e Irak. En Minimata, Japón, más de 100 personas murieron por consumir mariscos contaminados con mercurio y en Irak fallecieron más de 500 personas al ingerir pan preparado con harina de trigo tratado con un fungicida conteniendo alquilmercurio (Bryan, 1976; Clarkson, 1977). También en Japón el envenenamiento crónico por cadmio producido por el consumo prolongado de arroz contaminado ocasionó la muerte de más de 100 personas (Wittman, 1981). En el hombre la intoxicación por cadmio produce daños permanentes al riñón, hígado y huesos; el mercurio afecta las rutas sensoriales y el cerebelo mientras que el plomo daña irreversiblemente al riñón, hígado y células nerviosas y parece estar asociado a problemas de hipertensión arterial.

Son muchas las fuentes naturales y antropogénicas de metales al medio ambiente, sin embargo, entre las más importantes pueden citarse los procesos de fundición, combustión de energéticos y todos los procesos industriales de transformación de compuestos metálicos, la explotación de minas, el intemperismo, las aguas de escurrimiento de origen urbano y rural así como las aguas residuales industriales y domésticas.

Estos elementos al ser introducidos a las regiones costeras, son en parte adsorvidos a las partículas en suspensión las cuales son posteriormente sedimentadas por procesos naturales, pero una fracción muy significativa queda en solución

(Bruland et al., 1974). Esta fracción puede ser incorporada a la red trófica, vía procesos de bioacumulación, y/o quedar disponible en el medio acuático y ser transportada verticalmente, así como a lo largo y fuera de la costa.

En el océano, los metales cadmio, zinc, y níquel tienen una distribución vertical semejante a la de los nutrientes, mientras que el cobre se incrementa continuamente con la profundidad (Bruland, 1980). Esto sugiere que los movimientos ascendentes de agua, en particular las surgencias a través de las cuales se fertiliza la zona eufótica, también transportan grandes cantidades de estos metales a la superficie.

Esta situación es especialmente relevante para la costa pacífica de Baja California ya que además de estar situada al sur de la zona más industrializada y poblada de la costa oeste del continente americano, es una región donde ocurren eventos de surgencia todo el año.

De hecho, estudios sobre las concentraciones de cadmio en organismos bioindicadores sugieren que en la costa noroccidental de Baja California los niveles de este contaminante están asociados a las surgencias. En estudios comparativos de la concentración de Cd en el plancton, Martin y Broenkow (1975) señalan que frente a Baja California y en particular hacia el sur de la península, la concentración de este metal es hasta tres veces más alta que en el Pacífico central, y costas de California y Oregon (E.U.A.).

En un estudio sobre la variabilidad espacial y temporal de metales en la costa noroccidental de Baja California, desde la frontera con E.U.A. hasta San Quintín B.C., el cual fue realizado en 1982 utilizando al mejillón *Mytilus californianus* como organismo indicador, Flores-Muñoz y Gutiérrez Galindo (1992) también encontraron concentraciones más alta de cadmio en la zona sur ($> 12.9 \mu\text{g g}^{-1}$ peso seco) que en el norte ($< 1.5 \mu\text{g g}^{-1}$ peso seco). Respecto a la variación temporal, la concentración más alta la registraron en julio. En un estudio posterior, Lares-Reyes (1988) reporta que las poblaciones naturales de *M. californianus* y *Macrocystis pyrifera* que habitan la parte externa de Bahía San Quintín registraron las concentraciones de Cd más altas de abril a julio.

Estos autores sugieren que los altos niveles de este contaminante en los bioindicadores durante primavera y verano están asociados a la ocurrencia de eventos de surgencia, que en la costa noroccidental de Baja California se intensifican precisamente durante esta época del año (Chavez de Nishikawa y Alvarez-Borrego, 1974; Alvarez-Borrego et al., 1975; Lara-Lara y Alvarez-Borrego, 1975; Lara-Lara et al., 1980; Barton y Argote, 1980; Millán-Núñez y Alvarez-Borrego, 1982; Torres-Moye y Acosta-Ruiz, 1986).

Resulta paradójico que el benéfico aporte de nutrientes y subsecuente florecimiento del fitoplancton ocasionado por un evento de surgencia, esté contrarrestado por el transporte de

contaminantes a la superficie. Esta situación puede resultar particularmente peligrosa para las regiones costeras, donde se capturan y/o cultivan especies filtroalimentadoras para consumo humano.

Este es el caso de Bahía San Quintín donde se cultiva el ostión japonés *Crassostrea gigas* con una producción mayor a las 300 toneladas/año (Torres-Fernandéz, 1986). Si bien el ostricultivo se localiza en la cabeza de la bahía, Alvarez-Borrego y Alvarez-Borrego (1982) señalan que las corrientes de marea propagan las aguas de surgencia hacia el interior de la bahía, lo que sugiere que las altas concentraciones de cadmio encontradas en las poblaciones naturales de *M. californianus* y *M. pyrifera* (Flores-Muñoz y Gutierrez-Galindo, 1992; Lares-Reyes, 1988) que habitan la parte externa de la bahía también pudieran encontrarse en los filtroalimentadores del interior de ésta.

Debido a que los bivalvos acumulan metales con factores de concentración (razón de concentración entre el organismo y agua de mar) de mil a un millón dependiendo de la especie y del metal involucrado (Phillips, 1977), resulta imperativo definir si los niveles de metales en los ostiones que se cultivan dentro de Bahía San Quintín alcanzan niveles peligrosos para la salud y si éstos están asociados a procesos fisiológicos (ciclo reproductivo), a las surgencias o a otros factores ambientales.

Dado que los ostiones pueden bioacumular metales tanto de

la fase disuelta como del ya incorporado al material particulado en suspensión, es importante poder diferenciar la biodisponibilidad potencial en ambas fases. Bioindicadores adecuados de los metales en solución son el fitoplancton y las macroalgas. Estas últimas además de ser eficientes bioacumuladoras de metales tienen la ventaja de ser sésiles y tener un tamaño que permite la fácil colecta de grandes cantidades de tejido para ser analizado (Levine, 1984). En las estructuras de cultivo de *C. gigas* en Bahía San Quintín, la Chlorophyceae *Ulva lactuca* es abundante; esta macroalga además tiene características estructurales (talo foliar constituido por dos capas de células) y un ciclo de vida estacional, lo cual le confiere ventajas como bioindicador de la disponibilidad de metales en solución.

I.1 Objetivos

Considerando que desde el punto de vista de salud pública es importante conocer la variabilidad temporal de las concentraciones de metales en el ostión que se cultiva en Bahía San Quintín, que tanto *Crassostrea gigas* como *Ulva lactuca* son buenos indicadores de la biodisponibilidad de metales y que en la costa noroccidental de Baja California una de las fuentes potenciales de metales al medio son los eventos de surgencia, en el presente trabajo se plantearon los siguientes objetivos:

1.- Determinar los cambios a escalas temporales de largo y corto plazo (meses y días, respectivamente) en las concentraciones de los metales cadmio, cobre, manganeso, zinc y aluminio en el ostión *C. gigas* cultivado en Bahía San Quintín B.C.

2.- Determinar si las variaciones temporales en las concentraciones de estos metales (en particular Cd, Zn y Cu) en *C. gigas* y en *U. lactuca* están asociadas a eventos de surgencias.

3.- En el estudio de la variabilidad de corto plazo, determinar el tiempo de respuesta de estos dos organismos indicadores al incremento en concentración de metales en el medio después de un evento de surgencia.

II. METODOS Y MATERIALES

De acuerdo a los objetivos planteados, los cambios en la concentración de metales en *Crassostrea gigas* y la fluctuación de algunas variables ambientales indicadoras de surgencia, se analizaron en escalas temporales de largo y corto plazo. Para la primera se generó información de periodicidad mensual. Para el análisis de la variación a corto plazo se hizo un estudio intensivo de 25 días con intervalos de muestreo de 48 horas durante el mes de julio, para incidir en la época del año en que se intensifican los eventos de surgencia en la costa noroccidental de Baja California (Barton y Argote, 1980; Torres-Moye y Acosta-Ruiz, 1986).

El estudio de variación a largo plazo (fluctuación mensual) comprende el período de febrero a octubre de 1985. Como una medida indirecta de la ocurrencia e intensidad relativa de los eventos de surgencia en la bahía, se registró la temperatura del agua de abril a octubre, utilizando un termógrafo Ryan J-90 de registro analógico suspendido de una de las balsas de ostión en el canal de Bahía Falsa (Fig. 1).

Para la colecta de organismos se seleccionó un conjunto de balsas del ostricultivo dentro de la bahía, sobre el canal principal del brazo oeste llamado Bahía Falsa. En el canal la

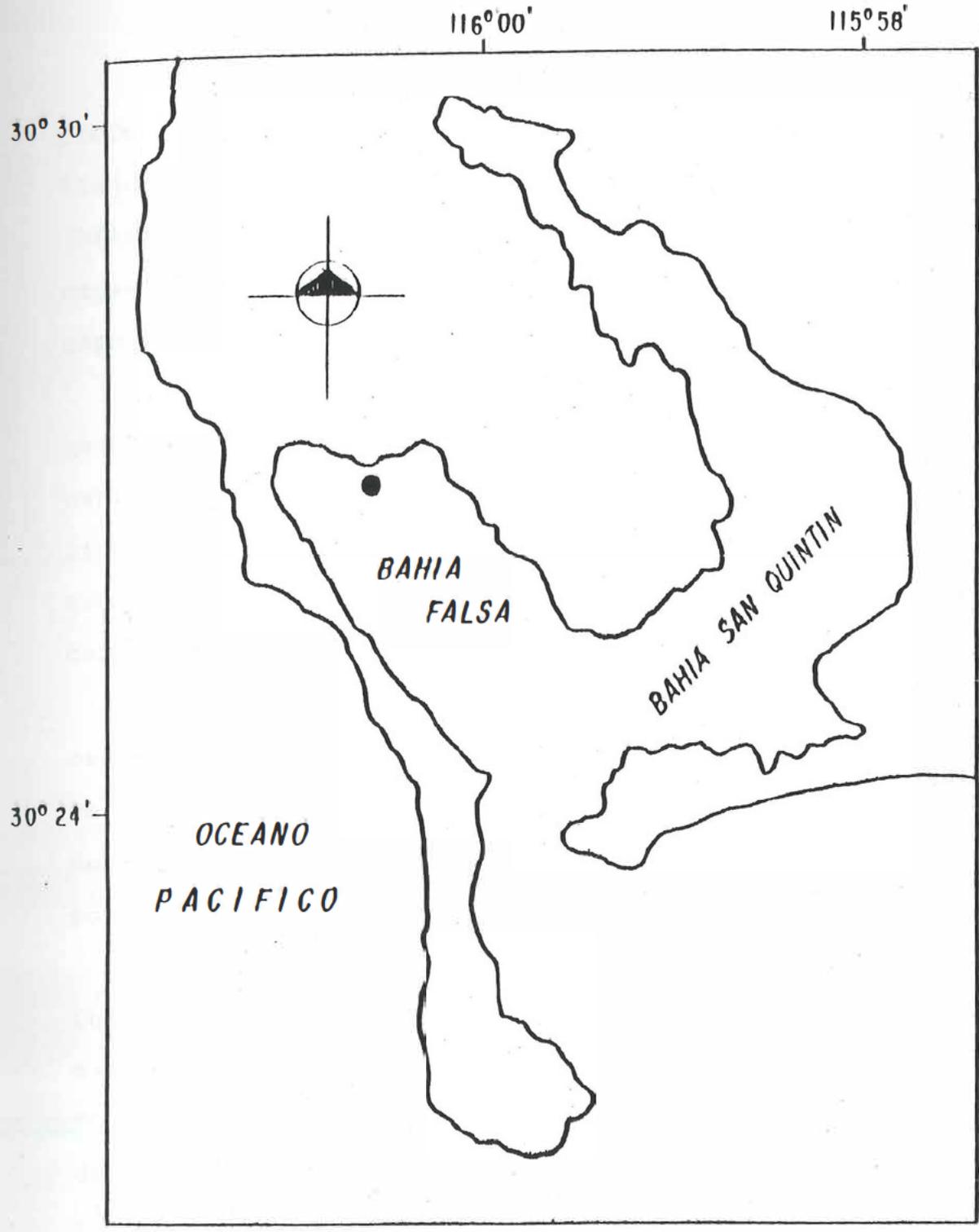


Figura 1. Bahía San Quintín B.C., (•) ubicación del termómetro y sitio de muestreo.

profundidad promedio es de 4 m, la velocidad de la corriente en flujo es de 15 a 18 cm seg^{-1} y en reflujos de 25 a 40 cm seg^{-1} (Nishikawa, 1982). Estas condiciones permiten asumir que los organismos colocados en cualquier posición en la balsa estaban expuestos a condiciones hidrológicas semejantes.

La colecta de organismos se efectuó manualmente utilizando guantes de tela y cuchillo de acero inoxidable para separar los ostiones de la sarta de cultivo. En el campo se limpiaron ligeramente con agua de mar utilizando un cepillo de fibras orgánicas para remover el lodo y los epibiontes adheridos a la concha.

En cada muestreo (mensual e intensivo) se colectaron 50 ostiones de talla comercial (78 a 126 mm). La muestra se colocó en bolsas dobles de plástico previamente lavadas con agua destilada y deionizada y se congelaron a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ para su posterior análisis en el laboratorio.

De la balsa también se colectaron muestras de la Chlorophyceae *Ulva lactuca*. Se enjuagaron ligeramente con agua de mar, se colocaron en bolsas Ziploc limpias y se congelaron a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Esto se hizo con el fin de estimar indirectamente, a través de su bioacumulación por este organismo, la biodisponibilidad de Cd en solución.

Se colectaron además muestras de agua superficial para la determinación de clorofila *a*, fosfatos y material particulado. Las muestras para fosfatos se colectaron en frascos de 60 ml,

que se envolvieron con papel aluminio y se congelaron. Para determinar clorofila a las muestras se tomaron en botellas oscuras de polipropileno, se les agregó 3 ml de carbonato de magnesio al 1 % para preservarlas y se refrigeraron en hielo. En el laboratorio se filtraron tres submuestras de 150 ml cada una en filtros de fibra de vidrio (Whatman GF/C) de 2.5 cm de diámetro. Los filtros se envolvieron con papel aluminio y se congelaron a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ para su posterior análisis. Para determinar el material particulado en suspensión se filtraron 2 litros de agua a través de un tamiz de $120\text{ }\mu\text{m}$ y se preservó con 15 ml de formol al 1%. Para estimar el seston total se filtraron dos submuestras en filtros de poliacetato Nucleopore con tamaño de poro de 0.45 micras y 47 mm de diámetro previamente pesados. Además se utilizó una submuestra de aproximadamente 200 ml para estimar el número de partículas l^1 y la distribución por tamaños.

Estas últimas variables se determinaron con un contador de partículas Electrozone modelo 112 LSN de Particle Data, Inc. El seston total se determinó con el método gravimétrico (Krey, 1950). La concentración de clorofila a y fosfatos fueron determinados por métodos espectrofotométricos siguiendo la metodología descrita en Strickland y Parson (1972).

Las variables morfológicas medidas en los ostiones colectados para la determinación de metales pesados fueron longitud (precisión $\pm 0.1\text{ mm}$) y peso húmedo total (precisión \pm

0.001 g); estas variables se determinaron en tres grupos de 15 organismos. El índice de condición se estimó como la razón de peso húmedo del tejido blando sobre la longitud. Los ostiones fueron enjuagados con agua deionizada antes de desconcharlos. El análisis de metales se efectuó en tres muestras de 15 organismos cada una. Se analizó el tejido completo sin extraer la gónada, que en esta especie no está bien diferenciada del resto del animal. El tejido se homogenizó en un homogenizador con aspas de titanio y se tomaron submuestras de 3-5 g que se secaron a peso constante a 70 °C. Las muestras de *Ulva lactuca*, se enjuagaron ligeramente con agua deionizada. De cada muestra se hicieron 6 grupos de 2-5 g, 3 se secaron a peso constante a 70 °C y en las 3 restantes se determinó la concentración de metales pesados. El análisis se realizó en el Laboratorio de Metales Pesados del Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la U.A.B.C., el cual está especialmente diseñado para este tipo de análisis. La metodología utilizada fue la descrita por Stephenson (1979). La concentración de metales se determinó con un Espectrofotómetro de Absorción Atómica Perkin Elmer. Las concentraciones de cadmio, cobre, zinc y manganeso se determinaron con llama de aire-acetileno y el aluminio con llama de aire-óxido nitroso.

Para detectar contaminación junto con las muestras se corrieron blancos de reactivo y para conocer la exactitud de las determinaciones se analizaron de 3 a 6 repeticiones de estándares de referencia. Para cadmio se utilizó el hígado de

bovino NBS # 1577 y para el resto de los metales hojas de hortaliza NBS # 1571. En ninguna fase del proceso se encontraron evidencias de contaminación y en las repeticiones las variaciones obtenidas fueron siempre menores al 15 % (Tabla I).

Tabla I. Análisis de los estándares de referencia. Hígado de Bovino (NBS # 1577) para cadmio y hojas de hortaliza (NBS # 1571) para el resto de los metales.

Elemento	n	Certificado	Este estudio
Cd	6	0.44 ± 0.06	0.53 ± 0.03
Cu	3	12.0 ± 1.0	12.0 ± 1.0
Mn	6	91.0 ± 4.0	87.7 ± 4.7
Zn	6	25.0 ± 3.0	28.7 ± 4.2
Al	6	*NC	142.8 ± 8.0

*No certificado

II.1 Análisis estadístico de la información.

El principal instrumento estadístico utilizado fué el análisis de Factores. El análisis se realizó sobre la matriz de correlación producto-momento de Pearson de los datos no transformados (Nie et al., 1970).

El análisis de factores es un tipo de análisis multivariado que permite resolver asociaciones entre un número relativamente grande de variables y proyectar los patrones de variación conjunta en un reducido número de variables independientes denominados factores.

El análisis de factores es una herramienta muy potente. Puede manejar simultáneamente más de cien variables, compensar los errores aleatorios y desentrañar interrelaciones complejas en patrones precisos e independientes de variación conjunta (Rummel, 1967). De esta forma, además de reducir la información a un nivel manejable, permite inferir los factores causales subyacentes a las asociaciones observadas.

El vocabulario técnico que posteriormente se usará en la descripción y análisis de los resultados es el siguiente:

- 1) Factor.- Es la variable compuesta con la cual las variables tienen una relación única.
- 2) Rotación.- Procedimiento que minimiza el número de agentes o causas necesarias para explicar la varianza de un grupo particular de variables (solución invariante). La rotación varimax es una de las técnicas de rotación que mantiene la ortogonalidad (independencia) de los factores.
- 3) Carga.- Grado y dirección de asociación de las variables con cada uno de los factores resultantes. Puede interpretarse como un coeficiente de correlación. La suma del cuadrado de todas las cargas en un factor es el valor propio o eigenvalor del factor. Generalmente sólo los factores con valores propios iguales o mayores a 1 se utilizan en la interpretación del análisis.
- 4) Porcentaje de varianza común.- Mide la variabilidad de la matriz de datos explicada por cada factor.

III. RESULTADOS

III.1 Variaciones de largo plazo.

III.1.1 Variables ambientales.

Durante el período de estudio se efectuaron mediciones de las siguientes variables indicadoras de eventos de surgencias: temperatura del agua, concentración de fosfatos, clorofila *a* y seston total (material particulado). Los índices de surgencia diarios (índice de Bakun) para la zona de estudio fueron obtenidos de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

La figura 2a contiene el termograma (registros horarios) de mayo a octubre de 1985. En éste se observan claramente dos regímenes térmicos. Uno frío con temperatura media de 17.3 °C y otro más cálido cuya temperatura media es de 20.7 °C. Ambos están separados por una discontinuidad en el registro y el escalamiento obedece a un cambio en la línea base del registro. También se tuvo problemas con la calibración del termógrafo consecuentemente, los valores absolutos de temperatura no son reales. Sin embargo es importante destacar que los descensos en la temperatura media de este termograma coinciden con los del termograma que generó Lares Reyes (1988) durante el mismo período de estudio afuera de Bahía San Quintín. Como puede observarse en la gráfica, ambos segmentos de la serie presentan los esperados súbitos descensos en la temperatura del agua (1.5 - 3 °C). Estos eventos fueron más frecuentes de mayo a agosto.

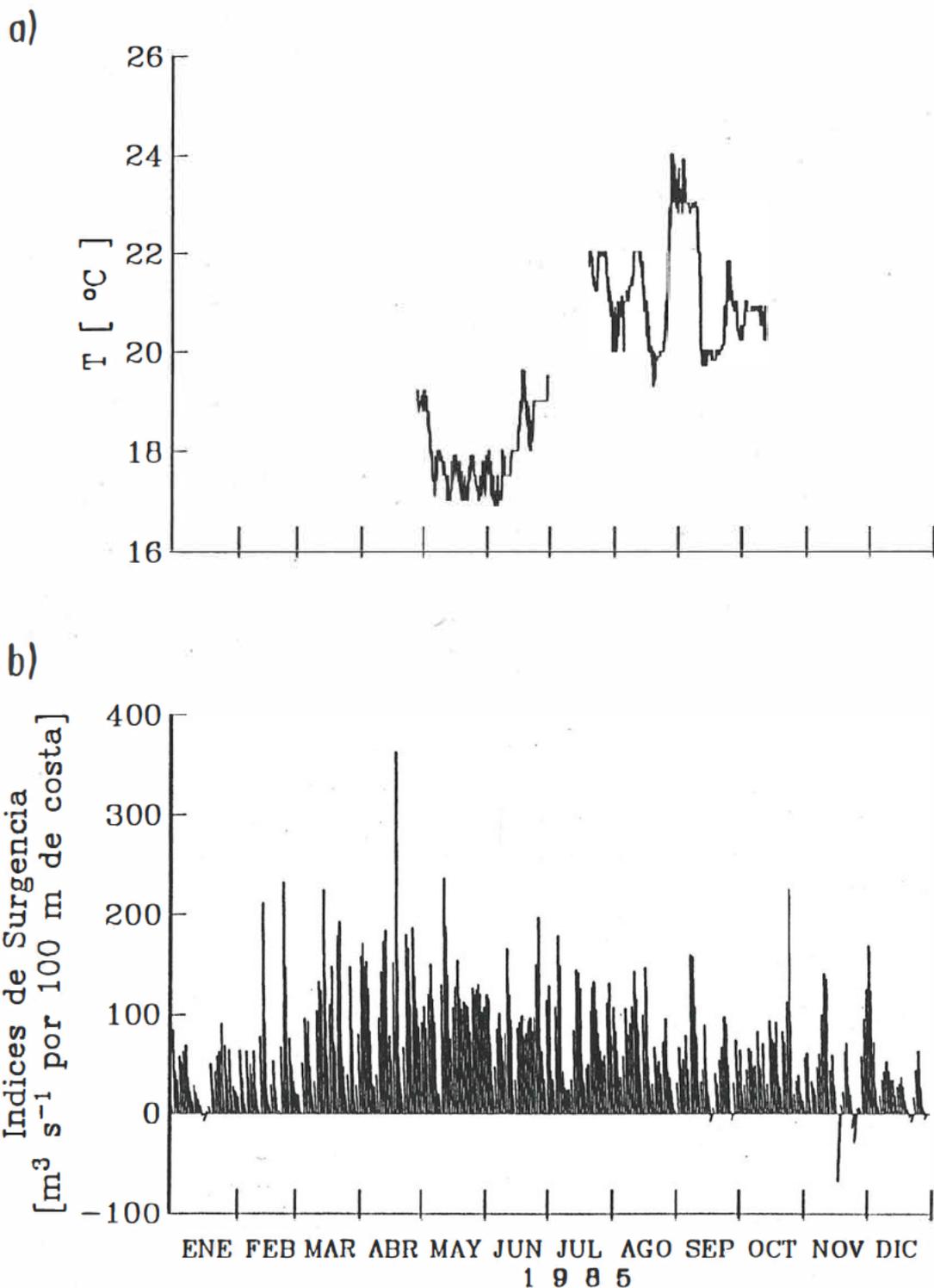


Figura 2.

Termograma e índices de surgencia. a) Registros horarios de la temperatura del agua ($^{\circ}\text{C}$) en la cabeza de Bahía Falsa B.C. de abril a octubre de 1985. b) Índices de surgencia diarios ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ por 100 m de costa) de enero a diciembre de 1985 para la zona de estudio; datos proporcionados por la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

Los descensos de temperatura más importantes se registraron en los periodos: 3-6 mayo, 10-15 mayo, 1-6 junio, 18-23 junio, 21-23 julio, 28 julio-2 agosto, 11-17 agosto, 9 14 septiembre.

Los índices de surgencia diarios para la región (31°N 119°W) indican que durante todo el período de estudio ocurrieron eventos de surgencia, aunque éstos fueron más frecuentes de marzo a agosto (Fig. 2b). El evento más intenso del año ($362 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ por 100 m de costa) ocurrió el 25 de abril. Otros eventos también de gran intensidad ($> 200 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ por 100 m de costa), se registraron los días febrero 20, marzo 2 y 24, mayo 18 y octubre 25.

La Figura 3a-b muestra los índices de surgencia promedio mensuales y la precipitación pluvial total. Esta última variable es de interés al estudio de los metales terrígenos analizados. El índice de surgencia medio fue máximo en mayo, aunque de abril a agosto éste se mantuvo por arriba de los $80 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ por 100 m de costa. La alta desviación estándar de los valores medios mensuales refleja el carácter temporal de este fenómeno físico. La temperatura media mensual fue mínima en junio y máxima en septiembre (17.6 y 21.8 °C). Los meses con mayor precipitación pluvial fueron febrero y octubre (15.4 y 33.5 mm, respectivamente), para el resto del período de estudio la precipitación fue casi nula.

La fluctuación mensual de la concentración de fosfatos (Fig. 4a) fue de 0.6 a $1.2 \mu\text{g-at l}^{-1}$ (octubre y julio

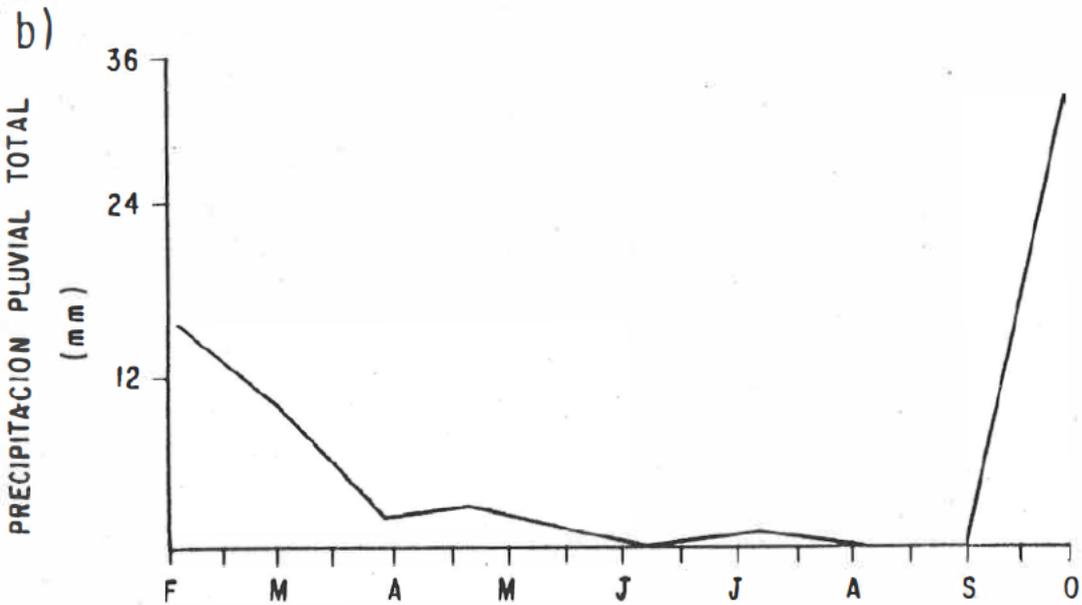
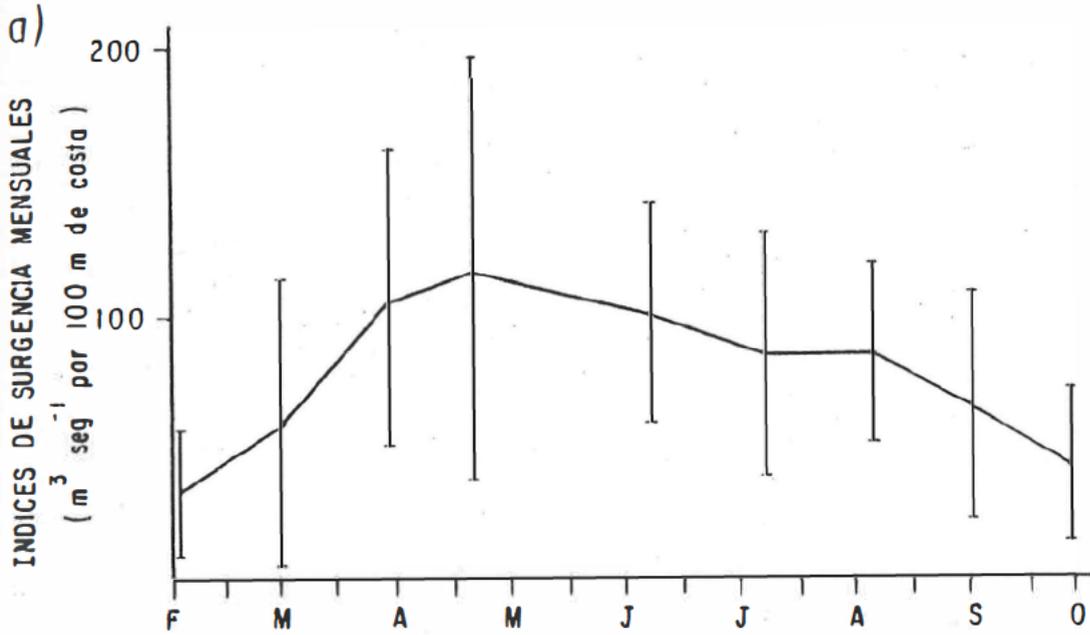


Figura 3.

Variación mensual de: a) Índices de surgencia; promedio mensual y correspondiente desviación estándar ($\text{m}^3 \text{seg}^{-1}$ por 100 m de costa). b) Precipitación pluvial total en mm.

respectivamente), sin embargo durante la mayor parte del período de estudio (abril-septiembre) se observaron concentraciones mayores a $0.9 \mu\text{g-at l}^{-1}$ (mayo). La concentración media mensual de clorofila a (Fig. 4b) muestra tres períodos de concentración diferentes: febrero-abril, mayo-julio y agosto-octubre. Los intervalos de variación correspondientes fueron $0.091-0.204$, $0.568-1.208$ y $0.204-0.536 \text{ mg m}^{-3}$.

La concentración del material particulado en suspensión (mg l^{-1}) fue varios órdenes de magnitud mayor a la concentración de clorofila a. La concentración más alta registrada fue en julio (20.2 mg l^{-1}), al igual que la de los fosfatos y clorofilas. El mínimo fue de 6.9 mg l^{-1} registrado en marzo y coincidió con el mínimo en términos del número de partículas. El volumen total del material en suspensión mostró los valores más bajos en febrero y septiembre, cuando se presentaton las densidades más altas ($1.42 \mu\text{m}^3 \text{ l}^{-1}$ y $5.84 \text{ mg } \mu\text{m}^{-3}$; $1.69 \mu\text{m}^3 \text{ l}^{-1}$ y $6.39 \text{ mg } \mu\text{m}^{-3}$ respectivamente) y en marzo, aunque en este mes el peso por unidad de volumen de las partículas fue inferior a los valores mencionados (Figs. 5a b). En todas las muestras analizadas la mayor frecuencia de tamaño fue entre 4 y $5 \mu\text{m}$ (partículas finas).

III.1.2 Características biométricas de *Crassostrea gigas*.

Las tallas medias (longitud anteroposterior) menores se colectaron durante mayo y octubre (89 y 78 mm , respectivamente),

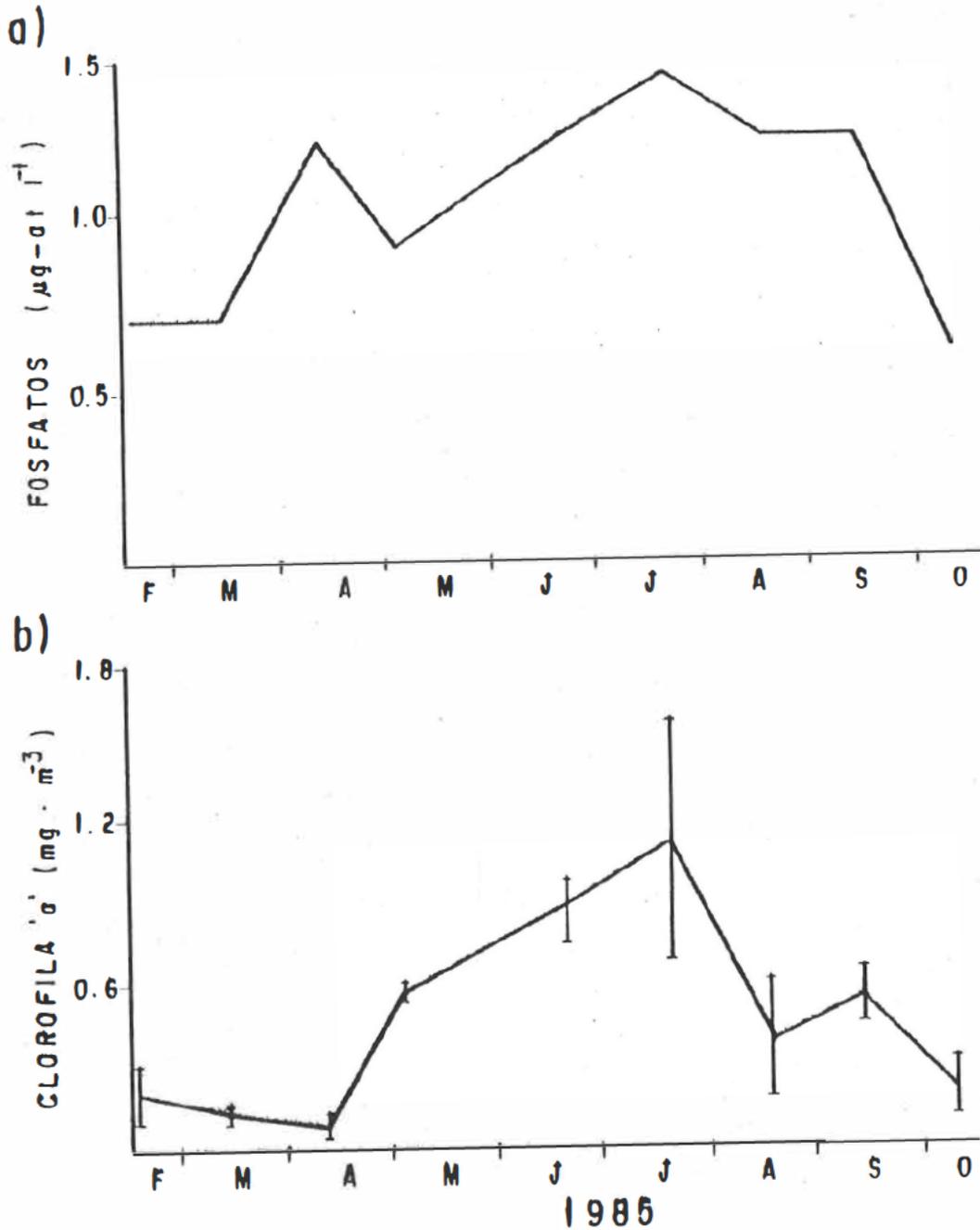


Figura 4. Variación mensual en la concentración de: a) Fosfatos disueltos ($\mu\text{g-at l}^{-1}$); b) Clorofila *a* (mg m^{-3}); se indican valores promedio y correspondientes desviaciones estándar.

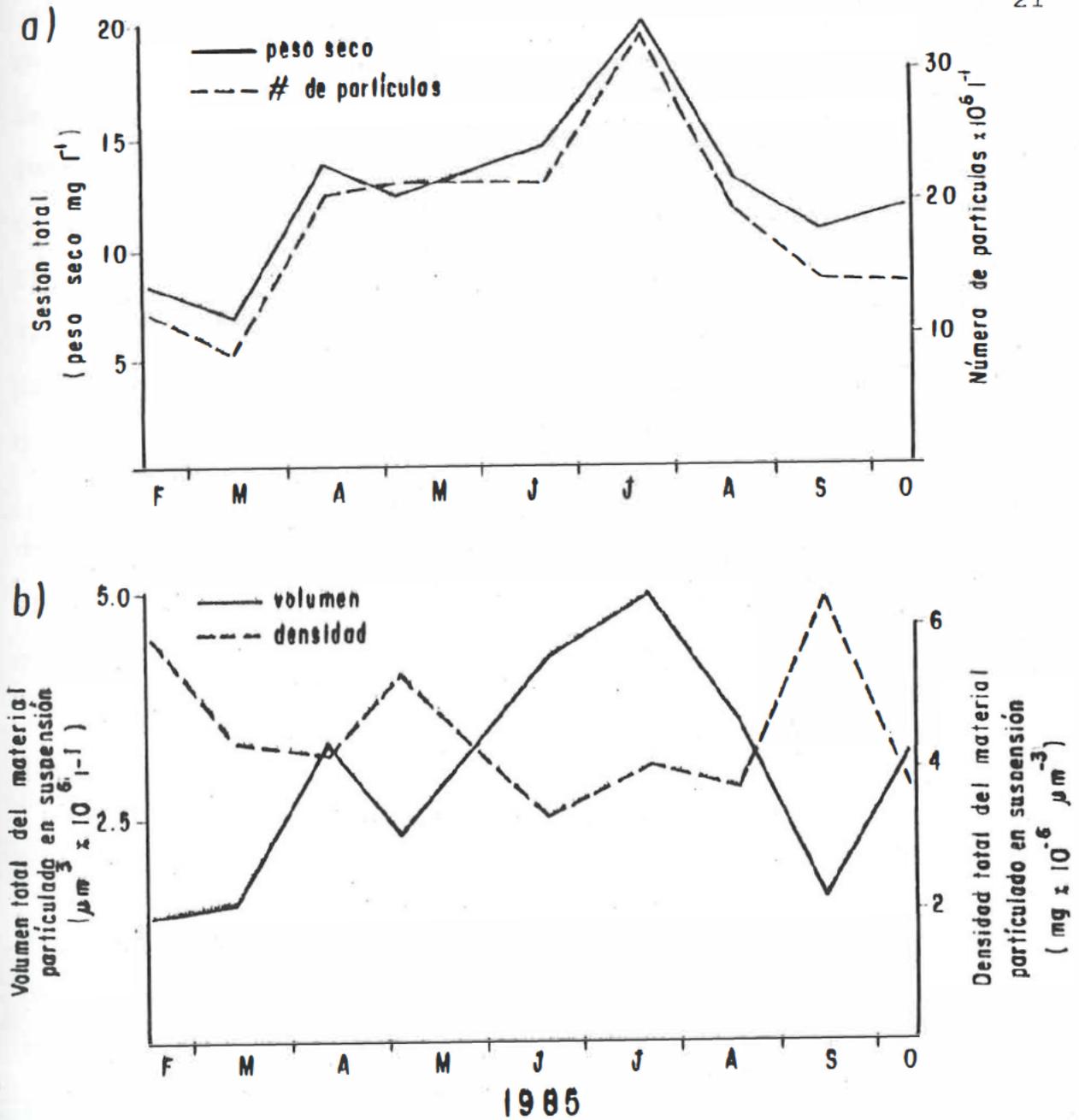


Figura 5. Variación mensual del seston total expresado en: a) Peso seco (mg l^{-1}) y concentración (número de partículas l^{-1}); b) Volumen total del material particulado en suspensión ($\mu\text{m}^3 \text{l}^{-1}$) y densidad específica ($\text{mg } \mu\text{m}^{-3}$).

en los meses restantes la talla fluctuó entre 108 y 126 mm (Fig 6a). En cuanto a la variación en peso (Fig. 6b), de febrero a junio los organismos colectados presentaron promedios relativamente semejantes (5.55 - 8.37 g), incrementándose ligeramente en julio (12.5 g) y muy significativamente en agosto (25.8 g). En septiembre se observó un ligero descenso en el peso promedio (21.6 g), que se redujo drásticamente en octubre a 9.4 g.

Como puede observarse en la figura 6c, la variación mensual del índice de condición medio covarió con el peso promedio; esto obedece a que los pesos reportados incluyen tejido blando y gónada de los organismos.

III.1.3 Variación mensual de la concentración de metales pesados en los organismos indicadores.

La fluctuación mensual en la concentración de cadmio (Cd) en *Crassostrea gigas* se presenta en la figura 7a. En ésta se observa que con excepción del mes de julio en que se registró la concentración máxima (15.3 $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco), los valores de Cd se mantuvieron relativamente estables (7.5 - 10.3 $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco). La carga o contenido total de Cd en el ostión presentó un patrón de variación similar al de la concentración, aunque a diferencia de éste en agosto el contenido también fue alto. En julio y agosto, los contenidos de Cd en *C. gigas* fueron 30.28 y 27.0 μg respectivamente, para el resto del período de estudio

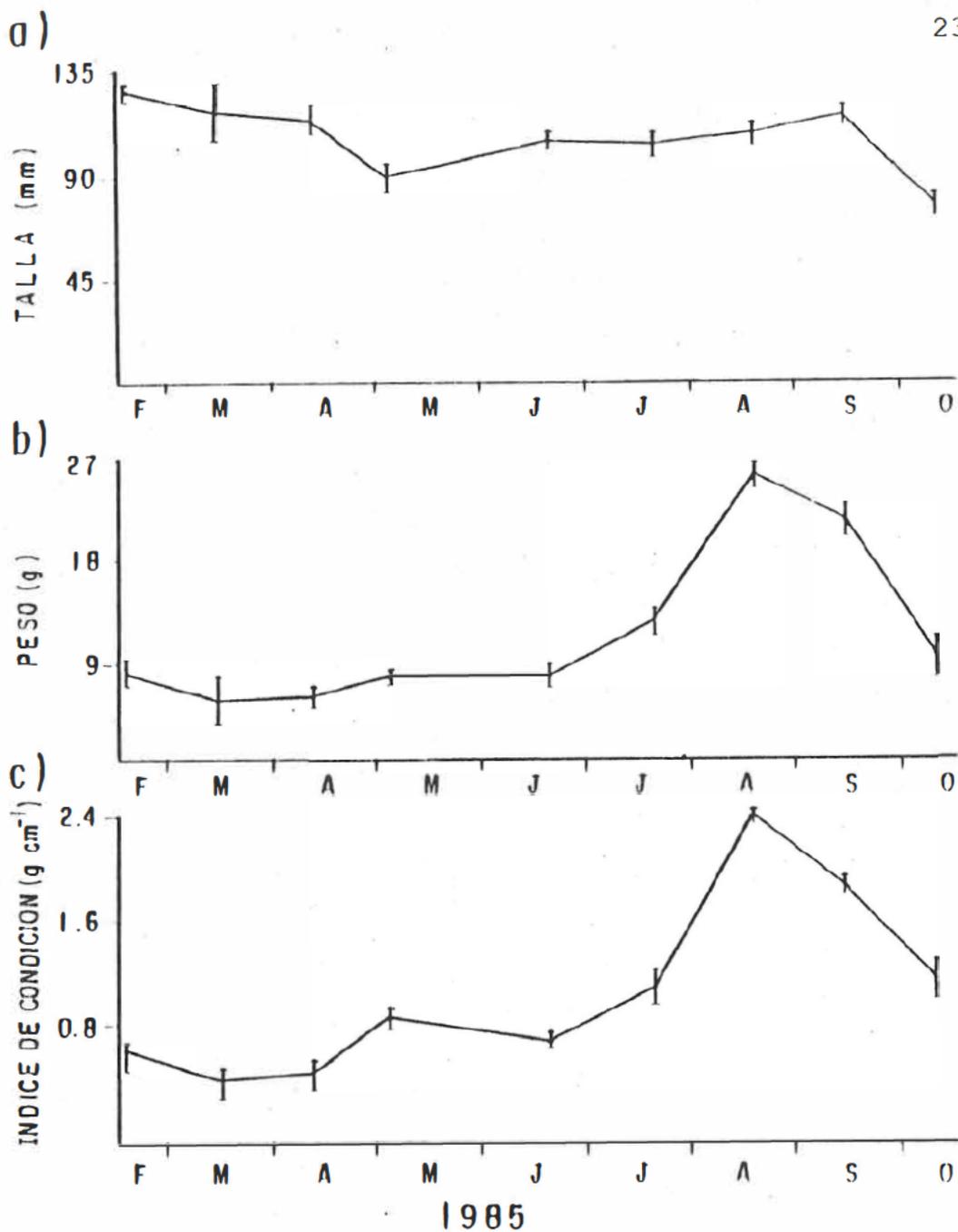


Figura 6.

Variación mensual en las características biométricas e índices de condición de los especímenes de *C. gigas* colectados para el análisis de metales pesados: a) Talla en mm; b) Peso húmedo del tejido blando en g; c) Índices de condición en g cm⁻³. Se indican valores promedio y correspondientes desviaciones estándar.

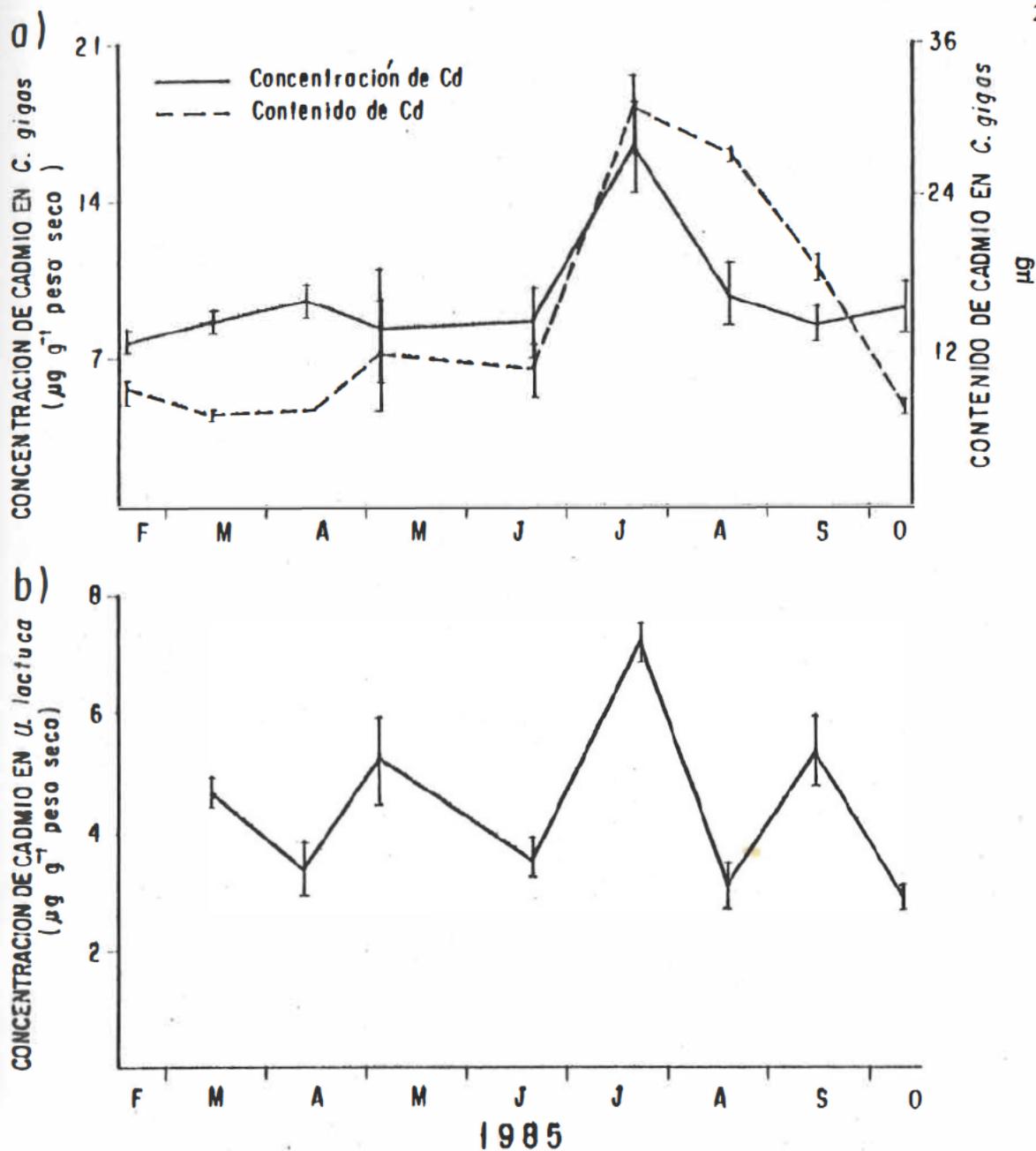


Figura 7.

Variación mensual de: a) Concentración y contenido de cadmio en: *C. gigas*; b) Concentración de cadmio en *U. lactuca*. Concentraciones en $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco y contenidos en μg . Se indican valores promedio y correspondientes desviaciones estándar.

fluctuó entre 18.4 y 7.21 μg . En *Ulva lactuca* la concentración de Cd también fue máxima en julio (Fig. 7b).

La concentración de cobre (Cu) en *Crassostrea gigas* (Fig. 8a) presentó cambios importantes al inicio del estudio, de febrero a mayo con un intervalo entre 32.4 - 51.2 $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco, a partir de entonces se observó un decremento gradual desde 44.7 a 26.0 $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco. Los contenidos de Cu de febrero a junio presentaron un patrón de variación más o menos semejante al de las concentraciones; de julio en adelante se invirtió con la excepción del período agosto-septiembre. Los valores máximos se registraron en julio, agosto y septiembre (77.4 μg en promedio) y el mínimo en abril (22.1 μg). En *Ulva lactuca* (Fig. 8b) la concentración menor fue en julio y el máximo en septiembre (1.22 y 6.67 $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco).

La concentración mensual de manganeso (Mn) en *Crassostrea gigas* (Fig. 9a) presentó un incremento constante de febrero a mayo. En este último mes se detectó la concentración mas alta (74.1 $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco). En junio se registró un descenso importante (48 $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco) pero en julio y agosto las concentraciones se incrementaron ligeramente (aprox. 55 $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco). Hacia el final del período de estudio la concentración decreció nuevamente. Los contenidos más altos de Mn en *C. gigas* (> 112 μg) se registraron en julio, agosto y septiembre. En *Ulva lactuca* (Fig. 9b) el Mn parece seguir una trayectoria inversa a la encontrada en el ostión hasta agosto.

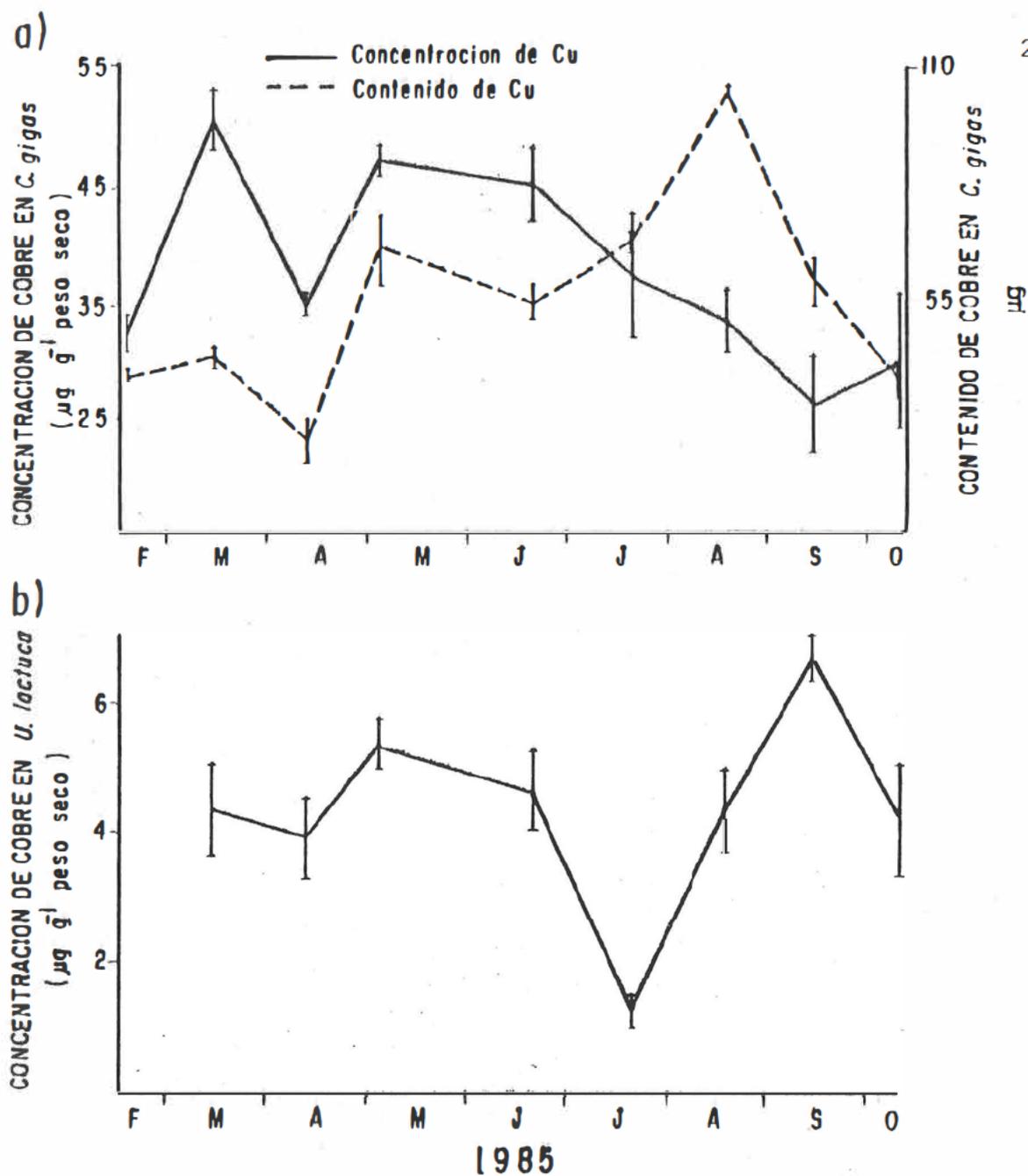


Figura 8.

Variación mensual de: a) Concentración y contenido de cobre en: *C. gigas*; b) Concentración de cobre en *U. lactuca*. Concentraciones en $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco y contenidos en μg . Se indican valores promedio y correspondientes desviaciones estándar.

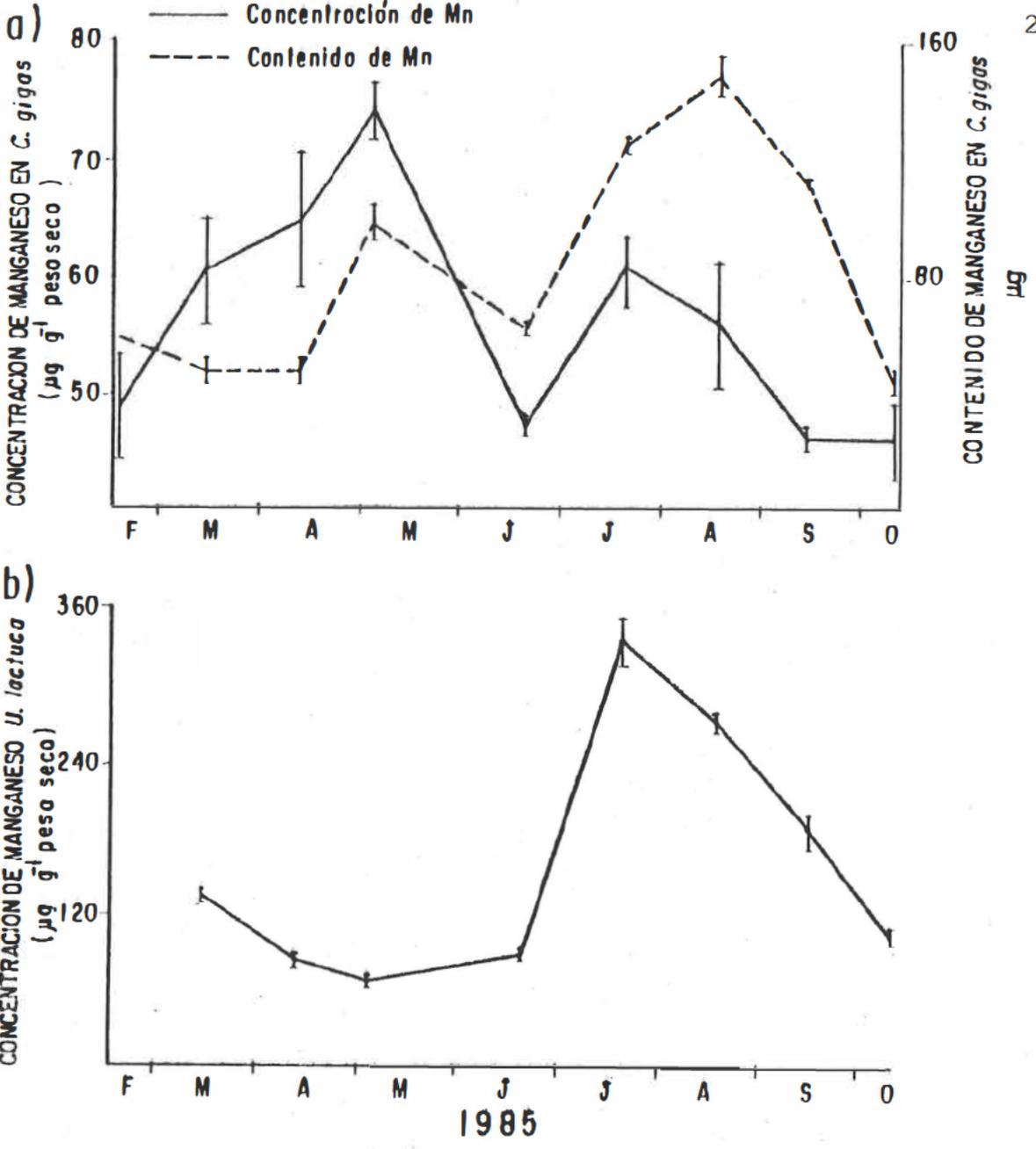


Figura 9. Variación mensual de: a) Concentración y contenido de manganeso en: *C. gigas*; b) Concentración de manganeso en *U. lactuca*. Concentraciones en $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco y contenidos en μg . Se indican valores promedio y correspondientes desviaciones estándar.

Julio presentó el valor más alto ($332 \mu\text{g g}^{-1}$ peso seco) descendiendo progresivamente hacia octubre ($104 \mu\text{g g}^{-1}$ peso seco). La concentración de Mn en el alga fue 7 veces mayor que la del ostión.

La concentración de zinc (Zn) en el ostión muestra básicamente dos períodos diferentes (Fig. 10a); uno de altos valores, de febrero a mayo, con un intervalo de 356.1 a $623.3 \mu\text{g g}^{-1}$ peso seco y otro de valores más bajos, de junio a octubre con un intervalo entre $279.3 - 319 \mu\text{g g}^{-1}$ peso seco. El contenido de Zn en el ostión presentó dos valores máximos, uno en mayo y el otro en agosto (890.7 y $815.9 \mu\text{g}$, respectivamente). La concentración de Zn en *Ulva lactuca* presentó un patrón de cambio semejante al de la concentración en *C. gigas*, observándose el máximo ($20.43 \mu\text{g g}^{-1}$ peso seco) también en mayo y el mínimo ($9.89 \mu\text{g g}^{-1}$ peso seco) en julio (Fig. 10b).

El aluminio (Al) en el ostión, al igual que el Zn, presentó concentraciones altas ($> 750 \mu\text{g g}^{-1}$ peso seco) de febrero a mayo (Fig. 11a), aunque el máximo se registró en marzo ($1231 \mu\text{g g}^{-1}$ peso seco). De junio a octubre las concentraciones fluctuaron de 526.4 a $303.4 \mu\text{g g}^{-1}$ peso seco. En términos de contenido, los valores más altos se encontraron en mayo y septiembre ($> 1100 \mu\text{g}$) el mínimo en octubre ($338.6 \mu\text{g}$). En los meses remanentes los valores fluctuaron de 624 a $941 \mu\text{g}$. Si bien el orden de magnitud de las concentraciones de este metal en el ostión y en *U. lactuca* fueron semejantes (Fig. 11b), el patrón de cambio mensual fue

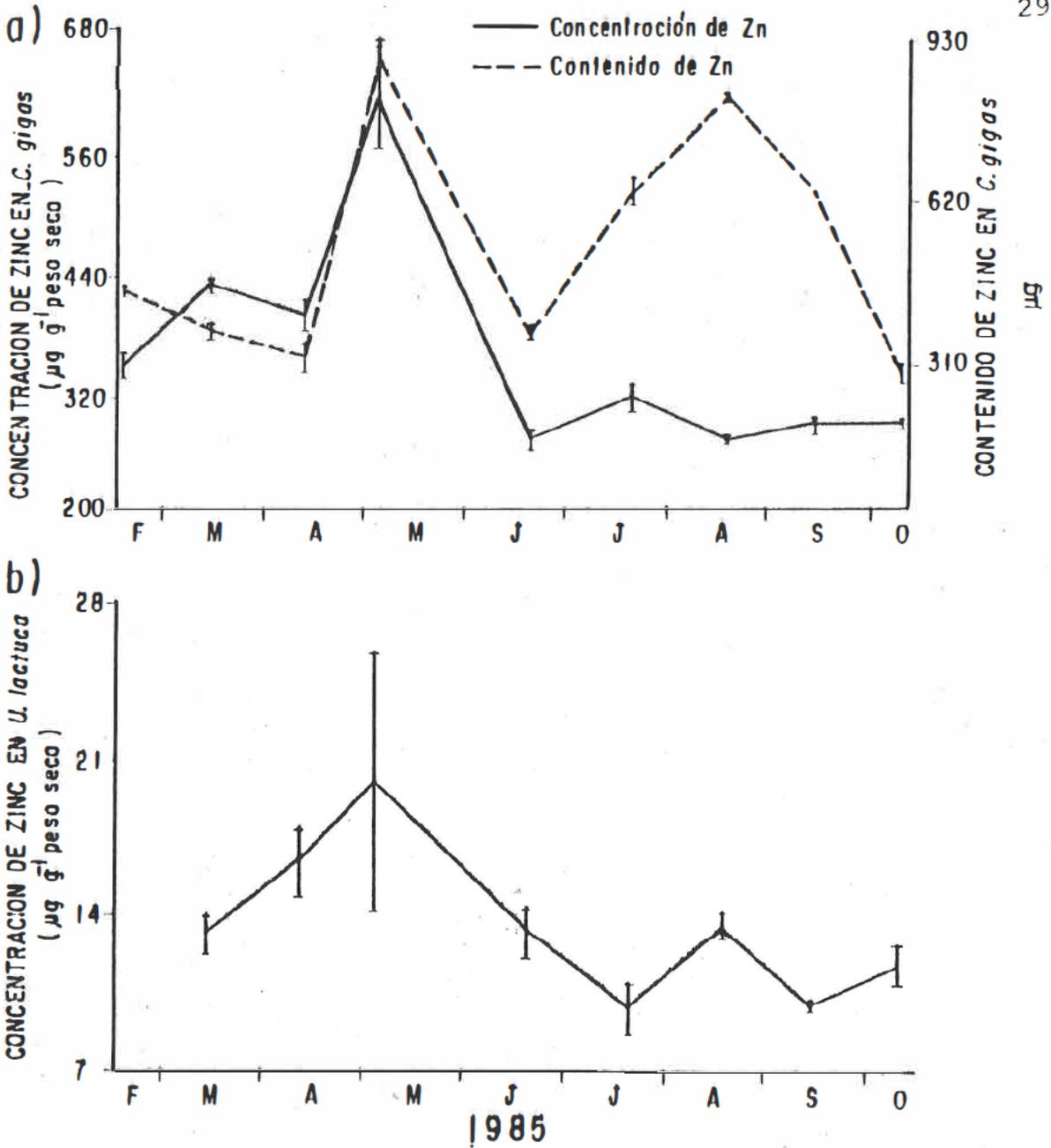


Figura 10.

Variación mensual de: a) Concentración y contenido de zinc en *C. gigas*; b) Concentración de zinc en *U. lactuca*. Concentraciones en $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco y contenidos en μg . Se indican valores promedio y correspondientes desviaciones estándar.

muy diferente. El máximo se encontró en agosto (precedido por un incremento continuo de concentraciones desde marzo) y en septiembre se observó la concentración más baja ($246.6 \mu\text{g g}^{-1}$ peso seco).

III.1.4 Análisis de correlación y de Factores

La Tabla II contiene la matriz de correlación de las variables estudiadas. En ésta se indican las correlaciones con significancia de $\alpha \leq 0.10$, 0.05 , 0.01 y 0.001 .

Con respecto a estos niveles de confianza, las correlaciones significativas con el índice de surgencia fueron la precipitación total, fosfatos en solución, las concentraciones de manganeso en el ostión y del zinc en el alga (0.699 , 0.653 , 0.656 y 0.698 , respectivamente).

La precipitación pluvial sólo mostró correlación significativa con la concentración de fosfatos disueltos (-0.851) y éstos se correlacionaron únicamente con la concentración de seston total, aunque su valor (0.651) fue significativo sólo a $0.05 \leq \alpha \leq 0.1$. Las clorofilas estuvieron correlacionadas con el seston total y la concentración de cadmio en el ostión (0.784 y 0.741 respectivamente). Otra correlación alta (0.658), pero sólo significativa a $0.05 \leq \alpha \leq 0.1$, fue la concentración de cadmio en el alga. El seston total estuvo altamente correlacionando con el cadmio en el ostión (0.869), y con significancia de 0.05 ($\alpha \leq 0.1$) con la concentración de

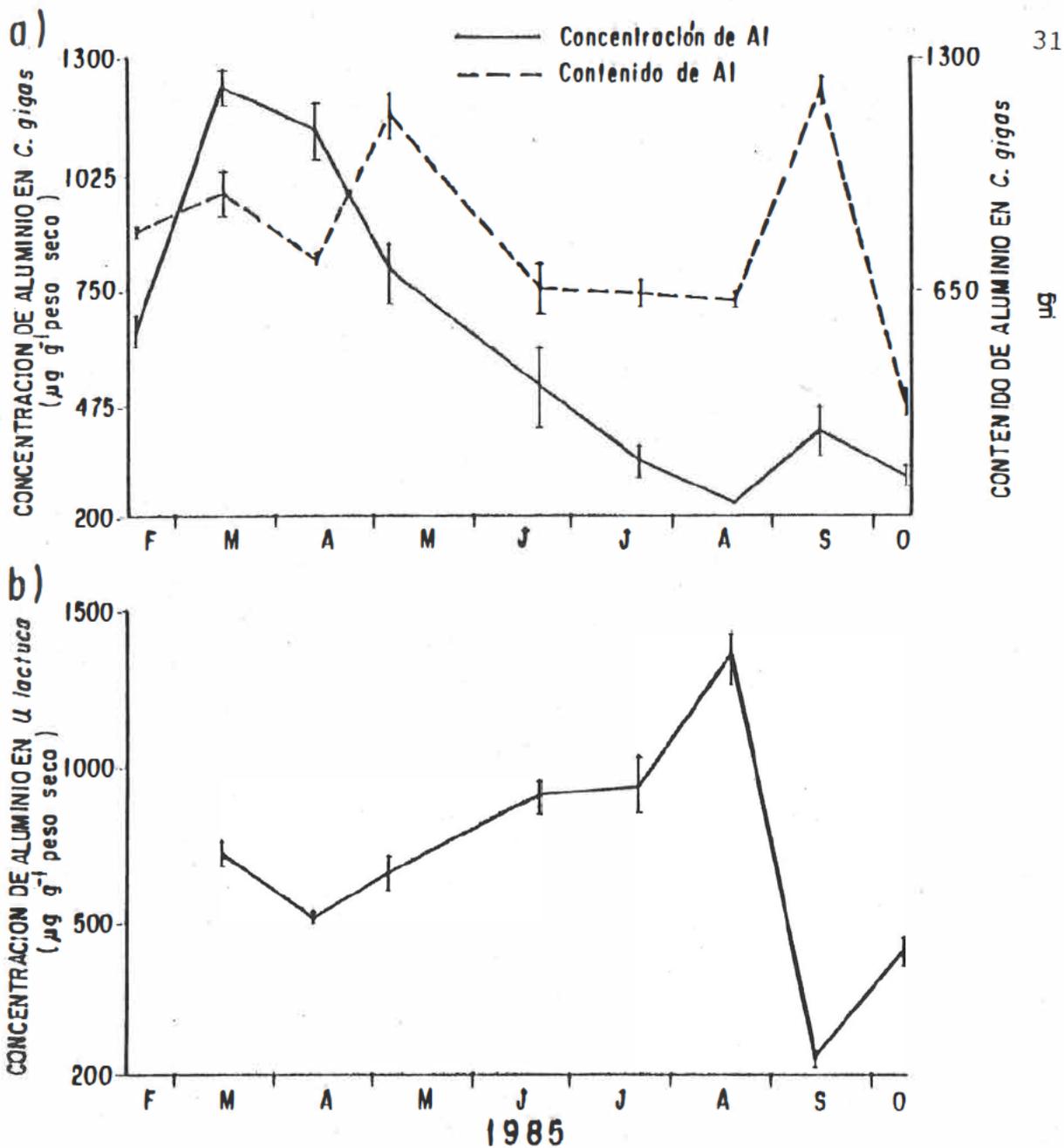


Figura 11. Variación mensual de: a) Concentración y contenido de aluminio en *C. gigas*; b) Concentración de aluminio en *U. lactuca*. Concentraciones en µg g⁻¹ peso seco y contenidos en µg. Se indican valores promedio y correspondientes desviaciones estándar.

Tabla II. Matriz de correlación de las variables incluidas en el estudio de fluctuaciones de período largo (serie mensual). Para la concentración de metales en *U. lactuca* n=8, variables remanentes n=9. Niveles de significancia: (a) $\alpha \leq 0.10$; (*) $\alpha \leq 0.05$; (**) $\alpha \leq 0.01$; (***) $\alpha \leq 0.001$.

	BAKUN	PPT	PO4	CLOR	SEST	ICOND	CDOST	CDALGA	CUOST	CUALGA	ZNOST	ZNALGA	ALOST	ALALGA	MNOST
BAKUN	1.000														
PPT	-0.699*	1.000													
PO4	0.653 ^a	-0.851**	1.000												
CLOR	0.391	-0.470	0.542	1.000											
SEST	0.539	-0.376	0.651 ^a	0.784*	1.000										
ICOND	-0.009	-0.199	0.396	0.178	0.196	1.000									
CDOST	0.335	-0.325	0.463	0.741*	0.869***	0.196	1.000								
CDALGA	0.090	-0.369	0.197	0.658 ^a	0.386	-0.059	0.656 ^a	1.000							
CUOST	0.425	-0.271	-0.121	0.128	-0.097	-0.537	0.033	0.165	1.000						
CUALGA	-0.036	-0.044	-0.086	-0.408	-0.689 ^a	0.200	-0.849*	-0.329	-0.107	1.000					
ZNOST	0.410	-0.101	-0.281	-0.175	-0.223	-0.434	-0.125	0.233	0.590 ^a	0.163	1.000				
ZNALGA	0.698*	-0.147	-0.126	-0.309	-0.189	-0.352	-0.324	-0.246	0.497	0.251	0.827**	1.000			
ALOST	0.163	-0.092	-0.235	-0.490	-0.450	-0.754*	-0.346	-0.029	0.590 ^a	0.101	0.615*	0.515	1.000		
ALALGA	0.331	-0.306	0.243	0.273	0.348	0.212	0.424	-0.103	0.372	-0.502	-0.095	0.116	-0.200	1.000	
MNOST	0.656*	-0.368	-0.091	-0.015	0.171	-0.267	0.296	0.309	0.574	-0.210	0.843**	0.752*	0.531	0.225	1.000
MNALGA	-0.187	-0.289	0.407	0.498	0.503	0.599	0.765*	0.499	-0.295	-0.536	-0.449	-0.617 ^a	-0.548	0.440	-0.110

cobre en *Ulva lactuca* (-0.689).

Con respecto al índice de condición de *C. gigas*, la única correlación significativa fue con las concentraciones de aluminio en el ostión (-0.754). Sin embargo, se destaca que con excepción del cadmio, la concentración de metales pesados en el ostión se correlacionó en forma inversa con este índice.

La fluctuación mensual de la concentración de cadmio en *C. gigas* no covarió con la concentración de los otros metales en el ostión según confirman las bajas correlaciones registradas. Para esta variable se encontraron correlaciones altas con las concentraciones de cobre, manganeso y cadmio pero en *Ulva lactuca* (-0.849, 0.765 y 0.656, respectivamente).

En *C. gigas* el otro metal que registró correlaciones significativas ($\alpha = 0.05$) con las variables remanentes fue el zinc. Este se correlacionó con las concentraciones de manganeso en el ostión (0.843) y de zinc en *U.lactuca* (0.827). Con la concentración de aluminio en el ostión se obtuvo una correlación de 0.615 significativa a 0.05 ($\alpha \leq 0.1$). En *C. gigas*, la concentración de cobre también se correlacionó significativamente a dicho nivel de confianza con las concentraciones de zinc y aluminio en el ostión (ambos 0.590).

Para las variables remanentes sólo la concentración de zinc en *U.lactuca* registró una correlación alta. Esta fue con el manganeso en el ostión y fue de 0.752. En general, las correlaciones entre las concentraciones de metales en *U.lactuca*

fue baja.

La tabla III contiene los resultados del análisis de factores después de rotación varimax. La matriz de correlación utilizada no incluye las variables fosfato, clorofila ni seston total. Únicamente se asientan los resultados de los primeros cinco factores y se indican las cargas mayores o iguales a 0.400. La varianza explicada por éstos cinco factores fue de 85.45 %, pero en los factores 4 y 5 la varianza explicada (12.3 y 11.9 %, respectivamente) se debe mayormente a la contribución de la concentración de cadmio en *U. lactuca* (factor 5) cuya carga fue de -0.940 y en el factor 4, a la precipitación total e índice de Bakun con cargas correspondientes a -0.977 y 0.603.

El factor tres contiene el 16.5 % de la varianza total explicada. En éste la carga de mayor valor corresponde al índice de condición (-1.000). La concentración de aluminio en el ostión también presenta carga alta (0.674). En este factor también se destaca que a excepción del cadmio, todos los metales pesados medidos en *C. gigas* están asociados en forma positiva.

El factor uno contiene el 24.1 % de la varianza total explicada. Las concentraciones de manganeso en *C. gigas* y las de zinc en alga y ostión tienen las cargas más altas (0.889, 0.894 y 0.906, respectivamente). También el índice de Bakun se asocia a éste factor con carga > 0.500.

En el factor dos (20.5 % de la varianza explicada) se asocian con cargas altas las concentraciones de cadmio en *C.*

Tabla III. Análisis de Factores después de rotación varimax del estudio de la variabilidad de período largo (serie mensual). No incluye las variables $P0_4$, clorofila y seston de la matriz de correlación. Interpretación con base a cargas \geq a 0.400.

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5
Bakun	0.504	0.133	0.023	0.603	0.073
Precipitación	-0.110	0.034	0.109	-0.977	0.197
Ind. de cond.	0.188	0.040	-1.001	0.141	0.042
Cd ostión	0.013	0.877	0.222	0.173	-0.451
Cd alga	0.094	0.246	0.014	0.172	-0.940
Cu ostión	0.381	0.038	0.363	0.141	0.085
Cu alga	0.050	-0.989	0.146	0.082	0.106
Zn ostión	0.906	0.180	0.234	-0.028	0.201
Zn alga	0.894	0.203	0.203	0.110	0.313
Al ostión	0.425	-0.168	0.674	0.105	0.060
Al alga	0.080	0.572	0.269	0.265	0.327
Mn ostión	0.889	0.243	0.095	0.222	0.137
Mn alga	0.283	0.588	-0.550	0.192	0.361
Eigenvalores	3.13	2.66	2.15	1.60	1.55
Varianza exp.	24.1%	20.4%	16.5%	12.3%	11.9%

gigas (0.877) y de cobre, aluminio y manganeso en *U.lactuca* (-0.989, 0.572 y 0.588, respectivamente).

También se hizo el análisis de factores sustituyendo la concentración de metales en el ostión por el contenido ó carga total de los mismos (Tabla IV). El primer factor explicó un elevado porcentaje de la varianza obseada, 36.5 %, y agrupó con cargas positivas mayores a 0.600 el índice de condición y el contenido de metales en *C. gigas*, excepto el contenido de aluminio.

Los factores 2-5 individualmente explicaron entre el 12.5 y 19.9 % de la varianza total. El factor cuatro contiene con cargas muy altas (> 0.600) el índice de surgencia y la concentración de zinc en el alga y con carga regular negativa la concentración de manganeso en el alga. Al factor tres se asociaron las concentraciones de aluminio, manganeso y cobre en *U. lactuca*, y el contenido de aluminio en *C. gigas*, éstos últimos con signos negativos. La varianza explicada por los factores dos y cinco se debe mayormente a la concentración de cadmio en *U. lactuca*, índice de surgencia y precipitación total.

III.2. **Variaciones de corto plazo.**

III.2.1 Variables ambientales.

Durante el estudio intensivo, el termógrafo estuvo fuera de servicio los días 5-19 de julio (Fig. 12 a-b). Sin embargo en la porción recuperada de la serie se registraron dos descensos

Tabla IV. Análisis de factores después de rotación varimax del estudio de la variabilidad de período largo (serie mensual) sustituyendo la concentración de metales en *C. gigas* por los contenidos de metales en el ostión. Interpretación con base a cargas ≥ 0.400 .

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5
Bakun	0.154	0.023	0.096	0.682	0.548
Precipitación	-0.330	0.120	0.070	-0.154	-0.953
Ind. condición	0.869	-0.160	0.110	0.234	0.046
Cd ostión	0.820	0.206	0.347	0.265	0.288
Cu ostión	0.948	-0.000	0.117	0.117	0.141
Zn ostión	0.833	0.202	0.187	0.341	0.178
Al ostión	0.099	0.288	-0.719	0.174	0.357
Mn ostión	0.948	0.150	0.045	0.036	0.285
Cd alga	0.162	1.495	-0.001	0.108	0.150
Cu alga	0.041	0.229	-0.926	0.128	-0.056
Mn alga	0.678	0.228	0.423	-0.492	0.140
Zn alga	0.151	0.075	-0.137	0.995	0.072
Al alga	0.426	0.119	0.639	0.249	0.148
Eigenvalores	4.75	2.59	2.17	2.09	1.62
Varianza exp.	36.5%	19.9%	16.7%	16.1%	12.5%

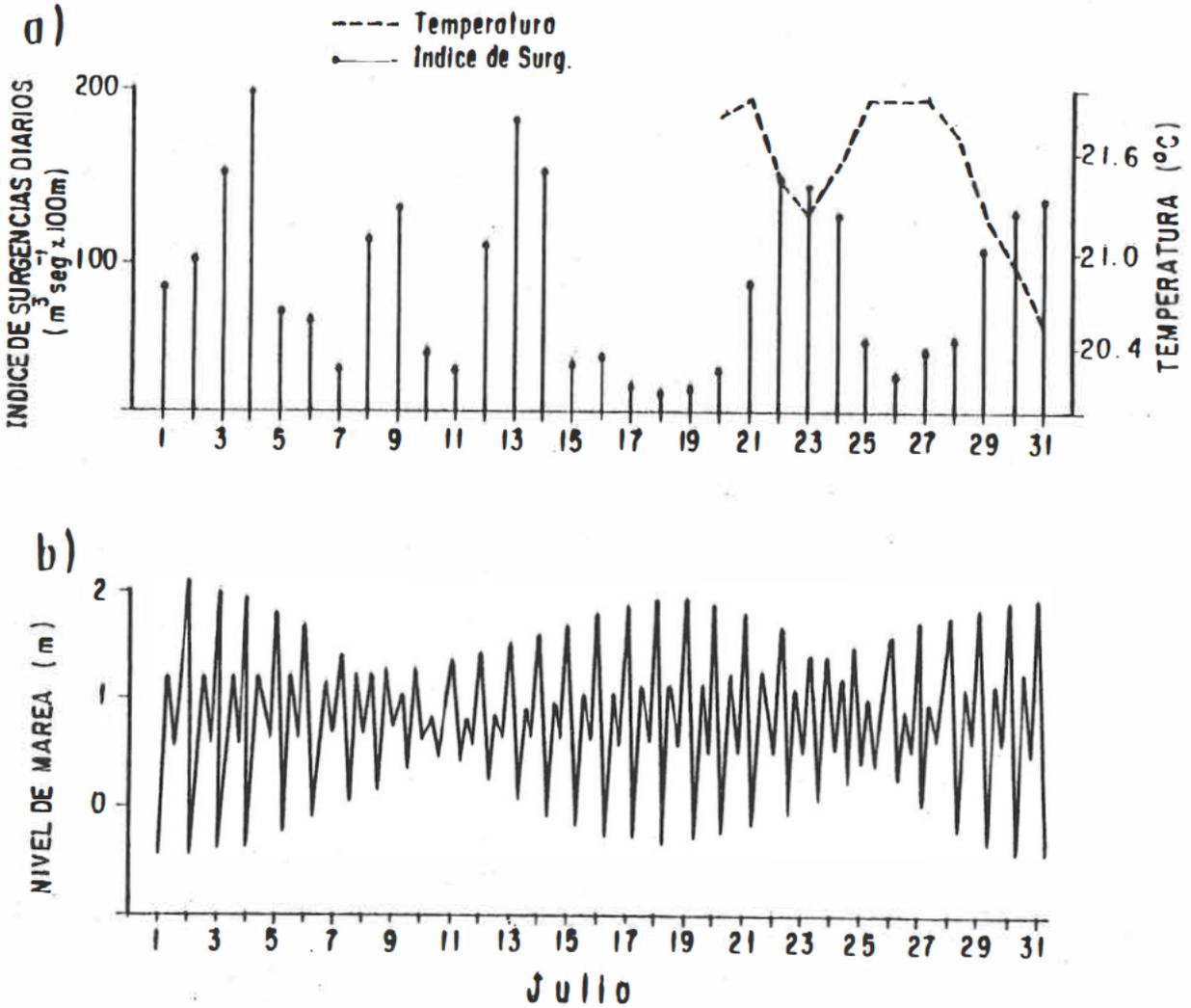


Figura 12.

Variaciones de corto plazo en: a) temperatura del agua (---) e índices de surgencia (—) y b) Niveles de marea () ($^{\circ}C$, $m^3 \text{ seg}^{-1}$ por 100 m de costa y m, respectivamente).

importantes en la temperatura del agua (21-23 y 28-31 julio). El índice de Bakun presentó incrementos significativos los días 7-9, 11-13, 20-23 y 28-31 de julio; estos dos últimos eventos coinciden con los descensos en la temperatura del agua antes mencionados. Durante el estudio intensivo se registraron mareas muertas del 6-13 y del 22-26 de julio.

Para el estudio de la variabilidad de corto plazo, el intervalo de muestreo originalmente establecido era de cada tercer día, sin embargo debido a problemas logísticos este intervalo varió de 1 a 4 días, aunque cabe destacar que en sólo tres de los doce muestreos se alteró el plan original.

La concentración de fosfatos al iniciar y finalizar el estudio intensivo fue de 1.6 y 1.2 $\mu\text{g-at l}^{-1}$, respectivamente (Fig. 13a). El máximo (1.8 $\mu\text{g-at l}^{-1}$) se registró en los días 17 y 27 y el mínimo (0.7 $\mu\text{g-at l}^{-1}$) los días 7 y 25.

La concentración de clorofila a (Fig. 13b) fue en general baja ($\leq 2 \text{ mg m}^{-3}$). El máximo se encontró al principio del muestreo (1.78 mg m^{-3}). Del 7 al 11 se registraron las concentraciones más bajas (0.38 - 0.56 mg m^{-3}). Del 14 en adelante éstas se incrementaron y conservaron entre 0.95 y 1.2 mg m^{-3} . El seston total (Fig. 14a) varió de 5.9 a 20.6 mg l^{-1} (5 y 21 de julio). En el día 14 también se registró un valor alto (20.1 mg l^{-1}). Excluyendo esos dos valores, el resto de la serie mantuvo un rango entre 9.0 y 14.6 mg l^{-1} . Los días 14 y 21 de julio también presentaron valores altos en cuanto al número de

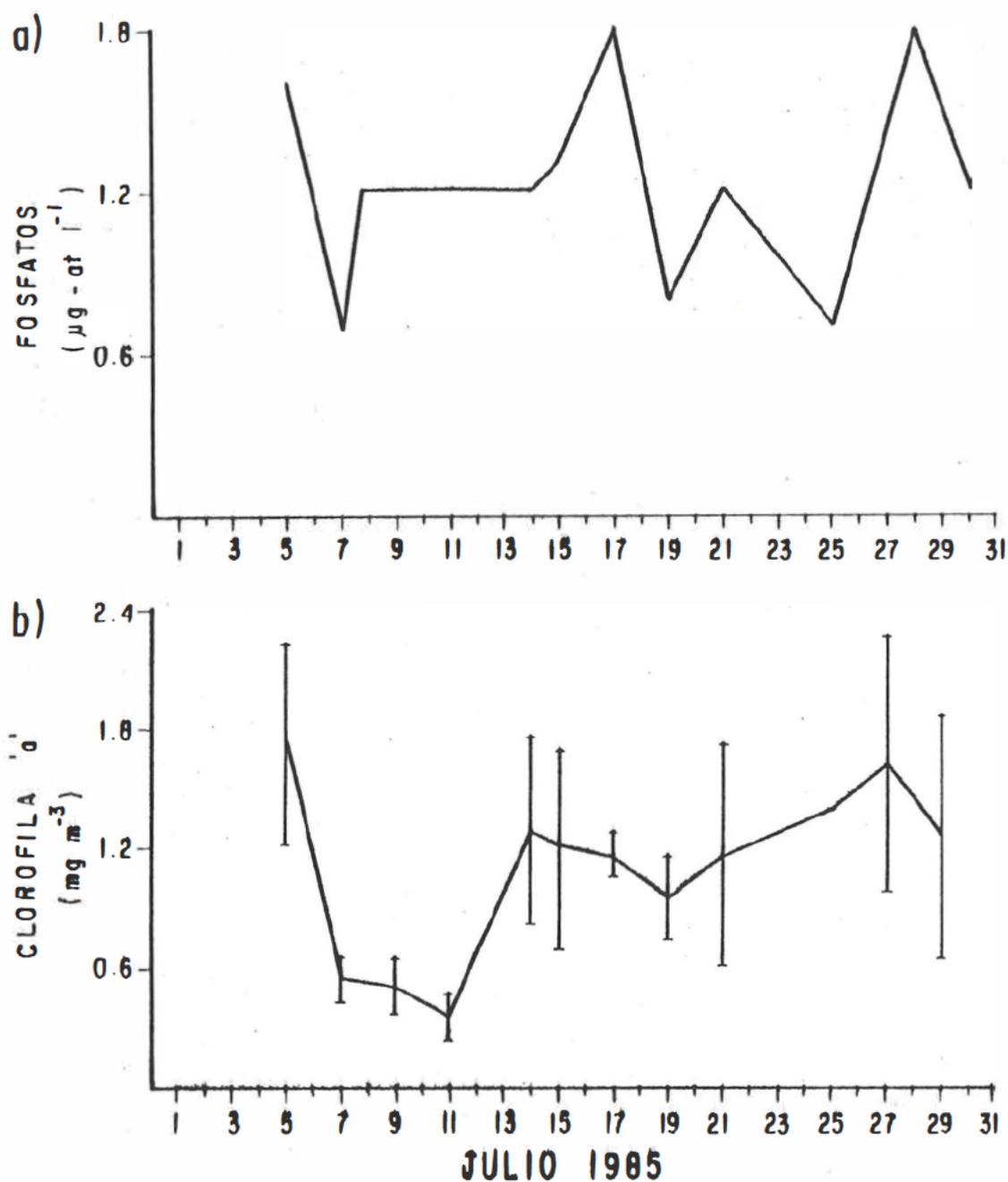


Figura 13. Variaciones de período corto en: a) Concentración de fosfatos disueltos ($\mu\text{g at l}^{-1}$); b) Concentración de clorofila a (mg m^{-3}). Se indican valores promedio y correspondientes desviaciones estándar.

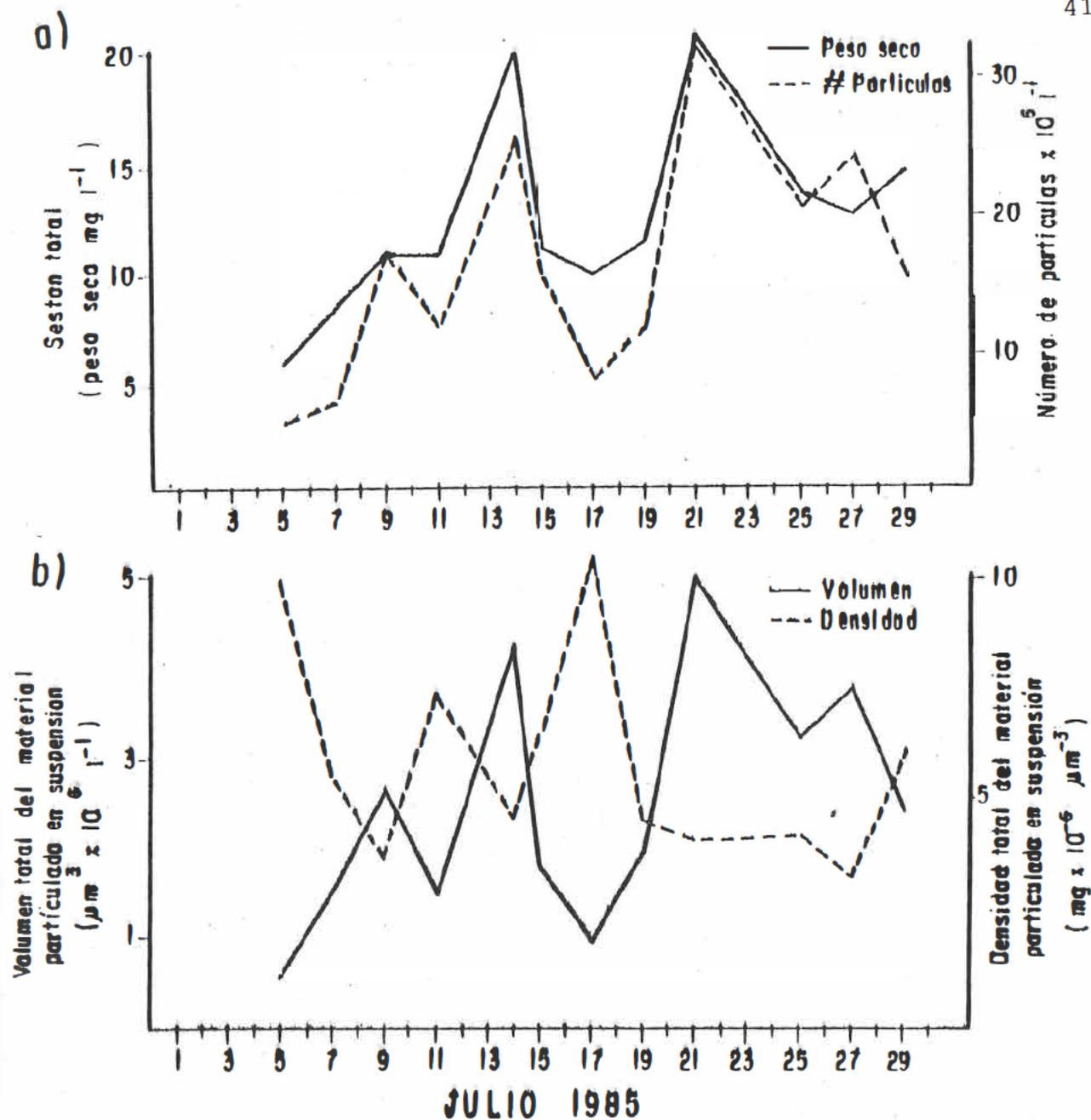


Figura 14.

Varlaciones de período corto del seston total expresado en: a) Peso seco (mg l⁻¹); concentración en número de partículas l⁻¹; b) Volumen total de las partículas en suspensión (µm³ l⁻¹) y densidad específica (mg µm⁻³).

partículas l^{-1} (25.6 y 32.4 millones de partículas l^{-1} , respectivamente). Los menores se encontraron los días 7 y 17 (6.4 y 7.8 millones de partículas l^{-1} , respectivamente); el resto de los días se mantuvo entre 11.9 y 17.3 millones de partículas l^{-1} .

En cuanto al volumen del seston (Fig. 14b) los valores máximos coincidieron con los máximos de seston total y de número de partículas. Cuatro descensos importantes se observaron en el volumen del seston los días 7, 11, 17 y 29, de los cuales los días 7 y 17 coincidieron con dos descensos en el seston total. Se observó una relación inversa entre el volumen de las partículas y sus densidades específicas ya que los máximos en densidades, días 7, 11, 17 y 29, fueron los mínimos en volumen. En estas muestras también predominaron las partículas finas (4 - 5 micras).

III.2.2 Características biométricas de *Crassostrea gigas*.

La variación en la talla promedio de los organismos colectados fue notablemente baja. El máximo fue 109 mm y el mínimo 95 mm. En peso, el intervalo de variación fue de 9.5 a 14.5 g. Los índices de condición fluctuaron de 0.96 a 1.21 $g\ cm^{-1}$ (Fig. 15 a-c).

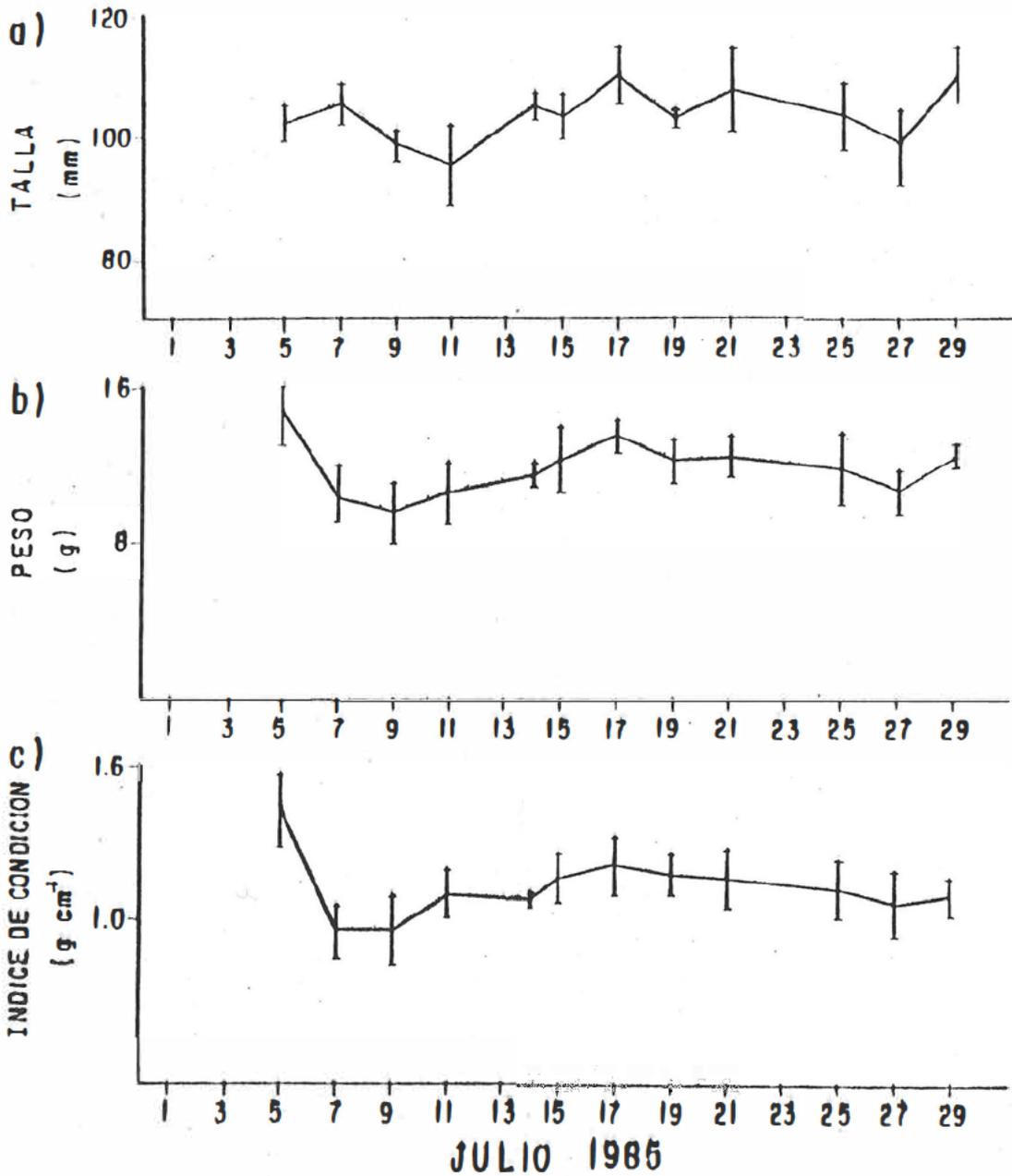


Figura 15.

Variaciones de período corto en las características biométricas e índices de condición de los especímenes de *C. gigas* colectados para el análisis de metales pesados: a) Talla en mm; b) Peso en g; c) Índice de condición g cm⁻³. Se indican valores promedio y correspondientes desviaciones estándar.

III.2.3 Variación de corto plazo en la concentración de metales pesados.

La concentración de cadmio en *Crassostrea gigas* (Fig. 16a) fue máxima el día 21 ($16.29 \mu\text{g g}^{-1}$ peso seco) y para el resto de la serie, el intervalo en concentración fue de 10.6 a $14.4 \mu\text{g g}^{-1}$ peso seco. Sin embargo cabe destacar los significativos cambios de concentración entre los días 9 y 11, 19 y 21 así como entre el 21 y el 25. En *U. lactuca* se observan valores altos (Fig. 16b) los días 11, 19, 21 y 25 con un intervalo de 4.4 (día 11) a $7.1 \mu\text{g g}^{-1}$ peso seco (día 21). Para el resto de los días la concentración se mantuvo más o menos constante entre 1.64 y $3.13 \mu\text{g g}^{-1}$ peso seco. Pocos fueron los cambios de concentración no significativos; éstos se registraron en los muestreos realizados el 14, 15 y 17 y entre el 27 y el 29. Las concentraciones de Cd en el ostión fueron 3 veces mas altas que las encontradas en *U. lactuca*. No se observó covarianza entre ellas.

La concentración de Cu en *Crassostrea gigas* al igual que la de Cd, fue máxima los días 21 y 9 ($36 \mu\text{g g}^{-1}$ peso seco). En el resto de la serie se observan concentraciones entre 20 - $28 \mu\text{g g}^{-1}$ peso seco. En *U. lactuca* las concentraciones de Cu parecen estar relacionadas en forma inversa a las concentraciones en *Crassostrea gigas* (Fig. 17 a-b). La concentración de Cu se mantuvo de 4 a $6 \mu\text{g g}^{-1}$ peso seco en los primeros ocho muestreos, excepto durante el cuarto muestreo en que descendió a $1.5 \mu\text{g g}^{-1}$ peso seco. Para los cuatro muestreos finales, la concentración

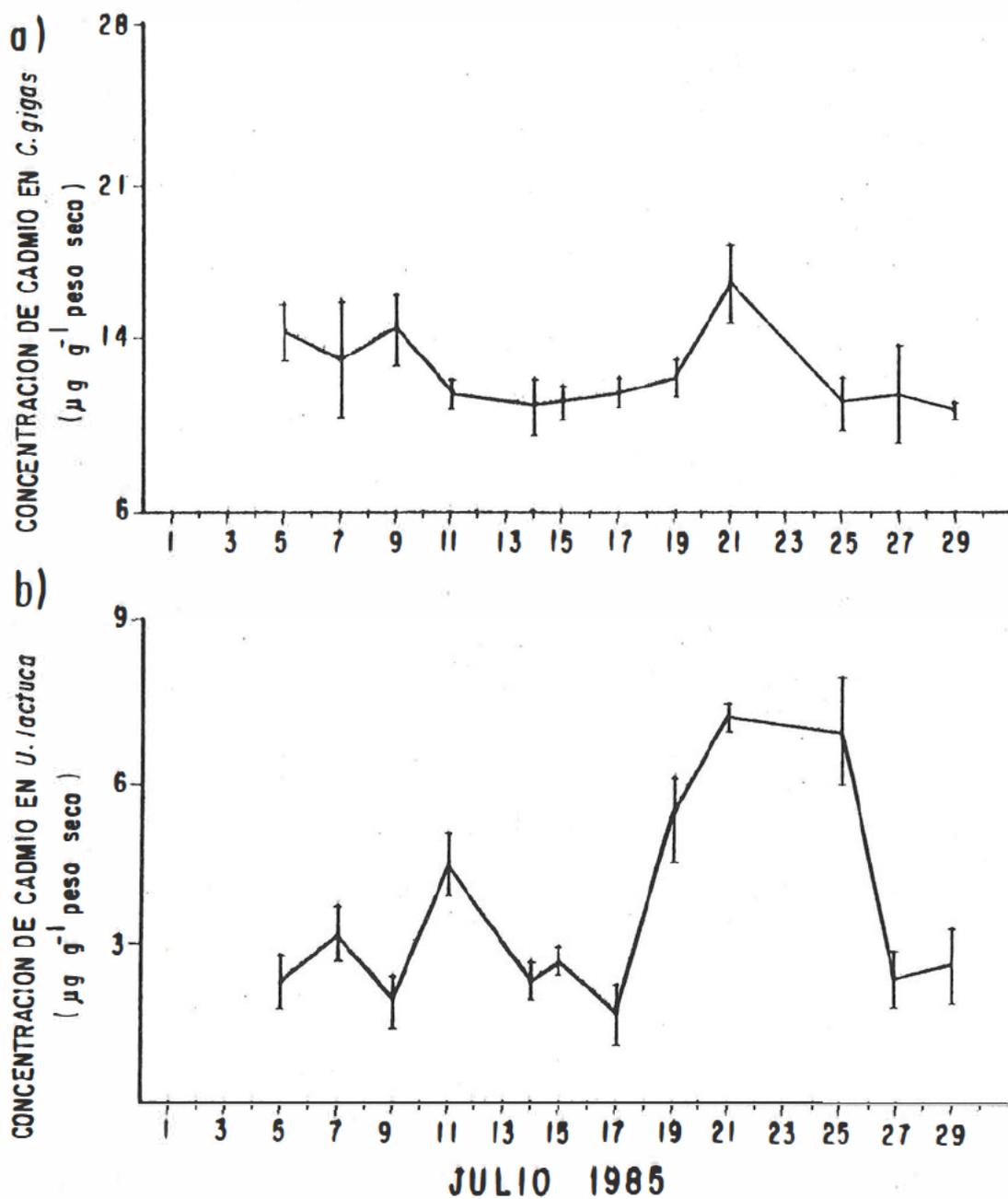


Figura 16. Variaciones de período corto en la concentración de cadmio en: a) *C. gigas*; b) *U. lactuca*. Concentraciones en $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco. Se indican valores promedio y correspondientes desviaciones estándar.

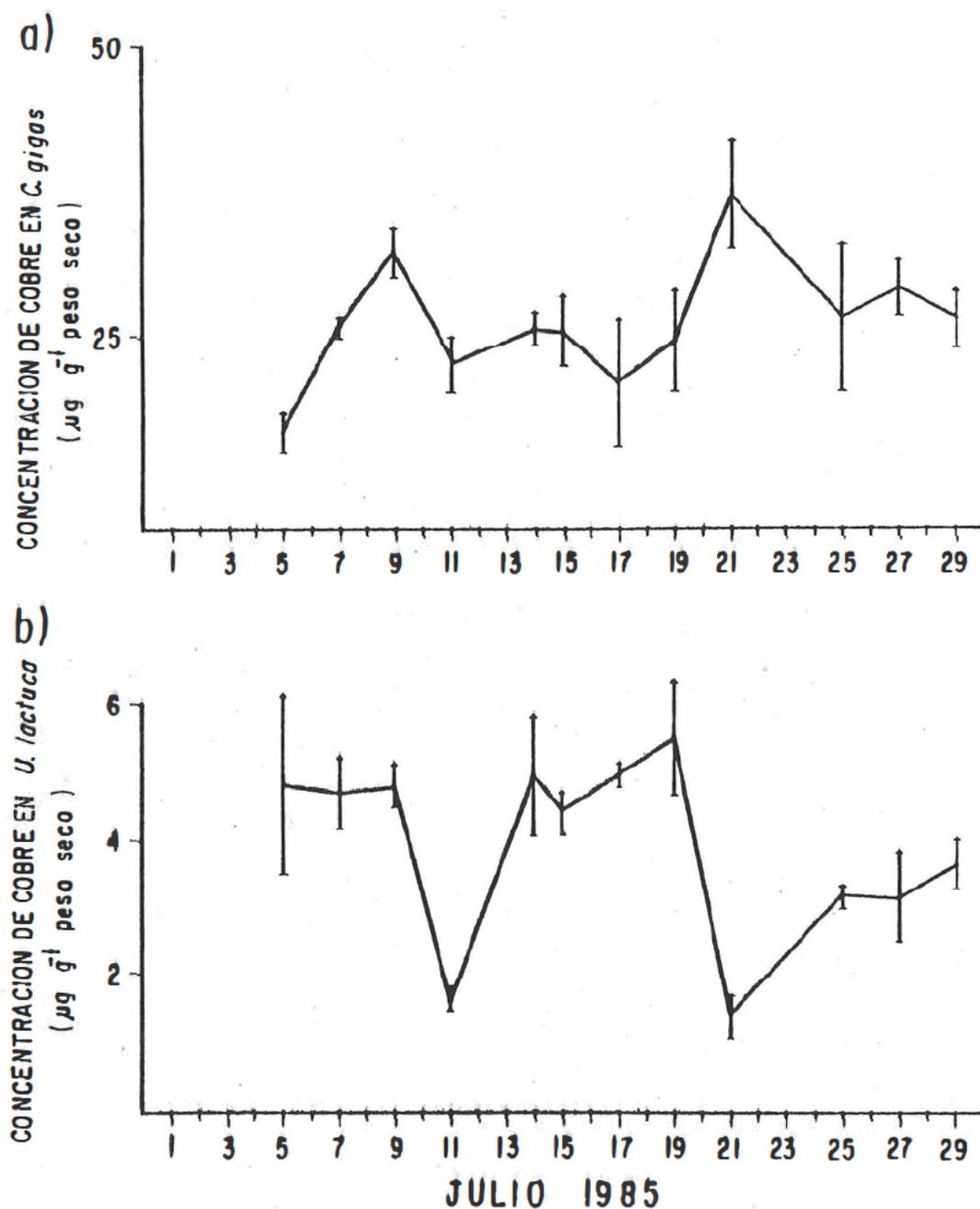


Figura 17. Variaciones de período corto en la concentración de cobre en: a) *C. gigas*; b) *U. lactuca*. Concentraciones en $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco. Se indican valores promedio y correspondientes desviaciones estándar.

se mantuvo más o menos uniforme, entre 2.9 y 3.3 $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco excepto el día 21, en el cual se notó la concentración mínima (1.42 $\mu\text{g g}^{-1}$). Las concentraciones de Cu en el ostión fueron hasta cinco veces más altas que las de *U. lactuca*. Significativos cambios en las concentraciones de Cu en *C. gigas* se observaron en los muestreos de los períodos 5-11 y 19-25 de julio y en *U. lactuca* del 9 al 14 y del 19 al 25 de julio.

La concentración del Mn en *C. gigas* (Fig. 18a) fue máxima el día 21 (59 $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco). Los días 5 y 29 registraron valores próximos a 50 $\mu\text{g g}^{-1}$; en el período remanente los valores se mantuvieron en el intervalo de 38 a 44 $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco. La concentración media del día 27 registró una desviación estándar muy alta y fue significativamente diferente sólo a la del día 21. Los días 14 y 21 las concentraciones medias de Mn en *U. lactuca* fueron notablemente altas, 1100 y 1300 $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco, respectivamente; en el período remanente las concentraciones fluctuaron entre 420 y 180 $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco. Entre muestreos, los cambios de concentración no significativos fueron los del 9 y 11 y 25, 27 y 29 de julio.

La concentración de Zn en el ostión (Fig. 19a) registró valores pico en los días 21 y 27 de julio, éstos fueron de 323.4 y 315.5 $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco, respectivamente. Entre muestreos, cambios significativos en la concentración se detectaron entre el 9 y 11 y el 19 en adelante. La concentración de Zn en el ostión parece estar relacionada con los índices de surgencia de

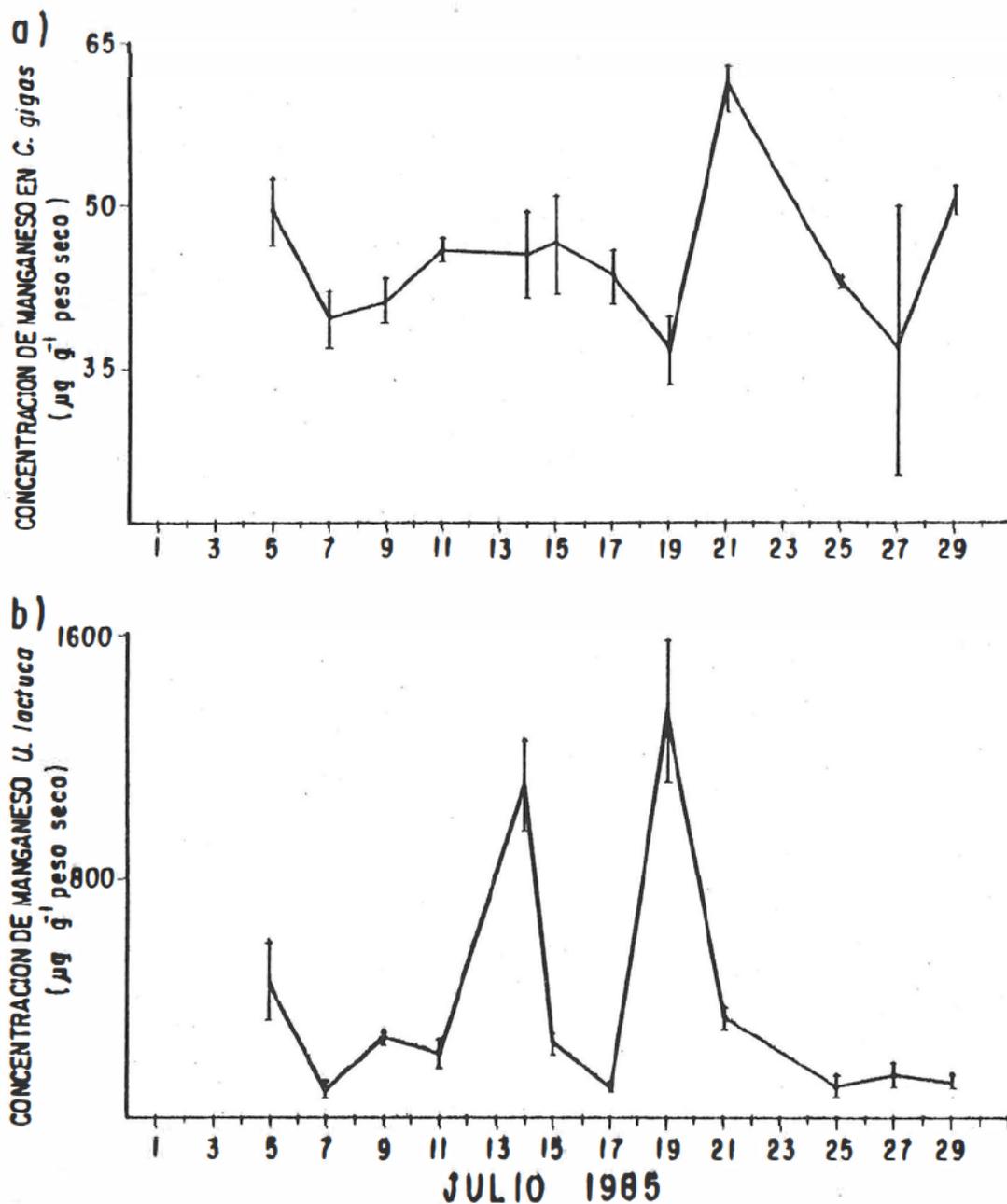


Figura 18. Variaciones de período corto en la concentración de manganeso en: a) *C. gigas*; b) *U. lactuca*. Concentraciones en $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco. Se indican valores promedio y correspondientes desviaciones estándar.

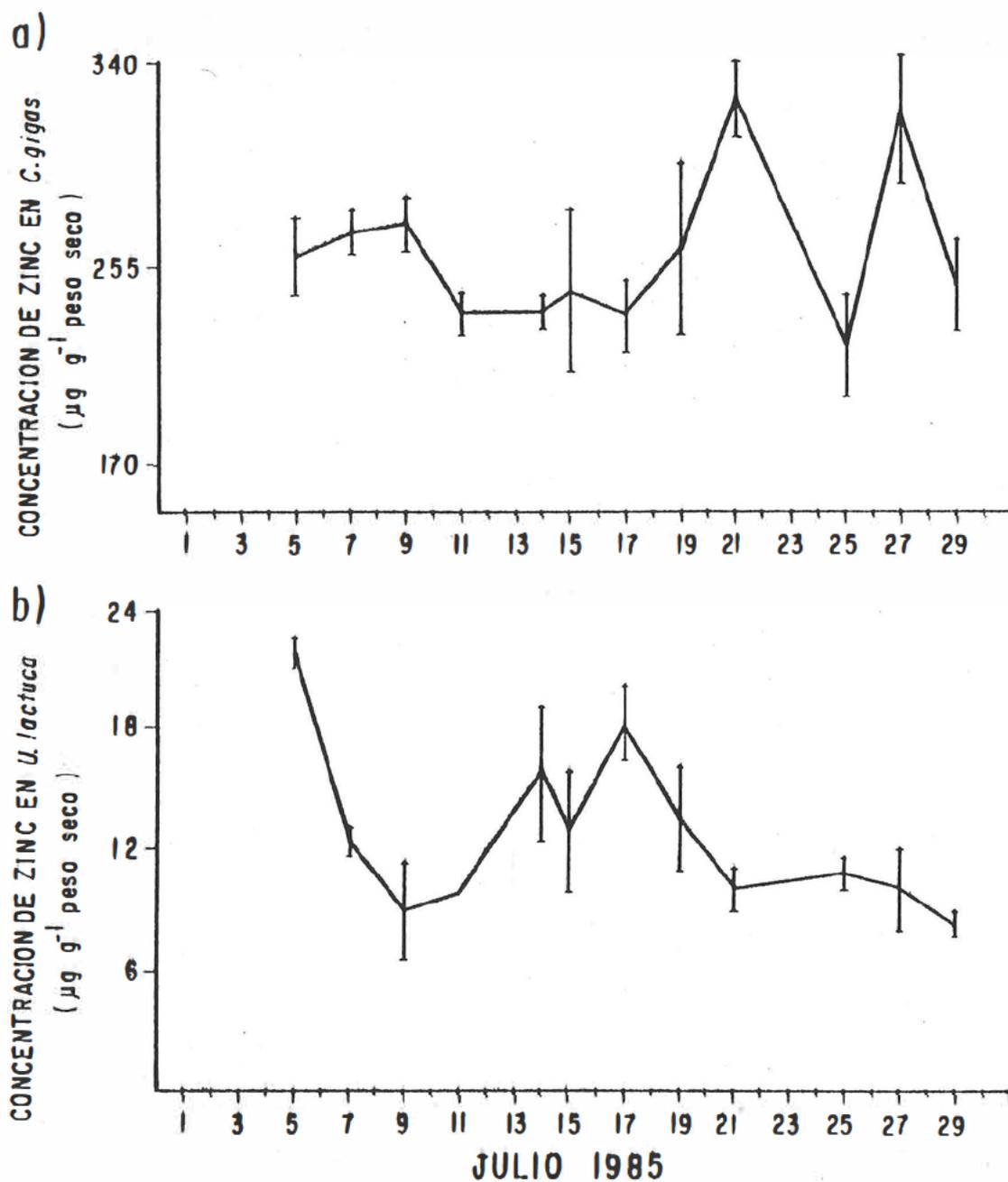


Figura 19. Variaciones de período corto en la concentración de zinc en: a) *C. gigas*; b) *U. lactuca*. Concentraciones en $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco. Se indican valores promedio y correspondientes desviaciones estándar.

mayor duración en julio pero con un desfase de 3 días. La concentración de Zn en *U.lactuca* (Fig. 19b), presentó valores altos los días 5, 14 y 17 (21.8, 15.8 y 18.1 $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco, respectivamente). Para los demás días el intervalo de variación fluctuó entre los 13.4 y 8.2 $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco. En los muestreos del 5 al 14 y del 17 al 19 de julio, los cambios de concentración fueron significativos.

La concentración de Al en el ostión (Fig. 20a) muestra los días 19 y 21 de julio valores consecutivamente altos de 350 y 365 $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco, respectivamente. Se observaron cinco cambios de concentración significativos con un intervalo de muestreo de 48 horas. Las concentraciones más bajas ocurrieron al principio y al final del experimento (169.6 y 133.2 $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco, 5 y 29 de julio). Un patrón de cambio semejante se observó en las concentraciones de aluminio en *U.lactuca* (Fig. 20b), pero la concentración mínima de aluminio en el ostión ocurrida el 5 de julio coincide con la concentración más alta de aluminio registrada en el alga (4177 $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco). Se observaron significativos cambios en la concentración de Al en *U. lactuca* incluso en el intervalo de muestreo de 24 horas (14 y 15 de julio).

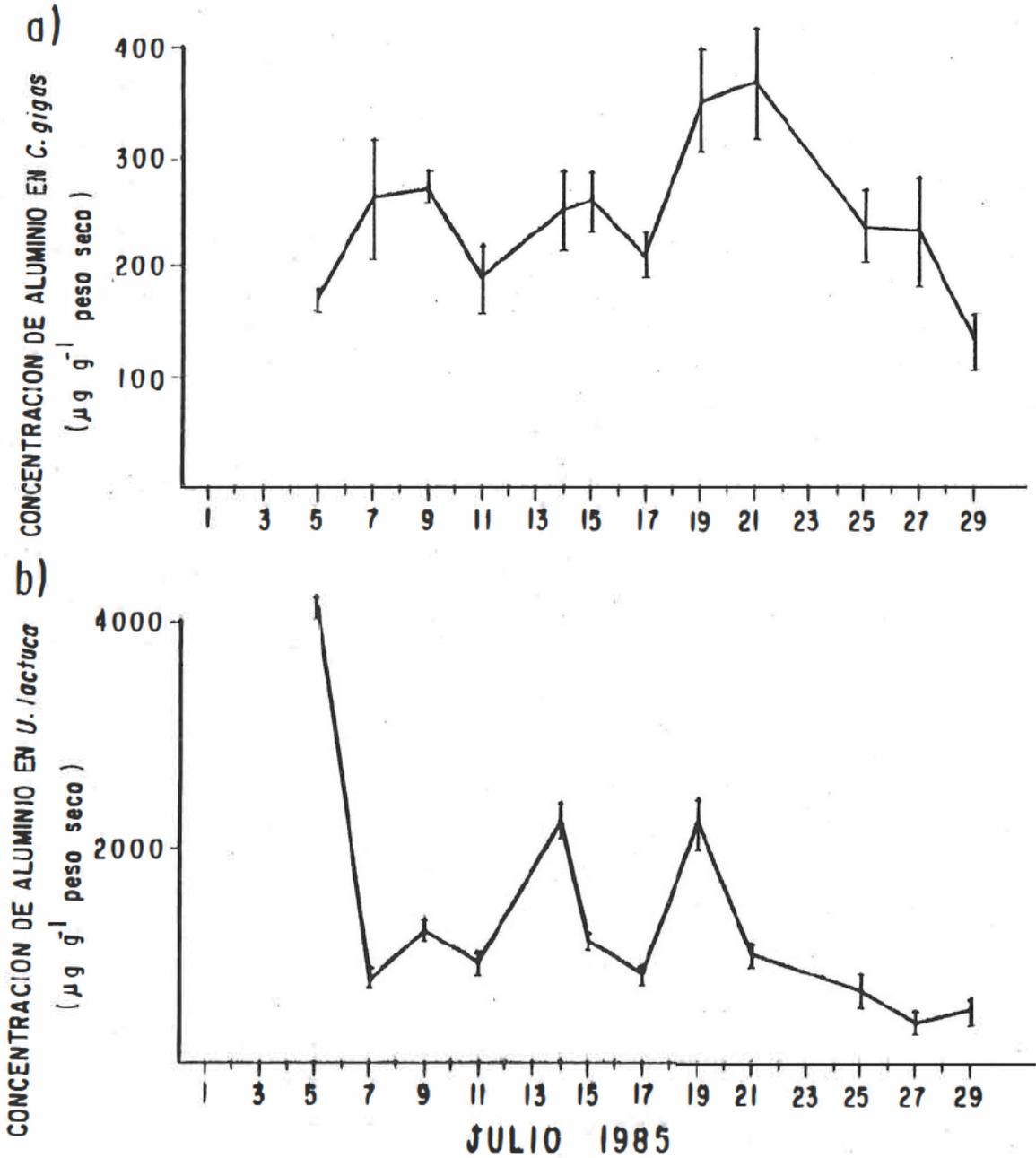


Figura 20.. Variaciones de período corto en la concentración de aluminio en: a) *C. gigas*; b) *U. lactuca*. Concentraciones en $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco. Se indican valores promedio y correspondientes desviaciones estándar.

III.2.4 Análisis de correlación y de factores.

Debido a que el termógrafo estuvo fuera de servicio del 5-19 de julio, para definir el retraso entre la ocurrencia de eventos de surgencia y el descenso en la temperatura del agua en el interior de la bahía, se utilizaron los registros diarios del 20-29 de julio. Las series sin desfase registraron una correlación de -0.588 y con desfase de un día se obtuvo el valor más alto (-0.744). Sin embargo, es importante hacer notar que utilizando diferentes segmentos de las series los coeficientes de correlación cambian; el incremento en el número de días, generalmente, resultó en coeficientes más bajos, pero en la mayoría de los casos los mejores valores se observaron con un retraso de 0-3 días (Tabla V).

También se analizó si las otras variables estudiadas (variables ambientales y concentración de metales pesados en los organismos indicadores) respondieron con algún retraso a los eventos de surgencia o al estado de la marea. En la tabla VI se presentan los resultados de las correlaciones cruzadas con los índices de surgencia. Como puede observarse, los coeficientes fueron bajos, la mayoría apenas significativos a $\alpha \leq 0.10$, y el mayor número de ellos se encontraron desfasando el índice de surgencia 6 ó más días. Las variables con más de un coeficiente significativo fueron Cu y Mn en *U. lactuca* y Cd y Mn en el ostión. Sin embargo, sólo la concentración de Cd en *C. gigas* se asoció consistentemente en forma positiva con el índice de

TABLA V. Correlación cruzada entre la temperatura del agua e índice de surgencia. Segmentos de longitud variable. Se indican ^(a) los coeficientes significativos a $\alpha \leq 0.10$; el resto son significativos a $\alpha \leq 0.05$.

FECHA	# DE DIAS	COEF. DE CORR MAS ALTO	DESFASE
20 29 Julio	10	-0.769	-1
1-12 Octubre	12	-0.470 ^(a)	0
1 15 Sept.	15	-0.593	0
1-15 Agosto	15	0.478 ^(a)	-4
1-15 Mayo	15	0.626	0
1 15 Junio	15	-0.848	-3
1 30 Junio	30	-0.515	3
1 30 Agosto	30	-0.637	0
1-30 Sept.	30	0.361	-1
20 Jul 20 Ag	32	0.424	1
20 Jul 1 Sep	44	-0.519	0
20 Jul-15 Sep	58	0.575	0
1 May-30 Jun	61	0.425	-3
20 Jul 30 Sep	73	0.403	0
20 Jul 14 Oct	85	-0.328	0

Tabla VI. Correlación cruzada entre índices de surgencia y variables ambientales y concentración de metales en los organismos indicadores. Desfase máximo, 10 días. En todos los casos n=12. Solo se incluyen los coeficientes significativos a $0.10 > \alpha > 0.001$. Significancia $\alpha \leq 0.10$ (a), $\alpha \leq 0.05$ (**), $\alpha \leq 0.01$ (***), $\alpha \leq 0.001$ (****).

	BAK0	BAK1	BAK2	BAK3	BAK4	BAK5	BAK6	BAK7	BAK8	BAK9	BAK10
Fosfatos											
Clorofila									-0.559 ^a		
No. part											
Cd ostión										0.523 ^a	0.608 [*]
Cd alga							-0.574 [*]				
Cu ostión				-0.512 ^a							
Cu alga	-0.575 [*]						0.553 ^a	0.556 ^a		-0.505 ^a	
Zn ostión											
Zn alga											
Al ostión				-0.497 ^a							
Al alga			0.573 ^a								
Mn ostión	0.515 ^a						-0.504 ^a			0.641 [*]	
Mn alga					-0.537 ^a	-0.492 ^a		0.541 ^a			

surgencia (desfases de 9 y 10 días).

Para el estudio intensivo se consideró importante incluir como posible fuente de la variabilidad temporal de la concentración de metales en el medio algún indicador de turbulencia. Dado que en San Quintín el estado de la marea (vivas vs. muertas) es un factor importante de turbulencia, como indicador se utilizó el rango de marea. El análisis de correlación cruzada entre éste y las variables estudiadas solamente registró resultados consistentes en dos casos; éstos fueron con la concentración de Cd en el ostión y de Zn en el alga. Con la primera se encontraron coeficientes significativos a $\alpha \leq 0.05$ con retrasos de 2, 3, 4, 5 y 6 días (coeficientes 0.526, 0.618, 0.804, 0.701 y 0.587, respectivamente) y para el Zn en el alga para los días 7, 8 y 9 (coeficientes -0.504, -0.563 y -0.591, respectivamente).

Las variables medidas sólo se pudieron desfasar con respecto al índice de surgencia y al estado de la marea pero no entre ellas mismas debido a que el intervalo de muestreo no fue constante (1-4 días).

La tabla VII contiene la matriz de correlación producto-momento de la serie corta. En el análisis se excluyó el índice de condición de *C. gigas*, debido a que durante el período de estudio éste no registró cambios importantes. Con base en el análisis de correlación cruzada entre el índice de surgencia y la temperatura del agua registrada durante la segunda mitad del

Tabla VII. Matriz de correlación de las variables incluidas en el estudio de fluctuaciones de período corto (1-4 días). Niveles de significancia: (a) $\alpha \leq 0.10$; (*) $\alpha \leq 0.05$; (**) $\alpha \leq 0.01$; (***) $\alpha \leq 0.001$.

	BAKUN	MAREA	PO4	CLOR	NPART	CDOST	CDALGA	CUOST	CUALGA	ZNOST	ZNALGA	ALOST	ALALGA	MNOST
BAKUN	1.000													
MAREA	-0.172	1.000												
PO4	0.009	0.209	1.000											
CLOR	0.052	0.677*	0.479	1.000										
NPART	0.491	-0.042	-0.013	0.230	1.000									
CDOST	0.198	-0.102	0.020	-0.124	0.140	1.000								
CDALGA	-0.216	0.026	-0.583*	-0.078	0.414	0.235	1.000							
CUOST	0.311	-0.118	-0.223	-0.096	0.841**	0.349	0.484	1.000						
CUALGA	0.056	0.273	-0.015	0.068	-0.513 ^a	-0.175	-0.572 ^a	-0.526 ^a	1.000					
ZNOST	0.070	0.032	0.218	0.143	0.472	0.632*	0.153	0.661*	-0.327	1.000				
ZNALGA	-0.138	0.434	0.364	0.420	0.482	0.064	0.343	-0.708**	0.549 ^a	-0.287	1.000			
ALOST	-0.051	0.004	-0.375	0.213	0.441	0.464	0.525 ^a	0.604*	-0.012	0.490	-0.171	1.000		
ALALGA	0.170	0.237	0.111	0.304	-0.305	0.319	-0.153	-0.529 ^a	0.442	-0.111	0.759**	-0.023	1.000	
MNOST	0.333	0.219	0.129	0.166	0.369	0.470	0.307	0.326	-0.541 ^a	0.188	0.002	-0.006	0.121	1.000
MNALGA	0.203	-0.247	-0.232	0.045	0.111	-0.015	0.108	-0.081	0.427	-0.053	0.296	0.452	0.564 ^a	0.163

estudio intensivo, se decidió incluir en la matriz de correlación el índice de surgencia del día anterior al muestreo. En cuanto al índice de turbulencia por el estado de la marea, para este análisis se utilizó el rango de marea promedio entre muestreos.

En general, las correlaciones significativas fueron escasas, particularmente en el conjunto de variables ambientales consideradas en el análisis. En éste, solamente se correlacionaron con significancia de $\alpha \leq 0.05$ la marea y la concentración de clorofila a (0.677), fosfatos y Cd en *U. lactuca* (-0.583) y el número de partículas en suspensión (seston) con la concentración de Cu en el ostión. El seston también se correlacionó con el Cu en el alga pero sólo a $\alpha \leq 0.10$ (-0.513).

En cuanto a la concentración de metales pesados, el Cu en *C. gigas* fue la variable que presentó el mayor número de correlaciones significativas. A $\alpha \leq 0.05$ se asoció con las concentraciones de Zn y Al en *C. gigas* (0.661 y 0.604, respectivamente) y con el Zn en *U. lactuca* (-0.708). Esta variable también se correlacionó, aunque sólo a $\alpha \leq 0.10$, con las concentraciones de Cu y Al en el alga (-0.526 y -0.529, respectivamente).

Para las variables remanentes, las únicas correlaciones con significancia de $\alpha \leq 0.05$ fueron: Cd y Zn en el ostión (0.632) y entre Zn y Mn en el alga (0.759). Con un nivel de

significancia menor ($\alpha \leq 0.10$), para *U. lactuca* se registraron correlaciones entre sus concentraciones de Cd y Cu (0.572), Cu y Zn (0.549) y entre Al y Mn (0.564). Otras correlaciones significativas fueron las registradas entre el Cd en el alga y el Al en el ostión (0.525) y entre el Cu en el alga y el Mn en el ostión (0.541).

La tabla VIII contiene los resultados del análisis de factores, después de rotación varimax, de la matriz de correlación antes descrita. Los cinco factores consignados tienen valores propios > 1.4 y en conjunto explican el 67.3% de la varianza total de los datos. Para la descripción e interpretación de los factores sólo se consideraron las asociaciones con cargas > 0.400 .

Los factores 1 y 2 contienen el 18.0 y el 15.0 % de la varianza explicada y presentan el mayor número de variables con cargas altas. En el factor 2 destaca el agrupamiento de los metales pesados en el ostión (Cd, Zn, Al y Cu; cargas respectivas de 0.906, 0.842, 0.554 y 0.504). Por otra parte en el primer factor es muy notorio el agrupamiento de las concentraciones en *U. lactuca* de los metales Al, Zn y Cu (0.892, 0.830 y 0.424, respectivamente) en el primer factor también se asociaron con signos semejantes el seston (-0.465) y la concentración de Cu en *C. gigas* (0.684).

Al tercer factor se asociaron con cargas muy altas el rango de marea (0.906) y la concentración de clorofila a (0.872); la

Tabla VIII. Análisis de Factores después de rotación varimax del estudio de la variabilidad de período corto (1 4 días). Interpretación con base a cargas \geq a 4.00.

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5
Bakun	0.011	0.052	0.064	0.076	0.925
Marea	0.081	-0.019	0.906	0.011	0.197
Fosfatos	0.134	0.094	0.256	0.833	0.037
Clorofila	0.231	0.006	0.872	0.226	0.127
Npart	-0.465	0.230	0.208	0.068	0.527
Cd ostión	0.283	0.842	0.181	-0.109	0.110
Cd alga	-0.146	0.162	0.080	-0.807	0.198
Cu ostión	-0.684	0.504	0.029	0.240	0.293
Cu alga	0.424	0.142	0.119	0.082	0.100
Zn ostión	0.272	0.906	0.137	0.148	0.028
Zn alga	0.830	-0.114	0.277	0.259	0.160
Al ostión	-0.125	0.554	-0.074	0.393	0.092
Al alga	0.892	0.110	0.127	0.006	0.155
Mn ostión	0.036	0.169	0.150	0.031	0.230
Mn alga	0.307	0.005	0.087	-0.181	0.158
Eigenvalores	2.71	2.25	1.89	1.76	1.47
Varianza exp.	18.0%	15.0%	12.6%	11.7%	9.8%

varianza explicada fue de 12.6 %. El cuarto factor explicó el 11.7 % y también solamente agrupó dos variables con cargas muy altas, los fosfatos (0.833) y el Cd en el alga (-0.807). La varianza explicada por el quinto factor fue de 9.8 %, la mayor parte de ésta asociada al índice de surgencia cuya carga fue de 0.925; el seston también contribuyó con una carga de 0.527.

Es importante destacar que el análisis de factores también se hizo con el índice de surgencia con desfases de 0 a 10 días. Los resultados (no incluidos) fueron semejantes a los antes descritos; es decir, siempre se agruparon las concentraciones de metales pesados en *C. gigas* y en *U. lactuca* en factores diferentes y casi sin asociación con las variables ambientales medidas y el índice de surgencia se segregó en el quinto factor contribuyendo a la mayor parte de la varianza explicada por éste.

IV. DISCUSION

En la costa noroccidental de Baja California, una importante fuente de variación de la temperatura del agua son los eventos de surgencia (Torres-Moye y Acosta-Ruiz, 1986; Chávez de Ochoa, 1975). Estos son ocasionados principalmente por vientos fuertes (hasta 8 m seg^{-1}) del norte o del noroeste, que corren paralelos a la costa con dirección al Ecuador y que generan un acarreo de agua superficial mar afuera, cuyo volumen es reemplazado por agua más profunda y fría (Barton y Argote, 1980).

Frente a Baja California ocurren surgencias durante todo el año, pero su mayor incidencia e intensidad es en primavera y verano (Bakun y Nelson, 1977). En estos períodos se suelen registrar súbitos descensos en la temperatura del agua de 3 a 4 °C (García-Córdova, 1983). En la Bahía de San Quintín los mayores descensos se registran en la región adyacente al océano (Millán-Núñez y Alvarez-Borrego, 1982), pero al interior de la bahía también se detectan cambios significativos ya que las aguas de surgencia son transportadas por las fuertes corrientes de marea (hasta 80 cm seg^{-1}) que dominan la hidrodinámica de este cuerpo de agua (Monreal-Gómez, 1980). Durante eventos de surgencia, Alvarez-Borrego y Alvarez-Borrego (1982) reportan para la cabeza de Bahía San Quintín (brazo este) y de Bahía Falsa (brazo oeste) descensos en la temperatura media del agua

(2 a 4 °C) incluso mayores a los registrados en este estudio (1.0 - 2.5 °C). Otra diferencia entre los termogramas de esos autores y el termograma generado en este trabajo es la menor variabilidad de la señal (Fig. 2a). Esto es atribuible a la diferencia en el posicionamiento del termógrafo ya que al no haber sido éste colocado en el intermareal sino en una de las balsas de cultivo, se filtró en forma natural una fracción significativa asociada al efecto de la marea astronómica.

Durante la fase experimental de este estudio, Lares-Reyes (1988) generó una serie de tiempo de la temperatura del agua en el exterior de la bahía. También en este caso se observó una diferencia notable en la variabilidad de las señales, pero los bruscos descensos de temperatura registrados en el exterior de la bahía (1-4 mayo, 8-15 mayo, 1-6 junio, 17-20 junio, 22-25 julio, 28 julio-6 agosto y 14-17 agosto), también se detectaron en el interior de ésta.

La ocurrencia de los eventos de surgencia inferidos de la temperatura del agua también coinciden (con un retraso de 0 a 3 días) con los índices de Bakun estimados para la región y período de estudio (Fig. 2 a-b, Tabla V). Los coeficientes de correlación entre estas dos variables (en general < -0.500) son así mismo congruentes con lo reportado por otros autores (Barton, 1990). Esto es debido en parte a que eventos de surgencia débiles o de corta duración no alcanzan a afectar significativamente el campo hidrográfico y por otra parte debido

a la superposición del efecto de la marea y del ciclo diario y anual de irradiación solar en la temperatura del agua.

Lara-Lara y Alvarez-Borrego (1977), Lara-Lara, et al. (1980) y Millán-Núñez, et al. (1982) señalan que las aguas de surgencia que penetran en Bahía San Quintín, además de ser frías, tienen salinidad alta, baja concentración de oxígeno disuelto y alta concentración de nutrientes ($< 12\text{ }^{\circ}\text{C}$, $> 34.5\text{ }^{\circ}\text{oo}$, aprox. 60 % de saturación y $> 2.2\text{ }\mu\text{moles}$ de fosfato, respectivamente). En este estudio solamente sólo se midió la última variable, y para complementar la información sobre las variables indicadoras de productividad se midió la concentración de clorofila *a* y del material particulado en suspensión (seston total).

Aunque las fluctuaciones mensuales de estas variables no covariaron con los índices de surgencia mensuales (Tabla II) y entre ellos, solo las concentraciones de seston total y de clorofila *a* se correlacionaron a $\alpha \leq 0.05$ (0.784), estos resultados no invalidan la calidad de las variables medidas como indicadoras de surgencia, solamente demuestran que la aproximación al problema fue inadecuado.

En primer término, tenemos que la fluctuación de las variables utilizadas representan dominios en el tiempo de diferente escala. Así, mientras que los valores mensuales de la temperatura del agua e índices de Bakun integran las fluctuaciones diarias entre muestreos, para el resto de las

variables, las cuales son además no conservadoras, los datos mensuales disponibles son valores instantáneos en una sola localidad.

Por otra parte, el utilizar en todos los casos valores instantáneos, o los promedios de temperatura e índices de Bakun de la semana, del día ó del ciclo de marea en que se realizó el muestreo, no necesariamente resuelve el problema. La razón de ésto es que los datos hidrológicos no son representativos de la variación temporal y espacial que se pretende resolver (e.i., fluctuación mensual en el cuerpo de agua) en especial para un sistema tan dinámico como Bahía San Quintín.

Esta particular característica de la bahía está plenamente ejemplificada en los estudios de Lara-Lara et al. (1980), Millán-Núñez et al. (1983) y Farfán y Alvarez-Borrego (1983) quienes generaron series de tiempo intensivas (cada dos horas durante 10 días) de algunas variables hidrológicas (conservativas y no conservativas) en diferentes sitios de la bahía. En estos estudios las fuentes de variación resueltas a través del análisis espectral de los datos incluyen no solo una conspicua componente de período largo (< 0.01 ciclos/hr), presumiblemente asociada a la variabilidad anual y/o eventos de surgencia, también se resuelven componentes diurnas y semidiurnas (aprox. 0.04 y 0.083 ciclos/hr, respectivamente) y de frecuencia muy alta (> 0.01 ciclos/hr). Los dos primeros están evidentemente asociados al régimen de marea y al efecto

del ciclo diurno de irradiación solar y/o procesos biológicos asociados a éste; en las frecuencias altas se destaca el efecto de la turbulencia inducida por el viento y corrientes de marea lo cual afecta significativamente la concentración de nutrientes y de material particulado en suspensión. Es importante que para las variables no conservadoras, las variaciones en períodos de 24 horas suelen ser de hasta un orden de magnitud. Con base en estos considerandos, en el análisis multivariado (análisis de factores) y discusión del estudio de la variabilidad de largo plazo de la concentración de metales en el medio, no se incluyeron las variables fosfato clorofila a y seston total. En estudios futuros de la variabilidad mensual de estas variables indicadoras de la productividad de esta bahía, para obtener al menos una primera aproximación se sugiere el muestreo de una red de estaciones con una frecuencia mínima mensual y de ser posible quincenal.

El estudio realizado para estimar la variabilidad de largo plazo (fluctuación mensual) de la concentración de metales en el medio, está enmarcado en el esquema general de los programas de monitoreo. En la costa oeste de E.U.A., el bioindicador más frecuentemente utilizado es *Mytilus edulis*. Sin embargo, en localidades donde éste no ocurre o se encuentra en muy bajas densidades se utilizan *M. californianus*, y *Crassostrea gigas*. Este último además de estar considerado como un eficiente bioacumulador de metales suele analizarse en forma rutinaria

para control sanitario, ya que el cultivo de este organismo constituye una empresa económica para esa región. En cuanto a la periodicidad utilizada, cabe destacar que en los programas de monitoreo se consideran de alta frecuencia los estudios con intervalos de muestreo mensual.

En este trabajo, además simultáneamente se midió la concentración de metales en otro bioindicador (*U. lactuca*) y se analizaron algunas posibles fuentes de la variabilidad de largo plazo de la concentración de metales en el medio, como son las surgencias, la precipitación pluvial y las características biométricas e índices de condición de los ostiones. Los patrones de variación conjunta de este elevado número de variables se definieron a través del análisis de factores. Este tipo de análisis multivariado además de desentrañar las interacciones del conjunto de datos existentes, permite hacer inferencias sobre los factores causales subyacentes a las asociaciones registradas (Rummel, 1967). En este trabajo se cuenta además con los resultados del estudio de las variaciones de corto plazo, lo cual permitirá analizar más estrechamente algunas de las alternativas que se presenten para explicar la observada variabilidad de largo plazo.

Uno de los postulados de utilizar organismos como el mejillón o el ostión para estudiar la variabilidad temporal de los metales pesados en el medio acuático es su capacidad de acumular estos contaminantes. Phillips (1977) señala que esta

característica le permite integrar en el tiempo las condiciones ambientales pasadas, mientras que la determinación directa de metales en el agua sólo proporciona mediciones instantáneas. Sin embargo, para que el monitoreo de la contaminación por metales sea efectivo, se deben aplicar ciertas precauciones ya que además de la concentración de metales en el medio, la bioacumulación de éstos es también función de la condición fisiológica de los organismos.

Boyden y Phillips (1981) señalan que en los moluscos bivalvos las variables fisiológicas más importantes a considerar son edad, tamaño y grado de madurez sexual. En el presente estudio se controló la talla (78-126 mm) pero dado que en *C. gigas* es muy difícil eliminar totalmente la gónada, para el análisis de metales se utilizó todo el organismo.

El ciclo reproductivo de *C. gigas* en la Bahía de San Quintín es anual (Paniagua-Chávez, 1988). En la parte interna de la bahía se ha observado el establecimiento del proceso gametogénico y la maduración gonádica de abril a julio y el desove masivo en agosto. Los índices de condición registrados en este estudio, así como la fluctuación mensual en el peso medio de los organismos (Figs. 6b y c), siguen muy de cerca la descripción anterior. Ambas variables despliegan un incremento más ó menos continuo de abril a agosto, el más conspicuo entre julio y agosto, y un drástico decremento a partir de septiembre.

La correlación entre estas dos variables y la concentración de metales en el ostión solo fue significativa en el caso del aluminio. Sin embargo, cabe destacar que las correlaciones entre el peso de los organismos o el índice de condición y las concentraciones de zinc, cobre y manganeso fueron, al igual que en el aluminio, de signo negativo (Tabla II). En los resultados del análisis de factores el agrupamiento anterior persiste en el factor 3 (Tabla III) destacándose el índice de condición con la carga más alta, lo cual sugiere que dicho factor está vinculado a la sexualidad del organismo.

La asociación inversa entre el ciclo reproductivo y la concentración de algunos metales ya ha sido reportada por Boyden y Phillips (1981) en *C. gigas*, en *M. edulis* por Phillips (1976) y Simpson (1979) y en *M. galloprovincialis* por Fowler y Oregoni (1976). En algunos casos se ha podido concluir que con el avance del ciclo gametogénico, el incremento en el peso del organismo produce un efecto de dilución del contaminante, en otros que obedece a una menor tasa de bioacumulación que de incremento en peso.

En este estudio, el continuo incremento de la carga total de metales en el ostión durante la fase de maduración sexual indica que la tasa de bioacumulación fue menor que la de incremento en peso (Figs. 6c, 7a-11a). El análisis de correlación entre los índices de condición y el contenido ó carga total en el ostión de los metales Cd, Mn, Cu y Zn registró

coeficientes de 0.693, 0.794, 0.770 y 0.591, respectivamente.

El significativo efecto de la sexualidad de los organismos en su contenido de metales se aprecia mas claramente en el análisis de factores de esta serie (Tabla IV). En éste, prácticamente toda la varianza explicada por el primer factor (29.7 %) se asoció al índice de condición y al contenido en el ostión de esos metales (cargas de 0.783 a 0.953). En este análisis también se destaca una débil asociación a este factor del contenido total de aluminio. Ouellette (1981), señala que en filtroalimentadores la determinación de Al es muy sensible a la presencia de sedimentos en el tracto digestivo por lo cual para el análisis de este metal en el tejido total, recomienda la depuración de los organismos. Con la información disponible no es posible definir si la falta de depuración de los ostiones afectó los contenidos y concentraciones de aluminio, sin embargo esta posibilidad no puede descartarse y debe tomarse en consideración en futuras investigaciones. También en estudios futuros sería muy recomendable que se eliminara la gónada. Esto no eliminaría necesariamente la variabilidad en la concentración de los metales debido a la condición reproductiva, pero es posible que la inclusión de la gónada contribuya a magnificar su efecto.

Una consecuencia de que el ciclo reproductivo del organismo afecte tan significativamente su contenido de metales, es que el efecto de la concentración de metales en el medio queda

oscurecido. Por ejemplo, durante la maduración sexual la mayor demanda metabólica incrementa los requerimientos de Cu y Zn en *C. gigas* (Martincic et al., 1984). Esto puede ocasionar un incremento en la tasa de asimilación o absorción de esos metales o la movilización de las reservas existentes en diferentes tejidos hacia la gónada. Durante el desove, con la pérdida en biomasa también se pierden cantidades sustanciales de estos metales; esto último se aprecia claramente en los resultados de este estudio (Figs. 7a-11a). Bajo estas condiciones la disponibilidad de metales en el medio es difícil de inferir solo a través del contenido ó concentración de metales en el ostión.

Un indicador adicional de la concentración de metales biodisponibles, al menos en forma iónica, es la concentración de éstos en *U. lactuca*. De los cinco metales analizados, únicamente las variaciones mensuales en las concentraciones de Zn y Cd en *C. gigas* y *U. lactuca* presentaron correlaciones altas (0.827 y 0.656 respectivamente); en el análisis de factores se mantuvo esta asociación, también con cargas altas (Factores 1 y 5, Tabla III). Estos resultados concuerdan con la observación de Martincic et al. (1984) quienes indican que mejillones y ostiones incorporan estos dos metales principalmente de la fase disuelta y no del alimento como otros autores proponen (Preston, 1971; Schultz-Baldes, 1974). Sin embargo, en el estudio intensivo no se observó covarianza en las concentraciones de Zn o Cd entre *U. lactuca* y *C. gigas*. De hecho, en el análisis de

factores correspondiente se destaca la asociación de las concentraciones de metales en el alga y en el ostión a factores diferentes (Tabla VII).

Esto difiere de los resultados obtenidos en el estudio que paralelamente realizara Lares-Reyes (1988) en el exterior de la Bahía. En éste tanto en la serie mensual como en el estudio intensivo se registraron correlaciones significativas entre las concentraciones de Cd en *Mytilus californianus* y en las algas bioindicadoras (*Macrocystis pyrifera*, datos mensuales; *Egrecia menziensis*, estudio intensivo).

Otra diferencia importante es la asociación significativa que se reporta en ese estudio entre las concentraciones mensuales de Cd en los bioindicadores y el índice de surgencia. Esta discrepancia obedeció principalmente a la diferencia en la ocurrencia de la concentración máxima (junio en ese estudio, y julio en el presente trabajo).

Dado que los temogramas generados durante el período de estudio ratifican la presencia de agua de surgencia en el interior de la bahía, el desfase antes mencionado y la consecuente falta de asociación entre los índices de surgencia y las concentraciones de Cd en los organismos indicadores, sugieren que dentro de la bahía existen procesos físicos y/o biogeoquímicos que alteran los efectos de las surgencias sobre esta variable.

Otra posibilidad es que la mayor concentración de Zn y Mn,

los cuales si se correlacionaron significativamente con los índices de surgencia (Tabla III), hayan reducido la biodisponibilidad del Cd para el ostión. Viarengo, (1985); Bryan y Gibbs, (1983) indican que esos dos metales se unen más fuertemente a las metalothioneinas que el Cd, y que concentraciones altas de esos metales reducen la asimilación del Cd. En el análisis de factores este efecto (e.i. cinética de asimilación de los bioindicadores por los metales en forma conjunta) pudiera ser el responsable de la asociación del Cd en el ostión al factor 2 y de Zn y Mn en el ostión al factor 1 (Tabla III). Sin embargo los resultados del estudio intensivo no respaldan esta opción ya que los metales Cd, Zn y Cu en el ostión se agruparon al mismo factor con cargas muy altas y de signo positivo (Tabla VIII).

También es importante hacer notar que en el trabajo de Lares-Reyes (1988) aunque en la serie mensual se registró una correlación significativa entre la concentración de Cd en los bioindicadores y el índice de surgencia, ésto no ocurrió en el estudio intensivo, donde era de esperarse resultados semejantes.

Otros estudios donde también se postula que la fluctuación en las concentraciones de Cd en la costa noroccidental de Baja California (inferida a través de las concentraciones en organismos bioindicadores) está asociada a los eventos de surgencia (Flores-Muñoz y Gutiérrez-Galindo, 1992; Pro-García,

1990) tampoco establecen una evidencia cuantitativa que estadísticamente respalde dicha aseveración. A pesar de esto, es importante destacar que a un nivel cualitativo más general todos los estudios realizados a la fecha indican que las concentraciones de Cd en los bioindicadores utilizados son máximas durante el período de surgencias intensas, primavera y verano.

Lo anterior sugiere que para establecer cuantitativamente la asociación entre las concentraciones de Cd en el medio y las surgencias, es necesario cambiar la estrategia de trabajo. La determinación de metales en solución, aunque más difícil y costosa, es indudablemente una alternativa que requiere probarse. El uso de bioindicadores, aunque está muy extendido, invariablemente presenta el problema de que la variabilidad en su concentración de metales, inherente a la condición fisiológica, está superimpuesta a la variabilidad debida a la concentración de metales en el medio. Esta situación se complica más cuando se toma en consideración que la acumulación de metales es más eficiente en algunos organismos y que diferentes especies pueden tener requerimientos metabólicos y cinéticas de asimilación diferentes para el mismo metal. Un problema adicional es el efecto antagónico entre metales, resultado de la competencia por los sustratos de enlace. Como antes se mencionó, concentraciones altas de Zn y Mn, y también de Cu, pueden suprimir la biodisponibilidad del Cd para el organismo indicador

ya que aquellos tienen mayor afinidad por los sustratos de enlace (Bryan y Langston, 1992).

Uno de los resultados más relevantes de este estudio y del de Lares-Reyes (1988) es la significativa variación de la concentración de metales en los bioindicadores en períodos de 24 y 48 horas (Figs 16-20). Estos resultados cuestionan fuertemente la utilidad de los bioindicadores utilizados en estos estudios en los programas de monitoreo de largo plazo en la zona costera, ya que dichos programas cuya menor periodicidad de muestreo es mensual, se basan en la capacidad de los organismos de integrar condiciones pasadas.

No existen trabajos de campo publicados en los cuales se haya aplicado una frecuencia de muestreo tan alta como la utilizada en el estudio intensivo, consecuentemente la variabilidad observada no puede contrastarse. Sin embargo, es claro que esta capacidad de los bioindicadores de cambiar sus concentraciones de metales en períodos cortos, que incluso pudiera ser del orden de horas (< 24 hr) y extensiva a otros organismos que se utilizan regularmente en los programas de monitoreo, requiere ser investigada.

Con el diseño de muestreo utilizado y asumiendo que los organismos respondieran sólo a la biodisponibilidad de metales en el medio, se intentó dilucidar la contribución de algunos fenómenos físicos y biológicos a la registrada variabilidad de corto período.

Los resultados del análisis realizado mostró que las fluctuaciones de período corto en la concentración de metales pesados en *C. gigas* y *U. lactuca*, además de ser prácticamente independientes entre si, no covariaron con los índices de surgencia ni aún desfasando éstos 10 días. Tampoco se encontraron asociaciones significativas entre las concentraciones de fosfatos y clorofila e índices de surgencia, o concentración de metales en los bioindicadores (Tablas VII y VIII).

La independencia de las variables concentración de clorofila y de fosfatos de los índices de surgencia, así como sus concentraciones relativamente bajas, sugieren que el intervalo de muestreo fue insuficiente para resolver el efecto de los eventos de surgencia registrados en julio (3 de ellos intensos).

En la discusión de la serie mensual ya se había mencionado que para Bahía San Quintín la gran variabilidad en las frecuencias altas de los indicadores de la productividad orgánica primaria, no permitían asumir que un muestreo puntual aislado fuera suficiente para representar las condiciones que prevalecen en el sistema. Los resultados del análisis de factores de la serie corta indican que esta aseveración se puede hacer extensiva a muestreos puntuales, aún con frecuencias de muestreo de 1-4 días.

La independencia entre la concentración de metales en los

bioindicadores y los índices de surgencia aún desfasados, sugiere que en esta laguna costera las aguas de surgencia pudieran no ser una fuente importante de metales al medio o bien, que el período en que se realizó el estudio intensivo no fue el más adecuado para resolver esta asociación.

La asociación entre la turbulencia inducida por el estado de la marea y la concentración de Cd en el ostión al desfasar 3, 4, 5 y 6 días el rango de marea, variable utilizada como indicadora de ese proceso, pudiera considerarse como señal de que el diseño de muestreo fue inadecuado para resolver los procesos ambientales que preponderantemente afectan la variabilidad de corto plazo de la biodisponibilidad de metales en el medio y que consecuentemente en el interior de la bahía las surgencias no son una fuente importante de dicha variabilidad. Sin embargo, tampoco debe minimizarse la importancia de la falta de asociación entre la turbulencia inducida por el estado de la marea y la concentración de los otros metales ya que o son terrígenos (Al y Mn) o tienen gran afinidad por los sedimentos (Cu y Zn).

Con respecto a la última opción, es importante destacar que en julio los ostiones se encontraban en maduración sexual, con lo cual la concentración de metales esenciales, como el Zn y el Cu, estaban fuertemente afectadas por la variabilidad inherente a ese proceso. Por otra parte, hay que recordar que julio, además de haber registrado varios eventos de surgencia

consecutivos, estuvo precedido por dos meses con surgencias muy intensas y frecuentes y de una fuerte turbulencia inducida por el viento. Dado que ambas variables son fuentes de metales al medio se esperaría que la concentración de éstos se mantuviera constantemente alta.

Esta situación podría conducir a una disponibilidad irrestricta de metalothioneinas (ligandos) en el bioindicador y a un acondicionamiento a altos niveles de metales en el medio tornándolos insensibles a incrementos mayores. Un apoyo a esta posibilidad son los estudios sobre la toxicidad del Cd en *Mytilus edulis*, donde se ha encontrado que organismos limpios expuestos a muy bajas concentraciones requieren de 4 días para incrementar su concentración; sin embargo, con incrementos subsecuentes de cadmio al medio, la concentración del metal en el bioindicador se mantiene estable hasta por 8 días (Amiard Trequet et al. 1986; Coleman et al. 1986). Lares-Reyes (1988) sugiere que el acondicionamiento a concentraciones altas en el medio podría ser el mecanismo que confiere a los bioindicadores una capacidad de respuesta muy rápida a la fluctuación de metales en el medio, lo cual explicaría la alta variabilidad en la concentración de metales en los bioindicadores observada en la serie intensiva.

Independientemente de los factores que hayan afectado la disponibilidad de los metales para el ostión, las concentraciones registradas en este trabajo fueron en general

bajas. En el estudio de la variabilidad mensual solamente el cadmio y el zinc llegaron a sobrepasar los límites legislados (Figs. 7a y 10a). En el caso del cadmio ésto únicamente se observó en julio y en el zinc en mayo (15.3 y $623 \mu\text{g g}^{-1}$ peso seco, respectivamente). En los Estados Unidos y Australia éstos valores son de $2 \mu\text{g g}^{-1}$ peso húmedo y para el Zn de $40 \mu\text{g g}^{-1}$ peso húmedo (aproximadamente 11.6 y $232 \mu\text{g g}^{-1}$ peso seco, respectivamente).

En el estudio de la variabilidad de corto plazo, las concentraciones de Cd y de Zn en el ostión rebasaron los límites legislados en varias ocasiones aunque en la mayoría de los casos los niveles estuvieron muy cerca de dichos límites (Figs. 16a y 19a). En ambos metales, ésto ocurrió los días 5, 7, 9, 19 y 21. Para el Zn también los días 14, 15, 27 y 29 registraron valores altos.

Con respecto a otras regiones costeras, las concentraciones de los metales analizados en el ostión se enmarcan en los rangos encontrados en una variedad de moluscos de zonas limpias ó con una baja influencia antropogénica. Para estas últimas los rangos de concentración expresados en $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco son: Cd 6.9 a 17.4; Cu 87 a 261; y Zn 59 a 466 (Phillips, 1983). Con respecto a la misma Bahía de San Quintín, en un estudio realizado de febrero a julio de 1989 (Pro García, 1990) las concentraciones mensuales de todos los metales analizados fueron incluso menores a los encontrados en este trabajo. Esto sugiere que la

introducción de metales está decreciendo o que por lo menos se ha estabilizado.

En el caso del cobre y del cromo, Schafer (1982) y Ladd, et al. (1984) de hecho demostraron que en la cuenca del sur de California la carga de estos metales en la biota y en las descargas municipales decreció significativamente de 1971 a 1981. También el plomo y el cadmio muestran una cierta tendencia a disminuir (Lauenstein et al., 1992). El decremento de sustancias tóxicas en la cuenca del Sur de California, evidentemente es un resultado de los programas regionales y nacionales orientados a reducir la carga de contaminantes al medio costero. Para el ostricultivo de San Quintín sin embargo, existe un peligro potencial adicional que es el efecto de la acumulación de biodepósitos, que es un tópico que requiere ser investigado detalladamente por sus posibles implicaciones para el ostricultivo.

CONCLUSIONES

En el estudio de la variabilidad de período largo (fluctuación mensual), la concentración de metales en *Crasostrea gigas* fué en general baja. Únicamente la concentración de Cd en julio y de Zn en mayo (15.3 y 623 $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco, respectivamente) sobrepasaron los límites legislados para mariscos de consumo humano. En el estudio de la variabilidad de corto plazo, las concentraciones de estos dos metales rebasaron los límites legislados en varias ocasiones, aunque en la mayoría de los casos los niveles estuvieron muy cerca de dichos límites. Para ambos metales, ésto ocurrió los días 5, 7, 9, 19 y 21 de julio; la concentración de Zn en el ostión además registró valores altos los días 14, 15, 27 y 29.

Las concentraciones de los cinco metales analizados en *C. gigas* y *U. lactuca* registraron fluctuaciones de corto plazo significativas y frecuentes y no presentaron patrones de variación conjunta o asociados a los índices de surgencia, ni aún desplazando éstos hasta 10 días. Lo anterior sugiere que en el interior de Bahía San Quintín las aguas de surgencia pudieran no ser una fuente importante de metales al medio o bien que el período en que se realizó el estudio o la amplitud de éste fueron insuficientes para resolver dicha asociación.

La falta de asociación entre el índice de surgencia y las variables fosfato y clorofila a así como las bajas

concentraciones registradas, indican que determinaciones en una sola localidad de la bahía aún cuando sean a intervalos de 48 horas, son insuficientes para representar las fluctuaciones de período corto de las variables indicadoras de la productividad primaria en el sistema.

Uno de los resultados más relevantes de este trabajo es la significativa variación en la concentración de metales en *C. gigas* y *U. lactuca* en períodos de 48 y hasta de 24 horas. En el estudio de la variabilidad de corto plazo el intervalo de variación total en las concentraciones de Cd, Cu y Mn en el ostión fue similar al obtenido en la serie mensual y para *U. lactuca* el intervalo de variación de todos los metales analizados fué incluso mayor. Estos resultados cuestionan fuertemente la utilidad de estos organismos como bioindicadores en programas de monitoreo de período largo, incluyendo al realizado en este trabajo, ya que dichos programas se basan en la capacidad de los organismos de integrar condiciones pasadas. La capacidad de *C. gigas* y *U. lactuca* de cambiar su concentración de metales en períodos cortos, los cuales incluso pudieran ser menores a 24 horas, y la posibilidad de que esta situación también se presente en otros organismos que se utilizan regularmente en los programas de monitoreo, requieren ser investigadas.

LITERATURA CITADA

- Alvarez Borrego, S., G. Ballesteros Grijalva y A. Chee Barragán. 1975. Estudio de algunas variables fisicoquímicas superficiales en Bahía San Quintín, en verano, otoño e invierno. *Ciencias Marinas*. 2(2):1-9.
- Alvarez Borrego, J. y S. Alvarez Borrego. 1982. Temporal and spatial variability of temperature in two coastal lagoons. *CalCOFI Rep.* XXIII:188-197.
- Amador Buenrostro, A. 1978. Análisis de vientos, corrientes y nivel del mar en una zona de surgencias cerca de Punta Colonet. Tesis de Maestría. CICESE, Ensenada, B.C., México, 32 pp.
- Amiard-Triquet, C., B. Berthet, C. Metayer y J.C. Amiard. 1986. Contribution to the ecotoxicological study of cadmium, copper and zinc in the mussel *Mytilus edulis*. II. Experimental study. *Mar. Biol.* 92:7-13.
- Bakun A. y C.S. Nelson. 1977. Climatology of upwelling related processes off Baja California. *CalCOFI Rep.* XIX:107-127.
- Barton, E.D. y M.L. Argote. 1980. Hydrographic variability in an upwelling area off northern Baja California in June 1976. *J. Mar. Res.* 38(4):631-649.
- Bendat, J.S. y A.G. Piersol. 1971. Random data: Analysis and measurements procedures. Wiley-Interscience, New York. 407 pp.
- Boyden C. R. y D.J.H. Phillips. 1981. Seasonal variation and inherent variability of trace elements in oysters and their implications for indicator studies. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 5: 29-40.
- Brooks, R.R. y M.G. Rumsby. 1965. The biogeochemistry of trace elements uptake by some New Zealand bivalves. *Limnol. Oceanogr.* 10:521-527.
- Bruland, K.W., K. Bertine, M. Koide y E.D. Goldberg. 1974. History of metal pollution in Southern California coastal zone. *Environ. Sci. Technol.* 8:425-432.

- Bruland, K. 1980. Oceanographic distributions of cadmium, zinc, nickel and copper in the North Pacific. *Earth Planet. Sci. Lett.* 47:176-198.
- Bryan, G.W. 1976. Heavy metal contamination in the sea, pp. 185-302. En *Marine Pollution*. R. Jhonson (Ed.). London Academic Press. 706 pp.
- Bryan, G. W. y P.E. Gibbs. 1983. Heavy metals in the Fal estuary, Cornwall: a study of long-term contamination by mining waste and its effects on estuarine organisms. *Mar. Biol. Ass.UK, Occ. Publ., No.2*, 112 pp.
- Bryan G.W. y W.J. Langston. 1992. Bioavailability, accumulation and effects of heavy metals in sediments with special reference to United Kingdom estuaries: a reiew. *Environ. Pollut.* 76:89-131.
- Calabrese, A., R.S. Collier, D.A. Nelson, y J. Mac Innes. 1973. The toxicity of heavy metals to embryos of the american oyster *Crassostrea virginica*. *Mar. Biol.* 18:162-166.
- Clarkson, T.W. 1977. Mercury poisoning. pp. 189-200. En: *Clinical Chemistry and Chemical Toxicology of Metals*. Brown, S.S. (Eds.). Elsevier/North-Holland Biomedical Press. Amsterdam.
- Coleman, N., T.F. Mann, M. Mobley y N. Hickman. 1986. *Mytilus edulis planulatus*: an "integrator" of cadmium pollution? *Mar. Biol.* 92:1-5.
- Craig, J.P. 1980. Metal cycles and biological methylation, pp. 169-221. En: *Environmental Chemistry*. O. Hutzinger, (Ed.). Berlin: Sringer-Verlag.
- Chávez de Nishikawa, A. y S. Alvarez Borrego., 1974. Hidrología de Bahía San Quintín, Baja California en invierno y primavera. *Ciencias Marinas*. 1(2):31-61.
- Chávez de Ochoa, M.C. 1975. Algunas condiciones de surgencia durante la primavera de 1974, para el area adyacente a Punta Banda, Baja California. *Ciencias Marinas*. 2(2):111-124.
- Edler, L. 1979. Recomendations for marine biological studies in the Baltic Sea: Phytoplankton and chlorophyll. National Swedish Env. Prot. Bd. Edler, L. (Ed.)

- Farfán B.C. y S. Alvarez Borrego. 1983. Variability and fluxes of nitrogen and organic carbon at the mouth of a coastal lagoon. *Estuarine, coastal and shelf Science* 17:599-612.
- Flores Muñoz G. y E.A. Gutiérrez Galindo. 1992. Metales traza biológicamente disponibles en la costa noroccidental de B. C. (en preparación).
- Fowler, S.W. y B. Oregioni. 1976. Trace metals in mussels from the N.W. Mediterranean. *Mar. Pollut. Bull.* 7(2):26-29.
- García Córdova, J. 1983. Variaciones hidrográficas y eventos de surgencia frente a Punta Colonet, B.C. en julio de 1980. UABC, Escuela Superior de Ciencias Marinas, Tesis Profesional, 116 pp.
- Goldberg, E.D. 1975. The mussel watch -a first step in global marine monitoring. *Mar. Pollut. Bull.* 6:111.
- Goldberg, E.D., E. Gamble, J.J. Griffin, M. Kode. 1977. Pollution history of Narragansett Bay as recorded in its sediments. *Estuarine and coastal marine science.* 5:549-561.
- Ketchum, B.H. 1980. *Marine Industrial Pollution*, pp. 397-413. En: *Oceanography the past.* (M. Sears, D. Meriman, eds.). New York: Springer-Verlag.
- Krey, J. 1950. Eine neue methode zur quantitativen bestimmung des planktons. *Kieler Merresforschungen.* 7:58-75.
- Lara Lara, J.R. y S. Alvarez Borrego. 1975. Ciclo anual de clorofilas y producción orgánica primaria en Bahía San Quintín, B.C. *Ciencias Marinas*, 2(1):77-96.
- Lara Lara, J.R., S. Alvarez Borrego y L.F. Small. 1980. Variability and tidal exchange of ecological properties in a coastal lagoon, *Estuar. Coastal Mar. Sci.* 2:613-637.
- Lares Reyes L. (1988). Variación temporal de cadmio y mercurio biodisponibles en una zona de surgencia costera. Tesis de Maestría. CICESE 88 pp.
- Lauenstein, G.G., A. Robertson y T.P. O'connor. 1990. Comparison of trace metal data in mussels and oysters from a Mussel Watch Programme of the 1970s with those from a 1980s Programme. *Mar. Poll. Bull.* 21(9):440-447.

- Levine H.G. 1984. The use of seaweeds for monitoring coastal waters. Cap. 6:189-210. En: Algae as ecological indicators. L.E. Shubert (Ed.). London Academic Press.
- Martin, J.H., y W.W. Broenkow. 1975. Cadmium in plankton: elevated concentrations off Baja California. Science. 190:884-885.
- Martin, M. y R. Severeid. 1982. Mussel watch monitoring for the assesmenmt of trace toxic constituents in California Marine Waters. C.D.F.G. y S.W.R.C.B. Workshop on meaninfull measures of Marine Pollution Effects. Pansacola, Calif., 167 pp.
- Martincic, D., H.W. Nurnberg, M. Stoeppler y M. Branica. 1984. Bioaccumulation of heavy metals by bivalves from Lim Fjord (North Adriatic Sea). Mar. Bio. 81:177-188.
- Millán Núñez, R., S. Alvarez Borrego, y D.M. Nelson. 1982. Effects of physical phenomena on the distribution s of nutrients and phytoplankton productivity in a coastal lagoon. Estuar. Coastal Shelf. Sc. 15:317-335.
- Monreal Gómez A. 1980. Aplicaciones de un modelo de dispersión en Bahía San Quintín, Baja California, Mexico. Tesis de Maestría. CICESE, Ensenada, B.C., México, 82 pp.
- Nauen, C.C. 1983. Compilation of Legal Limits for Hazardous Substances in Fish and Fishery Products, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Nie, N.H., D.H. Bent, y C.H. Hull. 1970. Statistical package for the social sciences. McGraw-Hill, San Francisco. 343 pp.
- Nishikawa K.K. 1982. Monografía de Bahía San Quintín B.C., México. (no publicado).
- Ouellette, T.R. 1981. Seasonal variation of trace metals in the mussel *Mytilus californianus*. Environ. Conserv. 18(1):53-58.
- Paniagua Chávez C. 1987. Desarrollo gonadal de la especie *Crassostrea gigas* en Bahía San Quintín, B.C., México. UABC, Escuela Superior de Ciencias Biológicas, Tesis Profesional, 82 pp.

- Phillips, D.J.H. 1976. The common mussel *Mytilus edulis* as an indicator of pollution by zinc, cadmium, lead and copper. I. Effects of environmental variables on uptake of metals. *Mar. Bio.* 38:59-69.
- Phillips, D.J. 1977. The use of biological indicator organisms to monitor trace metal pollution in marine and estuarine environments. A review. *Environ. Pollut.* 13:281-317.
- Phillips, D.J. 1983. Trace metals of toxicological significance to man in Hong Kong seafood. *Environ. Pollut.* 3(1):27-45
- Presston, E.M. 1971. The importance of ingestion in chromium-51 accumulation by *Crassostrea virginica*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 6:47-54.
- Pro García R. 1990. Metales traza biodisponibles en el ostión *Crassostrea gigas* y en biodepósitos de la zona de maricultivo de Bahía San Quintín B.C. UABC, Facultad de Ciencias Marinas. 47 pp.
- Rummel, R.J. 1967. Understanding factor analysis. *The Journal of conflict resolution.* Vol XI, 4:444-480.
- Schafer, H.A. 1979. Characteristics of municipal waste water discharges. *Southern Calif. Coastal Water Proj. Ann. Report.* pp. 235-240.
- Schafer, H. 1982. Characteristics of municipal wastewaters. En *Coastal Water Research Project, Biennial Report, 1981-1982.* SCCWRP. Los Angeles, Ca. 11-15 pp.
- Shulz-Baldes, M. 1974. Lead uptake from sea water and food and lead loss in the common mussel *Mytilus edulis*. *Mar. Biol.* 25:177-193.
- Simpson, R.D. 1979. Uptake and loss of zinc and lead by mussels (*Mytilus edulis*) and relationships with body wieght and reproductive cycle. *Mar. Pollut. Bull.* 10(3):74-78.
- Stephenson, M.D., M. Martin, S.E. Lange, A.R. Flegal y J.H. Martin. 1979. California Mussel Watch 1977-78. Vol. II. Trace metals concentrations in the California mussel *Mytilus californianus*. *Water Quality Monitoring Rept.* No. 79-22.
- Strickland, J. y T.R. Parsons. 1972. *A Practical Handbook of Seawater Analysis.* Fisheries Research Board of Canada, 310 pp.

- Torres Fernández. 1986. Estudio de la factibilidad para la creación de un distrito de Acuacultura en el area de Bahía San Quintín, B.C., México. Tesis de Licenciatura. Esc. de Ciencias Marinas.
- Torres Moye, G. y M.J. Acosta Ruiz. 1986. Algunas propiedades químicas indicadoras de eventos de surgencias costeras y de la contracorriente subsuperficial en el area cercana a Punta Colonet, Baja California. Ciencias Marinas. 12(3):10-25.
- Viarengo A. 1985. Biochemical effects of trace metals. Mar. Poll. Bull. 16(4):153-158.
- Wittmann, G. 1981. Toxic metals. Cap. B. en: Metal Pollution in the Aquatic Environment. U. Forstner y G.T.W. Wittmann (Eds.) Berlin: Springer Verlag, 486 pp.