



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE
CIENCIAS MARINAS

DEPARTAMENTO DE OCEANOLOGÍA

"FACTORES QUE CONTROLAN LA PRODUCTIVIDAD
PRIMARIA EN LA BAHÍA DE LA PAZ, B.C.S."

T E S I S

Que como requisito para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

Con especialidad en Manejo de Recursos Marinos

Presenta:

BIOL. AMADA REYES SALINAS.

LA PAZ, B.C.S.

1999.

SÍMBOLOS UTILIZADOS EN EL TEXTO.

VARIABLE	SÍMBOLO	UNIDADES
Clorofila a	Cla	mg Cla m ⁻³
Productividad primaria	pp (F _c)	mg C m ⁻³ h ⁻¹ , mg C m ⁻² h ⁻¹
Emisión de fluorescencia natural	F _f	moles cuanta m ⁻³ s ⁻¹
Eficiencia cuántica de fotosíntesis	φ _c	moles C / moles cuanta absorbidos
Eficiencia cuántica de fluorescencia	φ _f	moles cuanta emitidos/moles cuanta absorbidos
Tasa de absorción de las células	F _a	moles cuanta m ⁻³ s ⁻¹
Coefficiente de absorción del agua	a _w	m ⁻¹
Coefficiente de absorción específica de la clorofila a	*a _{Cla}	m ² mg Cla m ⁻¹
Coefficiente de absorción en la banda espectral de emisión de la fluorescencia	a _{Ff}	m ⁻¹
Coefficiente de absorción específico del fitoplancton y partículas	*a _p	m ⁻¹
Radiancia ascendente	L _u	moles cuanta m ⁻² s ⁻¹ str ⁻¹
Coefficiente de atenuación de la luz difusa	Kd	m ⁻¹
Coseno promedio de la irradiancia descendente	μ _d	adimensional
Razón máxima entre las eficiencias cuánticas	(φ _c /φ _f) _{max}	moles C / moles cuanta de fluorescencia
Irradiancia cuando (φ _c /φ _f) es la mitad del máximo	K _{cf}	moles cuanta m ⁻² s ⁻¹
Longitud de onda	λ	nm
Radiación fotosintéticamente disponible (400-700nm)	PAR	moles cuanta m ⁻² s ⁻¹
Irradiancia escalar de PAR	E _o	moles cuanta m ⁻² s ⁻¹
Irradiancia descendente	E _d	moles cuanta m ⁻² s ⁻¹
Irradiancia ascendente	E _u	moles cuanta m ⁻² s ⁻¹
Sigma-t	σ _t	Kg m ⁻³
Índice de estratificación	Φ	J m ⁻³

ÍNDICE.

	Pág
ACTA DE REVISIÓN DE TESIS FORMA DG-9.	i
DEDICATORIA.	ii
AGRADECIMIENTOS.	iii
SIMBOLOGÍA UTILIZADA EN EL TEXTO.	iv
GLOSARIO.	vii
RESUMEN.	xi
ABSTRACT.	xii
ÍNDICE DE TABLAS.	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS.	xv
I.- INTRODUCCIÓN.	1
I.1. Antecedentes.	3
I.2. Justificación.	7
I.3. Objetivos.	9
I.4. Metas.	9
II.- LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.	10
III.- MATERIALES Y MÉTODOS.	12
III.1. Muestreo.	12
III.2. Trabajo de campo.	12
III.3. Trabajo de laboratorio.	14
III.4. Trabajo de gabinete.	17
IV.- RESULTADOS.	21
IV.1. Características meteorológicas.	21
IV.1.1. Estado del mar.	21
IV.1.2. Nubosidad.	21
IV.1.3. Vientos.	23
IV.2. Distribución temporal y espacial de las variables medidas.	24
IV.2.1. Temperatura, salinidad y densidad relativa.	24
IV.2.2. Masas de agua.	39
IV.2.3. Transparencia.	42
IV.2.4. Nutrientes.	49
IV.2.5. Clorofila a y seston.	63
IV.3. Productividad primaria.	72
IV.3.1. Distribución temporal.	72
IV.3.2. Distribución espacial.	74
IV.4. Estratificación de la columna de agua.	87

ÍNDICE (Continuación).

	Pág.
V.- DISCUSIÓN.	89
V.1. Relación entre la hidrografía y la productividad primaria.	89
V.2. Factores que controlan la productividad primaria.	102
VI.- CONCLUSIONES.	108
VII.- RECOMENDACIONES.	109
VIII.- LITERATURA CITADA.	111
IX.- ANEXOS.	I
IX.1. Escala de Beaufort para el estado del mar y viento. Tomado de Weihaupt (1984).	I
IX.2. Símbolos de cobertura del cielo.	II
IX.3. Intensidad y frecuencia de los vientos durante marzo, abril y mayo (1997). Los datos fueron tomados de la estación meteorológica del CIBNOR.	III
IX.4. Intensidad y frecuencia de los vientos durante junio, julio y septiembre (1997). Los datos fueron tomados de la estación meteorológica del CIBNOR.	IV
IX.5. Intensidad y frecuencia de los vientos durante octubre (1997). Los datos fueron tomados de la estación meteorológica del CIBNOR.	V
IX.6. Intervalos de temperatura y salinidad para las masas de agua presentes en el golfo de California (tomado de Torres-Orozco, 1993).	VI
IX.7. Diagrama T-S obtenido de los datos correspondientes al mes de marzo para la Bahía de La Paz. Se muestran los intervalos de temperatura y salinidad referidos en Torres-Orozco (1993) para las masas de agua presentes en el golfo de California. Agua Profunda del Pacifico (APP), Agua Intermedia de Pacifico (AIP), Agua Subsuperficial Subtropical (ASsSt), Agua de la Corriente de California (ACC), Agua Superficial Ecuatorial (ASE) y Agua del Golfo de California (AGC).	VII
IX.8. Diagrama T-S obtenido de los datos correspondientes al mes de junio para la Bahía de La Paz. Se muestran los intervalos de temperatura y salinidad referidos en Torres-Orozco (1993) para las masas de agua presentes en el golfo de California.	VIII
IX.9. Diagrama T-S obtenido de los datos correspondientes al mes de julio para la Bahía de La Paz. Se muestran los intervalos de temperatura y salinidad referidos en Torres-Orozco (1993) para las masas de agua presentes en el golfo de California.	IX
IX.10. Diagrama T-S obtenido de los datos correspondientes al mes de septiembre para la Bahía de La Paz. Se muestran los intervalos de temperatura y salinidad referidos en Torres-Orozco (1993) para las masas de agua presentes en el golfo de California.	X
IX.11. Diagrama T-S obtenido de los datos correspondientes al mes de octubre para la Bahía de La Paz. Se muestran los intervalos de temperatura y salinidad referidos en Torres-Orozco (1993) para las masas de agua presentes en el golfo de California.	XI

GLOSARIO.

- ADVECCIÓN.-** Es el proceso mediante el cual son transportadas las propiedades inherentes a un fluido en movimiento, como calor o concentración de sal en el océano, o contenido de humedad en la atmósfera. En las ecuaciones de movimiento, la advección puede ser en las tres direcciones, en general se usa el término advección para movimientos horizontales, mientras que los movimientos verticales se asocian al término convección.
- BAROCLÍNICO.-** Indica un estado de la distribución del campo de masa de un fluido en el que las superficies isobáricas (de igual presión) intersectan superficies isostéricas (de igual densidad). La distribución vertical de la velocidad asociada no es uniforme. Este estado del fluido es el resultado de inhomogeneidades en la distribución horizontal de la densidad y obviamente, un fluido baroclínico no puede permanecer en reposo debido a que la intersección de las superficies isobáricas con las isopícnas genera un gradiente de presión que induce el movimiento.
- BAROTRÓPICO.-** Estado de la distribución de los campos de masa en un fluido en el cual las superficies isobáricas coinciden con las superficies isostéricas. La distribución vertical de la corriente asociada es uniforme. Si el fluido está en reposo, las superficies isobáricas y las isopícnas son paralelas a superficies geopotenciales; en cambio, si se induce un movimiento por inclinación de la superficie, el cuerpo de agua se mueve como un todo bajo el gradiente de presión.
- BIOMASA.-** Es la cantidad de materia viviente que puede ser expresada como el peso total de los organismos por unidad de área o volumen.
- CAPA DE MEZCLA.-** Es una capa con propiedades verticalmente homogéneas, provocada por el efecto de la energía cinética turbulenta en la superficie del mar.
- DIAGRAMA T-S.-** Gráfica de datos de temperatura *versus* salinidad colectados de manera simultánea en cada nivel de una estación oceanográfica. Estos diagramas son muy útiles, ya que permiten identificar masas de agua, hacer estimaciones de mezcla relativa entre ellas, obtener el valor de sigma-t (σ_t), da idea de la estabilidad de la columna de agua y permite encontrar posibles errores de las estimaciones de temperatura y salinidad.
- ESTRATIFICACIÓN.-** Condición del fluido que implica la existencia de dos o más capas horizontales arregladas según su densidad, de tal manera que las capas menos densas están sobre las más densas.
- EUTRÓFICO.-** Término que se utiliza para describir un sistema acuático que posee niveles altos de productividad primaria. Relativo a las aguas con ricas concentraciones de nutrientes. Sistema productivo basado en la abundancia del plancton y variabilidad de nutrientes.

- FOTOSÍNTESIS.**- Es el proceso mediante el cual las plantas convierten la energía luminosa en energía química. Esta es almacenada en forma de material orgánico (carbono reducido) en compuestos como carbohidratos, proteínas y lípidos.
- FLUORESCENCIA.**- Propiedad que tienen algunos cuerpos de emitir luz cuando están expuestos a ciertos rayos del espectro (X, catódicos, ultravioletas).
- FLUORESCENCIA NATURAL.**- Es la fluorescencia de la clorofila a de la cosecha fitoplanctónica estimulada por la luz solar.
- IRRADIANCIA.**- En términos de energía es el flujo incidente de luz por unidad de área y puede ser deducida por mediciones de radiancia.
- ISOPICNIA.**- Línea o superficie que une todos los puntos de densidad constante sobre una gráfica en el espacio o en el tiempo.
- ISOTERMA.**- Una línea o superficie que conecta en una gráfica todos los puntos de igual valor de la temperatura, ya sea en el tiempo o en el espacio.
- MASA DE AGUA.**- Un volumen de agua usualmente identificado por valores típicos de temperatura y salinidad que le son característicos y que permiten distinguirlo de las aguas circundantes. Su formación ocurre en la interfase con la atmósfera y por la mezcla de dos o más tipos de agua.
- MESTOTRÓFICO.**- Término que se utiliza para describir un sistema acuático que posee niveles intermedios de productividad primaria. Relativo a las aguas con concentraciones intermedias de nutrientes. Sistema intermedio basado en la abundancia del plancton y variabilidad de nutrientes.
- OLIGOTRÓFICO.**- Término que se utiliza para describir un sistema acuático que posee niveles bajos de productividad primaria. Relativo a las aguas con bajas concentraciones de nutrientes. Sistema infértil o maduro basado en la abundancia del plancton y variabilidad de nutrientes.
- PAR.**- Es la cantidad de fotones en el rango espectral de 350-700 nm y de manera práctica en el rango de 400 a 700 nm. Es la abreviación en inglés del término radiación fotosintéticamente disponible, la cual bajo el agua decrece exponencialmente con la profundidad de acuerdo a la Ley de Lambert-Beer: $E_{o(z)} = E_{o(0)} e^{-K_d z}$, donde $E_{o(z)}$ es la irradiancia a la profundidad z , $E_{o(0)}$ es la irradiancia inmediatamente por debajo de la superficie del océano, K_d es el coeficiente de atenuación vertical de luz difusa y z es la profundidad en metros.
- PERFILADOR DE FLUORESCENCIA NATURAL.**- Es un sistema que se basa en un sensor óptico cuya sensibilidad espectral está diseñada para medir la radiancia ascendente específicamente sobre el espectro de emisión de la clorofila a excitada con la luz solar.

PICNOCLINA.- Es la capa del océano donde existe el gradiente más fuerte de densidad. La mayoría de las veces coincide con la termoclina, tiene gran variación estacional en latitudes medias y casi nula en latitudes altas.

PRODUCCIÓN PRIMARIA.- Es definida como la cantidad total de carbono fijado por organismos autotrófos a través de la síntesis de material orgánico proveniente de compuestos inorgánicos como el CO_2 y H_2O utilizando energía derivada de la radiación solar o de reacciones químicas por unidad de tiempo.

PRODUCTIVIDAD PRIMARIA (pp).- Es la cantidad de carbono fijado por organismos autotrófos a través de la síntesis de material orgánico proveniente de compuestos inorgánicos como el CO_2 y H_2O utilizando energía derivada de la radiación solar o de reacciones químicas por unidad de tiempo sobre una base de área ($\text{mg C m}^{-2}\text{h}^{-1}$) o volumen($\text{mg C m}^{-3}\text{h}^{-1}$).

PRODUCTIVIDAD PRIMARIA BRUTA (PPB).- Es la asimilación total de la cantidad de carbono fijado por organismos autotrófos a través de la síntesis de material orgánico proveniente de compuestos inorgánicos como el CO_2 y H_2O utilizando energía derivada de la radiación solar o de reacciones químicas por unidad de tiempo sobre una base de área ($\text{mg C m}^{-2}\text{h}^{-1}$) o volumen($\text{mg C m}^{-3}\text{h}^{-1}$).

PRODUCTIVIDAD PRIMARIA NETA (PPN).- Es la productividad bruta menos la pérdida de carbono a través de la respiración.

PRODUCTIVIDAD SECUNDARIA.- En términos generales, se refiere a la cantidad total de tejido corporal elaborado a partir de material orgánico por unidad de tiempo. Es la producción a niveles heterotróficos, ya sea por parte de los herbívoros, carnívoros o especies que se alimentan de desechos en un período de tiempo dado.

PROFUNDIDAD DE COMPENSACIÓN.- Es la profundidad a la cual la fotosíntesis se hace igual a la respiración vegetal.

PROFUNDIDAD ÓPTICA (δ).- Es definida por la ecuación de Kirk (1994): $\delta = K_d z$. Donde K_d es expresado en m^{-1} y z es expresada en m. La profundidad óptica está relacionada a la atenuación de la luz en el agua. El punto medio y el límite inferior de la zona eufótica tienen 2.3 y 4.6 profundidades ópticas que corresponden al 10 y 1 % de la atenuación descendente de la irradiancia.

RADIANCIA.- Es el flujo de radiación por unidad de ángulo sólido y por unidad de área proyectada sobre una superficie.

RADIACIÓN.- Es la emisión y propagación de energía bajo forma de ondas o de partículas. También es definida como el conjunto de los elementos constitutivos de una onda que se propaga en el espacio, por ejemplo, la radiación infrarroja.

SESTON;- Es la cantidad total de materia particulada en suspensión, expresada en peso por unidad de área o volumen. El seston se constituye principalmente por partículas minerales (aluminosilicatos, carbonatos, etc.) y orgánicas. Esta última porción del seston se conforma por una parte viva formada por bacterias y plancton; y otra parte muerta o detritos.

SIGMA-T (σ_t).-Es la diferencia entre la densidad del agua de mar y la densidad del agua pura a 4°C, conocida como gravedad específica. En función de su temperatura y salinidad *in-situ* a presión constante e igual a cero $\sigma_t = (\text{gravedad específica} - 1) \cdot 10^3$. Convencionalmente es un término que representa en forma abreviada el valor de la densidad de una muestra de agua de mar ya que convierte un número como 1.02435 en 24.35, que es más fácil de utilizar.

SURGENCIA.- Proceso por el cual hay elevación de agua profunda hacia fuera de la costa. Las surgencias son más pronunciadas donde el viento sopla paralelo a la costa de manera persistente. Existen tres tipos de surgencias: costeras, por accidentes topográficos y por divergencia de masas de agua (aducción vertical de dos masas de agua).

TERMOCLINA.- Capa de agua que presenta un cambio abrupto de la temperatura con la profundidad. En los océanos se puede encontrar termoclinas temporales, las cuales tienen una variación estacional (anual) y termoclinas permanentes.

UPS.- Abreviación de unidades prácticas de salinidad (ups). Unidades de una nueva definición de salinidad (UNESCO, 1978) basada en la razón entre la conductividad eléctrica de la muestra y una muestra estándar. Se conocen como unidades prácticas porque fueron definidas de tal manera que la nueva escala coincida con la antigua de partes por mil (ppm). La salinidad en ups es adimensional (UNESCO, 1985).

ZONA EUFÓTICA.- La zona eufótica es la porción de la columna de agua hasta donde alcanza a penetrar la luz. Esta misma porción soporta la producción primaria neta. La base de la zona eufótica es la profundidad de compensación.

Las definiciones anteriormente escritas fueron tomadas de:

- Alvarez Bejar R. (ed.) 1998. Enciclopedia Encarta. Software J. P. E. J. Multimedia. Microsoft Corporation.
- Amador-Buenrostro, A. y M. Figueroa-Rodríguez 1997. Glosario de términos oceanográficos. En Contribuciones a la Oceanografía Física en México. Lavín, M.F. Editor. Monografía No. 3. Unión Geofísica Mexicana. 265-272.
- Falkowski, G. P. y J. A. Raven, 1997. Aquatic photosynthesis. Blackwell Science. 375 pp.
- Lincoln, R. J., Boxshall, G. A. y Clark, P. F. 1986. Diccionario de ecología, evolución y taxonomía. Fondo de Cultura Económica. 488 pp.
- Parsons, T. R., Takahashi y Hargrave B. 1984. Biological Oceanographic Processes. 3^{er} edition. Pergamon Press. 330 pp.
- Thurman, H. V. 1990. Essentials of Oceanography. 3^{er} edition. Merrill Publishing Company. 398 pp.

RESUMEN.

Se utilizó la medición de fluorescencia natural como medida relativa de la productividad primaria (pp) para describir su variabilidad y su dependencia de los factores que la controlan. Para ello se registró la temperatura, salinidad y transparencia. Así mismo se estimó la concentración de nutrientes (nitritos NO_2 , nitratos NO_3 , fosfatos PO_4 y silicatos SiO_2), clorofila (Cla), seston y estratificación de la columna de agua (ϕ). El estudio se realizó durante octubre de 1996 y marzo, abril, mayo, junio, julio y septiembre de 1997 en una red de 39 estaciones; se determinó que existe una variación estacional bien definida (primavera-verano) con una compleja variación espacial de las variables medidas.

La distribución vertical de temperatura muestra el establecimiento de un marcado gradiente durante mayo-octubre y una homogenización termal de la columna de agua el resto del año. A partir de diagramas T-S se observó la influencia del Agua Subsuperficial Subtropical, Agua Superficial Ecuatorial y Agua del Golfo de California con predominio de esta última. Durante la primavera al iniciarse la estratificación de la columna de agua se observan los mayores valores promedio de NO_3 ($3.61 \mu\text{g-at/l}$), PO_4 ($0.92 \mu\text{g-at/l}$), SiO_2 ($30.33 \mu\text{g-at/l}$), Cla (0.89 mg m^{-3}), seston (0.69 g m^{-3}) y productividad primaria superficial (pp 5m) e integrada (ppin 5 m - Ze) [$16.02 \text{ mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$, $137.75 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ respectivamente]. En el verano se registra la mayor temperatura superficial ($30.47 \text{ }^\circ\text{C}$), y se estimó una fuerte estratificación en la columna de agua (ϕ de 248.79 a 347.36 J m^{-3}) que promueve condiciones oligotróficas, con concentraciones de NO_3 de $0.25 \mu\text{g-at/l}$ en el mes de julio, PO_4 de $0.38 \mu\text{g-at/l}$, SiO_2 de $1.89 \mu\text{g-at/l}$ y Cla de 0.04 mg m^{-3} en el mes de septiembre. Mientras que los valores mínimos (0.24 g m^{-3}) de seston se registraron en octubre y los valores de pp a 5 m ($2.17 \text{ mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$) y ppin ($66.09 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) en septiembre.

El análisis de los resultados indica una influencia significativa de ϕ sobre pp, mientras que las demás variables aunque sin una relación directa, estas pueden influir en la pp de manera combinada. Los valores mensuales de la productividad primaria superficial y productividad primaria integrada aparentemente no presentan diferencias significativas, lo cual confirma que la bahía sostiene una alta productividad comparada con algunas áreas del Pacífico mexicano y golfo de California.

Bajo este contexto la bahía de la Paz puede ser considerada como una zona de elevada productividad fitoplanctónica con un marcado ciclo estacional de latitudes templadas.

ABSTRACT.

Measurements of natural fluorescence were used to estimate primary productivity (pp) in order to describe its variability or dependence considering the main variables that control the process. Measurements were made for: Temperature, salinity, transparency, nutrients (nitrite NO_2 , nitrate NO_3 , phosphate PO_4 and silicate SiO_2), chlorophyll (Chl), seston and the stratification index (ϕ) were measured. Samples and measurements were taken in 39 sites during October, 1996, and March, April, May, June, July and September of 1997 at the Bay of La Paz, BCS., Mexico.

A well defined variation was shown between seasons (spring-summer) and a complex spatial distribution of the measured variables was found. The temperature in the water column shows a steep gradient during May-October and a good thermal mixing the rest of the year. T-S diagrams showed the influence of subsurface tropical waters, equatorial surface waters and water from the Gulf of California, being the last one the most significant. The highest average values were found in spring for NO_3 ($3.61 \mu\text{g-at/l}$), PO_4 ($0.92 \mu\text{g-at/l}$), SiO_2 ($30.33 \mu\text{g-at/l}$), Chl (0.89 mg m^{-3}), seston (0.69 g m^{-3}), with a surface primary productivity (pp 5m) of $370.91 \text{ nmol C m}^{-3} \text{ s}^{-1}$. and the integrated productivity (ppin 5m-Ze), of $137.75 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$].

The highest temperature was during summer (30.47 °C) and the stratification index showed a well defined structure (Φ of 248.79 to 347.36 J m⁻³) which tends to favor oligotrophic conditions, with NO₃ 0.25 µg-at/l in July PO₄ 0.38 µg-at/l and SiO₂ 1.89 µg-at/l in september. The lowest values found for seston were (0.24 g m⁻³) in October and pp5m (2.17 mg C m⁻³ h⁻¹), ppin (66.09 mg C m⁻² h⁻¹) in September. Results show that there is a negative influence of the stratification index upon the pp while the other variables, although they did not show a direct relationship can influence the pp. There are no apparent differences between the monthly values for pp and ppi which confirm that the Bay has a higher productivity when compared with other areas on the mexican Pacific Ocean and Gulf of California, thus, the Bay of La Paz can be considered as a high phytoplanktonic productivity zone with a well defined, temperate latitude, seasonal variation.

ÍNDICE DE TABLAS.

	Pág.
Tabla 1. Especificaciones técnicas del CTD (S4-InterOcean).	12
Tabla 2. Especificaciones electrónicas del PNF-300 (Biospherical Instrumenst Inc.).	14
Tabla 3. Media aritmética (MED), varianza (VAR), desviación estándar (STD) y porcentaje del coeficiente de variación (CV) de la reproducibilidad de las técnicas empleadas en la determinación de los nutrientes.	16
Tabla 4. Promedios (MED) superficiales mensuales de temperatura (°C), salinidad (ups) y σ_t en la bahía de la Paz durante 1997. Temperaturas, salinidades y σ_t máximas y mínimas (MAX-MIN), (* 1996).	24
Tabla 5. Promedio (MED) mensual de las concentraciones superficiales de nutrientes ($\mu\text{g-at/l}$), con sus respectivas desviaciones estándar (STD), en la bahía de La Paz durante 1997. Concentraciones máximas (MAX) y mínimas (MIN), (*1996), ND = no detectable.	49
Tabla 6. Promedio superficial mensual (MED) de Cla (mg m^3) y seston (g m^3) para la bahía de La Paz, durante 1997, (*1996).	63
Tabla 7. Promedios (MED) máximos y mínimos (MAX-MIN) de productividad primaria a 5 m de profundidad y productividad primaria integrada desde 5 m a la base de la zona eufótica para la bahía de La Paz (*1996).	72
Tabla 8. Índice de estratificación promedio (MED) estimado durante el período de muestreo en la bahía de La Paz. (Max = valor máximo, Min = valor mínimo y STD = desviación estándar) (*1996).	87

ÍNDICE DE FIGURAS.

	Pág.
Fig. 1 Localización del área de estudio y ubicación de las estaciones de muestreo. E= estación, T= transecto.	11
Fig. 2 Regionalización del área de estudio para el análisis espacial de las variables fisicoquímicas, utilizadas en este estudio; así mismo se muestra la red de estaciones cubiertas durante el período de muestreo en la bahía de La Paz.	13
Fig. 3 Estado del mar (a) y nubosidad (b) durante el período de muestreo en la bahía de La Paz.	22
Fig. 4 Intensidad y dirección de los vientos dominantes durante el periodo de muestreo. Tomados de la estación meteorológica del CIBNOR.	23
Fig. 5 Temperatura superficial promedio (°C) para la bahía de La Paz durante el período de muestreo. Se muestra la serie de tiempo de 1989-1996 tomada de De Silva-Dávila (1997).	25
Fig. 6 Perfiles verticales de temperatura y σ_t durante los meses de marzo, junio, julio, septiembre (1997) y octubre (1996) para la zona profunda. E= Número de estación.	30
Fig. 7 Perfiles verticales de temperatura y σ_t durante los meses de marzo, junio, julio, septiembre (1997) y octubre (1996) para la zona intermedia. E= Número de estación.	34
Fig. 8 Perfiles verticales de temperatura y σ_t durante los meses de marzo, junio, julio, septiembre (1997) y octubre (1996) para la zona somera. E= Número de estación.	38

ÍNDICE DE FIGURAS (Continuación).

	Pág.
Fig. 9 Diagrama T-S obtenido de los datos (0-300 m) correspondientes a los meses de octubre 1996, marzo, junio, julio y septiembre de 1997 para la bahía de La Paz. Se muestran los intervalos de temperatura y salinidad referidos en Torres-Orozco (1993) para las masas de agua presentes en el golfo de California. Agua Profunda del Pacífico (APP), Agua Intermedia del Pacífico (AIP), Agua Subsuperficial Subtropical (ASsSt), Agua de la Corriente de California (ACC), Agua Superficial Ecuatorial (ASE) y Agua del Golfo de California. (AGC).	40
Fig. 10 Esquema de la distribución de las masas de agua presentes en la bahía de La Paz, durante primavera-verano. Basado en un transecto batimétrico con dirección NW (boca) -SE (La Paz).	41
Fig. 11 Variación estacional de la profundidad de desaparición del disco de Secchi en la bahía de La Paz.	42
Fig. 12 Distribución horizontal de la transparencia en los meses de marzo y mayo de 1997 para la bahía de La Paz.	44
Fig. 13 Distribución horizontal de la transparencia en los meses de junio y julio de 1997 para la bahía de La Paz.	45
Fig. 14 Distribución horizontal de la transparencia en los meses de septiembre de 1997 y octubre de 1996 para la bahía de La Paz.	46
Fig. 15 Relación entre el coeficiente de atenuación difusa y lecturas del disco de Secchi para la bahía de La Paz.	47
Fig. 16 Relación entre el coeficiente de atenuación difusa y el recíproco del disco de Secchi para la bahía de La Paz.	48

ÍNDICE DE FIGURAS (Continuación).

	Pág.
Fig. 17 Concentración ($\mu\text{g-at/l}$) de nutrientes inorgánicos en la bahía de La Paz, durante el período de muestreo.	50
Fig. 18 Distribución vertical de nutrientes inorgánicos durante los meses de junio, julio y septiembre de 1997.	52
Fig. 19 Distribución superficial de la concentración de nitratos ($\mu\text{g-at/l}$) en los meses de marzo y mayo de 1997.	55
Fig. 20 Distribución superficial de la concentración de nitratos ($\mu\text{g-at/l}$) en los meses de junio y julio de 1997.	56
Fig. 21 Distribución superficial de la concentración de nitratos ($\mu\text{g-at/l}$) en los meses de septiembre (1997) y octubre (1996).	57
Fig. 22 Distribución superficial de la concentración de nitritos ($\mu\text{g-at/l}$) en los meses de marzo y junio.	59
Fig. 23 Distribución superficial de la concentración de fosfatos ($\mu\text{g-at/l}$) en los meses de marzo y junio.	60
Fig. 24 Distribución superficial de la concentración de silicatos ($\mu\text{g-at/l}$) en los meses de marzo y junio.	62
Fig. 25 Concentración superficial de Cla (mg m^3) y seston (g m^3) representadas por las medianas mensuales para la bahía.	64

ÍNDICE DE FIGURAS (Continuación).

	Pág.
Fig. 26	
Distribución superficial de Cla (mg m^3) en los meses de marzo y mayo.	
.....	66
Fig. 27	
Distribución superficial de Cla (mg m^3) en los meses de junio y septiembre.	
.....	67
Fig. 28	
Distribución superficial de seston (g m^3) en los meses de marzo y mayo.	
.....	70
Fig. 29	
Distribución superficial de seston (g m^3) en los meses de junio y septiembre.	
.....	71
Fig. 30	
Variación estacional de productividad primaria a 5m de profundidad (a) y variación estacional de productividad integrada desde 5 m hasta la base de la zona eufótica (b), durante el período de muestreo.	
.....	74
Fig. 31	
Perfiles verticales de productividad primaria (pp) en la zona profunda durante los meses de abril, mayo, junio, septiembre (1997) y octubre (1996). E= Número de estación.	
.....	77
Fig. 32	
Perfiles verticales de productividad primaria (pp) en la zona intermedia durante los meses de marzo, abril, mayo, junio, septiembre (1997) y octubre (1996). E= Número de estación.	
.....	80
Fig. 33	
Perfiles verticales de productividad primaria (pp) en la zona somera durante los meses de marzo, mayo, junio y septiembre (1997). E= Número de estación.	
.....	83
Fig. 34	
Distribución horizontal de la productividad primaria integrada (5m-Ze) en los meses de mayo y junio para la bahía de La Paz.	
.....	85
Fig. 35	
Distribución horizontal de la productividad integrada (5m-Ze) en el mes de septiembre para la bahía de La Paz.	
.....	86

ÍNDICE DE FIGURAS (Continuación).

	Pág.
Fig. 36 Distribución horizontal del índice de estratificación (Φ , $J\ m^{-3}$) calculado de 0-100 m para la bahía de La Paz.	88
Fig. 37 Representación esquemática de los perfiles verticales de temperatura en un ciclo anual para la bahía de La Paz.	90
Fig. 38 Representación esquemática de la productividad primaria en la bahía de La Paz, durante primavera-verano.	103
Fig. 39 Relación entre Φ y la intensidad del viento durante el período de muestreo.	105
Fig. 40 Relación entre pp integrada (5m-ze) y Φ durante el período de muestreo.	106
Fig. 41 Relación entre Cl_a y Φ durante el período de muestreo.	107

I. INTRODUCCIÓN

La productividad primaria del fitoplancton (pp) es una de las variables ecológicas más importantes para conocer la tasa de cambio de carbono. Es definida como la cantidad de carbono fijado por organismos autotrófos a través de la síntesis de material orgánico proveniente de compuestos inorgánicos como el CO_2 y H_2O utilizando energía derivada de la radiación solar o de reacciones químicas por unidad de tiempo [sobre una base de área ($\text{mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) o volumen ($\text{mg C m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$)] (Parson *et al.*, 1984b; Thurman, 1990).

Se ha establecido a través de varios estudios que la variabilidad espacio-temporal de la productividad primaria en los océanos (tanto horizontal como de manera vertical en la columna de agua) depende en gran medida de las condiciones ambientales a las cuales están sujetas las poblaciones fitoplanctónicas. Entre ellas sobresalen la intensidad luminosa, temperatura, concentración de nutrientes inorgánicos, materia orgánica, pastoreo, competencia, turbidez, mareas, viento, procesos de estratificación y mezcla (Gaxiola-Castro y Álvarez-Borrego, 1984; Riley y Chester, 1989; Lara-Lara *et al.*, 1993; Millán-Nuñez *et al.*, 1993; Bustillos-Guzmán, 1995; Falkowski y Raven, 1997).

Dos de los principales factores que controlan la productividad primaria y el crecimiento de la biomasa del fitoplancton en la zona eufótica son la cantidad y calidad de la luz y la concentración de nutrientes. En la zona eufótica se presenta para el fitoplancton una relación inversa entre los dos factores ambientales antes mencionados: la luz disminuye con la profundidad y en general los nutrientes aumentan. Particularmente, la dependencia del fitoplancton a la luz disponible en la columna de agua es un proceso biológico fundamental, el cual a menudo está supeditado a la dinámica particular en cada cuerpo de agua que transporta al fitoplancton a través del gradiente de irradiancia (Gaxiola-Castro y Alvarez-Borrego, 1984; Riley y Chester, 1989; Gaxiola-Castro, 1994).

Recientemente en la mayoría de los cuerpos costeros se ha destacado la importancia de los diferentes procesos físicos (de escalas espaciales y temporales diversas), sobre la estructura de las comunidades fitoplanctónicas como en la productividad primaria. La marea es una de las principales fuentes de energía que contribuyen significativamente al proceso de mezcla en mares someros. Se ha observado que la mezcla inducida por marea afecta al fitoplancton al transportarlo verticalmente en la columna de agua (Demers *et al.*, 1986; Abrajan-Villaseñor, 1986; Day *et al.*, 1989; Gaxiola-Castro, 1994; Espinosa-Carreón, 1996; Falkowski y Raven, 1997).

Finalmente dentro de los factores que limitan a la productividad primaria, el pastoreo del zooplancton juega una parte importante en el control del tamaño de la biomasa del fitoplancton y en la regeneración de los nutrientes. Cuando el déficit de los nutrientes empieza a limitar la productividad, el pastoreo se vuelve el principal factor determinante del tamaño de la biomasa del fitoplancton, y por lo general rápidamente causa que éste decline drásticamente (Riley y Chester, 1989). Sin embargo, es difícil cuantificar por separado los efectos de los diferentes factores físicos, químicos y biológicos que actuando conjuntamente controlan la productividad del fitoplancton (Margalef, 1974; Marshall, 1991; Gaxiola-Castro, 1994).

En la bahía de La Paz existen algunas investigaciones (por ejem. Villaseñor-Casales, 1979; Signoret y Santoyo, 1980; Cruz-Ayala, 1996 y De Silva-Dávila, 1997) en las que especulan que las condiciones ambientales influyen en la variabilidad espacio-temporal de los diferentes parámetros físico-químicos de la zona eufótica. Sin embargo, se desconoce cual o cuales factores explican la variabilidad de la productividad primaria del sistema. Por tal motivo el objetivo de este trabajo ha sido diseñado para describir la variabilidad de la productividad primaria y su dependencia en función de las condiciones ambientales.

Los métodos que, con mayor frecuencia son utilizados para estimar la productividad primaria son: la producción de oxígeno (Strickland, 1960), estimación de biomasa fitoplanctónica (Thurman, 1990), incorporación de ^{14}C (Steeemann, 1952), mediciones de la fluorescencia de la clorofila (Kiefer *et al.*, 1989) y sensores remotos con los que se mide la radiancia proveniente de la capa superficial del océano en las longitudes de onda que identifican la señal de clorofila y productos de degradación (Gordon *et al.*, 1980; Gordon y Morel, 1983; Thurman, 1990).

De los métodos mencionados anteriormente la fluorescencia producida por el fitoplancton resulta ser una forma adecuada para la estimación de la productividad primaria. Mediante esta metodología se obtienen mediciones que proveen información rápida y detallada de la fotosíntesis que no puede obtenerse con los métodos de Oxígeno disuelto e incubación de Carbono radiactivo (Cervantes-Duarte, 1997; García-Mendoza y Maske, 1996).

I.1. ANTECEDENTES.

En los mares mexicanos se han realizado trabajos sobre productividad primaria principalmente en áreas y épocas particulares. La mayoría de ellos corresponden a aguas costeras, utilizando las técnicas de carbono radioactivo (^{14}C) y la de oxígeno disuelto. Entre los más relevantes para el golfo de California se encuentran los trabajos de Zeitzschel (1969), Berman (1975), Gómez-Aguirre (1987), Valdéz-Holguín y Lara-Lara (1987). Entre otros para el Pacífico mexicano destacan los de Gaxiola-Castro y Alvarez-Borrego (1984 y 1986), Calvario y De la Lanza (1987), Otero-Dávalos (1987), Sandoval-Rojo *et al.* (1988). Finalmente para algunas lagunas costeras los de Jordán (1972), Lara-Lara y Alvarez-Borrego (1978), Lechuga-Devéze (1982), Bustillos-Guzmán y Olivares-González (1986) y Contreras (1987).

Dentro de esta línea de trabajo, algunos investigadores han desarrollado modelos para estimar la productividad primaria a partir de la clorofila *a* (C_{la}) (Platt y Sathyendranath, 1988; Sathyendranath y Platt, 1989). Así mismo a partir de las imágenes radiométricas de satélites se ha calculado la biomasa del fitoplancton (Gordon *et al.*, 1980; Gordon y Morel, 1983). La cobertura del monitoreo por sensores

remotos es muy amplia y por ende la calibración de la información obtenida solo es posible a partir de mediciones *in-situ*. Para facilitar la calibración se han diseñado algunos instrumentos que instantáneamente estiman la productividad primaria a partir de mediciones bio-ópticas. Un ejemplo de ellos es el Perfilador de Fluorescencia Natural, el cual, ha sido empleado en algunas regiones del golfo de California y Pacífico mexicano. (Cervantes-Duarte *et al.*, 1993; Valdéz-Holguín *et al.*, 1993; García-Mendoza, 1994; Espinosa-Carreón, 1996 y Cervantes-Duarte, 1996).

Es evidente que las investigaciones sobre productividad primaria están incluidas en un amplio espectro dentro de los litorales mexicanos. Sin embargo, siguen métodos muy variados que hacen difícil la comparación de los resultados.

En la bahía de La Paz los trabajos sobre productividad primaria son escasos además de concentrarse a regiones particulares dentro de la misma. Gilmartin y Revelante (1978) investigaron las características del fitoplancton en 15 lagunas en el golfo de California y en las cuales incluyeron a la ensenada de la Paz. Para esta reportan valores de $31 \text{ mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ y una concentración promedio de Cla de 2.4 mg m^{-3} durante el verano. Finalmente se concluyó que la productividad primaria en las lagunas costeras de la costa occidental del golfo de California son más productivas comparadas con el Pacífico a latitudes similares.

Por otra parte Lechuga-Devéze (1982) realizó mediciones de productividad primaria con experimentos de botellas claras y oscuras en la ensenada de La Paz. Encontrando valores anormales de oxígeno disuelto con variaciones en amplitud y distribución en la zona fótica a lo largo de un ciclo anual. Hace mención a aguas relativamente eutróficas con valores de $1190 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Así mismo, Lechuga-Devéze *et al.* (1986) evaluaron la concentración de Cla, turbiedad y estimaron la productividad primaria integrada durante un ciclo de irradiancia solar. Se determinó que la Cla y la turbiedad se incrementan hacia el interior de la laguna al mismo tiempo que la productividad disminuye. El valor promedio mensual máximo de productividad lo registraron en octubre ($1510 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) y el valor promedio mensual mínimo en diciembre ($510 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)

Bustillos-Guzmán (1986) y Bustillos-Guzmán y Olivares-González (1986) establecen la variación anual de la abundancia fitoplanctónica, composición específica y la productividad primaria bruta, neta y respiración en ecosistemas de manglar de la bahía de La Paz. Estos autores concluyen que el promedio de la producción primaria neta es bajo en comparación con otras áreas de manglar ($7.30 - 23.80 \text{ mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$).

Por otra parte, de las investigaciones sobre productividad secundaria en la bahía de La Paz podemos citar los trabajos de De Silva-Dávila (1997) quien concluye que la fisiografía, la batimetría, el régimen de vientos y la influencia de corrientes de marea parecen ser los principales factores responsables de la distribución de las especies zooplanctónicas. Además de los factores mencionados De Silva-Dávila (1997) considera que la biología propia de la especie dominante (*Nyctiphanes simplex*) posiblemente promueva que, la bahía, presente la mayor productividad secundaria ($1.45 - 29.26 \text{ mg ps m}^{-3} \text{ h}^{-1}$) de las áreas costeras de la península de Baja California. Lavaniegos y López-Cortés(1997) presentan un estudio sobre la composición de ácidos grasos y la estructura de la comunidad planctónica en la porción sureste de la bahía. Concluyendo que las condiciones hidrográficas durante el invierno promueven una columna de agua mezclada que soporta una máxima densidad de copépodos y un máximo de clorofila. Esto permite que en la primavera se presenten condiciones óptimas para lograr una mayor diversidad de especies zooplanctónicas herbívoras y carnívoras. Posteriormente en el verano la columna de agua presenta condiciones de estratificación, sustentando bajos valores de clorofila y densidad zooplanctónica.

Entre las investigaciones que tienden hacia el conocimiento de la hidrología tanto de la bahía como de la ensenada de La Paz, es interesante destacar los trabajos de Espinosa-Avalos (1976a,b), Villaseñor-Casales (1979), Cervantes-Duarte (1982), Jiménez-Illescas (1983), Granados-Guzmán y Alvarez-Borrego (1983); Gómez *et al.* (1984), Cervantes-Duarte y Santoyo (1986), Obeso-Nieblas (1986), Murillo (1987), Cervantes-Duarte y Guerrero-Godínez (1988), Cruz-Orozco *et al.* (1989), Obeso-Nieblas y Jiménez-Illescas (1989), Lechuga-Devéze *et al.* (1990), Cervantes-Duarte *et al.* (1991), Obeso-Nieblas *et al.* (1993a, b), Jiménez-Illescas (1996), Cruz-Orozco *et al.* (1996) y Sánchez-Martínez (1997) quienes reportan el

comportamiento de la temperatura, salinidad y oxígeno disuelto y la relación entre estas variables. También sugieren la presencia de surgencias en la bahía durante el verano y su posible división en tres cuerpos de agua basada en un parámetro micropaleontológico compuesto por radiolarios principalmente. Por otra parte mencionan que algunos parámetros hidrológicos y fisico-químicos presentan una variación temporal en función del régimen de mareas, irradiación solar y eventos a gran escala como "El Niño". Finalmente proponen el patrón de circulación y la composición mineralógica y batimetría de la bahía.

Dentro de los estudios que nos ayudan a comprender cuáles son los factores que determinan la pp se encuentra el de Bigelow *et al.* (1940) quienes proponen la idea de relacionar el crecimiento del fitoplancton y las condiciones físicas en la columna de agua y sugieren la importancia de la estabilidad vertical en el inicio del florecimiento del fitoplancton marino. Riley (1942) muestra una relación empírica entre la medida gruesa de la estabilidad de la columna de agua y la biomasa del fitoplancton. Sverdrup (1953) considera que el crecimiento del fitoplancton puede estar basado en una relación entre la profundidad de penetración de luz en el agua y la de la mezcla en la columna de agua.

A partir de estos primeros trabajos se han desarrollado una serie de diferentes líneas de investigación, relacionadas con la permanencia del fitoplancton a un determinado intervalo de irradiancia en la columna de agua y el efecto que esto puede tener sobre la variabilidad de la productividad primaria en el mar. Al respecto los resultados aportados por Marra (1978 a,b) sobre la respuesta del fitoplancton a la irradiancia en la columna de agua, determinan que existe una dependencia temporal de la tasa de fotosíntesis y la saturación de luz (P^B_m), lo cual puede contribuir a diferencias en los cálculos de productividad primaria integrada en la columna de agua. Pese a ello, en algunos trabajos se ha demostrado que la mezcla vertical puede tener un leve efecto cuantitativo sobre la productividad primaria de la columna de agua; sobre todo para aguas que están continuamente mezcladas (Gallegos y Platt, 1982 citado en Gaxiola-Castro, 1994).

Bajo este contexto diferentes autores (Simpson *et al.*, 1982; Demers *et al.*, 1986; Simpson y Tett, 1986) han estudiado el efecto de la mezcla vertical sobre el fitoplancton, principalmente en frentes de marea, en la plataforma continental y zonas alrededor de las islas. En el golfo de California se han reportado diferentes procesos físicos como surgencias costeras y mezcla originada por marea, los cuales transportan verticalmente al fitoplancton a través de gradientes de irradiancia (Alvarez-Borrego, 1983; Alvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991). Así mismo Alvarez-Borrego y Gaxiola-Castro (1988) relacionan la variación de los parámetros fotosintéticos en el norte del golfo de California con el índice de estratificación vertical de la columna de agua propuesto por Simpson y Hunter (1974). Hasta ahora este índice es el único que ha sido relacionado con estos parámetros.

I.2. JUSTIFICACIÓN.

La mayoría de las investigaciones sobre productividad primaria consideran al fitoplancton como la "caja negra" donde se llevan a cabo ensayos y experimentación que aportan datos sobre su tasa fotosintética. Hernández-Becerril (1993) en la recopilación que hace sobre los trabajos de fitoplancton marino en México encuentra que algunos puntos y regiones de los litorales mexicanos han sido caracterizados como productivos en base a su productividad fitoplanctónica. Pudiéndose citar las zonas de surgencias en la costa occidental de Baja California, áreas del golfo de California, parte del golfo de Tehuantepec y la sonda de Campeche; en cambio la zona del Caribe mexicano es aparentemente poco productiva en términos de productividad primaria del fitoplancton. En base a lo anterior se conoce muy poco sobre las variaciones de la tasa de cambio del carbono por el fitoplancton marino. Debido a que en la mayoría de las investigaciones realizadas se han utilizado técnicas convencionales cuya resolución espacial y temporal esta muy por abajo de la que se requiere.

Es por ello que las estimaciones rápidas de la productividad primaria a través de mediciones *in-situ* han resultado en importantes avances en el conocimiento de los procesos biológicos en el océano, pues con la medición de la fluorescencia natural es posible estimar la variabilidad de la productividad primaria a nivel regional (Alvarez-Borrego, 1995; Alvarez-Borrego y Gaxiola-Castro, 1988; Valdéz-Holguín *et al.*, 1993). Dado que la medición de fluorescencia *in-situ* es un método sencillo, rutinario y preciso, nos permite tener una gran cobertura espacial. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que los resultados deben ser intercalibrados con otras técnicas estándar (García-Mendoza, 1994; Espinosa-Carreón, 1996).

La bahía de La Paz, es una área costera semiprotejida donde tradicionalmente se han explotado los recursos pesqueros. Además de realizarse actividades de pesca artesanal, comercial y deportiva es considerada como una zona de crianza y alimentación para una gran diversidad de organismos dado las peculiaridades de la zona (De Silva-Dávila, 1997). Sin embargo, a pesar de tener una importancia económica y social se ha observado la falta de estudios sistemáticos que permitan orientar decisiones privadas y públicas en términos de conservación, cuyo fin es el evitar los enormes costos ambientales y sociales que en la mayoría de los casos ha traído consigo la transformación acelerada y masiva del ecosistema (Urbán-Ramírez y Ramírez-Rodríguez, 1997).

La hipótesis planteada en este estudio es establecer, si el área de la bahía de La Paz puede ser reconocida como una zona de elevada productividad fitoplanctónica cuya variabilidad esta en función de las condiciones ambientales.

SECRETARÍA DE ECONOMÍA
ESTADO DE GUERRERO
SECRETARÍA DE ECONOMÍA
ESTADO DE GUERRERO

I.3 OBJETIVOS.

I.1.1. Objetivo General.

Describir la variabilidad de la productividad primaria en la bahía de La Paz, B.C.S. y su dependencia en función de los principales factores que la controlan.

I.1.2. Objetivos Específicos.

- 1.- Estimar la productividad primaria por medio de la medición de fluorescencia natural.
- 2.- Especificar la variación temporal y espacial de las características hidrológicas y su posible relación con la productividad primaria.

I.4. METAS.

- Estimar la productividad primaria integrada en la zona eufótica por medio de fluorescencia natural.
- Describir la distribución regional de las variables: temperatura, salinidad y transparencia del agua.
- Identificar las masas de agua presentes en la bahía, por medio de diagramas T-S.
- Describir la distribución regional de las concentraciones superficiales de nutrientes inorgánicos: NO_3 , NO_2 , PO_4 y SiO_2 .
- Describir la distribución espacial de seston y pigmentos superficiales.
- Estimar la estabilidad de la columna de agua mediante el índice de estratificación estática propuesto por Simpson y Hunter (1974).

II. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

La bahía de La Paz es un cuerpo de agua protegido ubicado en el litoral occidental del golfo de California, entre los 24°06' y 24°47' de latitud norte y 110°18' y 110°45' longitud oeste. Cubre aproximadamente 2,635 Km² y esta limitada al norte por la isla de San José, al sur por la ensenada de la Paz y la barra de arena conocida como el Mogote y al oriente por las islas Espíritu Santo y La Partida (Fig. 1). Tiene una forma ovalada, su eje mayor orientado NO-SE mide 81 Km (aprox.) y su eje menor 33 Km (aprox.). La profundidad máxima es de 400 m localizada en la depresión Alfonso (Cruz-Orozco *et al.*, 1989; Cruz-Orozco *et al.*, 1996; García-Pámanes, 1981).

La masa continental que delimita a la bahía de La Paz presenta un clima BW(h')hw(x') que corresponde a climas muy secos y semicálidos. El promedio anual de lluvias en la zona es de 187.60 mm, siendo septiembre el mes mas lluvioso del año (62.20 mm). La temperatura ambiental promedio anual es de 23.80°C, la temperatura mínima promedio en invierno es de 8.00°C y la temperatura máxima promedio para verano es de 37.00°C (INEGI, 1994, citado en Cruz-Ayala, 1996). La evaporación promedio anual es de 215.00 mm y la humedad relativa anual varia entre 62% y 70 % (Felix-Pico, 1975). Durante el invierno la dirección principal de los vientos es del noroeste y norte con velocidades medias entre 2 y 3 m/s. En ocasiones los vientos dominantes del noroeste alcanzan una intensidad media de 4 m/s y rachas cercanas a 10 m/s denominados localmente "collas". En el verano los vientos que presentan una mayor frecuencia son los que tienen una componente sur con intensidades medias de 2 a 3 m/s. Los períodos de primavera y otoño son considerados como estaciones de transición debido a que en el primero los vientos superficiales comienzan a presentar una componente sur y en el segundo la dirección vuelve a ser predominantemente del noroeste y norte (Robles Gil-Mestre, 1998). La bahía presenta un régimen de mareas de tipo mixto semidiurno. Las velocidades máximas de marea se encuentran en: la ensenada de La Paz (70 cm/s), Canal San Lorenzo (25 cm/seg) y en la parte norte de Isla Partida (30 cm/seg), que funciona también como un canal de circulación (Obeso-Nieblas y Jiménez-Illescas 1989; Obeso-Nieblas *et al.*, 1993a, b).

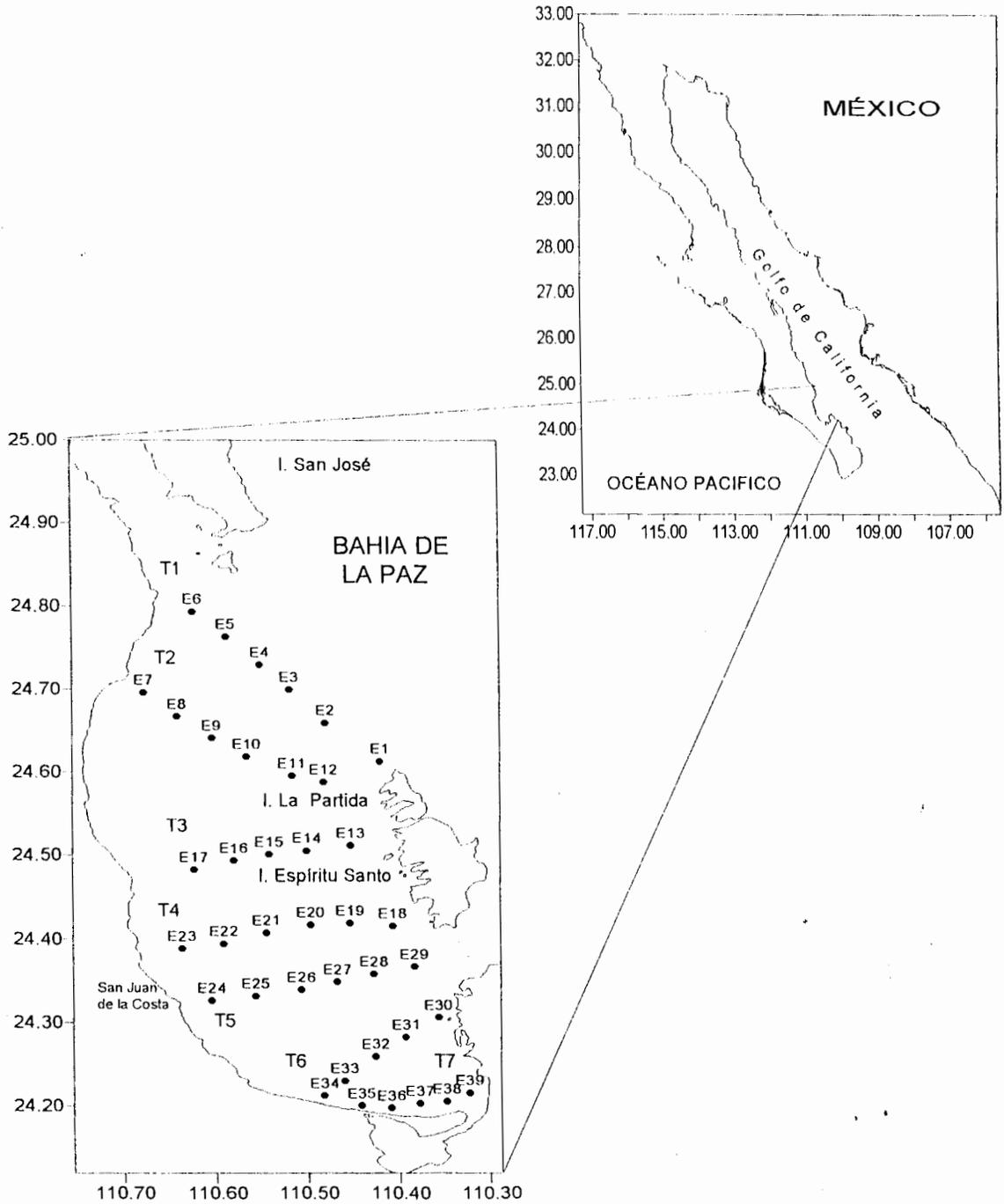


Fig. 1 Localización del área de estudio y ubicación de las estaciones de muestreo. E= estación, T= transecto.

III. MATERIALES Y MÉTODOS.

III.1. MUESTREO.

La estrategia de muestreo se basó en 7 salidas a la bahía de La Paz, durante los meses de octubre de 1996, marzo, abril, mayo, junio, julio y septiembre de 1997. Se estableció una red de 39 estaciones separadas aproximadamente por 5 m.n., ordenadas en 7 transectos con dirección este-oeste (Figs. 1 y 2). El número de estaciones muestreadas, durante el período de estudio fue variable, cubriéndose en octubre y abril sólo 20 estaciones (51 %), en marzo, mayo, junio, julio y septiembre, se cubrió toda el área de muestreo (100 %).

En cada estación de muestreo se realizó el trabajo de campo, laboratorio y gabinete que se describe a continuación:

III.2 TRABAJO DE CAMPO.

De acuerdo a la estrategia de muestreo planteada y a bordo de la embarcación CICIMAR XV para cada campaña se realizaron las siguientes actividades:

- III.2.1. Ubicación geográfica de cada estación con ayuda de un navegador por satélite GPS (Global Positioning System), Magellan NAV DX-10.
- III.2.2. Profundidad de desaparición del disco de Secchi.
- III.2.3. Estimación de la cubierta de nubes en octavos (Herrera-Juárez, 1995) (ANEXO IX.1).
- III.2.4. Estado del mar en la escala de Beaufort (Weihaupt, 1984) (ANEXO IX.2).
- III.2.5. Mediciones de temperatura y salinidad *in-situ* en toda la columna de agua con un CTD (S4-InterOcean).

Tabla 1. Especificaciones técnicas del CTD (S4-InterOcean).

SENSOR	INTERVALO	RESOLUCIÓN	PRECISIÓN
Conductividad	0-70 mScm ⁻¹	0.005 mScm ⁻¹	0.02 mScm ⁻¹ (0.06 s resp)
Temperatura (termistor)	-5 a + 45 °C	0.003 °C	± 0.02 °C (0.06 s, resp)
Presión	0-1000 db	1 db	± 0.15 % de la escala

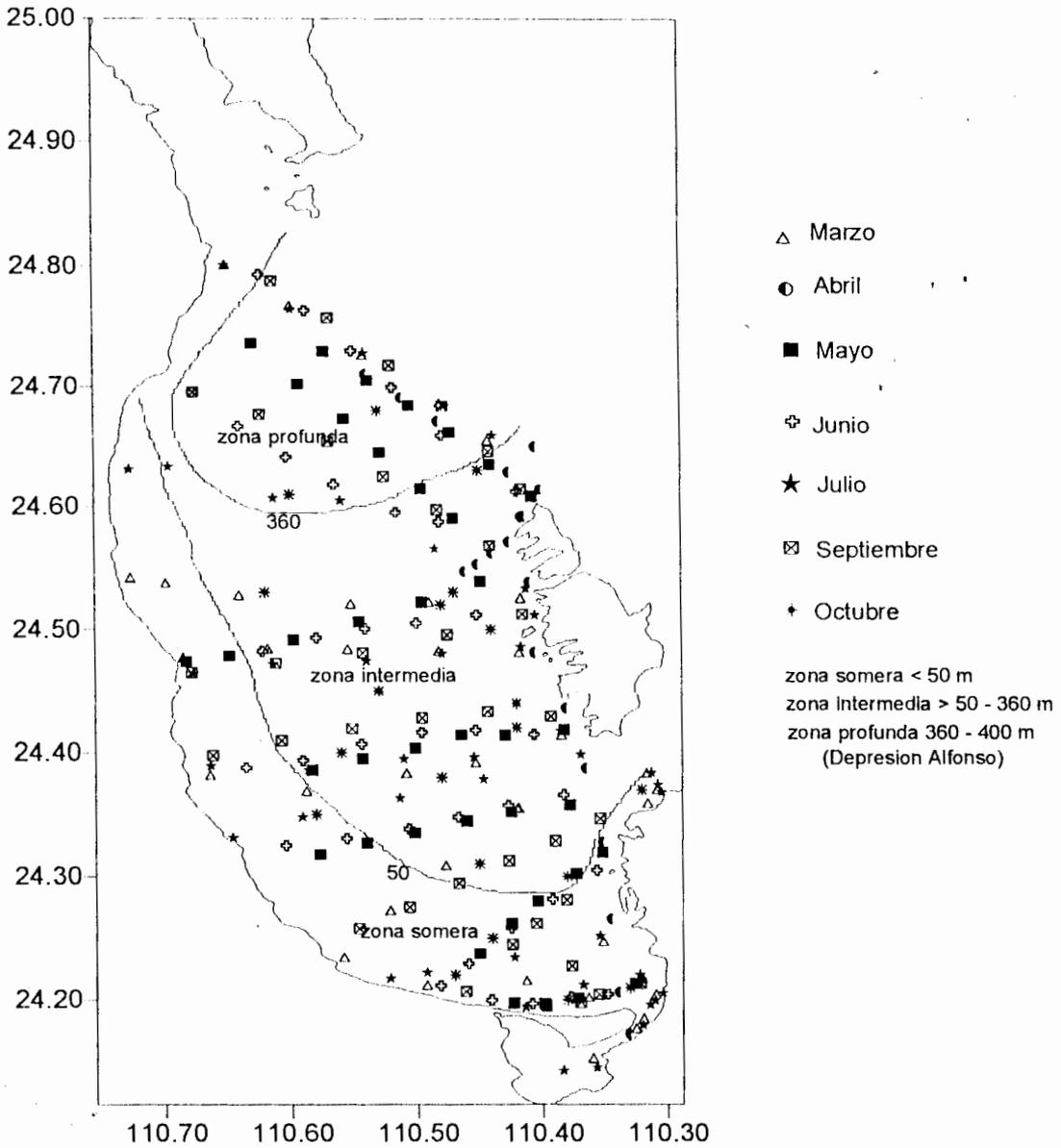


Fig. 2 Regionalización del área de estudio para el análisis espacial de las variables fisicoquímicas, utilizadas en este estudio; así mismo se muestra la red de estaciones cubiertas durante el período de muestreo en la bahía de La Paz.

III.2.6. Mediciones de fluorescencia natural en la columna de agua a través de un Perfilador PNF300 (Biospherical Instruments).

SENSOR	INTERVALO		RESOLUCIÓN	PRECISIÓN
PROFUNDIDAD	0-200 m		0.1 m	± 0.1 % de la escala
TEMPERATURA	-5 a 35 °C		0.03 °C	± 0.1 °C
PAR	SATURACIÓN DE IRRADIANCIA:	RANGO DINÁMICO	RMS-RUIDO	TIEMPO CONSTANTE
	0.5 $\mu\text{E}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sec})$	10^6	$< 3 \times 10^{-8} \mu\text{E}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sec})$	aproximadamente 0.02 sec.
FLUORESCENCIA NATURAL	50 $\text{nE}/(\text{m}^2 \text{ sr} \cdot \text{sec})$	10^6	aproximadamente 1 sec	aproximadamente 1 sec

III.2.7. Toma de muestras de agua de mar superficial para los siguientes análisis:

III.2.7.1. Nutrientes inorgánicos. En los meses de junio, julio y septiembre se tomaron muestras a niveles determinados por medio de la lectura del disco de Secchi, estableciéndose en el 100%, 10% y 1% de penetración luminosa.

III.2.7.2. Pigmentos.

III.2.7.3. Seston.

III.2.8. Preservación. Las muestras se congelaron a -50 °C hasta su posterior análisis.

III.3. TRABAJO DE LABORATORIO

El trabajo de laboratorio consistió en el análisis de las siguientes variables :

III.3.1. **iones nitrato**, estimados por el método de Morris y Riley (1963), apoyado en la reducción de nitratos a nitritos por medio de su paso a través de una columna de cadmio-cobre. Posteriormente el nitrito es diazotizado con sulfanilamida y por su acoplamiento con N-1-naftiletildiamina forma un compuesto altamente

coloreado cuya extinción es medida por espectrofotometría a 543 nm, con celdas de 1 cm (Parsons *et al.*, 1984a; Strickland y Parsons, 1972).

III.3.2. **Iones nitrito.** Básicamente se sigue el proceso anteriormente descrito, solo que sin el paso de la muestra por la columna reductora de cadmio-cobre (Bendschneider y Robinson, 1952). Los nitritos, de acuerdo a la reacción de Griess son convertidos en colorantes azoicos por su diazotización con sulfanilamida (el colorante azoico se forma por la unión con N-1-naftiletilendiamina). La extinción es medida por espectrofotometría a 543 nm, utilizando celdas de 10 cm (Parsons *et al.*, 1984a; Strickland y Parsons, 1972).

III.3.3. **Fosfatos.** Se analizaron por el método de Murphy y Riley (1962), consistente en la formación del compuesto amonio molibdofosfato. La reducción controlada de estos compuestos poliméricos resulta en un complejo de azul de molibdeno. La intensidad de este color es medida por espectrofotometría utilizando celdas de 10 cm.

III.3.4. **Silicatos.** El procedimiento es de Mullin y Riley (1955) citado en Parsons *et al.*, (1984a), el cual forma un complejo silico-fosfo-arseno-molibdato y se le agrega una solución reductora para dar una coloración azul que simultáneamente descompone cualquier complejo de fosfo o arseno-molibdato. Se lee la extinción de la solución resultante a 810 nm con celdas de 1 cm.

III.3.5. **Pigmentos.** Los pigmentos fueron determinados siguiendo el método espectrofotométrico, en el cual se extraen los pigmentos celulares con un solvente orgánico (acetona al 90 %) durante 24 h. La posterior lectura de la absorción de estos extractos se realizó empleando celdas de 5 cm. Para los cálculos se utilizaron las ecuaciones propuestas por Jeffrey y Humphrey (1975).

Las densidades ópticas fueron medidas en un espectrofotómetro de un sólo haz de luz Spectronic 1201 Milton Roy. Utilizando celdas de cuarzo de 1, 5 y 10 cm de acuerdo a la técnica.

III.3.6. **Seston.** El seston se estimó mediante la técnica descrita por Cervantes-Duarte *et al.* (1996). La cual consiste en filtrar un volumen conocido de agua de mar en un filtro de policarbonato con apertura de poro de 0.2 μm y un diámetro de 47 mm. Posteriormente se pesó el material retenido en el filtro con una balanza analítica marca Mettler, mod. AE163 y precisión de ± 0.01 mg.

CÁLCULOS:

$$PS = \left[\frac{(PFS-PF)-PBP}{V} \right] \cdot 1000$$

Donde:

PS = peso seco, expresado en g m^{-3} .

PF = peso del filtro (sin material), expresado en mg.

PFS = peso después de secado (con material), expresado en mg.

PBP = promedio aritmético de los blancos, expresado en mg.

V = volumen filtrado, expresado en ml.

1000 = factor de conversión de mg ml a g m^{-3} .

III.3.7. Paralelamente al análisis de las muestras cada una de las técnicas fueron reproducibles, con un número de replicas variable ($5 < n < 7$). Los coeficientes de variación (CV) obtenidos se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Media aritmética (MED), varianza (VAR), desviación estándar (STD) y porcentaje del coeficiente de variación (CV) de las técnicas empleadas en la determinación de los nutrientes.

	JUNIO				JULIO				SEPTIEMBRE			
	MED	VAR	STD	CV (%)	MED	VAR	STD	CV (%)	MED	VAR	STD	CV (%)
NO ₂	0.08	0	0.01	6	0.03	0	0	12	0.08	0	0.02	19
NO ₃	0.41	0.14	0.38	92	0.06	0	0.06	98	1.45	0.04	0.19	13
PO ₄	1.05	0.03	0.17	16	0.56	0	0.02	4	1.79	0.27	0.52	29
SiO ₂	17.87	21.13	4.6	26	3.13	0.49	0.7	22	3.25	1.33	1.15	36

La técnica del seston fue reproducible en filtros de policarbonato, obteniendo un CV del 20 %. En el caso de los pigmentos se obtuvo un CV del 10 %.

Los CV obtenidos para cada una de las técnicas (Tabla 3) muestra poca confiabilidad de los resultados obtenidos, sin embargo el intervalo de las concentraciones registradas a lo largo del período de muestreo no rebasa el intervalo reportado para algunas lagunas costeras y regiones oceánicas. Estos altos CV son explicados desde el punto de vista metodológico. De manera general se observó que la preservación de la muestra, la limpieza del material y la adecuada preparación de las soluciones estándar resultan de vital importancia para obtener una buena reproducción de cada una de las técnicas. En particular para la determinación de los NO_3 es necesario tomar en cuenta el tiempo de residencia de la muestra dentro de la columna reductora de Cadmio-Cobre.

III.4. TRABAJO DE GABINETE.

III.4.1. Análisis descriptivo.

En algunos meses no se tienen todos los parámetros establecidos debido a motivos logísticos y metodológicos. Sin embargo la descripción de los resultados obtenidos se basa en la construcción de gráficas, perfiles verticales y mapas de isolíneas para cada mes del período de estudio. Empleando los programas: SigmaPlot para Windows, Surfer16 y Microsoft Excel.

En los mapas de isolíneas las estaciones de muestreo se representan por los puntos y lo que queda fuera de ellos es interpolado por el mismo programa.

Con fines comparativos se utilizó una serie de tiempo de temperatura superficial con datos de 1989-1996 tomados de De Silva-Dávila (1997). Para la descripción de la variación espacial de temperatura, densidad y productividad primaria se utilizaron perfiles verticales ordenados en siete transectos con una dirección este-oeste (Fig. 1).

Se propone dividir a la bahía en tres zonas (Fig. 2) en base a los resultados obtenidos y tomando en cuenta algunos criterios de los trabajos de Murillo (1987) quien divide a la bahía en tres cuerpos de agua y una zona de surgencia a partir de un parámetro micropaleontológico compuesto por radiolarios principalmente. Obeso-Nieblas (1986); Obeso y Jiménez (1989); Obeso *et al.* (1993a, b) quienes

proponen el patrón de circulación determinado a partir de un modelo hidrodinámico-numérico barotrópico (verticalmente integrados). Cruz-Orozco *et al.* (1996) describen la composición mineralógica y batimetría de la bahía. Así mismo dividen a la bahía en dos partes, principalmente por los siguientes rasgos: 1) la porción somera, localizada en el sur, con pendientes suaves que considera productos de sedimentación del material transportado por los arroyos que drenan esa porción y distribuido por las corrientes costeras que se desplazan de norte a sur; y 2) la porción norte más profunda de la bahía, donde esta la depresión "Alfonso" de 400 m de profundidad.

III.4.2. Cálculos.

Para determinar la productividad primaria a partir del flujo de fluorescencia natural se utilizaron las ecuaciones propuestas por Kiefer *et al.* (1989) y Chamberlain (1990) citados en García-Mendoza (1994) y García-Mendoza y Maske (1996); las cuales se describen a continuación:

$$F_c = \frac{K_{cf} F_f \left(\frac{\phi_c}{\phi_f} \right)_{\max}}{K_{cf} + E_0}$$

donde:

F_c ($\text{nmol C m}^{-3} \text{ s}^{-1}$) productividad primaria.

K_{cf} ($\mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) es el valor de la irradiancia en el cual la razón entre las eficiencias cuánticas es igual a la mitad del máximo, (tomado como 189, García-Mendoza y Maske, 1996)

F_f (moles cuanta $\text{m}^{-3} \text{ s}^{-1}$) es la tasa de fluorescencia natural y esta definida como:

$$F_f = 4\pi [k + a_{F_f}] L_u$$

donde:

4π es una constante geométrica, utilizada para transformar la radiancia a volumen de emisión (str^{-1}).

k (m^{-1}) es el coeficiente de atenuación de luz difusa para E_0 . El cual fue calculado de los perfiles verticales de la irradiancia escalar (PAR).

a_{Fr} (m^{-1}) es el coeficiente de absorción en la banda espectral de emisión de la fluorescencia (tomado como $a_{Fr} = 0.49 + 0.012C_{la}$, García-Mendoza y Maske, 1996).

L_u (moles cuanta $m^{-2} s^{-1} str^{-1}$) es la radiancia ascendente.

$(\phi_c/\phi_f)_{max}$ (átomos de carbono por fotón) es definida como el valor máximo de la razón entre las eficiencias cuánticas (tomado como 1.9, García-Mendoza y Maske, 1996).

E_o (moles cuanta $m^{-2} s^{-1}$) es la irradiancia escalar fotosintéticamente disponible (PAR; 400-700 nm).

El fundamento de la fluorescencia natural se basa en la propiedad de la C_{la} del fitoplancton de producir una emisión de fotones (fluorescencia) como una de las tres vías de desexcitación del aparato fotosintético. Una vez que los pigmentos han absorbido luz, las otras dos vías son trabajo fotoquímico y producción de calor (Geider y Osborne, 1992; Falkowski y Kiefer, 1985; Kiefer y Reynolds, 1992; Kolber y Falkowski, 1993; citados en García-Mendoza, 1994; Cervantes-Duarte, 1996; Espinosa-Carreón, 1996; Gaxiola-Castro y Alvarez-Borrego, 1984). Las unidades en que es obtenida la productividad primaria vía fluorescencia son $nmol C m^{-3} s^{-1}$ y su abreviatura Fc. Sin embargo con el fin de comparar los valores obtenidos con otras investigaciones se convirtieron a $mg C m^{-3} h^{-1}$ utilizando 0.0432 como factor de conversión. Su abreviatura en este trabajo será pp como tradicionalmente es conocida.

Para calcular la profundidad de la zona eufótica se realizó un análisis entre la relación de la profundidad de desaparición del disco de Secchi (S_D) y el coeficiente de atenuación de la luz (Kd). Para ello se calculó el Kd en cada período de muestreo a través de la ecuación $Ez = Eo \cdot \exp(-Kd \cdot z)$. Posteriormente se correlaciono el $\ln(Kd)$ y $\ln(S_D)$ para obtener la intersección en Y (a) y la pendiente de la recta (b), así los valores obtenidos se relacionaron con S_D por medio de la siguiente ecuación:

$$Kd = \frac{a}{S_D b}$$

Con la finalidad de conocer el efecto de la estratificación sobre la variación de la productividad primaria en la columna de agua, se determinó el índice de estratificación (Φ) propuesto por Simpson y Hunter (1974), el cual es definido como la cantidad de energía mecánica que se requiere para producir mezcla vertical. Los valores asignados en este índice son cero o cercano a cero cuando la columna de agua se encuentra bien mezclada y va incrementándose con el aumento de la estratificación.

$$\Phi = \frac{1}{h} \int_{-h}^0 (\bar{\rho} - \rho) g z \cdot dz$$

donde: ρ es la densidad del agua, g la aceleración debido a la gravedad (9.81 m/s^2); h es la profundidad (en este estudio 0-100 m); z coordenada vertical (ascendente positiva) y $\bar{\rho} = \frac{1}{h} \int_{-h}^0 \rho \cdot dz$

III. 4.2. Análisis estadístico.

Los análisis estadísticos empleados fueron:

Estadística básica: media, mediana, desviación estándar, error estándar, coeficiente de variación, valor máximo, valor mínimo; correspondiente a cada variable estudiada para cada mes y por estación. El análisis se llevó a cabo con el programa estadístico "Statistical Graphics System".

Asociación de variables: Diagramas de dispersión y Regresiones lineales entre pp y Φ , Φ y velocidad del viento, Φ y clorofila, Φ y seston, pp y pp integrada, pp y nutrientes, pp y temperatura, pp y S_D , pp y prof. de nutriclina, pp y prof. de capa de mezcla; mediante el programa estadístico "Statistical Graphics System".

Distribución: Comparación de medias por medio de la distribución t-student, con un coeficiente de regresión significativo al 95 % de confianza (Wayne, 1987).

IV. RESULTADOS.

IV.1. Características meteorológicas.

IV1.1. Estado del mar.

De acuerdo a la escala de Beaufort (ANEXO IX.1.) la fuerza para el estado del mar de mayor frecuencia (10) registrada durante el mes de marzo fue de 0, que corresponde a una descripción lizo con una superficie de espejo. Y la de menor frecuencia (7) fue de 1, que corresponde a una descripción rizado con una superficie en forma de rizos pequeños sin crestas espumosas (Fig. 3a).

En el mes de abril el estado del mar presento una fuerza de 0, 1 y 2. Esta última corresponde a una descripción suave con una superficie en forma de ondas pequeñas, cortas y más pronunciadas; con crestas de apariencia vítrea y que no se rompen. La mayor frecuencia (15) fue de 0 y la de menor (2) 2 (Fig. 3a).

Durante los meses de mayo, junio, septiembre y octubre la fuerza del estado del mar con mayor frecuencia (28, 34, 33 y 15 respectivamente) registrada fue 0 y la de menor (11, 3, 5 y 3 respectivamente) 1. En el mes de junio al igual que en abril se registro una fuerza de 2 con una frecuencia de 2 (Fig. 3a).

IV.1.2. Nubosidad.

La nubosidad se midió en octavos de nubes que cubren la bóveda celeste (ANEXO IX.2.). Durante abril la cobertura con mayor frecuencia registrada (6) fue de un cielo despejado (0/8) y 3/8 de la bóveda celeste con una frecuencia de 5 (Fig. 3b).

En mayo se observó una nubosidad desde 1/8 hasta un cielo totalmente cubierto (8/8). Las frecuencias registradas fueron 1, 2, 3, 5, 6, 1, 3 y 18 para un cielo 1/8, 2/8, 3/8, 4/8, 5/8, 6/8, 7/8 y 8/8 respectivamente (Fig. 3b).

Durante junio se registro una nubosidad de 0/8, 2/8, 4/8, 6/8, 7/8 y 8/8 con una frecuencia de 26, 1, 1, 3, 2 y 6 respectivamente. En septiembre la nubosidad fue de un cielo despejado (0/8) hasta una cobertura de 4/8, siendo un cielo despejado el de mayor ocurrencia (26) (Fig. 3b).

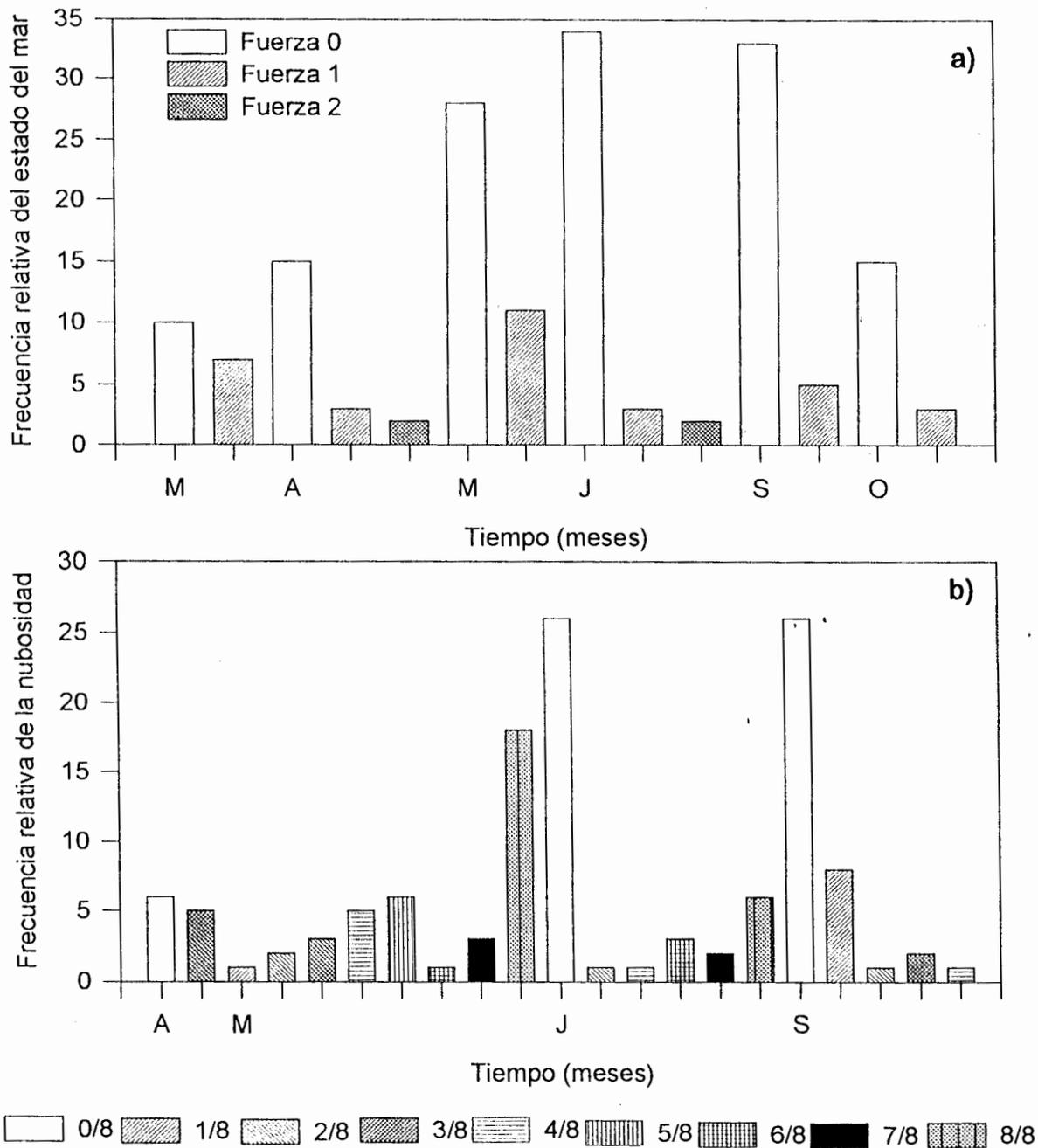


Fig. 3 Estado del mar (a) y Nubosidad (b) durante el período de muestreo en la bahía de La Paz.

IV.1.3. Vientos.

Los registros del viento fueron obtenidos de la estación meteorológica del CIBNOR para cada período de muestreo. El análisis del viento se hizo a partir de los promedios de la dirección e intensidad del viento registrado cada 10 minutos de las 08:00 AM a las 19:00 PM (ANEXO IX.3).

La descripción general de los vientos dominantes durante el período de muestreo esta representada en la fig. 4. Durante los meses de marzo y octubre los vientos dominantes presentan una componente norte con una intensidad de 1.04 y 2.75 m/s respectivamente. Sin embargo, como se puede observar en los Anexos IX.3., IX.4. y IX.5 los vientos superficiales comienzan a presentar una componente sur que inicia en el mes de marzo y se mantiene presente hasta septiembre. Posteriormente en octubre se observa un cambio en el patrón de los vientos, disminuyendo la componente sur e incrementándose la norte.

En los meses de abril, mayo, junio, julio y septiembre las mayores frecuencias son registradas en la componente sur, con intensidades de 1.86, 1.95, 1.47, 1.67 y 1.13 m/s (Fig. 4). De acuerdo al número de Beaufort (ANEXO IX.1.) los vientos durante el período de estudio están clasificados en 0, 1 y 2 que corresponden a tranquilo, céfiro y brisa leve.

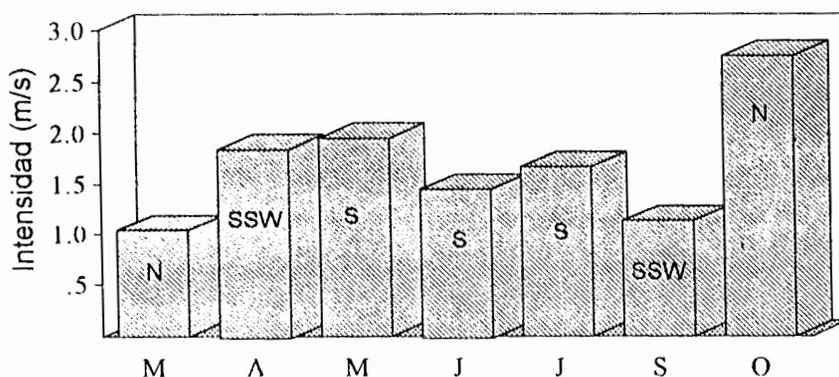


Fig. 4 Intensidad y dirección de los vientos dominantes durante el período de muestreo. Tomados de la estación meteorológica del CIBNOR.

IV.2. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE LAS VARIABLES MEDIDAS.

Las tablas 4 y 5 muestran los valores superficiales promedio, máximos y mínimos de temperatura, salinidad, sigma-t (σ_t) y nutrientes inorgánicos obtenidos durante las diferentes campañas. El análisis de cada una de las variables medidas permite distinguir una variabilidad espacio-temporal en el área de estudio.

Tabla 4. Promedios (MED) superficiales mensuales de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), salinidad (ups) y σ_t en la bahía de La Paz durante 1997. Temperaturas y salinidades máximas y mínimas (MAX-MIN), (* 1996)

MES	TEMPERATURA ($^{\circ}\text{C}$)		SALINIDAD (ups)		σ_t (kg m^{-3})	
	MED	MAX-MIN	MED	MAX-MIN	MED	MAX-MIN
MAR.	20.00	21.17-18.82	35.47	36.00-34.54	25.14	25.61-24.37
MAY.	24.97	26.19-22.64	35.98	36.18-35.62	-	-
JUN.	27.77	29.39-26.28	35.27	35.63-33.51	22.62	23.26-19.35
JUL.	27.92	29.18-27.12	35.33	37.44-34.15	22.69	23.91-21.75
SEP.	30.47	31.16-29.80	35.99	35.23-34.15	21.58	21.90-20.86
OCT.*	29.40	30.18-28.99	35.19	35.53-33.97	22.09	22.25-21.14

El período de medición de las variables estudiadas en la bahía de La Paz, corresponden a la temporada: Primavera-Verano. La distribución vertical de los parámetros físicos muestra que existe un marcado gradiente de temperatura mayo-octubre y presumiblemente una homogenización termal de la columna de agua el resto del año.

IV.2.1. Temperatura, Salinidad y Densidad Relativa.

El análisis gráfico de la temperatura superficial promedio (Fig. 5) muestra una marcada temporalidad en la serie de tiempo de 1989 a 1996 presentada por De Silva-Dávila (1997) para la bahía. Este cambio cíclico nos permite diferenciar dos estaciones que inician cada seis meses: una cálida de mayo a octubre y una templada de noviembre a abril.

Durante el período de muestreo en la bahía se registró una temperatura media mínima de 20.00 °C en marzo hasta alcanzar una media máxima en septiembre de 30.47 °C. Los valores promedio registrados presentan el mismo comportamiento que la serie de tiempo de 1989-1996, con una diferencia de 0.50 a 2.00 °C; lo cual nos sugiere una tendencia al aumento de los valores de este parámetro, a medida que avanza el año.

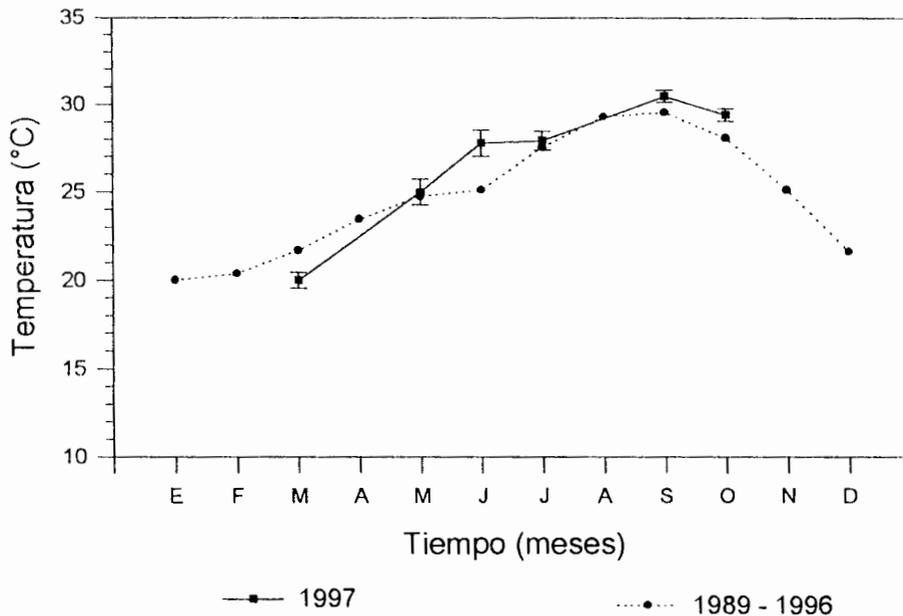


Fig. 5 Temperatura superficial promedio (°C) para la bahía de La Paz durante el período de muestreo. Se muestra la serie de tiempo de 1989-1996 tomada de De Silva-Dávila (1997).

Con la finalidad de observar diferencias en la variación térmica durante el período de muestreo, se calculó el promedio de la temperatura en la primera profundidad óptica observándose los valores máximos en septiembre con una diferencia significativa < 0.50 °C (t -student = 2.78, $p > 0.63$, $\alpha = 0.05$) con el promedio de la temperatura superficial. En ambos casos se presenta el mismo comportamiento que se presenta en la serie de tiempo propuesta por De Silva-Dávila (1997).

Para la descripción de la distribución vertical de la temperatura y de la densidad se graficaron los perfiles ordenados en siete transectos y estandarizadas las estaciones a una profundidad de 130 m en cada campaña. Así mismo se dividió el área de estudio en zona profunda, intermedia y somera para describir el comportamiento espacial (Fig. 2).

ZONA PROFUNDA.

La zona profunda comprende los transectos 1 y 2; y se caracteriza por ser la zona más dinámica de la bahía debido a la comunicación directa que tiene con el golfo de California, con profundidades entre 360 y 400 m.

MARZO.

La figura 6 muestra la estructura vertical de la temperatura en el mes de marzo. Se observa para ambos transectos una columna de agua muy homogénea con valores de 20.00 °C en la superficie hasta 14.00 °C aproximadamente a los 130 m de profundidad. En estas estaciones es muy notoria una capa de mezcla bastante amplia (de 0 a 60 m) en las estaciones localizadas al oeste de la bahía, así mismo es posible observar una termoclina localizada entre los 40 y 70 m para las estaciones localizadas al este y oeste respectivamente, con una temperatura entre 19.00 y 17.00 °C.

La densidad relativa (σ_t) observada durante este mes es muy homogénea con valores de 25.00 kg m⁻³ en la superficie y 26.00 kg m⁻³ a una profundidad de 60 m punto en el que se presenta la pycnoclina, para posteriormente aumentar hasta 26.50 kg m⁻³.

En cuanto a la distribución espacial que se presenta durante este mes podemos observar que es muy homogénea, destacando la estación E4 cuya termoclina es más profunda y se localiza entre 50 y 60 m.

JUNIO.

Para el mes de junio la temperatura en los transectos 1 y 2 presentan un comportamiento similar. Las estaciones localizadas en el este presentan una capa de mezcla no muy definida, sin embargo, conforme las estaciones se van localizando hacia el oeste la capa de mezcla es más notoria, encontrándose entre los 0 y 20 m con una temperatura entre 28.00 °C en la superficie y 20.00 °C a una profundidad de 50 m, punto en el que se presenta la termoclina (Fig. 6).

El comportamiento para la densidad es inverso al de la temperatura en donde puede apreciarse una densidad relativa (σ_t) de 22.00 kg m⁻³ en la superficie y 25.00 kg m⁻³ a una profundidad de 50 m, punto en el que se presenta la pycnoclina, para posteriormente aumentar hasta 26.00 kg m⁻³.

La distribución espacial se hace más variable en el mes de junio, las estaciones que destacan por el marcado gradiente de temperatura que presentan son las estaciones E9 y E5 las cuales se localizan en el este.

JULIO.

El comportamiento de la temperatura en el mes de julio, para las estaciones localizadas en el este de la bahía, es una reducida capa de mezcla entre 0 y 15 m de profundidad. Con una temperatura que va de los 27.00 °C en la superficie hasta los 21.00 °C a los 35 m profundidad a la cual se presenta la termoclina. Posteriormente se observa un decremento hasta llegar a los 15.00 °C a una profundidad de 130 m. Conforme las estaciones se desplazan hacia el oeste se observa una amplia capa de mezcla entre los 0 y 35 m de profundidad con una temperatura que va de 27.00 °C en la superficie hasta los 20.00 °C a los 55 m profundidad donde se localiza la termoclina. Posteriormente se observa un decremento hasta llegar a los 15.00 °C (Fig. 6).

En el caso de la densidad observamos que las estaciones localizadas al este de la bahía presentan una reducida capa de mezcla (entre 0 y 15 m de profundidad) con una densidad que va de los 22.90 kg m^{-3} en la superficie hasta los 24.50 kg m^{-3} a los 35 m, profundidad a la cual se presenta la pycnoclina. Posteriormente se observa un aumento hasta llegar a los 26.00 kg m^{-3} a una profundidad de 130 m. Conforme las estaciones se desplazan hacia el oeste se observa una amplia capa de mezcla entre los 0 y 35 m de profundidad con una densidad que va de 22.90 kg m^{-3} en la superficie hasta los 24.90 kg m^{-3} a los 55 m profundidad a la cual se localiza la pycnoclina. Posteriormente se observa un aumento hasta llegar a los 26.00 kg m^{-3} .

Durante el mes de julio la variabilidad de los perfiles de temperatura y densidad se hace más evidente, destacando las estaciones E5, E9 y E2. Presentándose la termoclina más superficial en las estaciones localizadas al este (E5 y E9) y más profunda en la estación E2 localizada al oeste.

SEPTIEMBRE.

En el mes de septiembre se observa claramente una estratificación termal para ambos transectos los cuales presentan poca variabilidad. Puede apreciarse una amplia capa de mezcla que llega hasta los 50 m de profundidad con una temperatura superficial de $30.00 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta los $25.00 \text{ }^\circ\text{C}$ aproximadamente a los 60 m a la cual se observa la termoclina (Fig. 6).

Para ambos transectos existe poca variabilidad en la densidades, apreciándose una amplia capa de mezcla entre los 0 y 50 m de profundidad con una densidad superficial de 22.00 kg m^{-3} hasta los 23.00 kg m^{-3} aproximadamente a los 60 m. En cuanto a la variabilidad que presentan los perfiles observamos que nuevamente presenta un patrón homogéneo.

OCTUBRE.

En el mes de octubre se observa una estratificación para ambos transectos en donde la capa de mezcla superficial comienza a reducirse (0 a 30 metros) con una temperatura de 29.00 °C hasta los 25.00 °C aproximadamente a los 30 m en donde se observa la termoclina (Fig. 6). En lo que se refiere a la densidad esta presenta un valor de 22.00 kg m⁻³ en la superficie hasta 23.90 kg m⁻³ a los 30 m ubicándose en este punto la picnoclina. Posteriormente empieza a aumentar gradualmente hasta llegar a los 26.00 kg m⁻³ a una profundidad de 130 m. Si bien la variabilidad durante este mes es homogénea es posible destacar la estación E16 cuya capa de mezcla es más profunda (0 a 40 m).

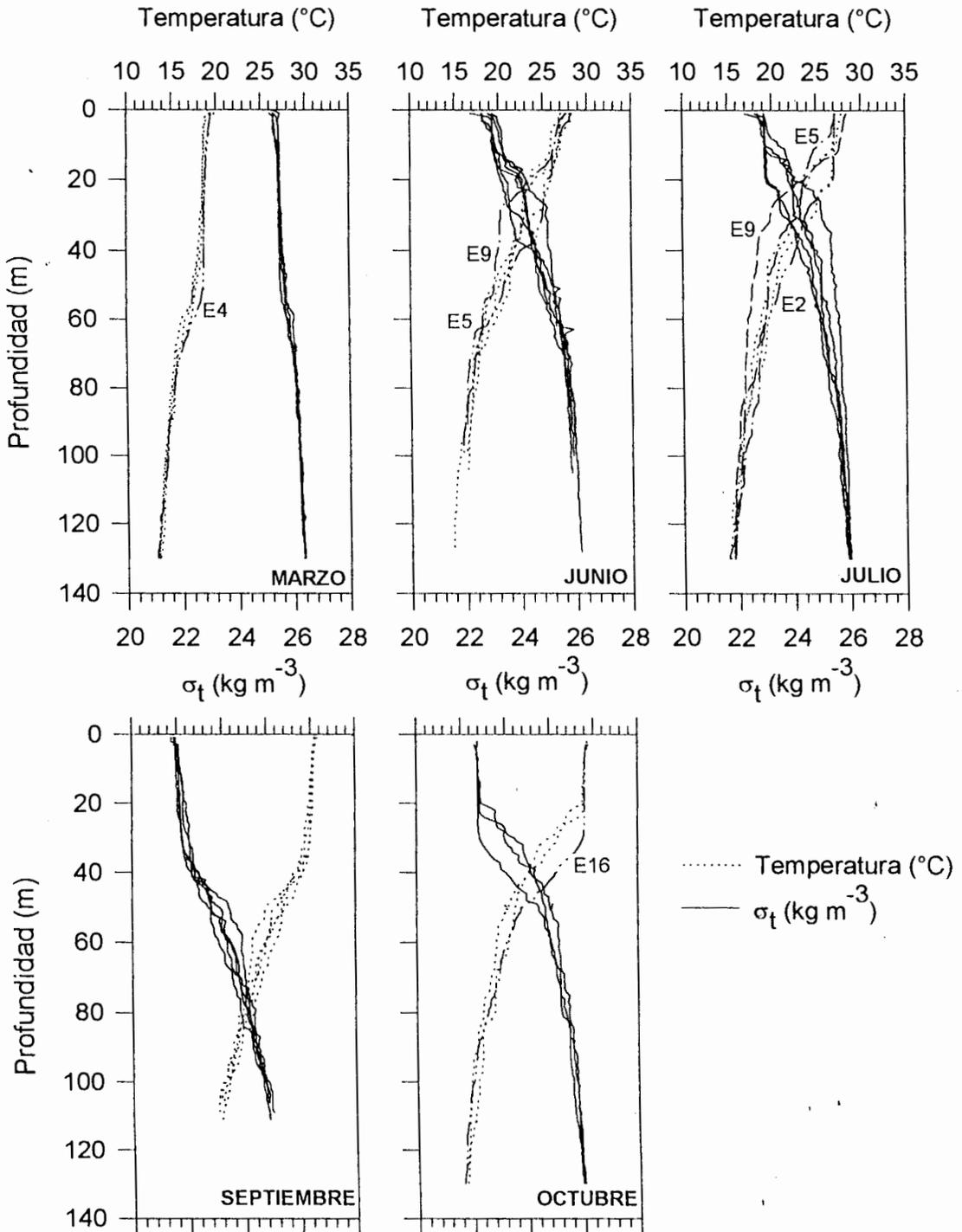


Fig. 6 Perfiles verticales de temperatura y σ_t durante los meses de marzo, junio, julio, septiembre (1997) y octubre (1996), para la zona profunda. E= Número de estación.

ZONA INTERMEDIA.

La zona intermedia comprende las estaciones localizadas al este de los transectos 3, 4 y 5; esta zona se caracteriza por presentar profundidades entre 50 y 200 m; esta zona recibe la influencia tanto de la zona profunda como de la zona somera dándole una hidrodinámica peculiar.

MARZO.

En el mes de marzo los transectos correspondientes a esta zona, así como las estaciones localizadas al este y oeste, presentan una columna de agua muy homogénea con temperaturas de 19.00 °C en la superficie hasta una profundidad aproximada de 60 m, posteriormente disminuye hasta los 15.00 °C a una profundidad de 130 m (Fig. 7). Al igual que la temperatura la densidad tiene un comportamiento muy homogéneo en la columna de agua; los valores registrados van de 24.30 kg m⁻³ en la superficie hasta 26.00 kg m⁻³ a una profundidad de 130 m.

En el transecto 5 se registró una temperatura superficial de 20.00 °C, así mismo es posible observar una capa de mezcla (0 a 55 m), punto en el cual se presenta la termoclina en las estaciones localizadas al oeste, posteriormente comienza a decrecer hasta una temperatura de 16.00° C, la densidad relativa tiene valores que van de 24.00 kg m⁻³ en la superficie hasta 25.00 kg m⁻³ a los 60 m.

En cuanto a la variabilidad que presenta esta zona durante el mes de marzo es posible apreciar que su comportamiento es muy homogéneo.

JUNIO.

Para el mes de junio los transectos 3, 4 y 5 presentan un comportamiento similar en donde la capa de mezcla no es evidente, sin embargo puede observarse un decremento de la temperatura la cual va de 28.00 °C en la superficie hasta 20.00 °C a una profundidad de 60 m, localizándose la termoclina en este punto (Fig. 7). La densidad en estos transectos presenta valores que van de 22.50 kg m⁻³ en la superficie hasta 26.00 kg m⁻³ a una profundidad de 130 m; la picnoclina se ubica a los 60 m al igual que la termoclina.

La distribución espacial durante el mes de junio se hace más evidente y presenta un comportamiento heterogéneo en esta zona destacando las estaciones E11 y E18 cuya diferencia esta en la profundidad de la capa de mezcla y termoclina.

JULIO.

El comportamiento de la temperatura en el mes de julio para las estaciones localizadas en el este presentan una capa de mezcla más amplia, localizada entre los 0 y 25 m, con una temperatura que va de los 27.00 °C en la superficie hasta los 25.00 °C a los 40 m de profundidad a la cual se presenta la termoclina.

Finalmente se observa un decremento de la misma hasta los 15.00 °C. Si bien la distribución espacial es notoria durante el mes de julio, es posible observar que las estaciones E8 y E21 presentan una diferente profundidad de la capa de mezcla y termoclina (Fig. 7).

Los valores de densidad registrados van de 22.50 kg m⁻³ en la superficie hasta 24.00 kg m⁻³ a los 40 m localizándose la picnoclina en este punto. Posteriormente comienza a aumentar gradualmente hasta 26.00 kg m⁻³ a una profundidad de 130 m.

Las estaciones localizadas en el oeste presentan una capa de mezcla más reducida que va de los 0 a 18 m con una temperatura de 27.00 °C en la superficie y de 25.00 °C a los 35 m profundidad a la cual se observa la termoclina. De igual manera se observa un decremento hasta los 15.00 °C. La densidad para estas estaciones presenta valores de 22.00 kg m⁻³ en la superficie hasta 26.00 kg m⁻³, la picnoclina se localiza en el mismo punto que la termoclina (Fig. 7).

SEPTIEMBRE.

En el mes de septiembre los transectos 3 y 4 presentan una amplia capa de mezcla entre los 0 y 40 m de profundidad con una temperatura superficial de 30.00 °C hasta 28.00 °C a una profundidad de 40 m localizándose en este punto la termoclina. Finalmente se observa un decremento hasta los 20.00 °C a una profundidad de 100 m (Fig. 7). En la superficie se presenta una densidad de 22.00 kg m⁻³ hasta 23.00 kg m⁻³ a una profundidad de 40 m punto en el que se encuentra la pycnoclina, posteriormente comienza a aumentar hasta los 24.50 kg m⁻³ a una profundidad aproximada de 100 m.

Al igual que la zona profunda, la zona intermedia presenta un comportamiento homogéneo en los perfiles de temperatura y densidad reduciéndose la variabilidad entre estos.

OCTUBRE.

En lo que respecta al mes de octubre podemos observar que los transectos 3 y 4, así como las estaciones ubicadas al este y oeste de la bahía presentan un comportamiento similar a los transectos 1 y 2. En donde la capa de mezcla superficial es mas reducida que la presente en el mes de septiembre, ubicada entre 0 y 30 m con una temperatura de 29.00 °C a 25.00 °C a una profundidad aproximada de 30 m localizándose en esta profundidad la termoclina (Fig. 7).

Los valores de la densidad son de 22.20 kg m⁻³ hasta 23.80 kg m⁻³ a los 30 m, finalmente aumenta hasta los 26.00 kg m⁻³ a una profundidad de 130 m. En cuanto a la variabilidad esta presenta un comportamiento homogéneo, del cual destaca la estación E10 cuya profundidad de la capa de mezcla es más profunda.

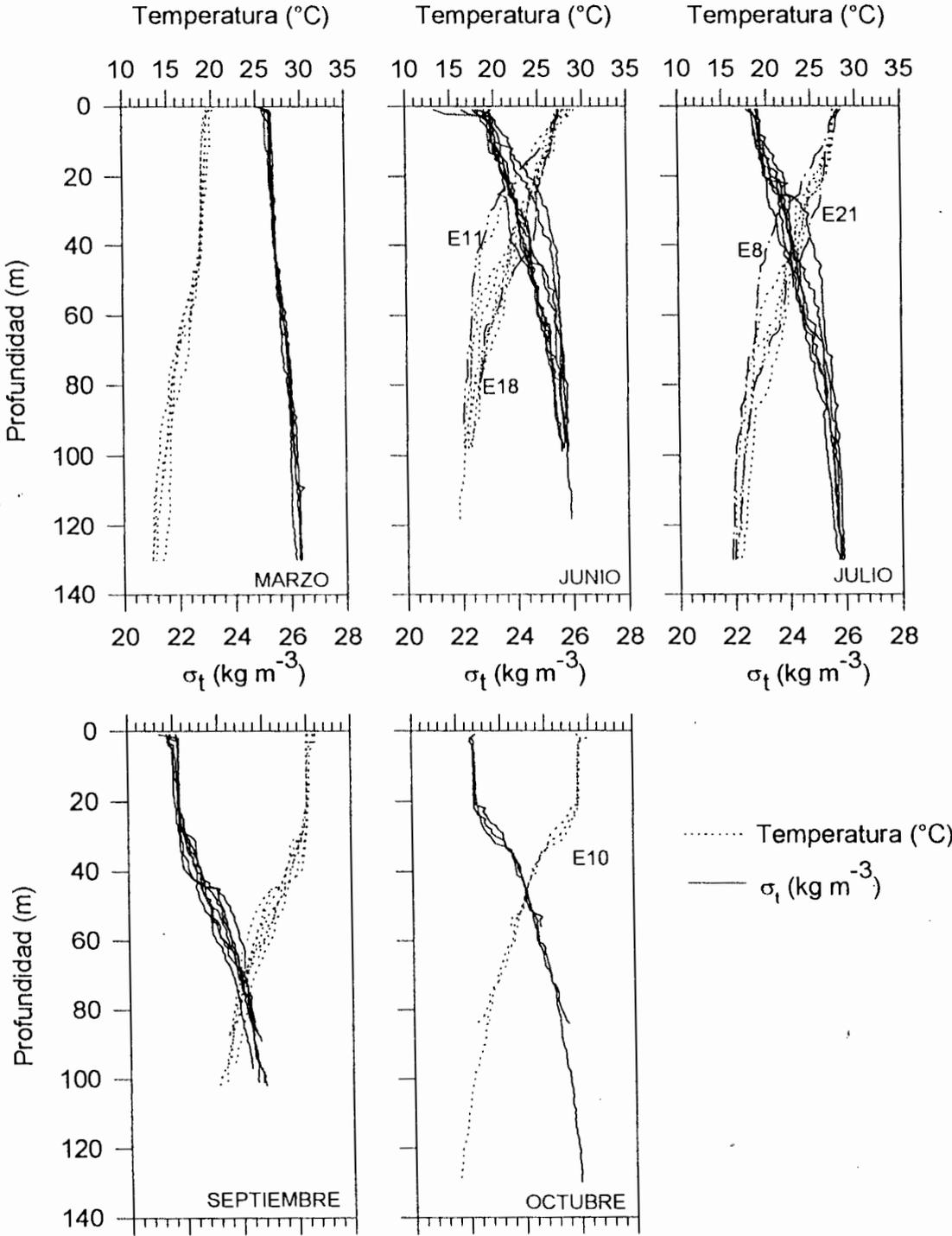


Fig. 7 Perfiles verticales de temperatura y σ_t durante los meses de marzo, junio, julio, septiembre (1997) y octubre (1996) para la zona intermedia. E= Número de estación.

ZONA SOMERA.

La zona somera comprende los transectos 6 y 7. Esta es caracterizada por presentar profundidades < 50 m y una hidrodinámica diferente a la de la zona profunda, debido, a la comunicación que tiene con la ensenada de La Paz y la influencia que tiene del canal de San Lorenzo por el cual también tiene contacto con el golfo de California.

MARZO.

En el mes de marzo es evidente que existe poca variabilidad en la temperatura para ambos transectos. Observándose una columna de agua completamente homogénea con una temperatura superficial de 20.00 °C y un ligero decremento (19.80 °C) a una profundidad de 20 m (Fig. 8). La densidad relativa al igual que la temperatura se presenta de manera homogénea con valores de 24.50 kg m⁻³

JUNIO.

Para el mes de junio los transectos 6 y 7 presentan una distribución de la temperatura muy homogénea. Los intervalos van de 28.00 °C en la superficie hasta 24.00 °C a 40 m. La termoclina no puede apreciarse debido a que, la columna de agua está ocupada casi en su totalidad por la capa de mezcla. La densidad se mantiene casi constante con valores de 23.80 kg m⁻³ hasta 24.00 kg m⁻³ (Fig. 8).

Durante este mes como en las otras zonas se presenta una variabilidad espacial destacando las estaciones E30 y E31 cuya diferencia radica en la profundidad de la capa de mezcla.

JULIO.

En esta zona en el mes de julio las estaciones de los transectos 6 y 7 presentan una distribución muy homogénea. En donde la capa de mezcla alcanza toda la columna de agua debido a lo somero de esta zona. La temperatura superficial es de 27.00 °C y disminuye hasta los 25.00 °C a una profundidad aproximada de 30 m (Fig. 8). La densidad superficial presenta el mismo comportamiento que la temperatura. Los valores se encuentran entre 23.00 y 23.50 kg m⁻³. De la misma manera que en el mes de junio la variabilidad observada esta en función de la profundidad de la capa de mezcla.

SEPTIEMBRE.

En el mes de septiembre los 6 y 7 presentan un comportamiento similar ya que solo puede apreciarse la amplia capa de mezcla que va de los 0 a 40 m con una temperatura de 30.00 °C (Fig. 8). En cuanto a la densidad esta presenta valores de 22.00 en la superficie hasta 22.20 kg m⁻³ a los 40 m, por lo que su distribución es muy homogénea.

OCTUBRE.

En octubre se puede apreciar claramente la evolución que tiene la capa de mezcla superficial. En el transecto 6 ésta se encuentra entre los 0 y 30 m con una temperatura entre 29.00 y 25.00 °C. La densidad superficial es de 22.00 kg m⁻³, posteriormente comienza a incrementarse hasta 23.80 kg m⁻³ a los 30 m, finalmente su incremento es de 24.50 kg m⁻³ a una profundidad de 60 m. A diferencia del transecto 7 que presenta una columna de agua completamente homogénea con una temperatura de 29.00 °C hasta una profundidad aproximada de 23 m, y una densidad de 22.20 kg m⁻³.

La variabilidad entre estos transectos es debida a la topografía de la zona y a la hidrodinámica que se presenta (Fig. 8). En cuanto a la distribución espacial que presenta esta zona si bien es muy homogénea es posible destacar a la estación 4 cuya profundidad de la capa de mezcla es ligeramente menor que las otras estaciones, además de poder apreciar la termoclina.

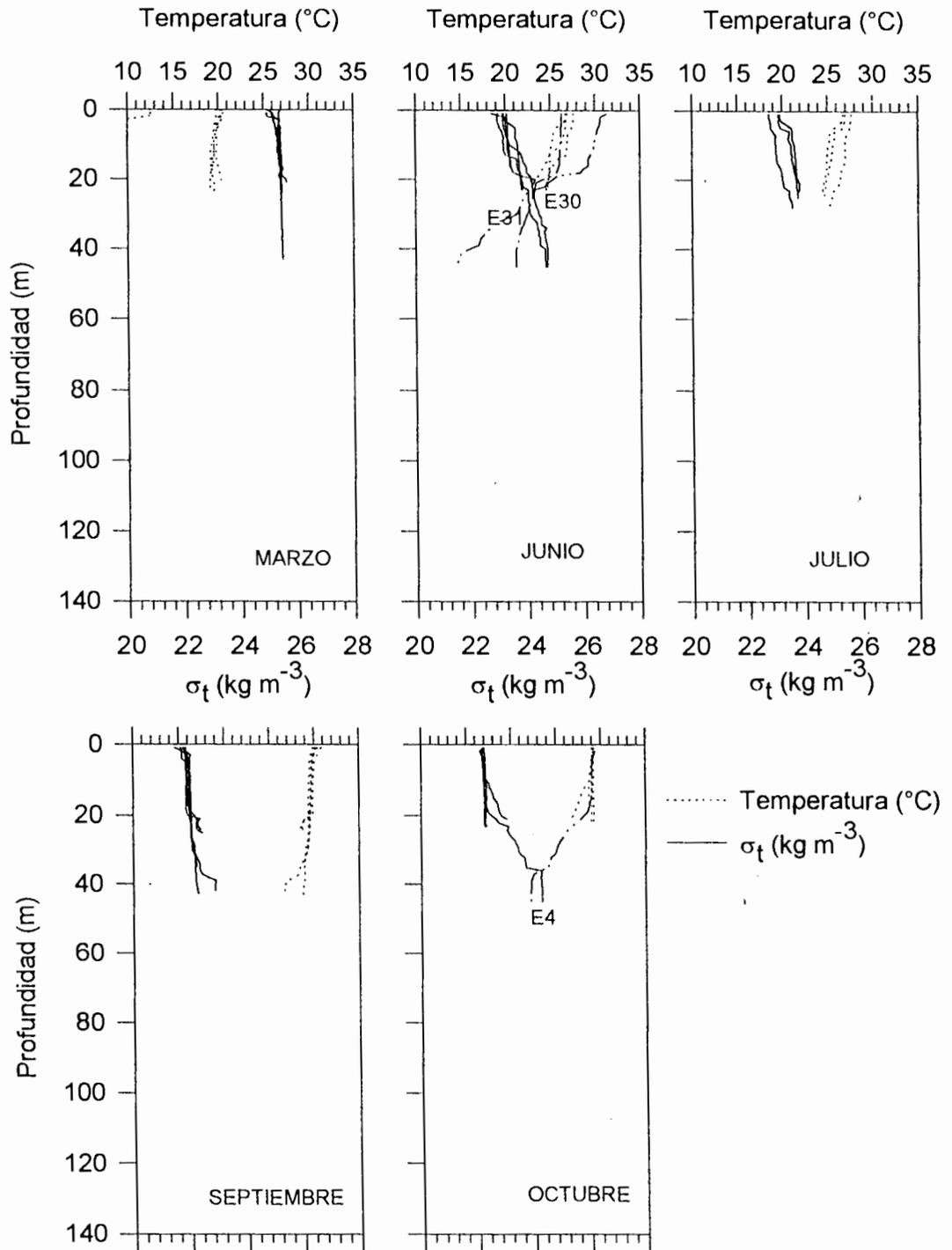


Fig. 8 Perfiles verticales de temperatura y σ_t durante los meses de marzo, junio, julio, septiembre (1997) y octubre (1996) para la zona somera. E= Número de estación.

En cuanto a la situación salina se refiere, esta presenta valores de salinidad relativamente homogéneos durante el período de muestreo. El promedio superficial mínimo se detectó en el mes de septiembre (34.99 ups) y el promedio superficial máximo se registro en el mes de mayo (35.98 ups). Los perfiles verticales de salinidad son muy similares a los de temperatura y la profundidad de la haloclina coincide con la de la termoclina.

IV.2.2. Masas de Agua.

La figura 9 muestra el diagrama de dispersión de temperatura-salinidad (T-S) con todos los valores registrados de 0 a 300 m de profundidad durante los meses de octubre 1996, marzo, junio, julio y septiembre de 1997 en la bahía de La Paz.

Siguiendo el criterio de Wyrcki (1967) y con los intervalos de temperatura y salinidad propuestos por Torres-Orozco (1993) (ANEXO IX.6) se identificaron en la región de estudio las masas de agua que se describen a continuación para cada mes de muestreo. El diagrama T-S para marzo muestra la presencia de: 1) *Agua del Golfo de California (AGC)* altamente salina ($S > 35.00$ ups) y con temperaturas entre 14.00 y 29.00 °C localizada entre la superficie y los 250 m de profundidad. 2) *Agua Superficial Ecuatorial (ASE)* con salinidades menores a 35.00 ups y temperaturas mayores a los 18.00 °C, localizada entre la superficie y los 100 m, y 3) *Agua Subsuperficial Subtropical (ASsSt)* con salinidades de 34.80 ups y temperaturas entre 12.00 y 17.00 °C, localizada entre los 250 y 300 (ANEXO IX.7). En junio se pueden apreciar AGC y ASE (ANEXO IX.8). En julio además del AGC y del ASE se identificó claramente ASsSt (ANEXO IX.9). En septiembre AGC y ASE (ANEXO IX.10). Finalmente en el mes de octubre se identificaron AGC, ASE y ASsSt (ANEXO IX.11).

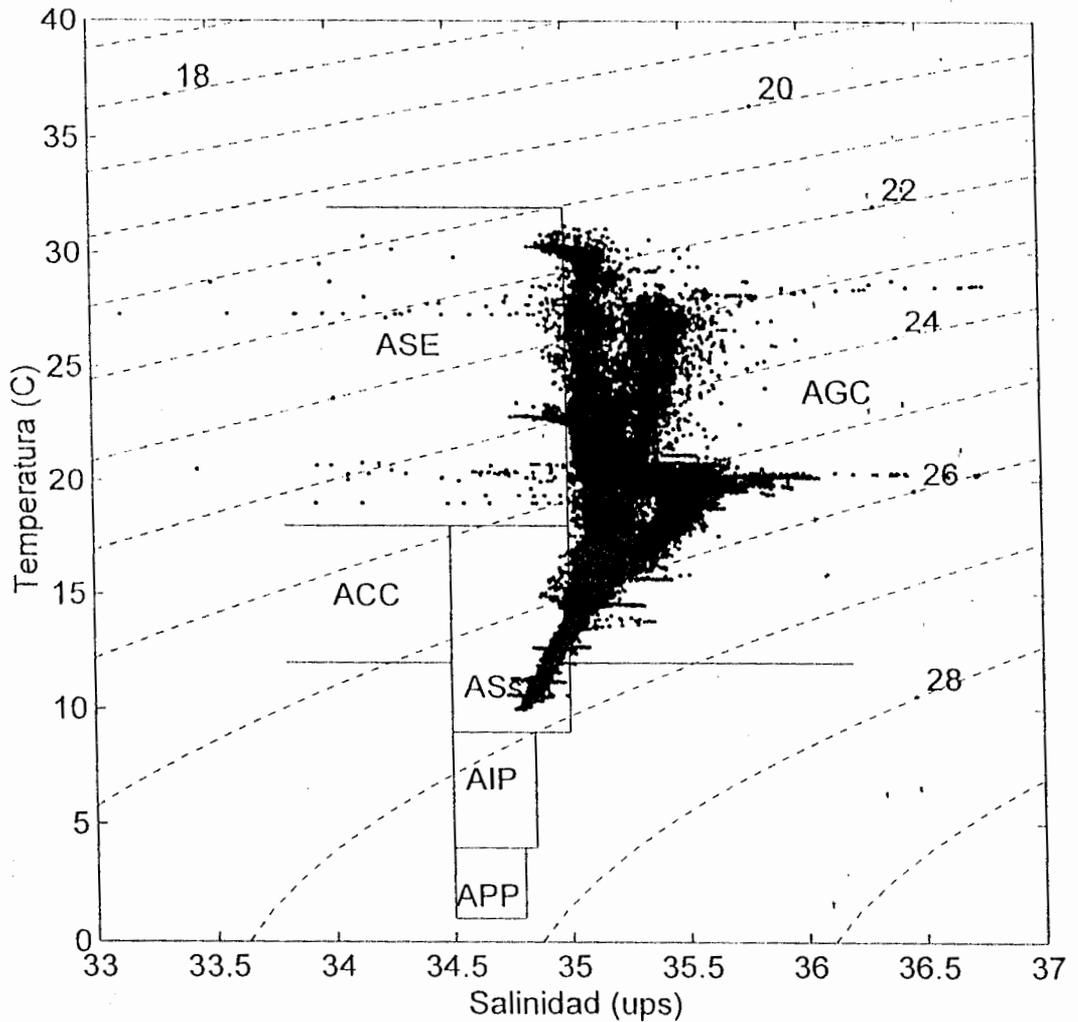


Fig. 9 Diagrama T-S obtenido de los datos de profundidad correspondientes a los meses de octubre de 1996, marzo, junio, julio y septiembre de 1997 para la bahía de La Paz. Se muestran los intervalos de temperatura y salinidad referidos en Torres-oro-zco (1993) para las masas de agua presentes en el golfo de California. Agua Profunda del Pacífico (APP), Agua Intermedia del Pacífico (AIP), Agua Subsuperficial Subtropical (ASsSt), Agua de la Corriente de California (ACC), Agua Superficial Ecuatorial (ASE) y Agua del Golfo de California (AGC).

La figura 10 muestra la representación esquemática de la distribución espacial de las masas de agua descritas anteriormente. En términos generales esta distribución es aparentemente sencilla por debajo de los 250 m de profundidad, debido a las características topográficas de la bahía y a la distribución de las masas de agua profundas; siendo el ASsSt la que se distribuye por debajo de esta profundidad. Por el contrario en las capas superiores, la distribución tiene mayor complejidad por la presencia de las dos masas de agua (ASE y AGC) que ocupan niveles similares, y por que las posiciones de las fronteras entre las masas de agua varían a lo largo del año; sin embargo es evidente que durante el período de muestreo el AGC se encuentra presente en un mayor porcentaje.

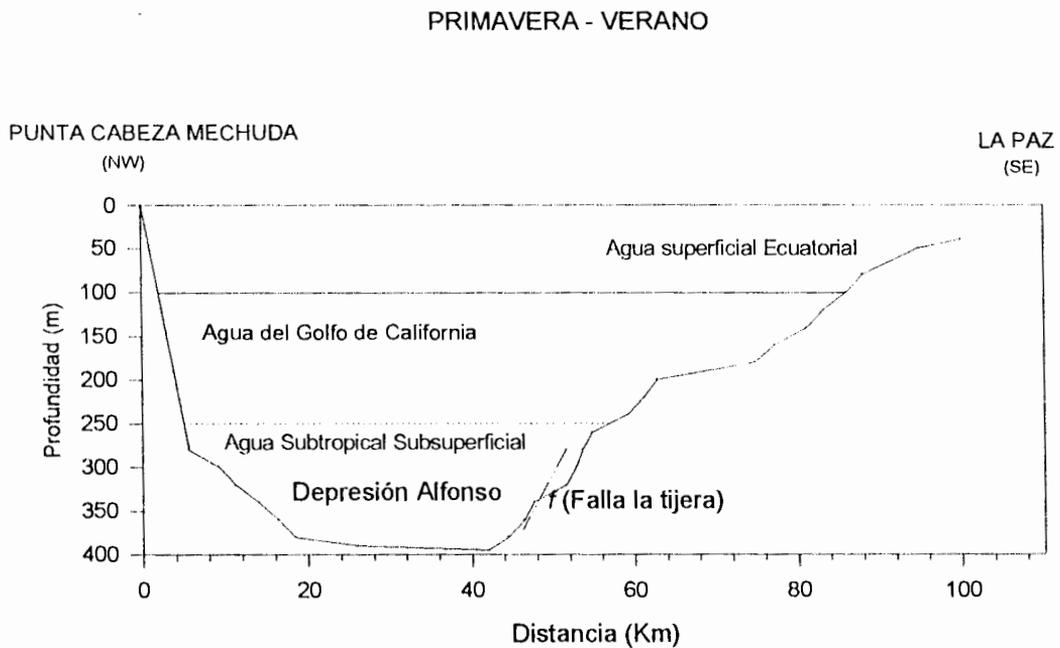


Fig. 10 Esquema de la distribución de las masas de agua presentes en la bahía de La Paz, durante primavera-verano. Basado en un perfil batimétrico en dirección NW (boca) - SE (La Paz).

IV.2.3. Transparencia.

La figura 11 muestra la distribución estacional de la transparencia del agua, estimada a partir de la profundidad de visión del disco de Secchi, para los diferentes meses muestreados. En el mes de marzo se registran los valores más bajos (4-10 m) y conforme va avanzando el tiempo ésta va aumentando, hasta registrar en octubre los valores más altos (10-26 m).

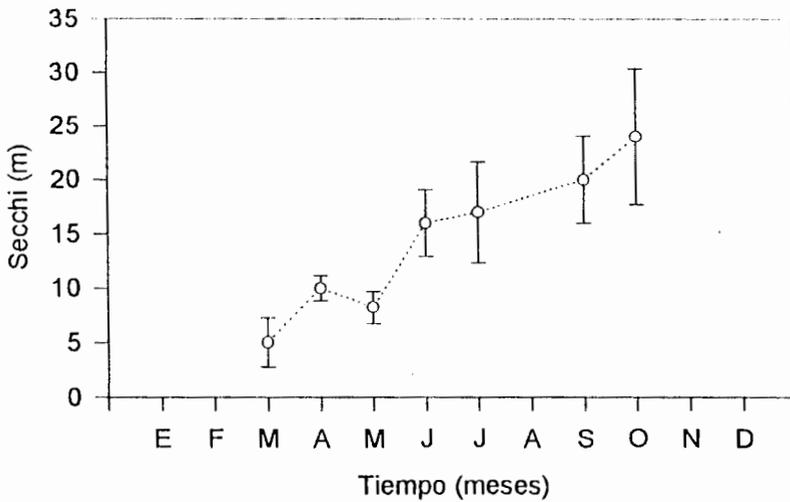


Fig. 11 Variación estacional de la profundidad de desaparición del disco de Secchi en la bahía de La Paz.

La distribución espacial de la transparencia para cada mes de observaciones, refleja a lo largo del eje longitudinal de la bahía un gradiente de transparencia que en el mes de marzo varía entre los 4 y 10 m, siendo la zona somera la que presenta los valores más bajos (Fig. 12). En el mes de mayo se observa que este gradiente se vuelve homogéneo con valores de 6 a 10 m (Fig. 12).

Para el mes de junio este gradiente presenta variaciones entre los 11 y 20 m, observándose que en la entrada de la bahía se encuentra menos transparente que la zona intermedia y parte de la somera (Fig. 13). En el mes de julio se observa una homogenización en toda la bahía con un intervalo entre 16 a 25 m, a excepción de la porción somera que presenta valores entre 5 y 15 m al igual que la parte oeste de la bahía (Fig. 13).

Para el mes de septiembre el gradiente de transparencia muestra una mayor variabilidad cuyo intervalo va de 11 a 25 m (Fig. 14). Finalmente en el mes de octubre este gradiente tiende a ser más homogéneo en el intervalo de 21 a 25 m, sin embargo, pueden apreciarse núcleos entre los 16 a 20 y de 15 a 20 m en la parte sur de la bahía (Fig. 14).

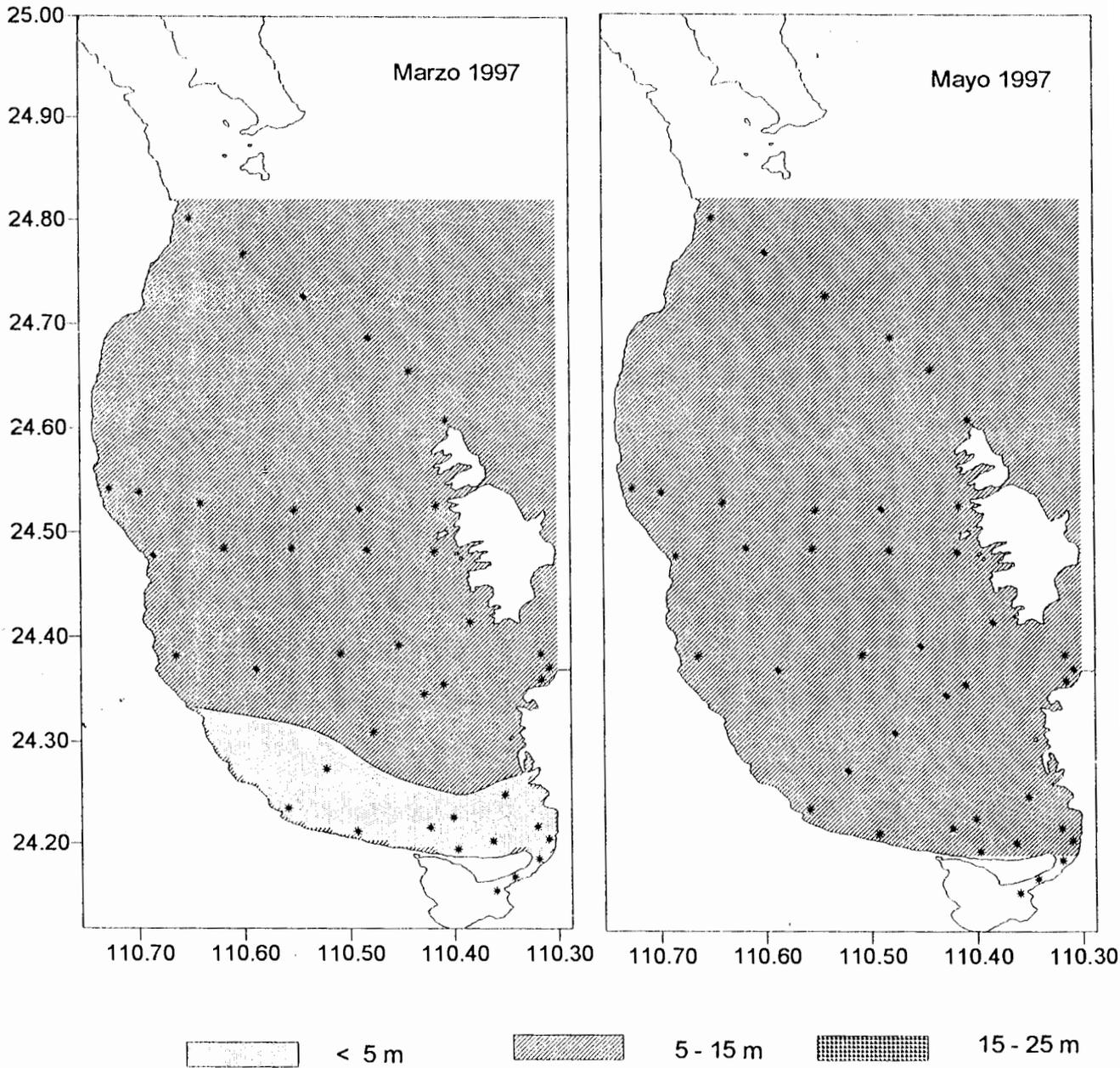


Fig. 12 Distribución horizontal de la transparencia en los meses de marzo y mayo de 1997 para la bahía de La Paz.

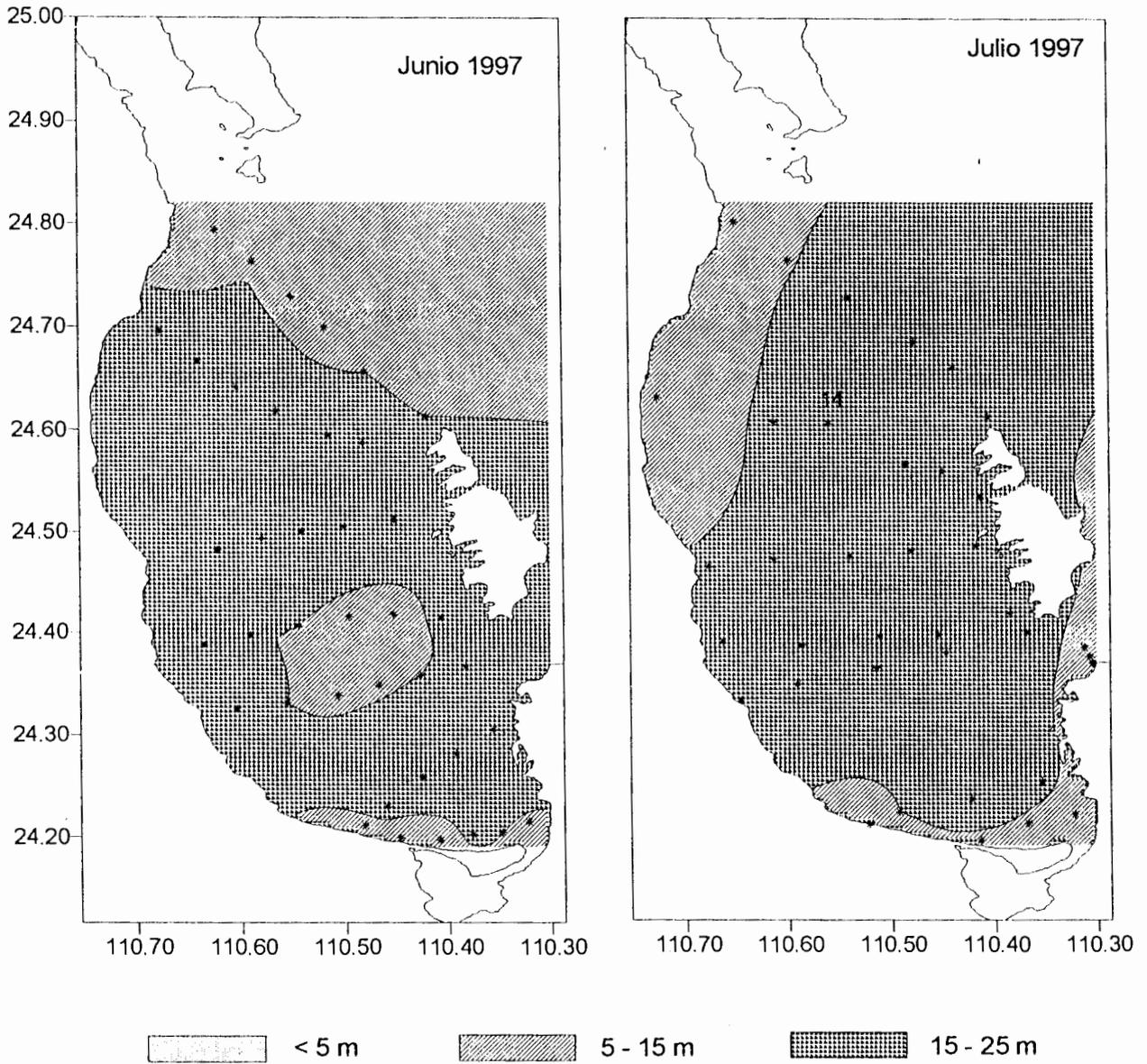


Fig. 13 Distribución horizontal de la transparencia en los meses de junio y julio de 1997 para la bahía de La Paz.

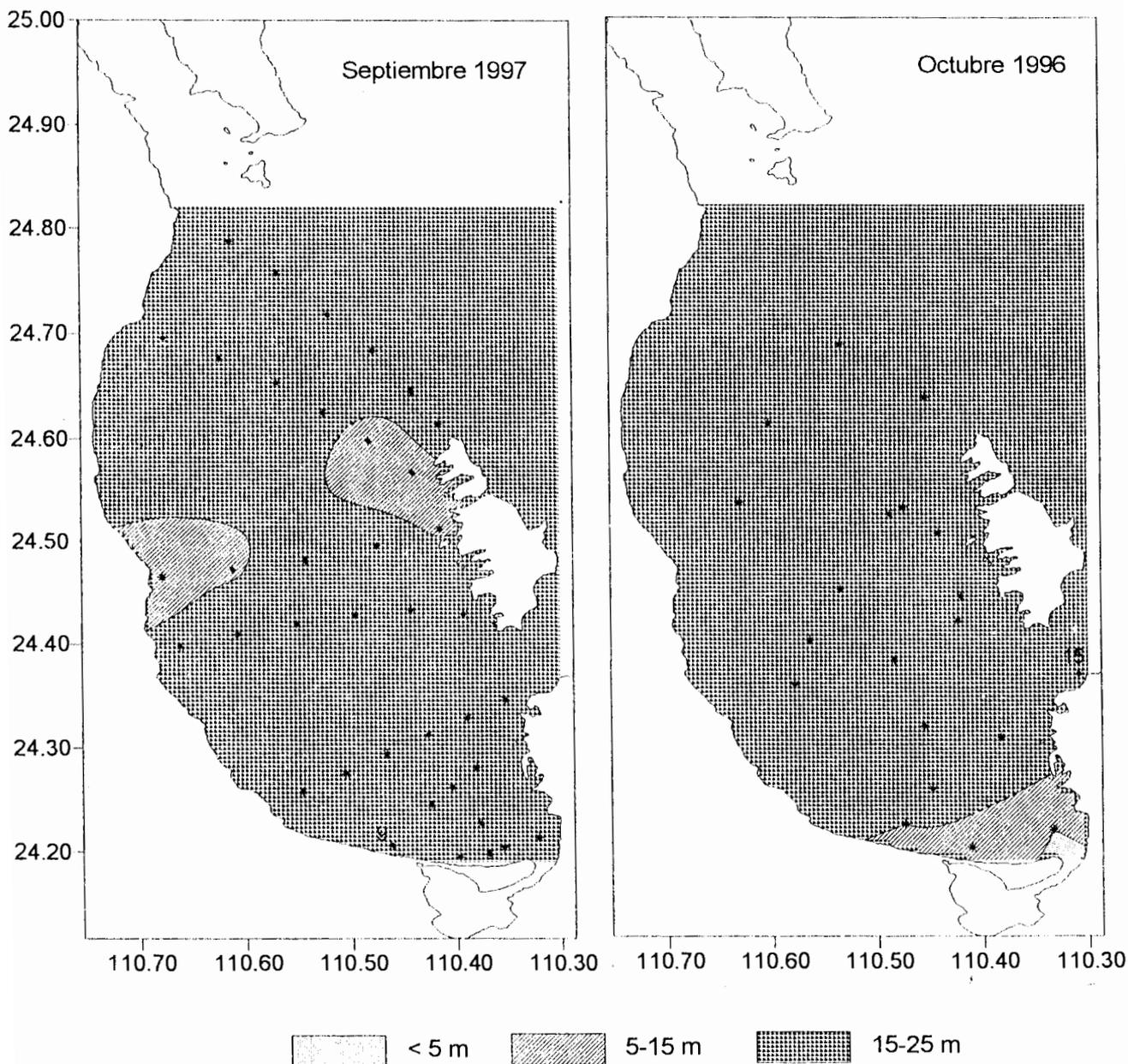


Fig. 14 Distribución horizontal de la transparencia en los meses de septiembre de 1997 y octubre de 1996 para la bahía de La Paz.

A partir de las lecturas del disco de Secchi y los valores de irradiancia obtenidos con el PNF-300 se calculó el coeficiente de atenuación de luz difusa (K_d) para cada mes (Fig.15). Las constantes obtenidas son: $1.55/S_D$, $1.70/S_D$, $1.66/S_D$, $1.86/S_D$ y $1.98/S_D$ para el mes de marzo, abril, mayo, junio y septiembre respectivamente. Los valores muestran una variación que refleja los cambios en la composición del material suspendido en la columna de agua con diferentes propiedades ópticas en la bahía.

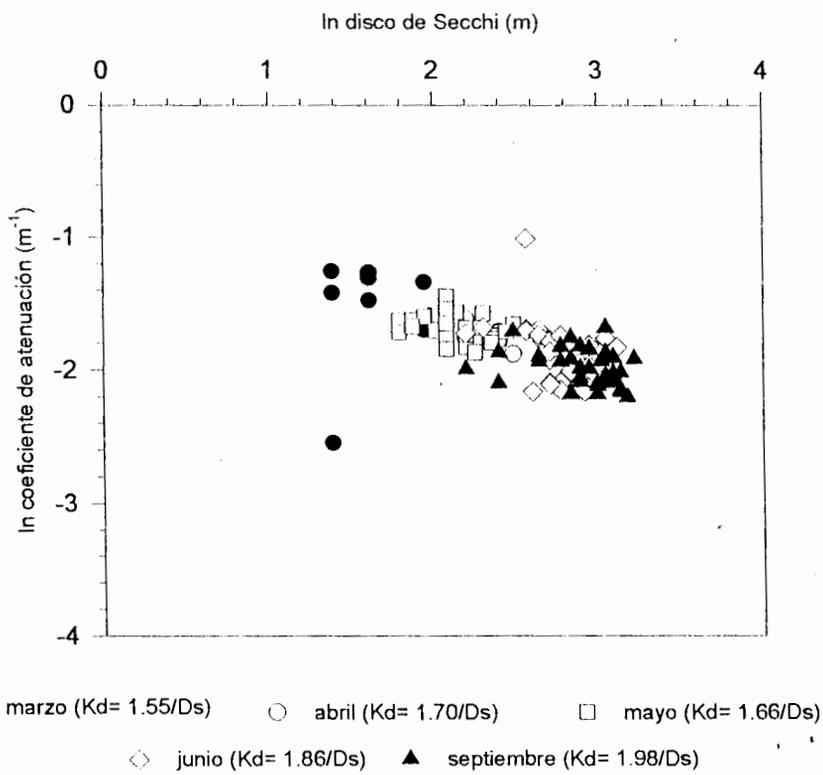


Fig. 15 Relación entre el coeficiente de atenuación difusa y lecturas del disco de Secchi para la bahía de La Paz.

La relación entre el coeficiente de atenuación de luz difusa y el recíproco de las lecturas del disco de Secchi muestran un coeficiente de determinación de 0.63 ($p < 0.05$, $n = 125$), (Fig. 16).

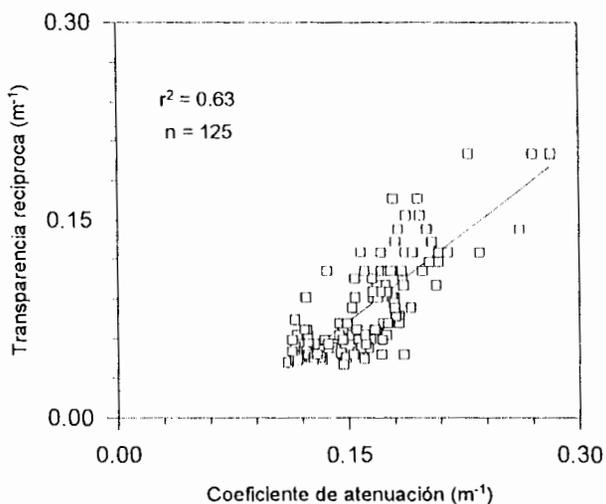


Fig. 16 Relación entre el coeficiente de atenuación difusa y el recíproco del disco de Secchi para la bahía de la Paz.

IV. 2.4. Nutrientes.

En la bahía de La Paz la tendencia de las concentraciones superficiales promedio de nitratos (NO_3^-), nitritos (NO_2^-), fosfatos (PO_4) y silicatos (SiO_2) obtenidos durante los muestreos realizados (Tabla 5), muestra una marcada temporalidad. El máximo se observa en marzo para los tres primeros (3.61, 0.19 y 0.92 $\mu\text{g-at/l}$ respectivamente) el cual está seguido por una disminución de la concentración durante los meses siguientes hasta observarse el mínimo en junio para NO_2^- (0.02 $\mu\text{g-at/l}$), julio para NO_3^- (0.25 $\mu\text{g-at/l}$) y septiembre para PO_4 (0.38 $\mu\text{g-at/l}$). En lo que respecta al SiO_2 este presenta un máximo en abril (30.33 $\mu\text{g-at/l}$) y un mínimo en septiembre (1.89 $\mu\text{g-at/l}$) (Fig. 17).

Tabla 5. Promedio (MED) mensual de las concentraciones superficiales de nutrientes ($\mu\text{g-at/l}$), con sus respectivas desviaciones estándar (STD) en la bahía de La Paz durante 1997. Concentraciones máximas (MAX) y mínimas (MIN), (* 1996), ND = no detectable.

NITRATOS (NO_3^-)					NITRITOS (NO_2^-)			
MES	MED	STD	MAX	MIN	MED	STD	MAX	MIN
MAR.	3.71	2.69	10.54	0.36	0.19	0.14	0.50	ND
ABR.	1.87	1.16	4.55	ND	0.03	0.01	0.05	ND
MAY.	0.66	0.25	1.52	ND	0.03	0.02	0.07	ND
JUN.	0.36	0.32	1.58	ND	0.02	0.01	0.07	ND
JUL.	0.25	0.20	0.55	ND	0.03	0.02	0.12	ND
SEP.	0.50	0.20	1.15	ND	0.03	0.05	0.23	ND
OCT.*	2.43	0.67	4.05	1.53	0.06	0.05	0.20	ND
FOSFATOS (PO_4)					SILICATOS (SiO_2)			
MES	MED	STD	MAX	MIN	MED	STD	MAX	MIN
MAR.	0.92	0.26	1.57	0.44	13.11	9.85	43.06	ND
ABR.	0.82	0.13	1.17	0.51	30.33	23.58	81.60	4.10
MAY.	0.74	0.11	1.04	0.43	6.22	11.21	49.85	ND
JUN.	0.67	0.06	0.81	0.52	4.27	2.68	10.51	ND
JUL.	0.56	0.03	0.61	0.50	3.73	2.45	6.82	ND
SEP.	0.38	0.19	1.51	0.23	1.89	0.71	3.50	ND
OCT.*	0.64	0.09	0.79	0.51	2.45	5.32	22.49	0.32

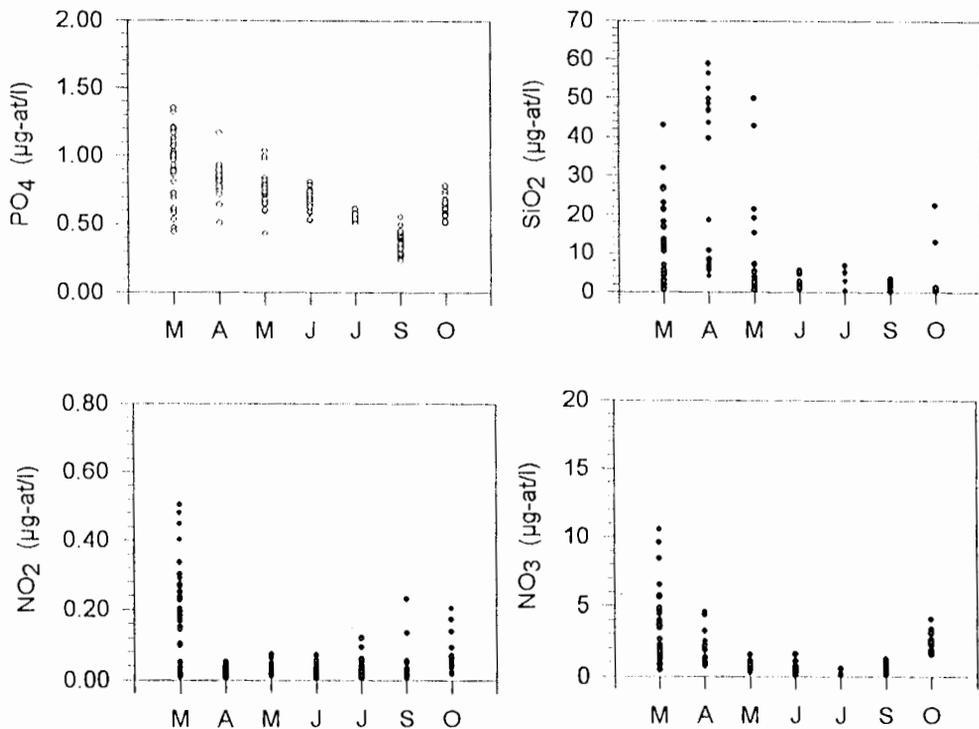


Fig. 17 Concentración ($\mu\text{g-at/l}$) de nutrientes inorgánicos en la bahía de La Paz, durante 1997.

Los perfiles verticales de los nutrientes analizados está representada en la figura 18 para los meses de junio, julio y septiembre. Observándose de manera general que la estructura térmica descrita para estos meses tiene efecto sobre los nutrientes analizados, los cuales son mejor diferenciados en los estratos superficial, < 30 y > 30 m. En los tres meses es posible observar que la máxima concentración se localiza en el estrato > 30 m, profundidad a la cual presumiblemente se localiza la nutriclina (Fig. 18).

JUNIO.

Particularmente la distribución vertical de la concentración de NO_3 , NO_2 , PO_4 y SiO_2 durante el mes de junio presenta valores promedio muy constantes en el estrato superficial (0.36, 0.02, 0.67 y 2.90 $\mu\text{g-at/l}$ respectivamente). En el estrato < 30 m se observa un incremento notable en la concentración de los cuatro nutrientes (NO_3 : 1.43, NO_2 : 0.10, PO_4 : 0.94 y SiO_2 : 7.41 $\mu\text{g-at/l}$). Para el estrato > 30 m el incremento en la concentración es de 5.21, 0.65, 1.36 y 10.75 $\mu\text{g-at/l}$ para NO_3 , NO_2 , PO_4 y SiO_2 respectivamente. La prueba t de Student realizada entre cada estrato confirma una diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre cada uno de ellos (Fig. 18).

JULIO.

La distribución vertical de los nutrientes para los tres estratos sigue un patrón similar al de junio. En el cual el estrato superficial mantiene valores promedio constantes (NO_3 : 0.25, NO_2 : 0.03, PO_4 : 0.56 y SiO_2 : 3.73 $\mu\text{g-at/l}$). El incremento es significativo ($P \leq 0.05$) tanto para el estrato < 30 (NO_3 : 0.54, NO_2 : 0.06, PO_4 : 0.68 y SiO_2 : 4.33 $\mu\text{g-at/l}$) como para el estrato > 30 m (NO_3 : 3.07, NO_2 : 0.17, PO_4 : 0.80 y SiO_2 : 12.34 $\mu\text{g-at/l}$) (Fig. 18).

SEPTIEMBRE.

Durante el mes de septiembre el incremento en la concentración de los nutrientes con la profundidad fue significativamente ($P \leq 0.05$) mayor en los estratos < 30 y > 30 m con respecto al estrato superficial. En este último se observó que los NO_3 ligeramente se incrementaron (0.50 $\mu\text{g-at/l}$). Los NO_2 permanecen constantes (0.03 $\mu\text{g-at/l}$) y finalmente los PO_4 (0.38 $\mu\text{g-at/l}$) y SiO_2 (1.89 $\mu\text{g-at/l}$) disminuyeron. En los estratos < 30 y > 30 m los valores promedio fueron significativamente mayores (NO_3 : 1.01, 4.09; NO_2 : 0.03, 0.23; PO_4 : 0.44, 0.85 y SiO_2 : 2.62, 4.57 $\mu\text{g-at/l}$ respectivamente) (Fig. 18).

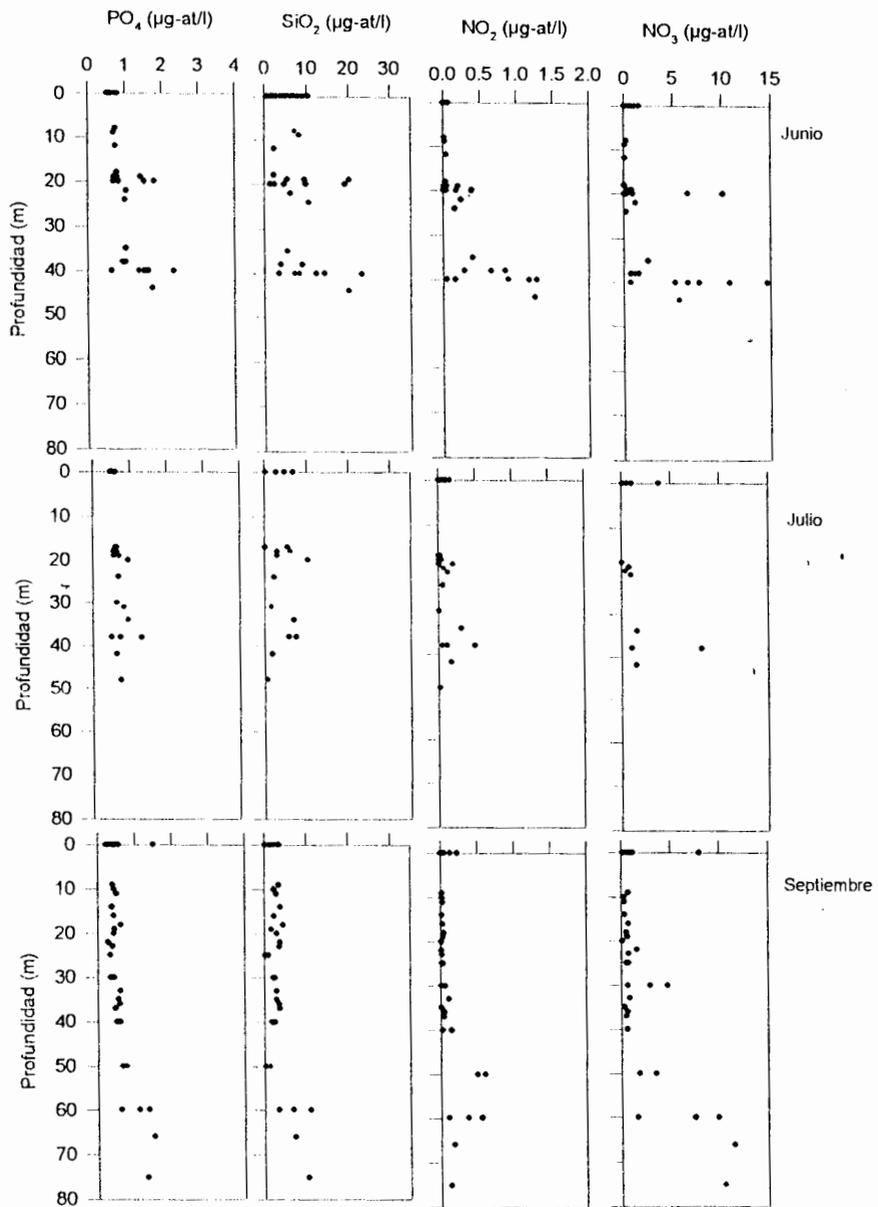


Fig. 18 Distribución vertical de nutrientes inorgánicos durante los meses de junio, julio y septiembre 1997.

En general los NO_3 presentan una mayor variabilidad espacial, por lo que a continuación se describe su comportamiento durante todo el período de muestreo. Para los NO_2 , PO_4 y SiO_2 su comportamiento es más homogéneo describiéndose los meses de marzo y junio como representantes del período primavera-verano.

IV 2.4.1. Nitratos.

MARZO.

El patrón espacial que tiene este nutriente en la bahía, nos muestra que para la zona somera y parte de la intermedia las concentraciones registradas fueron mayores a $3.00 \mu\text{g-at/l}$. En la zona profunda las concentraciones oscilan entre 1.00 y $3.00 \mu\text{g-at/l}$ a excepción de dos estaciones cercanas a la costa, las cuales presentan concentraciones $< 1.00 \mu\text{g-at/l}$ (Fig. 19).

ABRIL.

En el caso del mes de abril las estaciones ubicadas cerca de la isla la partida y espíritu santo presentan las concentraciones más altas ($> 3.00 \mu\text{g-at/l}$). Las estaciones ubicadas en la zona intermedia y somera presentan concentraciones en el intervalo de 1.00 a $3.00 \mu\text{g-at/l}$, excepto una pequeña parte de esta última que presenta concentraciones que van desde ND hasta $1.00 \mu\text{g-at/l}$.

MAYO.

En el mes de mayo es evidente observar el cambio que se presenta en la distribución de la concentración de nitratos ya que estos se presentan muy homogéneos en toda la bahía. Las concentraciones son desde ND hasta $1.00 \mu\text{g-at/l}$, excepto en la zona profunda (cercana de las islas), en la que se presentan valores de 1.10 a $1.50 \mu\text{g-at/l}$ (Fig. 19).

JUNIO.

En el mes de junio se sigue manteniendo el patrón descrito para el mes de mayo. Las concentraciones superficiales registradas son desde ND a 1.00 $\mu\text{g-at/l}$. Los valores altos (1.10 y 1.60 $\mu\text{g-at/l}$) que se registran en este mes se localizan entre la zona profunda e intermedia muy cercanas a las islas (Fig. 20).

JULIO.

Durante el mes de julio la distribución espacial de NO_3 es muy uniforme en toda la bahía. Las concentraciones registradas oscilan entre ND y 1.00 $\mu\text{g-at/l}$. Registrándose en la zona intermedia valores hasta de 3.00 $\mu\text{g-at/l}$ (Fig. 20).

SEPTIEMBRE.

Para el mes de septiembre nuevamente se puede apreciar una homogeneidad en la distribución espacial de NO_3 (ND hasta 1.00 $\mu\text{g-at/l}$) como en los meses de mayo, junio y julio. A diferencia de estos se observa un ligero incremento (1.20 $\mu\text{g-at/l}$) en la concentración de NO_3 en la zona intermedia del lado de la costa (Fig. 21).

OCTUBRE.

En el mes de octubre puede apreciarse que las concentraciones aumentan en las tres zonas con concentraciones dentro del intervalo de 1.00 a 3.00 $\mu\text{g-at/l}$. Excepto en algunas estaciones en las que se registran valores mayores a 3.00 $\mu\text{g-at/l}$ (Fig. 21).

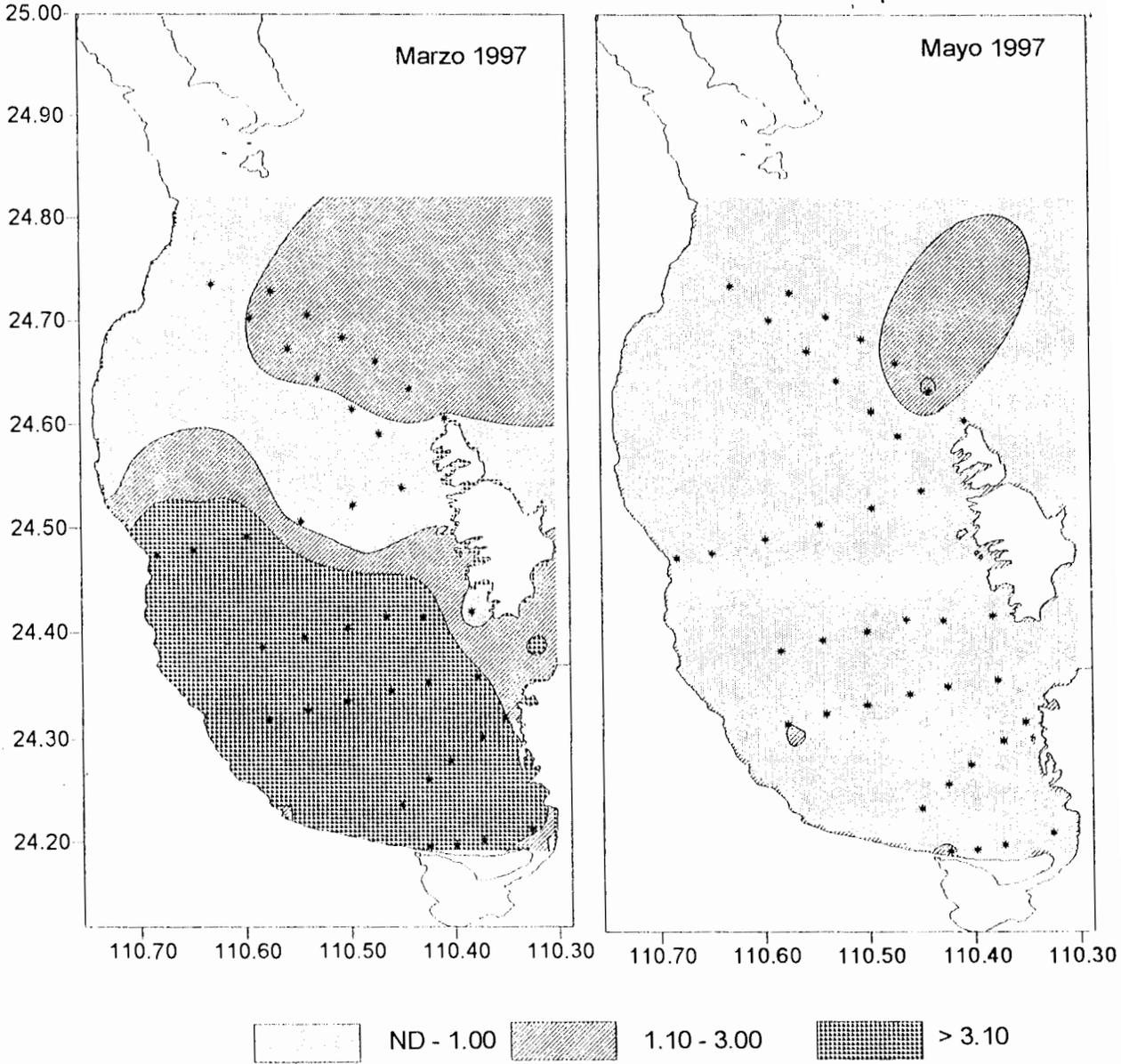


Fig. 19 Distribución superficial de la concentración de nitratos ($\mu\text{g-at/l}$) en los meses de marzo y mayo de 1997.

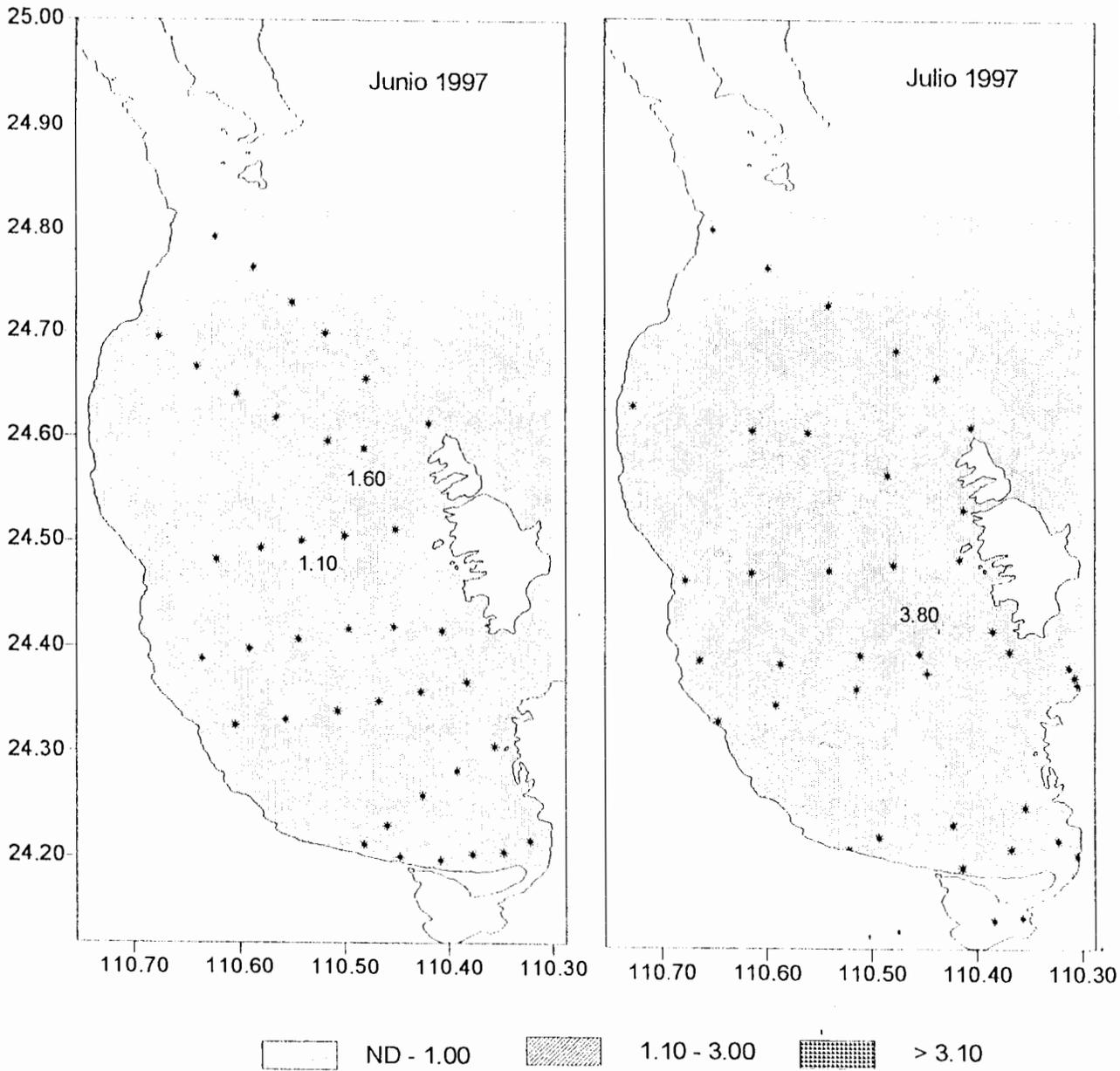


Fig. 20 Distribución superficial de la concentración de nitratos ($\mu\text{g-at/l}$) en los meses de junio y julio de 1997.

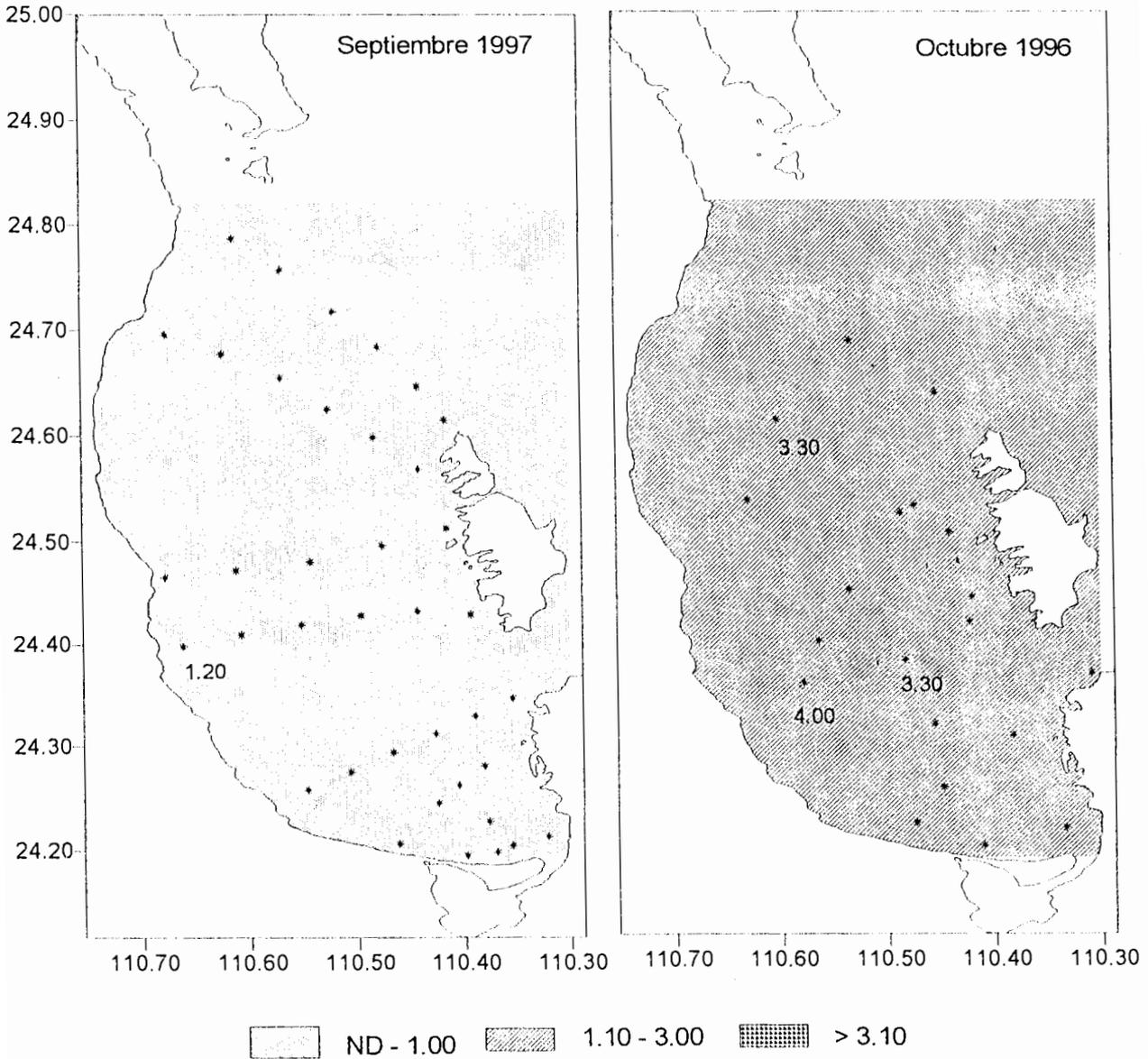


Fig. 21 Distribución superficial de la concentración de nitratos ($\mu\text{g-at/l}$) en los meses de septiembre de 1997 y octubre de 1996.

IV.2.4.2. Nitritos.

MARZO.

La concentración de nitritos superficiales, en los muestreos realizados varían generalmente en un intervalo entre ND y 0.30 $\mu\text{g-at/l}$. Registrándose en marzo las máximas concentraciones. Así mismo la distribución espacial nos muestra que la zona profunda e intermedia de la bahía presenta las máximas concentraciones las cuales varían entre 0.10 y mayores a 0.30 $\mu\text{g-at/l}$. En esta última zona también se observan concentraciones que van desde 0.10 hasta 0.30 $\mu\text{g-at/l}$ (Fig. 22). Finalmente se puede apreciar que las mínimas concentraciones (ND a 0.10 $\mu\text{g-at/l}$) se localizan en la parte somera de la bahía.

JUNIO.

En el mes de junio, los NO_2 al igual que los NO_3 presentan una distribución superficial homogénea en toda la bahía. Las concentraciones varían en un intervalo de ND hasta 0.10 $\mu\text{g-at/l}$ (Fig. 22).

IV 2.4.3. Fosfatos.

MARZO.

La distribución espacial de los fosfatos durante marzo es en su mayor parte homogénea, con concentraciones que oscilan entre 0.50 y 1.50 $\mu\text{g-at/l}$. Es posible observar que la zona intermedia presenta valores mayores a 1.50 $\mu\text{g-at/l}$. Así mismo en parte de la zona somera se registran valores dentro del intervalo ND a 0.50 $\mu\text{g-at/l}$ (Fig. 23).

JUNIO.

Los PO_4 al igual que los NO_3 y NO_2 en el mes de junio presentan una variación espacial uniforme. Los valores registrados oscilan entre 0.50 y 1.50 $\mu\text{g-at/l}$ (Fig. 23).

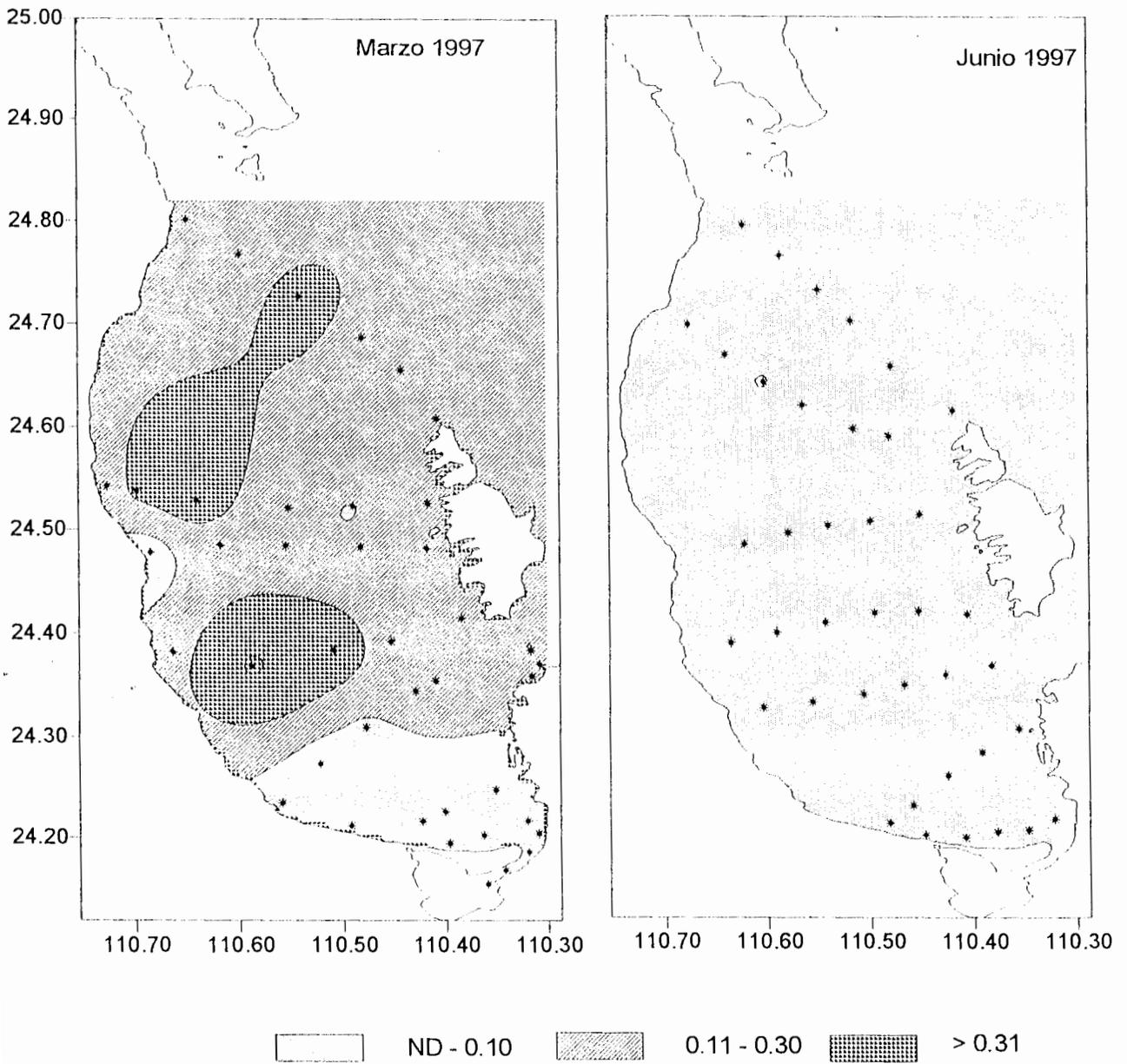


Fig. 22 Distribución superficial de la concentración de nitritos ($\mu\text{g-at/l}$) en los meses de marzo y junio.

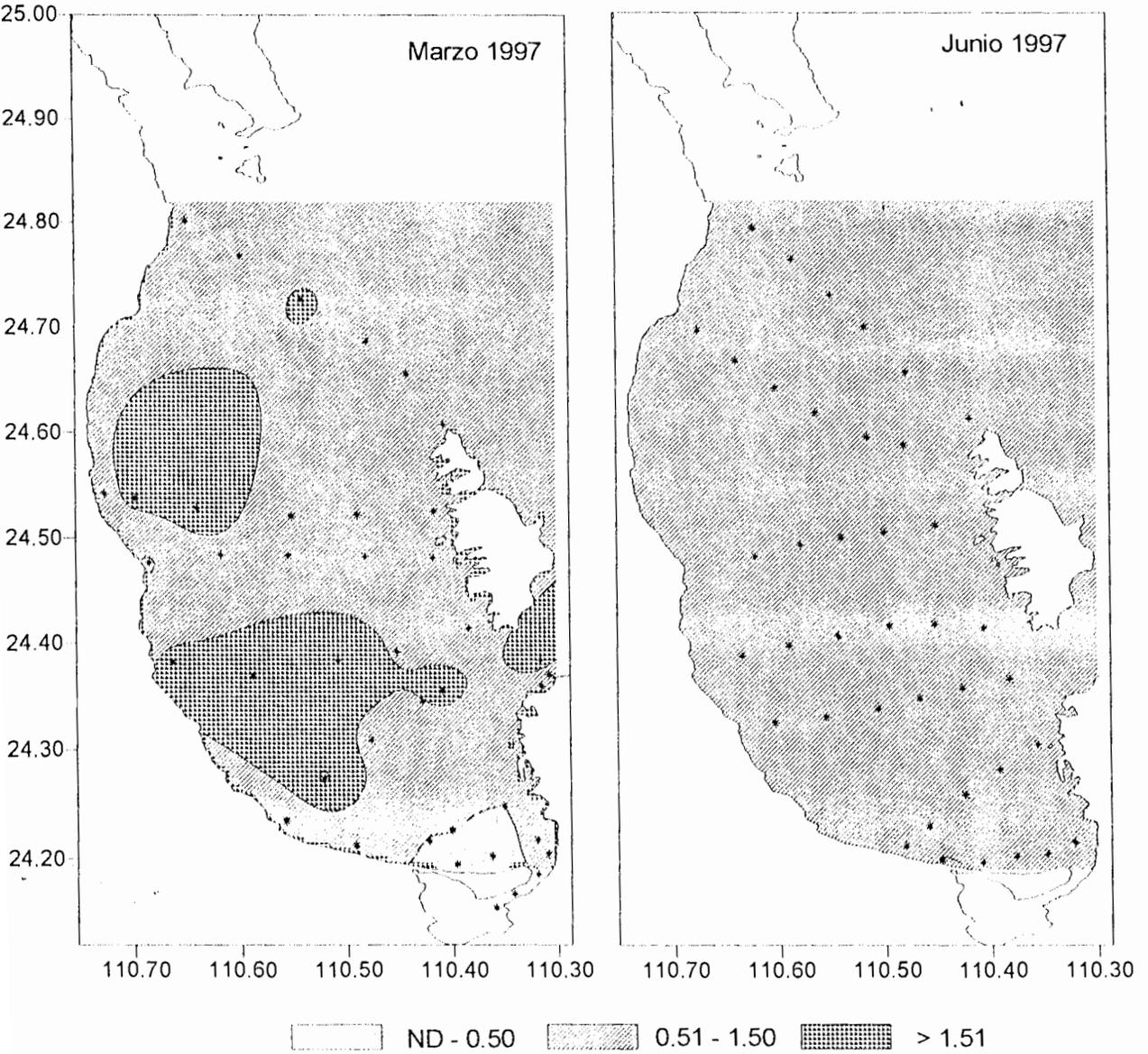


Fig. 23 Distribución superficial de la concentración de fosfatos ($\mu\text{g-at/l}$) en los meses de marzo y junio.

IV 2.4.4. Silicatos.

MARZO.

La concentración de silicatos presenta una diferencia espacial más conspicua. En la mayor parte de la zona profunda se registraron concentraciones de 5.00 a 10.00 $\mu\text{g-at/l}$. La zona intermedia es la que presenta una mayor variabilidad, observándose un gradiente frente a la isla Espíritu Santo con concentraciones que van desde ND hasta 10.00 $\mu\text{g-at/l}$ ubicándose los valores más bajos en el centro y en la periferia los $>10 \mu\text{g-at/l}$. En la zona somera se registraron valores desde ND a 5.00 $\mu\text{g-at/l}$ cerca de la costa, posterior a estas se registra un incremento hacia la zona intermedia ($>10.00 \mu\text{g-at/l}$)(Fig. 24).

JUNIO.

Para el mes de junio podemos observar que el patrón de distribución cambia con respecto a marzo. Las concentraciones de silicatos empiezan a disminuir (ND hasta 10.00 $\mu\text{g-at/l}$) y tienden a ser homogéneas en la zona profunda y algunas regiones de la zona intermedia y somera. En la zona intermedia se registraron valores que oscilan entre 5.00 y 10.00 $\mu\text{g-at/l}$ cercanos a la zona somera en la cual se presentan las máximas concentraciones del lado de la costa (Fig. 24).

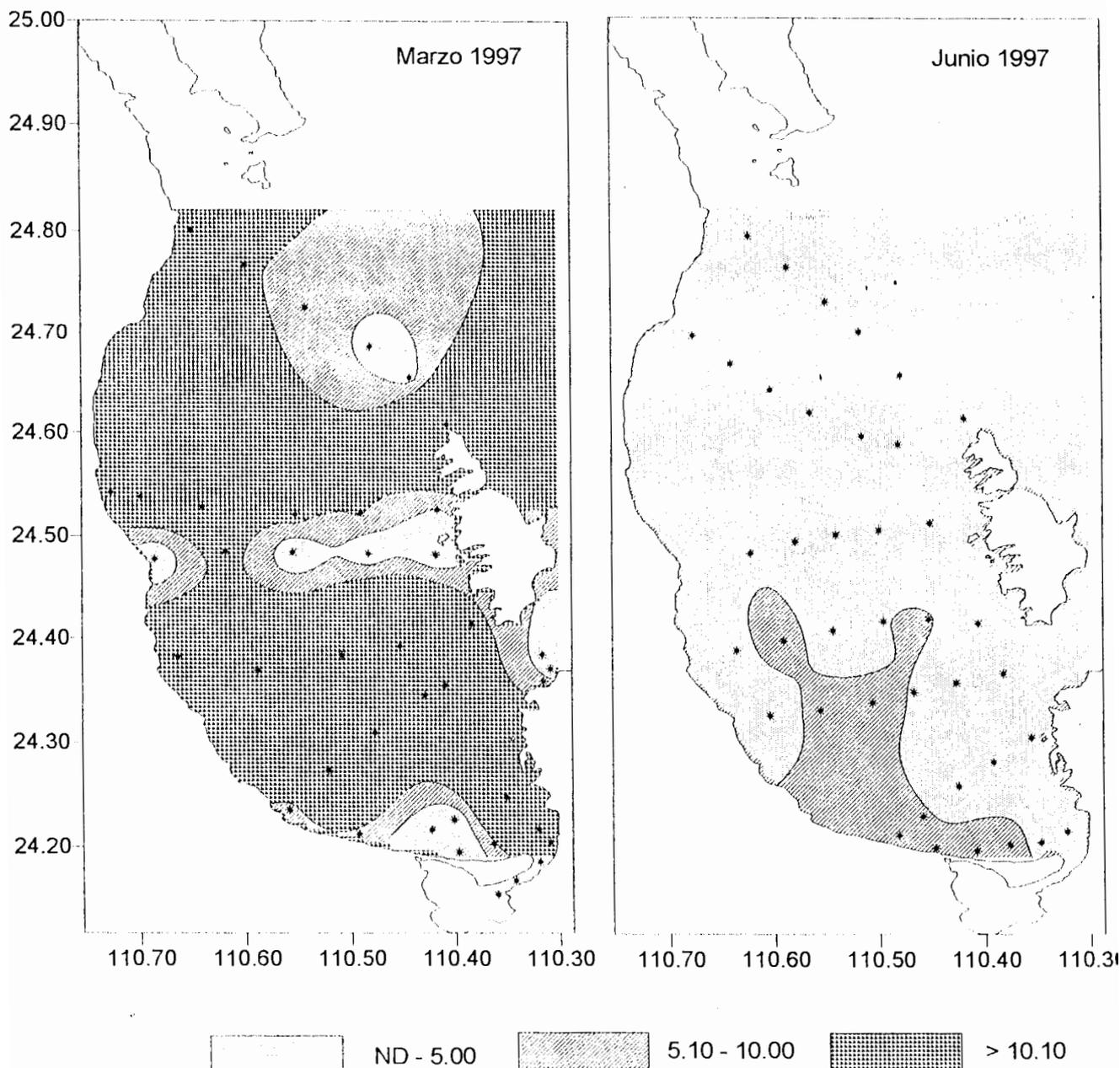


Fig. 24 Distribución superficial de la concentración de silicatos ($\mu\text{g-at/l}$) en los meses de marzo y junio.

IV.2.5. Clorofila a y Seston.

En la tabla 6 se presentan las medias de las concentraciones superficiales de clorofila a (Cla) y seston para cada mes muestreado. La mayor concentración de Cla se observa para el mes de marzo (0.89 mg m^{-3}), mientras que la de seston se registra en el mes de mayo (0.69 g m^{-3}).

Tabla 6. Promedio superficial mensual (MED) de Cla (mg m^{-3}) y seston (g m^{-3}) para la bahía de La Paz, durante 1997 (* 1996).

MES	Cla (mg m^{-3})		SESTON (g m^{-3})	
	MED	MAX-MIN	MED	MAX-MIN
MAR.	0.89	1.94 - 0.23	0.59	1.42 - 0.12
ABR.	0.60	1.52 - 0.07	0.47	2.28 - 0.16
MAY.	0.48	0.88 - 0.18	0.69	2.30 - 0.19
JUN.	0.37	0.84 - 0.22	0.61	2.07 - 0.08
SEP.	0.04	1.90 - 0.08	0.57	1.46 - 0.15
OCT.*	0.06	0.16 - 0.02	0.24	0.95 - 0.02

Para reducir la dispersión que tienen los datos de Cla y seston sobre su media se calcularon las medianas mensuales. En términos generales se observa que, durante, marzo y abril los valores de las medianas correspondientes a Cla fueron altas y las correspondientes al seston bajas en contraste con los meses siguientes (mayo, junio, septiembre y octubre) en los que la Cla disminuye y el seston se incrementa (Fig. 25). Es posible observar que la Cla presenta claramente un patrón estacional cuyo máximo se registra en el mes de marzo. Posteriormente se observa un decremento hasta registrarse su valor mínimo en el mes de octubre (0.06 mg m^{-3}). Sin embargo en el seston no es posible observar un patrón definido, registrándose la máxima concentración en el mes de mayo y la mínima en el mes de octubre (0.24 g m^{-3}).

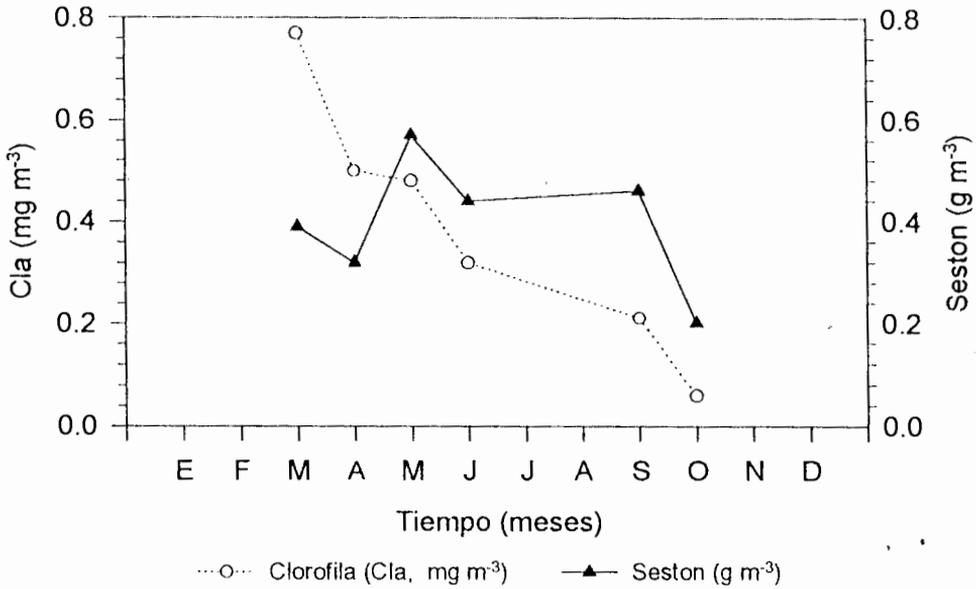


Fig. 25 Concentración superficial de Cla (mg m⁻³) y seston (g m⁻³) representadas por las medianas mensuales para la bahía.

Distribución espacial de Cla.

MARZO.

En general la distribución espacial que presenta la concentración superficial de Cla para el mes de marzo describe un gradiente sureste a noroeste con concentraciones desde indetectables hasta >1.00 mg m⁻³ (Fig. 26). En la zona profunda se registraron concentraciones que oscilan entre 0.50 y 1.00 mg m⁻³. Para la zona intermedia las mayores concentraciones se observaron frente a las islas y las menores hacia la línea de costa. En la zona somera las menores concentraciones (ND hasta 0.50 mg m⁻³) se registraron frente a la ensenada de La Paz.

ABRIL.

Para el mes de abril la región intermedia de la bahía presenta concentraciones de Cla entre 0.60 a 1.00 mg m⁻³ con un núcleo frente a las islas que presenta concentraciones hasta de 1.50 mg m⁻³.

MAYO.

En el mes de mayo la mayor parte de la bahía presenta concentraciones de Cla desde indetectables hasta 0.50 mg m⁻³. Excepto en la parte profunda cerca de la costa y parte de la región somera que presentan concentraciones entre 0.60 y 1.00 mg m⁻³ (Fig. 26).

JUNIO.

En junio puede apreciarse que la bahía presenta una homogenización total en la concentración superficial de Cla la cual se encuentra desde indetectable hasta 0.50 mg m⁻³. Sin embargo se observa que en algunas estaciones la concentración fue hasta de 0.84 mg m⁻³ (Fig. 27).

SEPTIEMBRE.

Para septiembre puede apreciarse un patrón similar al mes de junio en el que las concentraciones de Cla en la mayor parte de la bahía son desde indetectables hasta 0.50 mg m⁻³. Así mismo puede apreciarse para algunas estaciones concentraciones hasta de 1.90 mg m⁻³. Estas altas concentraciones se registraron frente a la ensenada de La Paz y en la zona profunda del lado de las islas (Fig. 27).

OCTUBRE.

Finalmente en el mes de octubre se hace más evidente la homogeneidad que existe en la bahía dado que las concentraciones de Cla registradas son menores de 0.50 mg m⁻³.

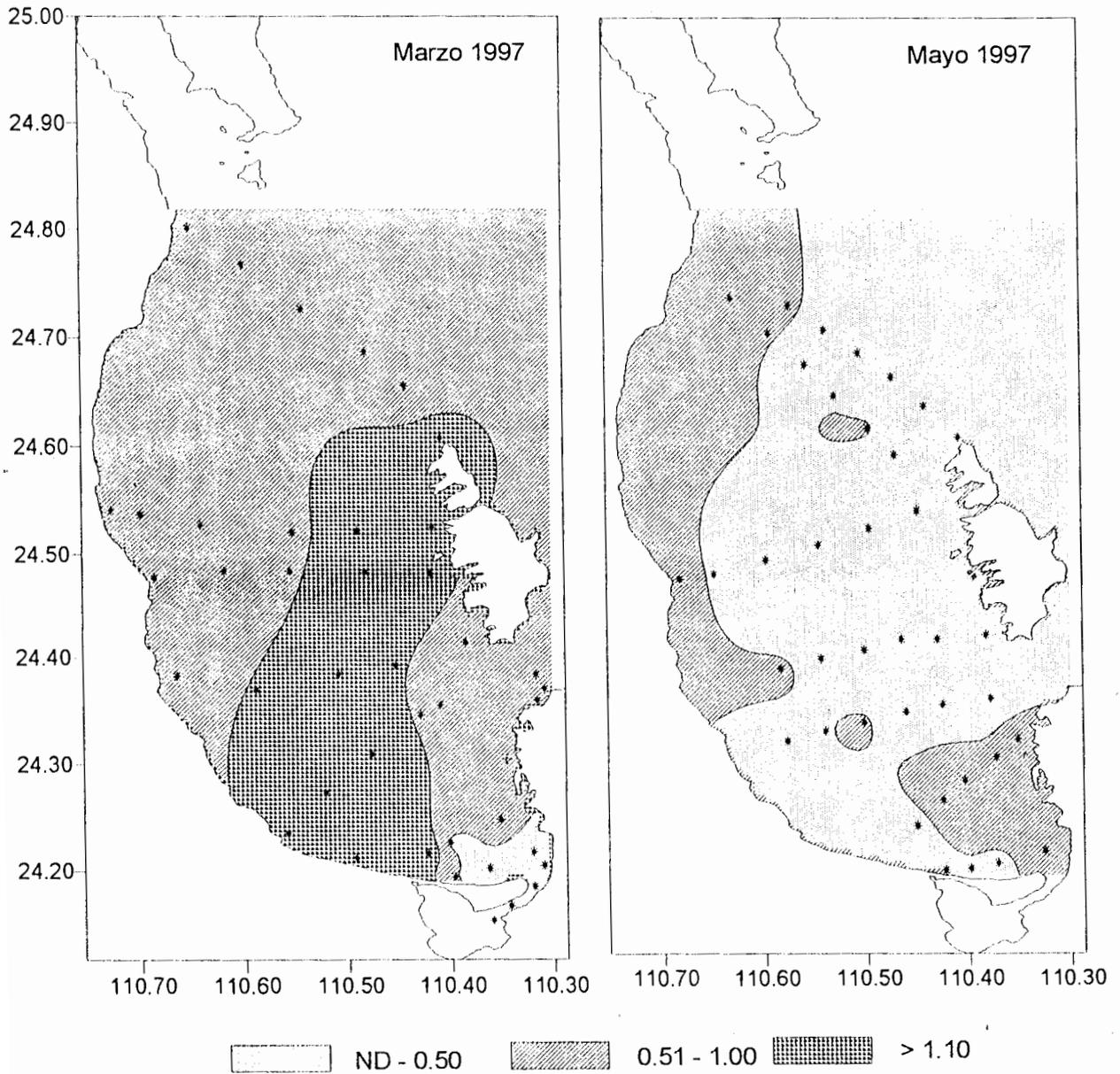


Fig. 26 Distribución superficial de Cla (mg m^{-3}) en los meses de marzo y mayo.

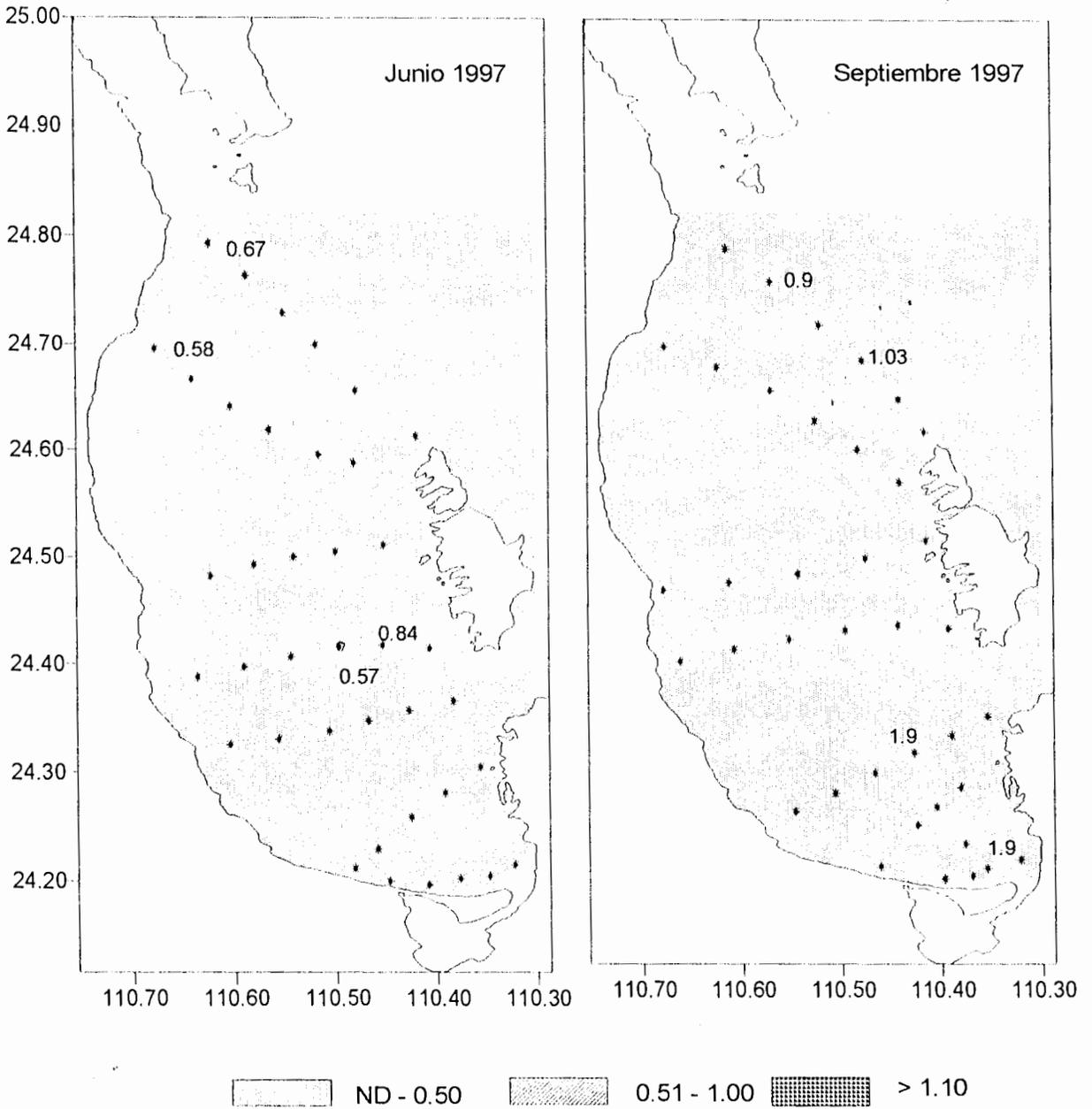


Fig. 27 Distribución superficial de Cla (mg m^{-3}) en los meses de junio y septiembre.

Distribución espacial de seston.

MARZO.

La distribución espacial de la concentración de seston en el mes de marzo presenta un gradiente que se caracteriza por tener concentraciones que van desde indetectables hasta 0.50 g m^{-3} en la región somera y profunda, registrándose las más altas concentraciones en la región intermedia ($1.10 - 1.50 \text{ g m}^{-3}$) hasta disminuir en ambos extremos (Fig. 28).

ABRIL.

En el mes de abril existe un gradiente noroeste-sureste cuyas concentraciones van desde lo indetectable hasta 2.00 g m^{-3} en la región cercana a la entrada de la Ensenada de la Paz.

MAYO.

Para el mes de mayo este gradiente tiende a desvanecerse y el patrón observado corresponde a núcleos con concentraciones desde indetectables hasta 0.50 g m^{-3} en la región intermedia y profunda. Sin embargo, puede apreciarse que el resto de la bahía presenta concentraciones desde 0.60 a 1.00 g m^{-3} (Fig. 28).

JUNIO.

En el mes de junio el seston presenta un gradiente noroeste-suroeste dominado por concentraciones indetectables hasta 0.50 g m^{-3} en la mayor parte de la bahía. Sin embargo, puede apreciarse un gradiente este-oeste que varía en cada una de las zonas establecidas. De tal manera que en la zona profunda este gradiente presenta las máximas concentraciones ($1.60-2.00 \text{ g m}^{-3}$) del lado este, muy cercano a las islas, progresivamente este gradiente va disminuyendo hasta observarse concentraciones desde indetectables hasta 0.50 g m^{-3} del lado de la costa (Fig. 29).

La zona central aparentemente sigue el mismo comportamiento que la zona profunda. En cambio en la zona somera este gradiente tiende a 'desvanecerse' presentando concentraciones muy homogéneas que van del orden de indetectables hasta 0.50 g m^{-3} , a excepción de la parte cercana a la Ensenada de la Paz que presenta concentraciones entre 0.60 y 1.00 g m^{-3} (Fig. 29).

SEPTIEMBRE.

Para el mes de septiembre nuevamente el patrón que guarda el seston cambia notoriamente observándose casi una completa homogeneidad en toda la bahía con concentraciones del orden de indetectables hasta 0.50 g m^{-3} . Las máximas concentraciones se registraron del lado de las islas (0.60 a 1.00 g m^{-3}) y del lado somero cercano a la costa (Fig. 29).

OCTUBRE.

Finalmente en el mes de octubre al igual que en septiembre las concentraciones de seston son más homogéneas oscilando entre ND y 0.50 g m^{-3} en las tres zonas de la bahía. Excepto una estación de la zona somera, en la cual se registro 0.95 g m^{-3} .

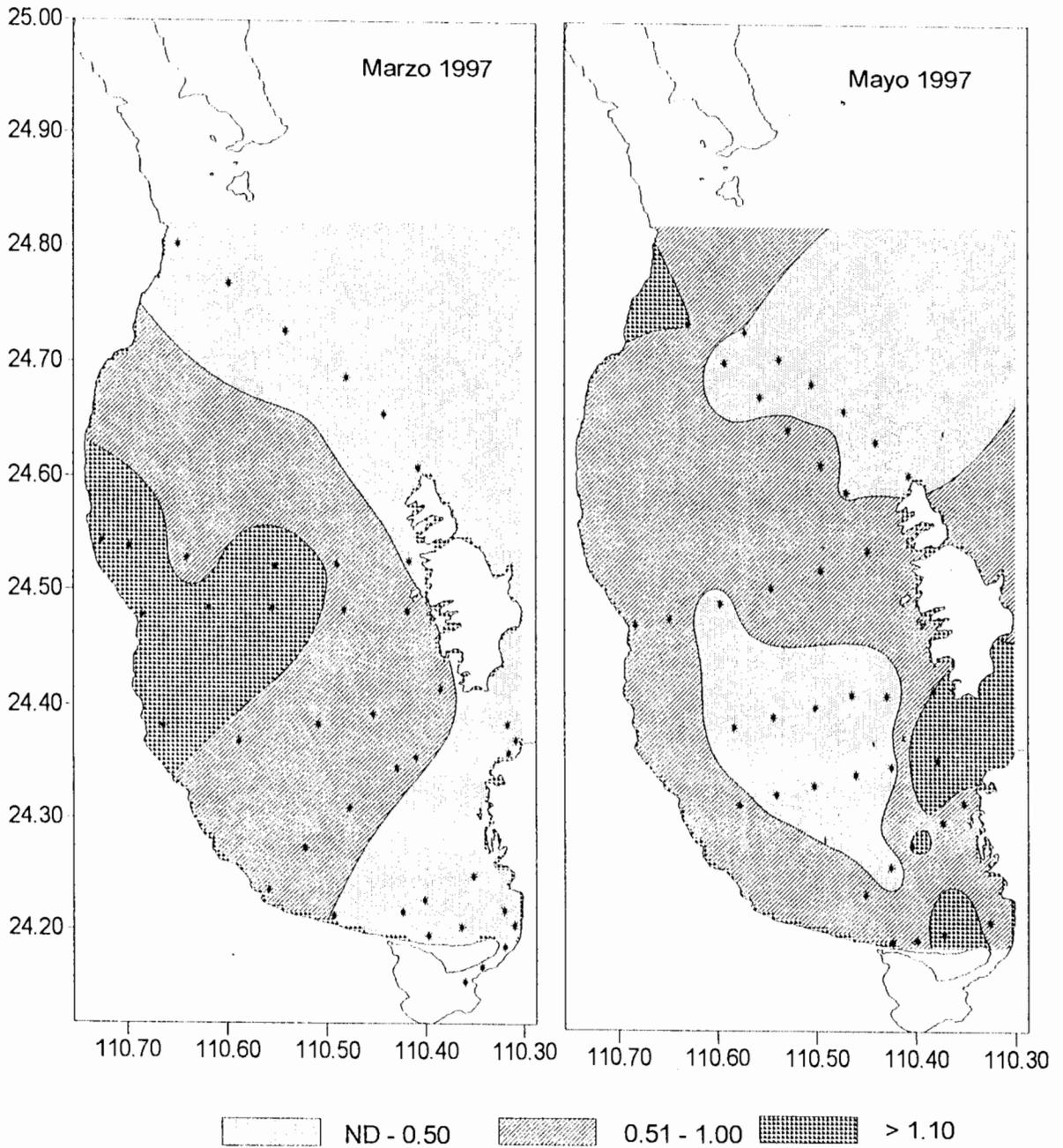


Fig. 28 Distribución superficial de seston (g m^{-3}) en los meses de marzo y mayo.

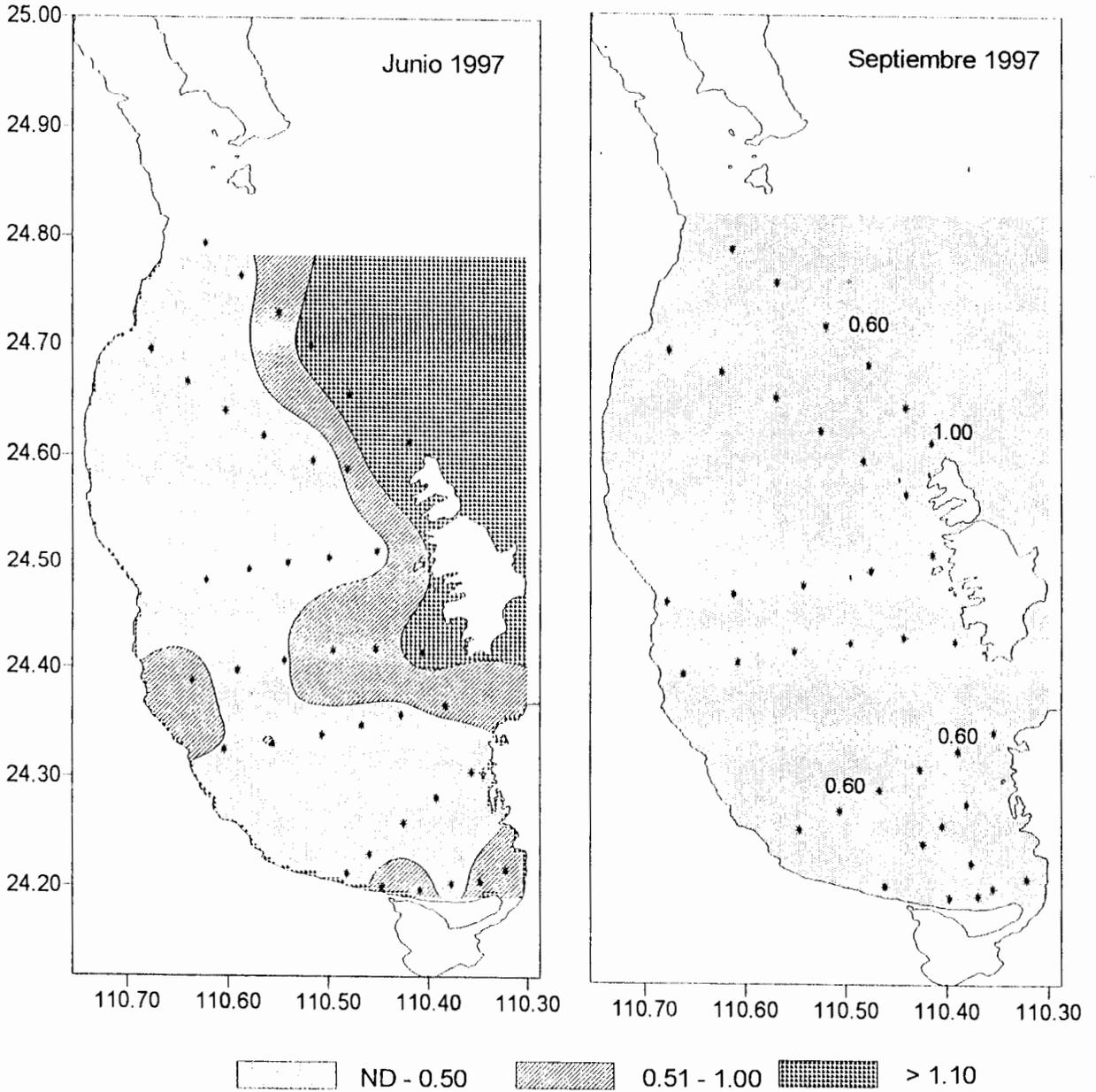


Fig. 29 Distribución superficial de seston (g m^{-3}) en los meses de junio y septiembre.

IV 3. PRODUCTIVIDAD PRIMARIA.

IV 3.1. Distribución Estacional.

Cuando se estima la productividad primaria mediante un perfilador de fluorescencia natural es necesario tener en cuenta algunos puntos: 1) evitar la contaminación de la señal de radiancia ascendente por la dispersión elástica de la luz del sol (Stegmann *et al.*, 1992); y 2) utilizar solo datos de profundidades mayores a 5 m. A este respecto García-Mendoza (1994) y García-Mendoza y Maske (1996) estiman una contribución de la radiancia ascendente de alrededor de 5 % a los 6 m. Llegando a ser mínima (aprox. 1.5%) a los 10 m, por lo que, puede despreciarse a profundidades mayores.

De acuerdo a lo anterior en la tabla 7 se presentan los valores promedio de productividad primaria a 5 m de profundidad y el promedio de productividad primaria integrada desde 5 m a la base de la zona eufótica.

Tabla. 7 Promedios (MED), máximos y mínimos (MAX-MIN) de productividad primaria a 5 m de profundidad y productividad primaria integrada desde 5 m a la base de la zona eufótica para la bahía de La Paz (*1996).

MES	Productividad primaria (5 m) nmol C m ⁻³ s ⁻¹		Productividad primaria (5m) mg C m ⁻³ h ⁻¹		Productividad primaria integrada (5 m - Ze) mg C m ⁻² h ⁻¹	
	MED	MAX - MIN	MED	MAX - MIN	MED	MAX - MIN
MAR.	370.91	726.51 - 133.59	16.02	31.39 - 7.77	106.06	172.81 - 34.38
ABR.	259.44	429.53 - 131.37	11.20	18.55 - 5.68	137.75	194.40 - 74.50
MAY.	190.65	419.24 - 41.12	8.23	18.11 - 1.78	128.43	320.17 - 15.64
JUN.	66.05	311.38 - 25.65	2.85	13.45 - 1.11	98.08	140.72 - 32.20
SEP.	50.43	404.74 - 22.93	2.17	17.48 - 1.00	66.09	103.64 - 25.72
OCT.*	124.84	171.50 - 21.86	5.39	7.40 - 0.94	-	-

Los valores promedio de productividad primaria a los 5 m obtenidos en este trabajo muestran una tendencia estacional cuyo máximo se localizan en el mes de marzo ($16.02 \text{ mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1} \pm 8.70$). Posterior a este máximo la productividad primaria comienza a decrecer hasta llegar al valor mínimo en el mes de septiembre ($2.17 \text{ mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1} \pm 3.80$). Para el mes de octubre se puede apreciar que nuevamente comienza a incrementarse ($5.39 \text{ mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1} \pm 2.18$) la productividad (Fig. 30a).

La productividad primaria integrada desde los 5 m a la base de la zona eufótica parece presentar también un comportamiento estacional, sin embargo, al realizar una prueba de significación a través de la prueba t de Student a un valor de $P \leq 0.05$, observamos que los valores mensuales no difieren significativamente. Abril es el mes en el que se registro el valor máximo ($137.45 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1} \pm 41.25$); después se observan disminuciones sucesivas de la productividad primaria integrada hasta alcanzar el valor mínimo en el mes de septiembre ($66.09 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1} \pm 23.39$) (Fig. 30b).

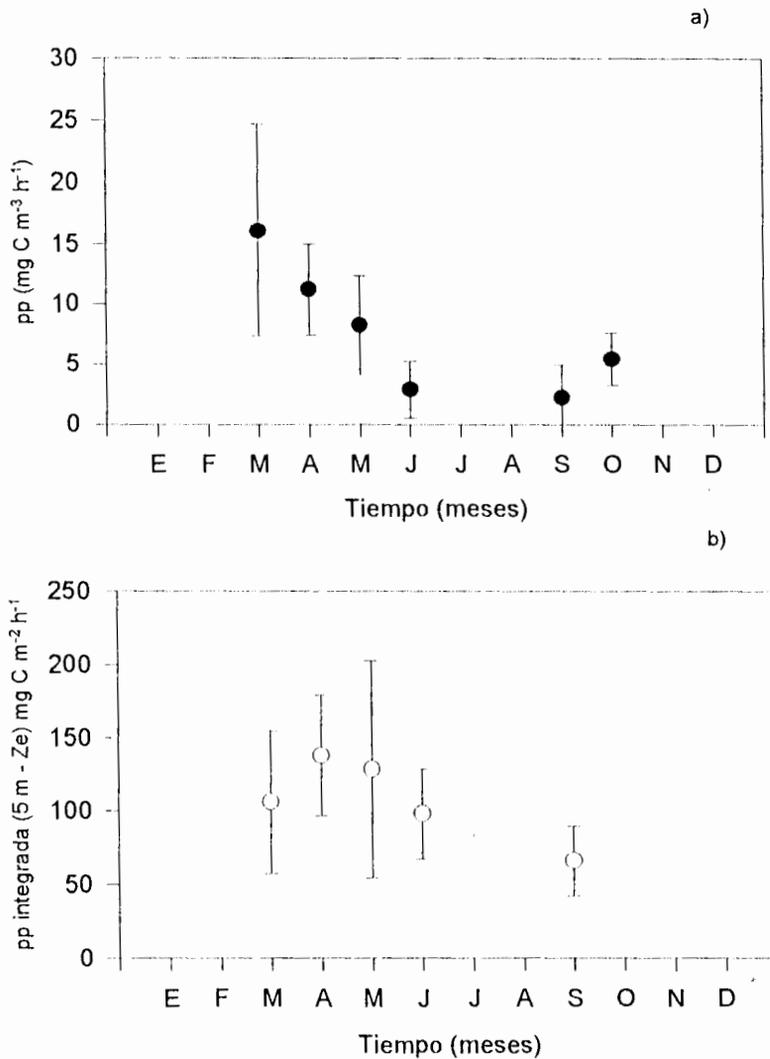


Fig. 30 Variación estacional de productividad primaria a 5 m de profundidad (a) y variación estacional de productividad primaria integrada desde 5m hasta la base de la zona eufótica (b), durante el período de muestreo.

IV. 3.2. Distribución Espacial.

La descripción de los perfiles verticales de productividad primaria para cada período de muestreo se realizaron de acuerdo a la regionalización propuesta para los perfiles verticales de temperatura y densidad relativa.

ZONA PROFUNDA.

ABRIL.

Los perfiles verticales realizados para la productividad primaria en el mes de abril muestran valores máximos que oscilan entre 10.00 a 20.00 mg C m⁻³ h⁻¹ a una profundidad entre 8 y 16 m. De acuerdo a la orientación (este-oeste) de los transectos es posible observar que las estaciones orientadas hacia el este, (E5 y E6) presentan valores de productividad primaria más altos y menos profundos (Fig. 31).

MAYO.

En el mes de mayo los valores máximos de productividad primaria registrados en la zona profunda varían desde 4.00 a 24.00 mg C m⁻³ h⁻¹. Las estaciones orientadas hacia el oeste presentan los máximos valores (24.00 mg C m⁻³ h⁻¹) a una profundidad de 18 m (E10). El resto de las estaciones presentan un comportamiento similar. Por otro lado puede apreciarse que el mes de mayo sustenta los valores más altos de productividad primaria, a pesar de que la productividad primaria promedio esta por debajo de la registrada en abril (Fig. 31).

JUNIO.

Para el mes de junio las estaciones localizadas al oeste de cada transecto presentan valores mínimos (< 24.00 mg C m⁻³ h⁻¹) de productividad primaria en comparación del mes de mayo. Las estaciones localizadas al este presentan valores máximos que oscilan entre 9.00 y 12.00 mg C m⁻³ h⁻¹ a una profundidad entre 12 y 20 m. La variabilidad vertical que presentan los perfiles de productividad primaria es muy marcada para algunas estaciones, por ejemplo la E2, E4 y E10 presentan un máximo (11.00, 9.00 y 12.00 mg C m⁻³ h⁻¹ respectivamente) localizado a diferente profundidad (12, 16 y 20 m aproximadamente) (Fig. 31).

SEPTIEMBRE.

Como puede apreciarse en la figura 31 la productividad primaria en el mes de septiembre disminuyó trascendentalmente. Los valores máximos registrados oscilaron entre 2.00 y 3.00 mg C m⁻³ h⁻¹ a una profundidad de 25 a 35 m aproximadamente. El comportamiento que presentan la mayoría de los perfiles es muy homogéneo, por lo que la variabilidad vertical es muy poca entre las estaciones.

OCTUBRE.

En el mes de octubre nuevamente comienza a incrementarse la productividad primaria. Registrándose el valor máximo (7.00 mg C m⁻³ h⁻¹) a una profundidad de 43 m aproximadamente (Fig. 31).

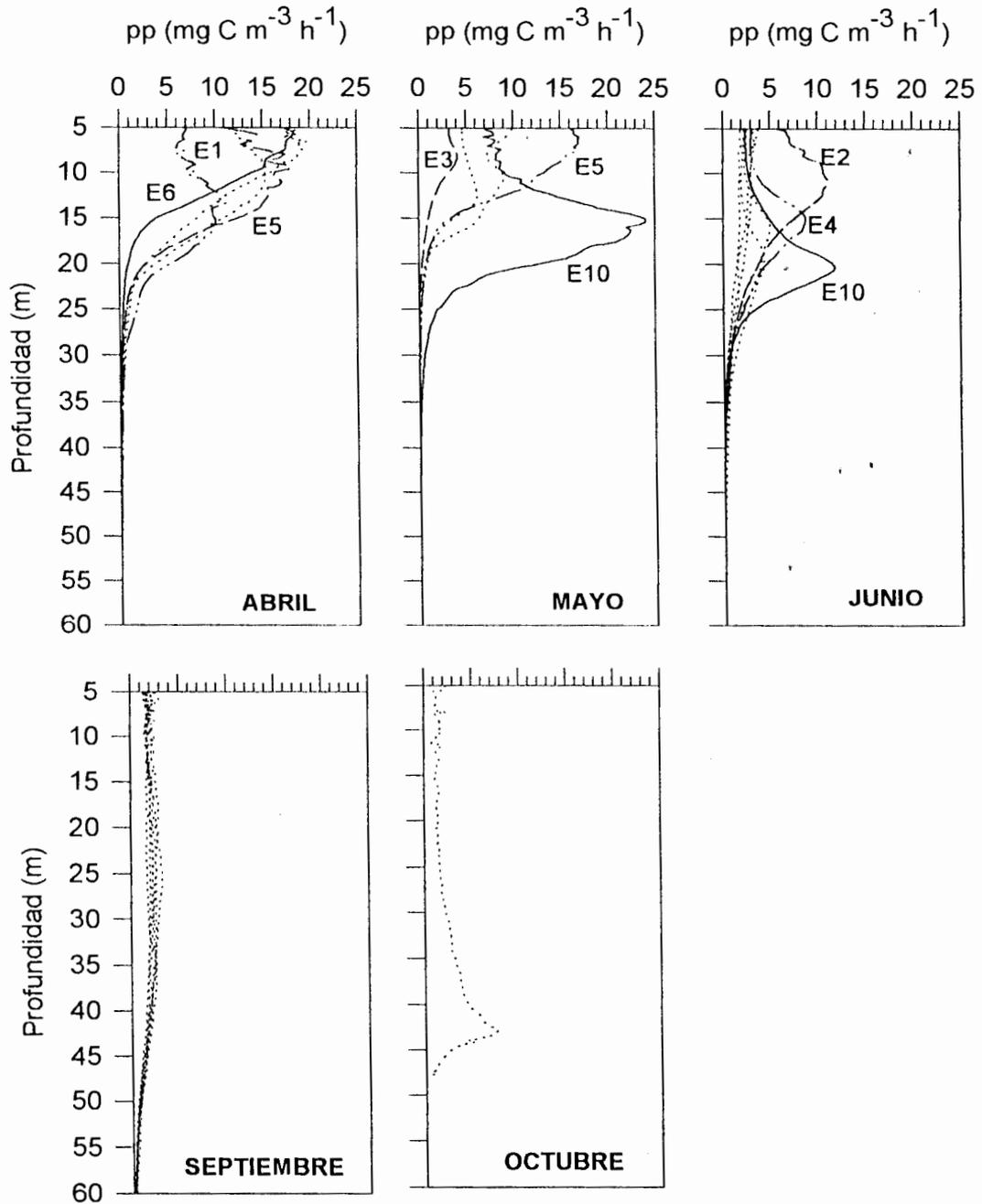


Fig. 31 Perfiles verticales de productividad primaria (pp) en la zona profunda durante los meses de abril, mayo, junio, septiembre (1997) y octubre (1996). E= Número de estación.

ZONA INTERMEDIA.

MARZO.

Los perfiles verticales correspondientes al mes de marzo presentan un máximo que oscila entre 10.00 y 30.00 mg C m⁻³ h⁻¹, entre los 6 y 10 m de profundidad. Registrándose los valores máximos en las estaciones (E24 y E 25) localizadas hacia el oeste (Fig. 32).

ABRIL.

En el mes de abril los perfiles verticales correspondientes a productividad primaria presentan valores máximos entre 8.00 y 10.00 mg C m⁻³ h⁻¹ a una profundidad entre los 8 y 16 m. El comportamiento de los perfiles durante este mes en la zona intermedia es similar (Fig. 32).

MAYO.

En el mes de mayo los valores máximos de productividad primaria registrados varían de 8.00 a 58.00 mg C m⁻³ h⁻¹. En esta zona los perfiles verticales de productividad primaria muestran un patrón diferente en algunas de las estaciones. Siendo registrados los valores máximos a una profundidad que varía entre 8 y 18 m.

De manera general las estaciones orientadas al oeste presentan valores máximos un poco más superficiales que las estaciones del este, las cuales presentan los valores más altos (58.00 mg C m⁻³ h⁻¹) y más profundos. En algunas de las estaciones localizadas en el transecto 4 presentan un máximo subsuperficial de 6.00 mg C m⁻³ h⁻¹ a una profundidad de 19 m (Fig. 32).

Al igual que la temperatura y la densidad los perfiles de productividad primaria presentan en esta zona una marcada variabilidad, destacando las estaciones E14 y E15, cuyo máximo se localiza a diferentes profundidades, siendo la E14 la que presenta un valor máximo de 58.00 mg C m⁻³ h⁻¹.

JUNIO.

Para el mes de junio los valores máximos de productividad primaria oscilan entre 8.00 a 10.00 mg C m⁻³ h⁻¹ a una profundidad entre 16 y 23 m. De manera general puede apreciarse un gradiente en dirección este-oeste del transecto 3 en el que los valores más altos (10.00 mg C m⁻³ h⁻¹) se localizan al oeste, así mismo es posible observar que estos se localizan más superficialmente. Por otro lado el transecto 4 presenta un comportamiento similar al 3, sin embargo es posible observar que estos máximos se localizan a una mayor profundidad que las estaciones del transecto 3 (Fig. 32).

Respecto a la variabilidad vertical, esta es mayor que la del mes de mayo, destacando las estaciones E17 y E21 cuyo máximo se localiza entre 12 y 23 m respectivamente.

SEPTIEMBRE.

Durante el mes de septiembre los perfiles de productividad primaria presentan el mismo comportamiento que los de la zona profunda. Los valores máximos registrados oscilan entre 2.00 y 6.00 mg C m⁻³ h⁻¹ a una profundidad aproximada de 30 a 40 m. Es posible apreciar que las estaciones localizadas al este en los transectos 3 y 4 presentan los valores más altos de productividad primaria (6.00 mg C m⁻³ h⁻¹) (Fig. 32).

Durante este mes se reduce la variabilidad que hay entre los diferentes perfiles, los máximos de productividad primaria son más bajos y más profundos.

OCTUBRE.

En el mes de octubre se observa un comportamiento similar al de septiembre. La estación 15 presenta un máximo (5.00 mg C m⁻³ h⁻¹) a una profundidad de 30 m aproximadamente (Fig. 32).

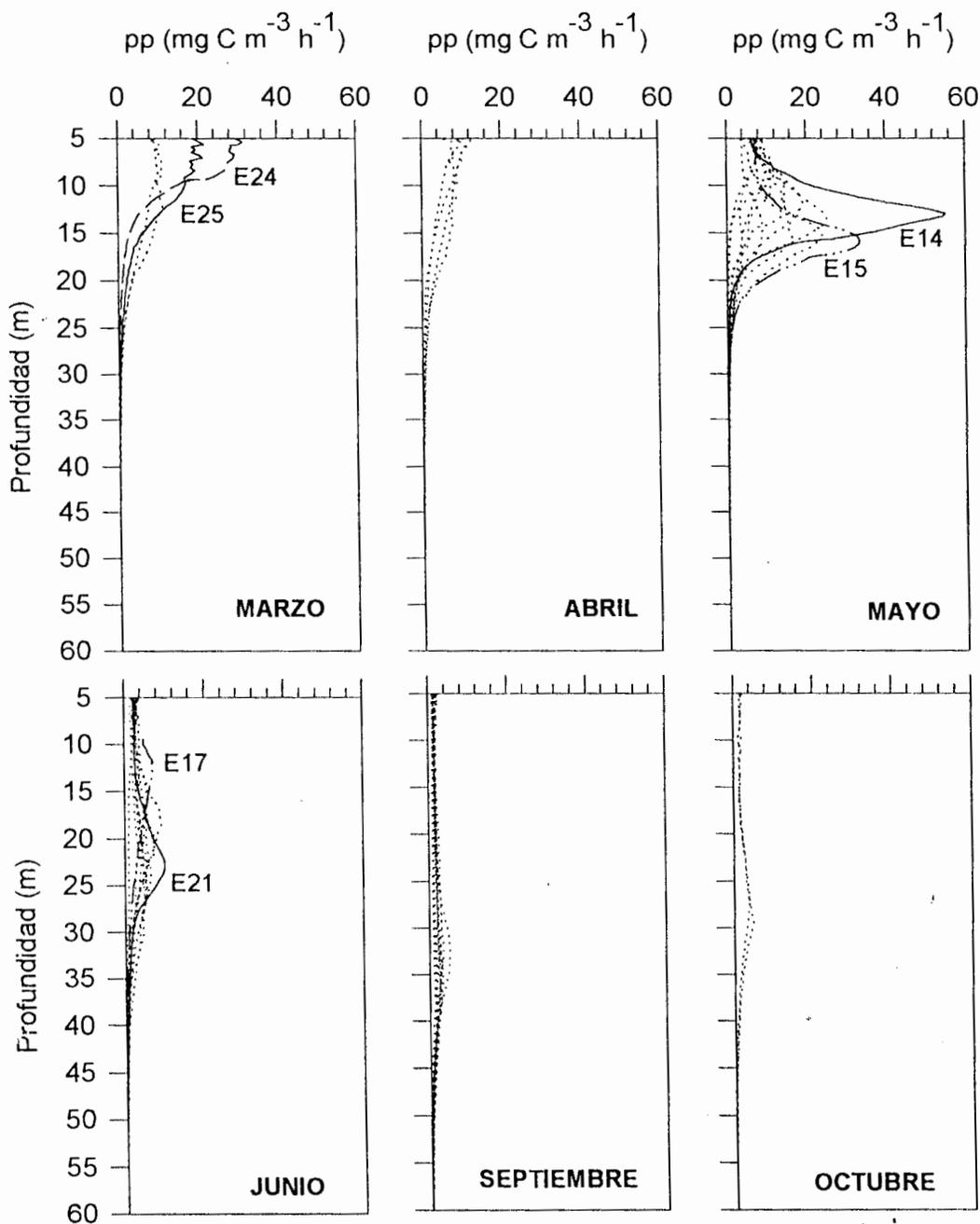


Fig. 32 Perfiles verticales de productividad primaria (pp) en la zona intermedia durante los meses de marzo, abril, mayo, junio, septiembre (1997) y octubre (1996). E= Número de estación.

ZONA SOMERA.

MARZO.

Los perfiles correspondientes al mes de marzo para la zona somera presentan valores máximos que oscilan entre 5.00 y 20.00 mg C m⁻³ h⁻¹, a una profundidad de 6 a 8 m. En algunas estaciones (E32) es posible observar otro máximo subsuperficial a una profundidad de 16 a 17 m (Fig. 33).

MAYO.

En el mes de mayo los perfiles de productividad primaria muestran sus valores máximos (10.00 mg C m⁻³ h⁻¹) a una profundidad de 8 m aproximadamente, excepto en algunas estaciones en las que la profundidad es mayor que la productividad primaria registrada (20.00 mg C m⁻³ h⁻¹ a una profundidad de 12 m) (Fig. 33). A diferencia de los perfiles de temperatura y densidad la productividad primaria para esta zona presenta una amplia variabilidad destacando las estaciones E26 y E33 cuyo máximo se localiza a diferentes niveles y su intervalo es desde 12.00 hasta 20.00 mg C m⁻³ h⁻¹ aproximadamente.

JUNIO.

Los valores máximos registrados para productividad primaria en el mes de junio oscilan entre 2.00 y 5.00 mg C m⁻³ h⁻¹ a una profundidad entre 15 y 22 m. La mayoría de los perfiles presenta un patrón similar en esta zona (Fig. 33). En este mes es posible observar que hay una disminución en el intervalo de variación que presentan los perfiles de productividad primaria siendo la estación E23 las que sobresale por presentar un máximo de 6.00 mg C m⁻³ h⁻¹, a una profundidad de 27 m.

SEPTIEMBRE.

En septiembre la productividad primaria es muy homogénea en toda la columna de agua. Los valores registrados fueron menores a $3.00 \text{ mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ (Fig. 33), siendo la estación E21 y E26 las que presentan los valores máximos a una profundidad de 27 m.

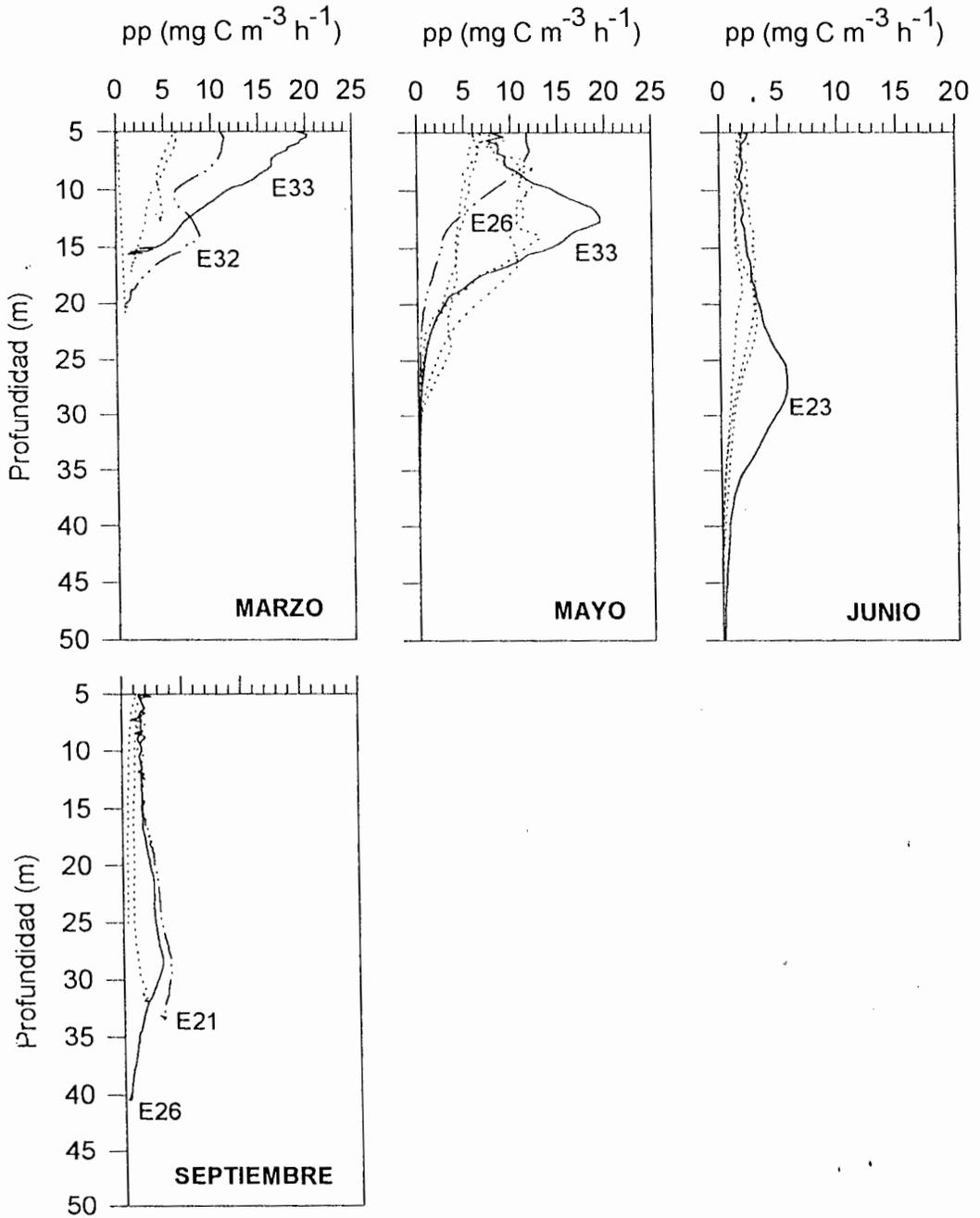


Fig. 33 Perfiles verticales de productividad primaria (pp) en la zona somera durante los meses de marzo, mayo, junio y septiembre (1997). E= Número de estación.

La distribución espacial de productividad primaria integrada desde los 5 metros hasta la base de la zona eufótica para la zona profunda durante el mes de mayo presenta un gradiente este oeste con concentraciones menores de $100.00 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ y concentraciones entre los 100.00 y $250.00 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ en dirección a las islas (Fig. 34).

La distribución en la zona intermedia es a manera de "parches", sin embargo las mayores concentraciones ($> 250.00 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) se localizan frente a las islas y las concentraciones menores a $100.00 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ se registraron hacia el sur de la bahía. En la región somera del lado del canal de San Lorenzo se localiza un "parche" que continúa con la zona intermedia que presenta concentraciones menores a los $100.00 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$; finalmente a la entrada de la Ensenada de La Paz y siguiendo la línea de costa se localizaron concentraciones entre 100.00 y $250.00 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (Fig. 34)

Para el mes de junio la distribución de productividad primaria integrada es más homogénea, prácticamente la zona profunda mantienen el mismo patrón que el mes de marzo, en la zona intermedia la distribución se hace más homogénea manteniéndose concentraciones de 100.00 a $250.00 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ a manera de parche frente a las islas; el resto de la zona mantiene concentraciones menores a $100.00 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. En la zona somera las concentraciones son menores a $100.00 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (Fig. 34).

En el mes de septiembre la distribución de productividad primaria integrada es completamente homogénea con concentraciones menores a $100.00 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Registrándose los valores menores ($26.00 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) en parte de la zona intermedia y de la zona somera del lado de la costa (Fig. 35).

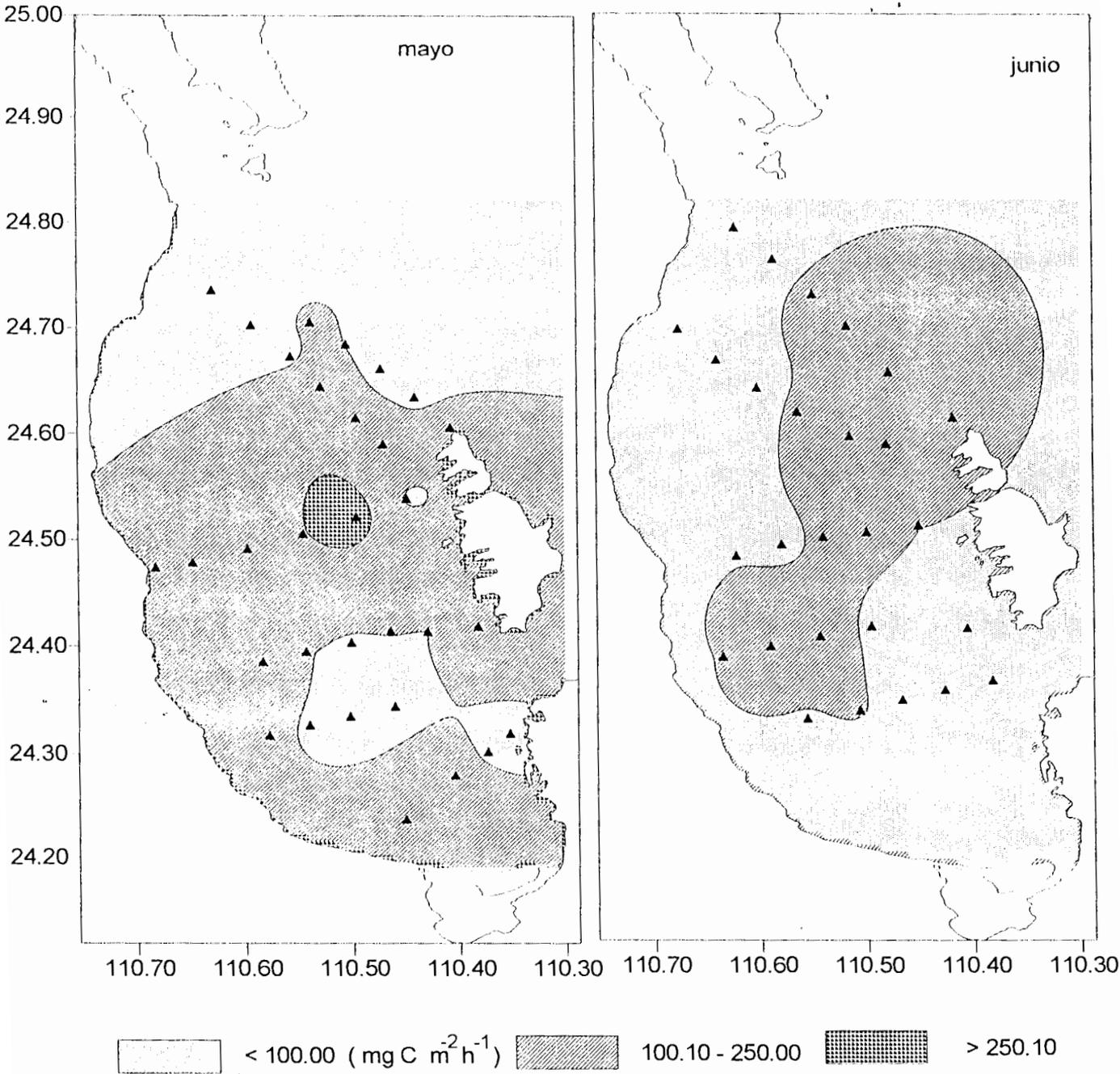


Fig. 34 Distribución horizontal de la productividad primaria integrada (5m-Ze) en los meses de mayo y junio para la bahía de La Paz.

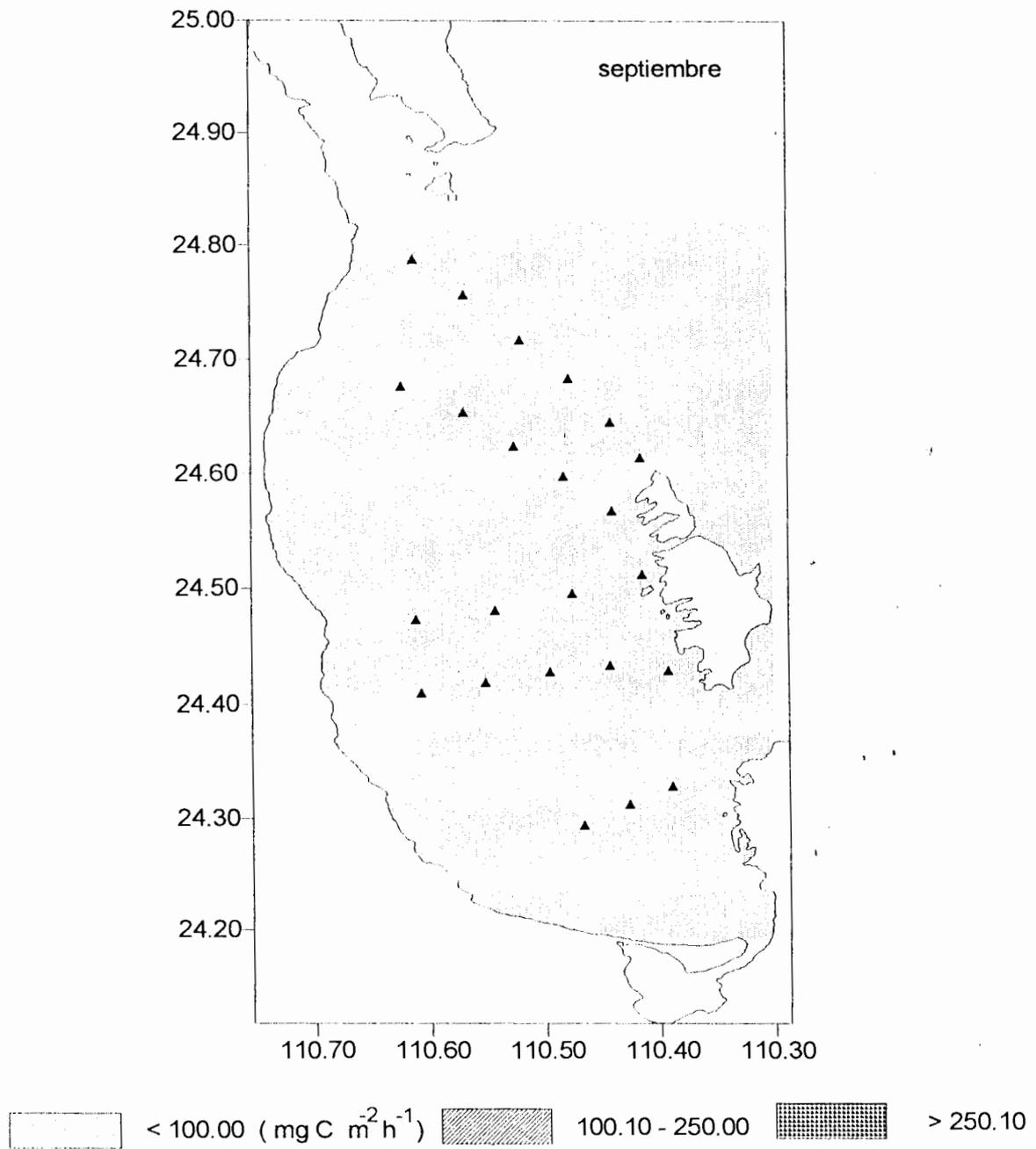


Fig. 35 Distribución horizontal de la productividad primaria integrada (5m-Ze) en el mes de septiembre para la bahía de La Paz.

IV .4. ESTRATIFICACIÓN DE LA COLUMNA DE AGUA.

Se calculó la variación de la estratificación de la columna de agua mediante el índice de estratificación (Φ) propuesto por Simpson y Hunter (1974), (Tabla 8). Se observa un comportamiento estacional en el que la columna de agua presenta los valores menores de Φ en el mes de marzo (78.47 J m^{-3}) para posteriormente alcanzar su máximo en el mes de octubre (347.36 J m^{-3}).

Tabla 8. Índice de estratificación promedio (MED) estimado durante el período de muestreo en la bahía de La Paz. (Max = máximo valor, Min = mínimo valor y STD = desviación estándar) (* 1996).

MES	MED	MAX - MIN	STD
MAR.	78.47	11.40 - 66.42	10.02
JUN.	248.79	284.87 - 214.59	23.89
JUL.	246.72	286.94 - 200.99	21.77
SEP.	298.95	310.00 - 288.67	6.61
OCT.*	347.36	382.10 - 312.77	22.35

La distribución espacial de Φ para la bahía de La Paz, esta representada en la figura 36, en la cual se muestran los valores correspondientes al período de primavera, observándose de manera general un patrón homogéneo tanto en la zona profunda como en la parte intermedia con valores que oscilan entre los 66.00 y 85.00 J m^{-3} .

En el verano se aprecian valores altos de estratificación oscilando entre 200.00 y 340.00 J m^{-3} . Los valores más altos se registraron frente a la isla Espíritu Santo, en la depresión Alfonso y del lado de la costa en dirección a las islas.

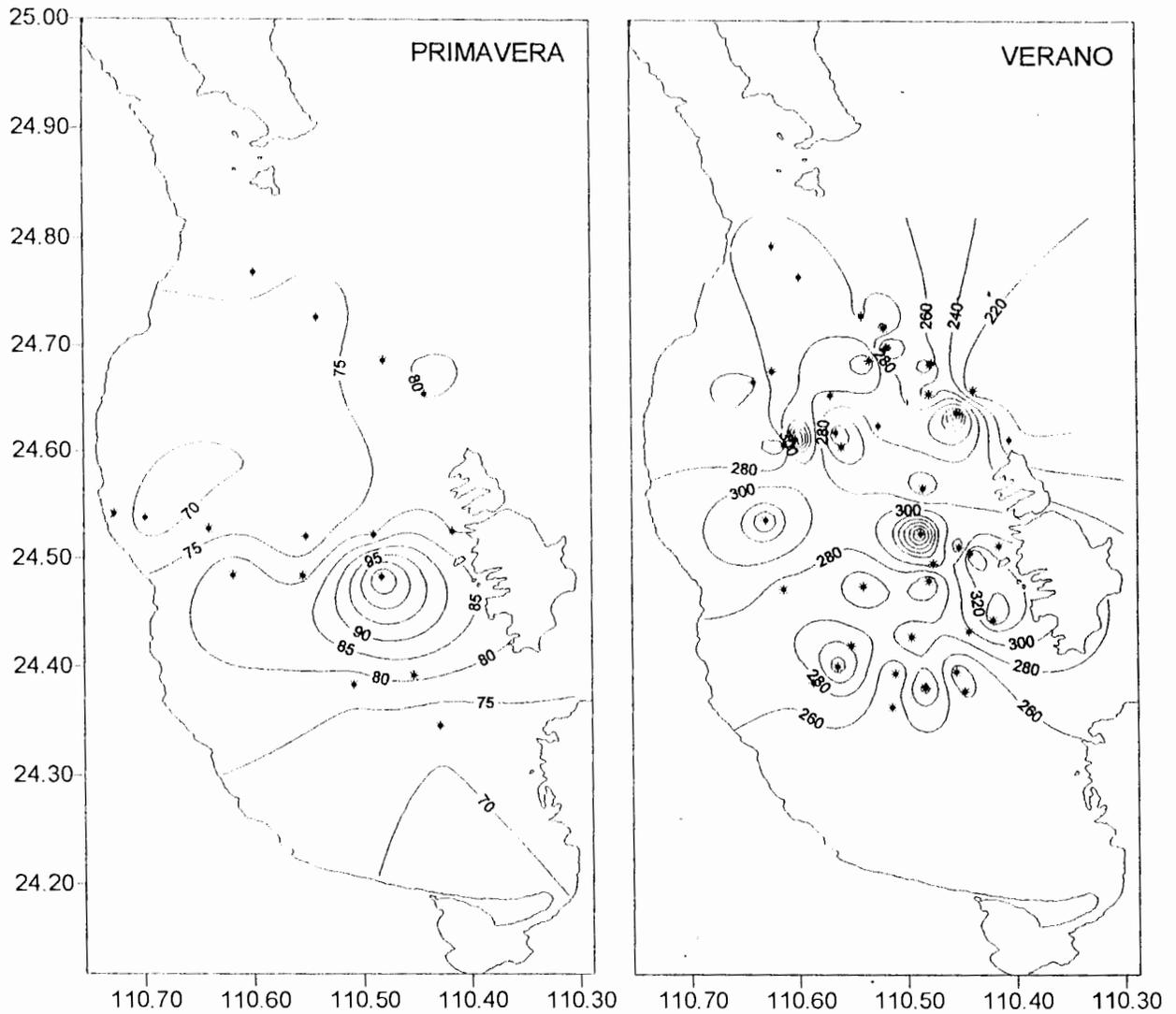


Fig. 36 Distribución horizontal del índice de estratificación (Φ , $J m^{-3}$) calculado de 0-100 m para la bahía de La Paz.

VI DISCUSIÓN.

VI. 1 RELACIÓN ENTRE LA HIDROLOGÍA Y LA PRODUCTIVIDAD PRIMARIA.

IV.1.1. Características meteorológicas.

La cobertura de nubes que presenta la fracción más baja fue registrada en abril, junio y septiembre, con cerca de 2 octas, no así en mayo como lo reporta Robles Gil-Mestre (1998). Posiblemente las estimaciones anteriores tienden a estar sub-estimadas debido a los diferentes criterios de observación y al efecto de rugosidad debido a la ubicación de la estación. El registro de la fracción más baja durante los meses de abril y junio de acuerdo con Robles Gil-Mestre (1998) corresponden a los meses más secos y están, también, asociados a un sistema de alta presión sobre el Pacífico que favorece un tiempo estable y seco.

En términos generales el análisis de los promedios de los vientos superficiales realizados en este estudio concuerda con lo descrito por Robles Gil-Mestre (1998) ya que es posible observar los cambios en las componentes del viento durante los períodos de transición y la dominancia de la componente sur durante la estación cálida. Sin embargo al observar los gráficos de la frecuencia de la dirección e intensidad de los vientos entre las 09:00 y 19:00 para cada mes muestreado (Anexos IX.3., IX.4. y IX.5.) se ha detectado que hay una discrepancia posiblemente debida a la ubicación de cada una de las estaciones meteorológicas, al criterio de observación, así como a la variabilidad del tiempo atmosférico y el clima determinados por los sistemas meteorológicos a diferentes escalas que se manifestaron en la ciudad de la Paz durante 1992 a 1994.

VI.1.2. Hidrología.

La estructura hidrológica observada nos permite diferenciar un período de estratificación mayo-octubre caracterizado por un gradiente de temperatura a profundidades mayores a 40 m y de acuerdo con Cervantes-Duarte (com. per.¹) un período de mezcla el resto del año. Durante el período de estratificación, en verano existe una capa de agua homogénea en superficie cuya profundidad depende de las

condiciones meteorológicas (particularmente viento) pudiendo llegar hasta los 40 m; bajo ella, se presenta el gradiente de temperatura. En el otoño (octubre) se va produciendo una capa de mezcla más profunda por convección en superficie, esta capa se hace más profunda y más fría hasta que alcanza las capas inferiores. El gradiente de temperatura se hunde hasta desaparecer, encontrándose toda la columna de agua homogénea en el invierno (Fig. 37).

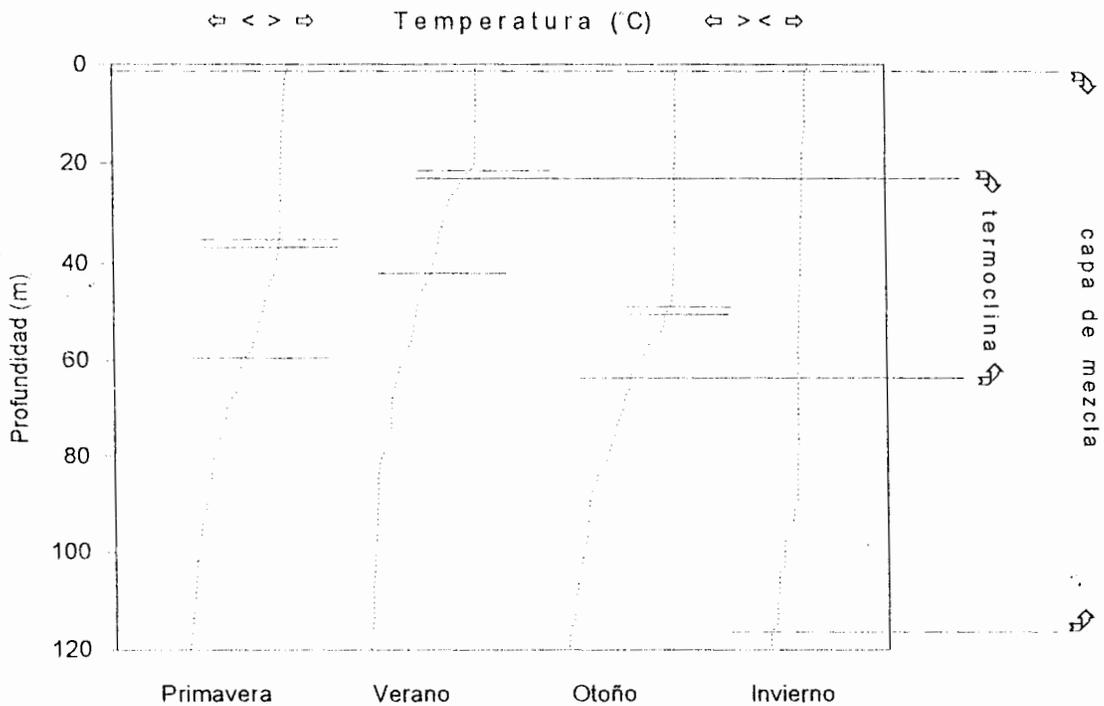


Fig. 37 Representación esquemática de los perfiles verticales de temperatura en un ciclo anual para la bahía de la Paz.

Gilmartin y Revelante (1978); Murillo (1987); Cruz-Ayala (1996) y Jiménez-Illescas (1996) señalan que la temperatura y salinidad promedio en la bahía de la Paz presentan una variación temporal. Los resultados de temperatura registrados en este estudio concuerdan con lo ya establecido, presentando en superficie un comportamiento cíclico, y una diferencia entre 0.50 y 2.00 °C con la serie de tiempo de 1989 a 1996 propuesta por De Silva-Dávila (1997).

Por otro lado Flores-Ramírez *et al.* (1996) sugieren que la temperatura superficial promedio durante junio de 1988 a julio de 1991 cambia significativamente entre años. Explicando esta variación en relación al efecto remanente de ENSO 1986-1987, influjo de La Niña y el desarrollo de una anomalía cálida en la boca del golfo de California. A este respecto los resultados obtenidos durante el período de estudio comprenden el inicio de un año Niño 1997-1998, en el cual esperaríamos observar un incremento en la temperatura y efectos considerables en las variables monitoreadas, sin embargo, el impacto que tiene sobre la bahía este fenómeno no parece ser tan significativo en relación al cambio estacional propuesto por De Silva-Dávila (1997), el cual en algunos meses es posible apreciar aproximadamente una diferencia de 2.00 °C.

Los resultados sobre la variación espacial de la temperatura, salinidad y densidad reflejan que en la boca norte de la bahía, además de la entrada de agua proveniente del golfo de California, la profundidad de la zona contribuye a originar un ambiente más oceánico con condiciones más estables de temperatura, salinidad y densidad; mientras que el canal de San Lorenzo permite al sur y sureste de la bahía que se genere la mayor variabilidad estacional en los parámetros anteriormente descritos, probablemente debido a la mezcla intensa producida por el viento y las corrientes de marea que alcanzan velocidades hasta de 25 cm/s (Obeso-Nieblas y Jiménez-Illescas, 1989; Obeso-Nieblas *et al.*, 1993a, b).

Si bien con los resultados obtenidos al respecto puede inferirse lo anterior, es pertinente mencionar que en términos generales la variabilidad espacial en la bahía es muy poca en los meses de verano-otoño (excepto en los días que la influencia de fenómenos meteorológicos se hace presente). Lo cual podemos corroborar con la estratificación de la densidad, dado que es la que determina la estabilidad de la columna de agua, como lo manifiestan los perfiles realizados durante el período de estudio. A este respecto Jiménez-Illescas (1996) describe a la bahía de La Paz como un sistema barotrópico, en el que la densidad y la estructura termohalina son completamente homogéneas verticalmente. Por otra parte Zaytsev *et al.* (1998) sugieren el mismo comportamiento en la estructura termohalina, encontrando una capa

de mezcla superficial de aproximadamente 40 m altamente homogénea y cálida durante el verano. Cervantes-Duarte (com. per.¹) observa que la variabilidad durante invierno-primavera es al igual que en verano-otoño, sin embargo para esta época es importante la influencia de los vientos prevalecientes.

Así mismo, Villaseñor-Casales (1979); Signoret y Santoyo (1980); Obeso-Nieblas (1986); Murillo (1987) y Flores-Ramírez *et al.* (1996) han demostrado que en la bahía de La Paz las condiciones hidrológicas varían con la temporada del año y que los aportes de agua oceánica afectan de manera diferente las costas este y oeste de la bahía. Sin embargo pese a que han establecido zonas con características diferentes de acuerdo a razones de índole práctica según los autores anteriormente señalados no se ha descrito con exactitud la presencia de diferentes masas de agua en la bahía.

Al respecto Murillo (1987) sugiere la presencia de tres "clases de agua": Agua del Canal de San Lorenzo, Transicional y Noroeste, de acuerdo con distintos depósitos de radiolarios. García-Pámanes (1981) de acuerdo a la distribución de poblaciones fitoplanctónicas y valores de salinidad propone que el intercambio de agua entre la bahía y el golfo es a través del canal de San Lorenzo. Donde el agua del golfo penetra a la bahía por la parte sur de la isla Espíritu Santo y agua de la bahía sale al golfo pegada a tierra firme. Jiménez-Illescas (1996) por otra parte evidencia la intrusión de la masa de Agua del Golfo de California en el verano de 1992, sin embargo, no clasifica las masas de agua presentes en la bahía.

Es conocido que las masas de agua presentes dentro del golfo de California han sido identificadas con creciente detalle a partir del trabajo de Sverdrup (1941). Siendo la clasificación de Torres-Orozco (1993) la más reciente y a la cual nos referimos para clasificar las masas de agua en la bahía de La Paz (Para una revisión bibliográfica más extensa de trabajos sobre masas de agua del golfo de California ver Torrez-Orozco, 1993 y Lavín *et al.*, 1997). Bajo este contexto se reportan la presencia del AGC, ASE y ASsSt en la bahía de La Paz.

¹ Cervantes-Duarte, R. 1998. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Av. Instituto Politécnico Nacional s/n. Apdo. Postal 592. C.P. 23000. La Paz, B.C.S., México.

VI.1.3. Transparencia.

En lo que respecta a la profundidad de desaparición del disco de Secchi Megard y Berman (1989) mencionan que esta profundidad puede ser relacionada con la transparencia del agua, y que está depende de la absorción y esparcimiento de la luz en la columna de agua. Por ende la transparencia depende principalmente de la resuspensión y transporte de partículas, el aumento de la biomasa del plancton, la actividad de pastoreo y la agregación de bacterias alrededor de la materia orgánica. Debido a que las relaciones de las concentraciones de estas materias cambian con el tiempo y lugar, la transparencia no tiene una relación fija con otros parámetros como la Cla o el seston. Nuestros resultados a este respecto, corroboran lo propuesto por Megard y Berman (1989) ya que no se encontró relación entre la transparencia y la Cla y el seston.

Por otra parte Bustillos-Guzmán y Lechuga-Devéze (1989) discuten sobre las lecturas del disco de Secchi y las características ópticas del agua de la costa occidental de Baja California y golfo de California, encontrando que las constantes obtenidas de relacionar las lecturas del disco de Secchi *versus* la atenuación de luz son características de cada zona. Así mismo proponen utilizar 1.99 (para el golfo de California) y 1.08 (para la costa del Pacífico) como constantes en el calculo de la atenuación de la irradiancia. Los resultados obtenidos en este trabajo además de coincidir con lo reportado por Bustillos-Guzmán y Lechuga-Devéze (1989) para la costa occidental de Baja California y golfo de California, evidencian una variabilidad temporal. Por lo que se sugiere utilizar las diferentes constantes obtenidas en cada período (1.55 marzo, 1.70 abril, 1.66 mayo, 1.86 junio y 1.98 septiembre) para zonas con características similares a la bahía de La Paz cuando se desee calcular los porcentajes de luz a cualquier profundidad cuando solo se disponga de un disco de Secchi.

Flores-Ramírez *et al.* (1996) reportan que la transparencia del agua es significativamente menor en los períodos templados, como la Niña (mayo 1989 a abril 1990) y la estación templada (noviembre a abril). Los resultados obtenidos en este trabajo manifiestan un patrón similar al obtenido por Flores-Ramírez *et al.* (1996),

registrándose los menores valores de transparencia durante el período de primavera. Esto nos sugiere que en esta época las aguas de la bahía son más turbias debido al incremento de la resuspensión de partículas y concentración de Cla y seston que en verano, ya que en esta última las aguas de la bahía tienden a ser más transparentes. Sin embargo la mayor variabilidad se da en el verano probablemente debido a lo somero de las estaciones así como a las diferentes condiciones meteorológicas durante los meses muestreados.

Bajo este contexto Martínez-López *et al.* (en revisión) encuentran que la transparencia del agua en la bahía de La Paz presenta una alta variabilidad durante abril de 1993 a marzo de 1995. Esta variabilidad es parcialmente interpretada por la biomasa de fitoplancton y la influencia del viento dominante al eliminar la posible resuspensión de sedimentos en las estaciones profundas.

VI 1.4. Nutrientes.

Gilmartin y Revelante (1978) registraron en la ensenada de La Paz (agosto) una concentración promedio de $0.69 \mu\text{g-at/l}$ (NO_3) e intervalos de 0.27 a $1.75 \mu\text{g-at/l}$. En este trabajo se registraron concentraciones de NO_3 en intervalos de ND a $1.58 \mu\text{g-at/l}$ y de NO_2 en intervalos de ND a $0.19 \mu\text{g-at/l}$ durante el período de muestreo. Estos valores observados en la zona fótica están probablemente asociados a un fuerte consumo de nutrientes inorgánicos en la superficie. En términos generales los valores obtenidos en los meses de junio, julio y septiembre con respecto a los de Gilmartin y Revelante (1978) son ligeramente más bajos, sin embargo el intervalo que reportan es muy similar al obtenido en este trabajo. Una posible explicación de tales diferencias puede relacionarse con el reciclamiento local favorecido por la circulación existente entre la ensenada y la bahía.

En algunas lagunas costeras mexicanas la concentración de ortofosfatos disueltos puede oscilar desde lo indetectable hasta contenidos altos cercanos a $10.00 \mu\text{g-at/l}$ (De la Lanza, 1994). Tomando en cuenta que la concentración promedio de fósforo en el agua de mar es de $2.35 \mu\text{g-at/l}$ (Martin, 1970) y considerándose como bajos los valores menores de $1 \mu\text{g-at/l}$ (Boto, 1982) la bahía de La Paz presenta

valores bajos e intermedios (0.023 y 1.57 $\mu\text{g-at/l}$). Sin embargo al observar la figura 22 es posible notar que esta especie en ningún momento llega a ser limitante durante el período de muestreo. Debido a que nunca alcanza valores de cero y/o cercanos a cero (indetectables) en comparación de los nitratos, nitritos y silicatos.

Nieto-García y García-Pámanes (1991) encontraron en la bahía de La Paz (junio) concentraciones de ortofosfatos con un valor máximo de 0.44 $\mu\text{g-at/l}$ y un valor mínimo de 0.12 $\mu\text{g-at/l}$. Gilmartin y Revelante (1978) registraron en la ensenada de La Paz (agosto) una concentración promedio de 0.55 $\mu\text{g-at/l}$ (PO_4) e intervalos de 0.44 a 0.78 $\mu\text{g-at/l}$. En este trabajo durante todo el período de muestreo se registraron concentraciones en un intervalo de 0.23 a 1.35 $\mu\text{g-at/l}$, contrastando los valores obtenidos con los reportados observamos que la concentración de PO_4 se mantiene ligeramente más altos que los reportados por Nieto-García y García-Pámanes (1991) para el mes de junio, en el caso de Gilmartin y Revelante (1978) los valores promedio para los meses de junio y julio son más altos que los reportados en agosto. Estas variaciones en las concentraciones de PO_4 están relacionadas con la variación climática y la actividad biológica autotrófica y heterotrófica.

En la bahía de La Paz observamos que la máxima concentración de SiO_2 es de 49.85 $\mu\text{g-at/l}$ en el mes de mayo. De acuerdo con Riley y Chester (1989) y Paasche E. el resultado de la asimilación del SiO_2 por algunos grupos fitoplanctónicos es la disminución en la concentración de estos en la capa superficial, así como, por el desarrollo de la termoclina (Alvarez-Borrego y Barragán, 1976; Cabrera Muro *et al.*, 1977). Debajo de la zona eufótica la rápida disolución post-mortem de testas silíceas causan un incremento en la concentración de silicatos a profundidades subsuperficiales (Hans y Sachuette, 1981; Paasche E.). Posteriormente al comienzo de la convección de otoño-invierno se incrementa nuevamente la concentración de SiO_2 en la superficie (Cabrera Muro *et al.*, 1977).

García-Pámanes (com. pers.²) expreso haber encontrado una alta variabilidad en la concentración de SiO₂ dentro de la bahía y la atribuye a la presencia de un mecanismo de circulación que aún esta en discusión. En este trabajo también se registra una alta variación de este nutriente durante los meses de abril y mayo (4.10-81.60 y 0.45-49.85 µg-at/l respectivamente). La posible explicación a tal variabilidad puede deberse a la relación entre las concentraciones de silicatos utilizados como índice de la abundancia de diatomeas principalmente y silicoflagelados con la combinación de factores físicos que promueven la correspondencia entre el cambio importante en la composición específica y la sucesión fitoplanctónica que se da durante la primavera registrada por Signoret y Santoyo (1980) y García-Pámanes (1981).

De acuerdo con Cervantes-Duarte y Guerrero-Godínez (1988), es posible pensar que la ensenada de La Paz, presenta un intercambio de especies reducidas de nitrógeno con la bahía y esta a su vez aportar especies oxidadas (nitratos) a la ensenada. Por otra parte Lechuga-Devéze (1997) discute sobre algunos datos que muestran la poca capacidad de la ensenada de La Paz para soportar fuertes procesos oxidativos que proveen nutrientes inorgánicos para la productividad primaria por lo que sugiere que las aguas adyacentes de la bahía de La Paz mantienen una fuente de nitratos, fosfatos y silicatos a la ensenada.

IV.1.5. Cla y Seston.

Signoret y Santoyo (1980), Lavaniegos y López-Cortéz (1997) y Martínez-López *et al.* (en revisión) reportan para la bahía de La Paz un patrón estacional de clorofila total, fraccionada e integrada muy consistente en sus diferentes resultados. Así mismo reportan que el dominio del nanofitoplancton en la bahía no se restringe a un período en particular.

² García-Pámanes J. 1998. Universidad Autónoma de Baja California Sur. Carretera al sur. Km 45. C.P. 23080. La Paz, B.C.S., México.

Por otro lado Martínez-López *et al.* (en revisión) consideran que la bahía de La Paz presenta concentraciones de clorofila integrada de 0 a 25 m propias de condiciones oligotróficas ($<10.00 \text{ mg Cla m}^{-2}$) durante el verano y condiciones mesotróficas ($90.00 \text{ mg Cla m}^{-2}$) el resto del año.

La concentración de Cla a lo largo del período de este estudio muestra una variación temporal cuyo máximo (0.89 mg/m^{-3} en marzo) coincide con las altas concentraciones superficiales de NO_2 , NO_3 , PO_4 (0.19 , 3.61 y $0.93 \text{ } \mu\text{g-at/l}$ respectivamente); así como con los valores máximos de pp ($16.02 \text{ mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$). Esto nos indica que a pesar de que la concentración de Cla sea baja durante el verano, el aumento de la profundidad de la zona eufótica puede compensar la pérdida en clorofila y dar valores relativamente elevados de productividad integrada (ppin $98.08 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$).

Respecto al seston se sabe en general que en las áreas oceánicas oligotróficas el mayor porcentaje de este es de origen orgánico, y que en aguas costeras mesotróficas y eutróficas la calidad del material depende en gran medida de los aportes terrígenos (antropogénicos y naturales) y de los procesos de mezcla y advección de las aguas (Kranck, 1980; Poulet *et al.*, 1986; Mayzaud *et al.*, 1989). Los trabajos sobre el material particulado en la bahía de La Paz son nulos y los resultados registrados en este estudio se limitan a la superficie y al contenido total. Sin embargo, tomando en cuenta lo anterior y de acuerdo con Martínez-López *et al.* (en revisión) podríamos decir que durante el verano se dan condiciones oligotróficas sin un cambio aparente en las concentraciones superficiales de seston presumiblemente de origen orgánico y mesotróficas el resto del año cuya calidad y composición de este depende de los procesos de mezcla, resuspensión de sedimentos de las zonas someras y el transporte de material fino por la acción del viento.

Por otra parte los resultados de la relación entre el seston total y la Cla (no presentados) no muestran una correlación, al respecto Kitchen y Zaneveld (1990) citados por Espinosa-Carreón (1996) proponen que cuando no hay correlación entre estas dos variables puede deberse a procesos de la productividad primaria (como la adaptación a la luz y la disponibilidad de nutrientes) que a diferencias en el origen de

las partículas. Así mismo Cervantes-Duarte y Maske (1996) discuten que las causas probables de la variabilidad de la relación entre el seston y la Cla son: 1) en menor grado al ruido debido a la metodología de ambas variables, a pesar de que la medición gravimétrica de las partículas suspendidas en la columna de agua tiene muchos aspectos técnicos que considerar entre ellos el inconveniente de la medición de la fracción orgánica y la precisión que se alcanza rutinariamente no mejor que $\pm 0.1 \text{ g m}^{-3}$ 2) el efecto de fotoadaptación del fitoplancton. 3) la contribución de partículas sin color, que contribuyen al seston pero no directamente relacionadas con la concentración de pigmentos.

IV.1.6. Productividad primaria.

De acuerdo con Santoyo-Reyes (1994) los registros sobre la producción primaria en las lagunas costeras de México presenta una heterogeneidad en los procedimientos técnicos del análisis de campo, así como, en la dinámica propia de cada laguna, lo que dificulta el establecimiento de valores comparativos. Sin embargo a pesar de ello establecen como límites de variación de la productividad fitoplanctónica, desde la improductividad hasta $667.00 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ en áreas que tienen una condición fuertemente eutrófica, como la laguna de Mitla, Gro. Los límites generales los ubican entre 4.20 a $83.00 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ según la época y la región particular en cada laguna.

En la laguna de la Paz, Gilmartin y Revelante (1978), Lechuga-Devéze *et al.* (1986) y Barreiro-Güemes *et al.* (1993) registran valores de productividad primaria hasta de $347.00 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, sin embargo sus niveles más frecuentes están entre 42.00 y $125.00 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ situándola dentro de una de las más productivas de la región este del Golfo de California. En la bahía de La Paz el valor máximo promedio se registro en abril ($137.75 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) y los niveles más frecuentes están entre 16.00 y $320.00 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, comparando los niveles más frecuentes en ambas zonas observamos que la bahía presenta valores más altos que la laguna, sin embargo, tenemos que ser cautos con dichas comparaciones, debido a las diferencias

espaciales y temporales en los muestreos así como diferencias en las metodologías utilizadas.

Bustillos-Guzmán y Olivares-González (1986) describen la producción primaria bruta (PPB), neta (PPN) y respiración del fitoplancton (R) en diferentes localidades de manglar en la bahía de La Paz, durante el período de un año. La PPN es baja en comparación con otra áreas de manglar y diferente entre las localidades que estudiaron. Aunque la PPB fue muy parecida en las tres localidades, el balance de PPN fue negativo en Enfermería debido principalmente a la mayor R en esta área. El promedio anual de PPB estuvo entre 62.00 y 78.00 mg C m⁻³ h⁻¹ para las tres localidades y de 54.60, 57.40 y 87.80 mg C m⁻³ h⁻¹ de R para Balandra, Zacatecas y Enfermería respectivamente. En este estudio el valor promedio de la productividad primaria durante el período primavera-verano es de 8.00 mg C m⁻³ h⁻¹, registrándose el valor máximo promedio en marzo (16.02 mg C m⁻³ h⁻¹) y el mínimo en septiembre (2.17 mg C m⁻³ h⁻¹); las diferencias notables en estos registros se deben a la distribución, composición y estado fisiológico de las poblaciones fitoplanctónicas, que promueven un complejo patrón espacial y temporal.

García-Mendoza (1994), determina la productividad primaria mediante la medición de la fluorescencia natural e incorporación de ¹⁴C, en el Pacífico mexicano y en el golfo de California, para este último agrupa las estaciones de acuerdo a los valores de productividad primaria medida en: menores de 5.00 mg C m⁻³ h⁻¹ (parte central del golfo, Cuenca Delfín, frente a Mazatlan), de 5.00 a 10.00 mg C m⁻³ h⁻¹ (Fosa Wagner y parte sur del golfo cerca de la costa este) y valores mayores a 10.00 mg C m⁻³ h⁻¹, así mismo reporta un máximo de 30.60 mg C m⁻³ h⁻¹ el cual coincide con un evento de marea roja. En contraste con los datos obtenidos para la bahía observamos que esta presenta una productividad primaria notablemente mayor (1.11 mg C m⁻³ h⁻¹ en junio y 31.39 mg C m⁻³ h⁻¹ en marzo) que la de las aguas del golfo de California.

Otro trabajo que estima la productividad primaria vía fluorescencia es el de Espinosa-Carreón (1996) quien registra 20.00 mg C m⁻³ h⁻¹ como valor máximo durante la primavera en bahía de Todos Santos; en la bahía de La Paz el valor máximo registrado fue de 31.39 mg C m⁻³ h⁻¹ en la misma época. Respecto a la productividad

integrada reporta 100.20 y 83.90 $\text{mg C m}^{-2} \text{h}^{-1}$ durante los meses de mayo-junio, en contraste la bahía de La Paz presenta valores de 128.43 y 98.08 $\text{mg C m}^{-2} \text{h}^{-1}$ para el mismo período; al realizar una comparación de ambos resultados es sobresaliente que la bahía de la Paz es más productiva que la bahía de Todos Santos.

La estimación de la productividad primaria vía fluorescencia ha sido documentada por García-Mendoza (1994); García-Mendoza y Maske (1996) y Espinosa-Carreón (1996) quienes han estandarizado la técnica por medio de la determinación de la productividad primaria a través de la incorporación de carbono radioactivo (^{14}C), obteniendo un coeficiente de determinación significativo entre la tasa de fotosíntesis (F_c) y la productividad primaria medida con ^{14}C ; que corresponde al 80 % de la variabilidad explicada entre ambos métodos y el 20 % restante es explicado por los posibles errores de los métodos y al cambio de las eficiencias, cuánticas. En este estudio no fue posible realizar dicha estandarización, sin embargo, se ha pensado en trabajos futuros que permitan su realización puesto que la medición de la productividad primaria vía fluorescencia es un método alternativo viable, rápido y con una alta resolución vertical.

De acuerdo con Singnoret y Santoyo (1980), Lavaniegos y López-Cortés (1997) y De Silva-Dávila (1997) la bahía de La Paz presenta un patrón general de zonas marinas templadas con características propias distintivas dadas por las condiciones peculiares de la región (corrientes de marea, topografía y batimetría del área, entre otras). Bajo este contexto estos autores infieren la existencia de un sistema de circulación que permite la mezcla de comunidades de las zonas de influencia marina del golfo de California con las autóctonas de la bahía y de la ensenada de La Paz. Dado lo anterior y con base en los resultados obtenidos sobre productividad primaria y la hidrología es posible sugerir que las aguas de la bahía sostienen una elevada productividad tanto para el fitoplancton cuyo máximo valor se centraliza durante la primavera (16.02 $\text{mg C m}^{-3} \text{h}^{-1}$ y 137.75 $\text{mg C m}^{-2} \text{h}^{-1}$ obtenidos en este trabajo) como para el zooplancton cuyo máximo valor (29.26 $\text{mg ps m}^{-3} \text{h}^{-1}$) se registro en el canal de San Lorenzo (De Silva-Dávila, 1997).

Por otro lado, el proceso de fertilización de la zona eufótica en la bahía de La Paz aún no es muy claro. Sin embargo los estudios que han abordado este tema sugieren que este proceso está asociado con: 1) las surgencias del lado este del golfo de California, probablemente debido a los fuertes e intermitentes vientos del norte. Esta hipótesis es basada en los florecimientos registrados durante otoño-invierno por Signoret y Santoyo (1980). 2) la presencia de giros ciclónicos en la parte central de la bahía durante invierno y principios de primavera registrados por Jiménez-Illescas (1996) y De Silva-Dávila y Palomares-García (1998). 3) el efecto de isla relacionado con los procesos físicos cercanos a las islas Cerralvo y San José. Basado en observaciones de mareas rojas por Garate-Lizarraga y Martínez-López (1997).

De las aseveraciones anteriores es posible descartar la hipótesis propuesta por Signoret y Santoyo (1980) debido a que los procesos de advección de una costa a la otra en esta zona es poco probable, principalmente por la distancia entre las dos zonas. Por otro lado Zaytsev *et al.* (1998) mencionan la existencia de pequeñas surgencias en el interior de la bahía, sin embargo se considera que la profundidad de la que provienen estas surgencias es somera y no pueden tener el efecto de fertilización que se requiere en la bahía. Por lo que asumimos que los giros ciclónicos y el efecto de isla son los procesos que contribuyen a la fertilización de la zona eufótica en bahía de La Paz (Jiménez-Illescas, 1996; Garate-Lizarraga y Martínez-López, 1997; y De Silva-Dávila y Palomares-García, 1998). Al conjuntar los resultados obtenidos durante este estudio es posible observar que en parte de la zona intermedia y frente a las islas se crean condiciones óptimas de nutrientes que posteriormente junto con sus poblaciones fitoplanctónicas son transportadas por corrientes de marea al interior de la bahía.

VI 2. FACTORES QUE CONTROLAN LA PRODUCTIVIDAD PRIMARIA

La comprensión de los factores que controlan cambios espacio-temporales en la pp ha sido de interés científico durante mucho tiempo (Platt y Rao, 1970; Margalef, 1978; Smayda, 1980; Levasseur *et al.*, 1984). En tal sentido, la dinámica del fitoplancton en el océano esta fuertemente relacionada con procesos físicos y químicos que rigen la dinámica del mismo. Por lo que la productividad primaria depende principalmente de la concentración de nutrientes, de la cantidad y calidad de luz disponible, así como por los diferentes procesos físicos (corrientes, vientos y su efecto sobre los procesos de mezcla y estratificación) característicos de cada región.

Nuestros resultados, aun cuando son extraídos desde patrones en una escala temporal superior a aquellos esperados para tiempos generacionales y de recambio poblacional de especies del fitoplancton, revelan el efecto combinado de los principales factores que determinan la pp en la bahía de La Paz. La representación esquemática (Fig. 38) de la variación temporal descrita puede resumirse de la siguiente manera: En la primavera se asume que la energía solar comienza a ser más absorbida que reflejada, el cielo empieza a estar más despejado, los vientos empiezan a ser débiles. En la columna de agua existen altas concentraciones superficiales de nutrientes, la transparencia del agua inicia un incremento y principia el desarrollo de la termoclina. Los florecimientos fitoplanctónicos comienzan a desarrollarse como resultado de la disponibilidad de energía solar y nutrientes. La pp se ve favorecida por estas condiciones, cuyos máximos se localizan en la superficie. En el verano la energía solar es más absorbida y el agua superficial de la columna de agua es más caliente propiciando que la termoclina estacional se encuentre en su máximo desarrollo. Finalmente los nutrientes superficiales son utilizados, el incremento de las poblaciones fitoplanctónicas comienza a disminuir. Por lo que la pp superficial decrece, sin embargo las condiciones de un cielo despejado, vientos débiles, buena transparencia, densidades bajas de fitoplancton y concentraciones de nutrientes que aunque bajas no llegan a ser limitantes favorecen a la pp integrada cuyos valores

mensuales no difieren significativamente a pesar de presentar disminuciones sucesivas.

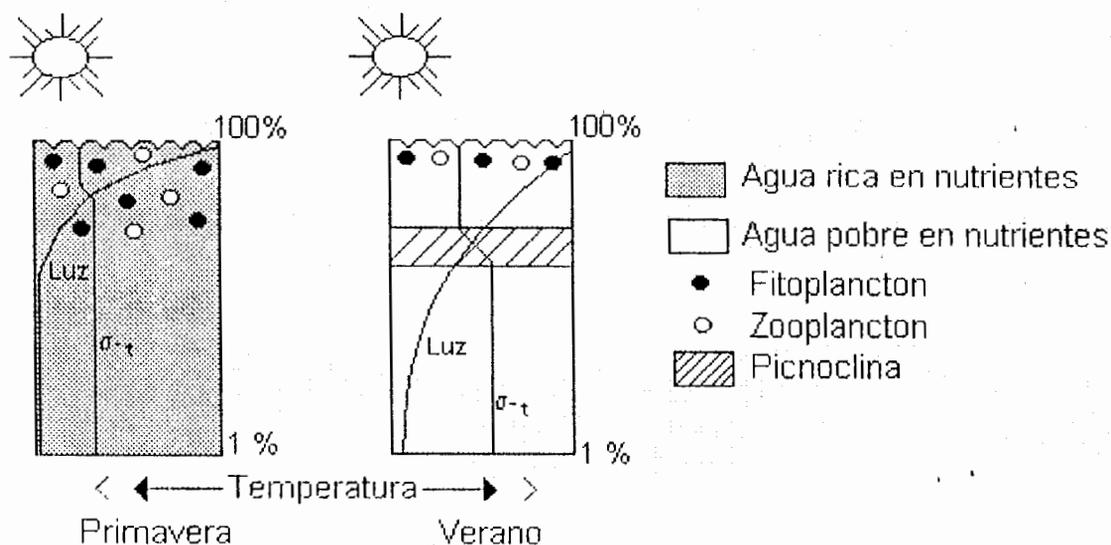


Fig. 38 Representación esquemática de la productividad primaria en la bahía de La Paz, durante primavera - verano.

De acuerdo con Gaxiola-Castro (1994) las comunidades fitoplanctónicas tienen diferentes estructuras, biomasa y diversos grados de adaptación a las distintas irradiancias, disponibilidad de nutrientes y en general a las distintas condiciones que se manifiestan durante el ciclo diurno y en los diferentes días. Esta situación explica la gran variabilidad que se presenta en la producción primaria.

Goldman y De Amezaga (1984), sugiere que la alta productividad de los océanos oligotróficos pueden ser mantenidos por una rápida regeneración de nutrientes en asociación con agregados y partículas en aguas superficiales. Por lo que el efecto del posible flujo de nutrientes hacia aguas superficiales se manifiesta en un incremento en la biomasa fitoplanctónica integrada en la columna de agua con un incremento de clorofila, como lo manifiestan nuestros resultados durante el otoño.

Un adecuado suministro de nutrientes en la zona eufótica es necesaria para que altas proporciones de producción primaria sean sostenidas. La proporción del suministro es una función de la advección, difusión y los gradientes verticales de nutrientes (Riley y Chester, 1989).

De acuerdo con Thurman (1990) los nutrientes son muy bajos en la capa superficial durante el verano, pues el fitoplancton los consume rápidamente en el florecimiento de primavera, y para fertilizar esta capa se requiere que los procesos físicos operantes en la región hagan surgir sales nutritivas de las capas por debajo de la nutriclina. Uno de los procesos más importantes es el engrosamiento y adelgazamiento estacional de la capa de mezcla superficial, como lo manifiestan los resultados obtenidos en este trabajo.

Existe evidencia de que los procesos oceanográficos anuales y estacionales descritos se asocian con cambios en la turbidez, concentración de nutrientes (nitratos, nitritos, fosfatos y silicatos) y densidad de células fitoplanctónicas (Riley y Chester, 1989; Thurman, 1990). Sin embargo para entender las variaciones de la productividad primaria en la bahía, es necesario hacer progresos en relacionar estudios de ecología del fitoplancton con procesos físicos de escalas espaciales y temporales diversas.

Así tenemos por ejemplo que la mayoría de los cuerpos costeros tienen una alta energía cinética turbulenta (TKE) la cual mantiene en suspensión sedimentos terrígenos, dando como resultado una alta turbidez, y por tanto, una menor penetración de la luz en la columna de agua que limita la productividad primaria (Lewis *et al.*, 1984a y 1984b; Santamaría-del Ángel *et al.*, 1996).

Alvarez-Borrego y Gaxiola-Castro (1988), Gaxiola-Castro (1994), y Gaxiola-Castro *et al.* (1995), utilizaron el índice o parámetro de estratificación para relacionarlo con la variación de los parámetros fotosintéticos en el norte del golfo de California, reportando que los valores promedios de los parámetros fotosintéticos en la zona eufótica se incrementaron cuando el índice de estratificación decreció hasta cierto valor, finalmente concluyen que la turbulencia moderada en el golfo de California causa valores más altos en la tasa de fotosíntesis a saturación de luz (P_m^B) y en la pendiente inicial de la curva P-E (α^B) en comparación con la turbulencia fuerte o la

estratificación. Por otro lado González-Morales *et al.* (1993) realizaron un trabajo en la región costera de Baja California en el cual reportan que este mismo índice se relaciona casi linealmente con los parámetros fotosintéticos del fitoplancton mayor de 8 μm , sin embargo parece no tener ninguna relación con los del fitoplancton menor a 8 μm

A partir del Φ calculado para la columna de agua (de 0 a 100 m), se estimó una relación lineal con la temperatura, obteniéndose un coeficiente de determinación de 0.90 ($p < 0.05$). En general, los valores menores de Φ para este trabajo guardan una estrecha relación con los datos de temperatura ya que se registraron los menores valores para ambas variables en el mes de marzo, sin embargo los máximos valores para Φ se registraron en el mes de octubre y los de temperatura en el mes de septiembre.

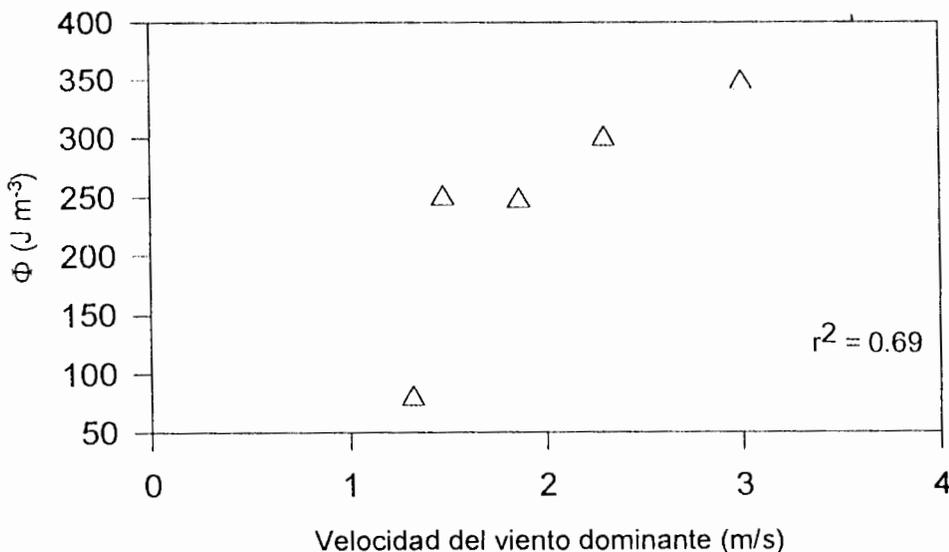


Fig. 39 Relación entre Φ y la velocidad del viento durante el período de muestreo.

De acuerdo con Simpson y Hunter (1974) y Simpson *et al.* (1977 y 1978) el parámetro de estratificación presenta cambios estacionales que se ven afectados por : 1) el calentamiento de la superficie, 2) la mezcla de marea y 3) el efecto de los vientos. Con el proposito de establecer la contribución de la magnitud de los vientos sobre Φ

se relacionaron los datos de viento obtenidos de la estación meteorológica del CIBNOR para el período de muestreo con Φ , encontrándose que el 69 % ($p < 0.05$) de esta variabilidad es posible explicarla con el efecto de los vientos (Fig. 39) y el 31 % debido a la mezcla por marea y al calentamiento de la superficie.

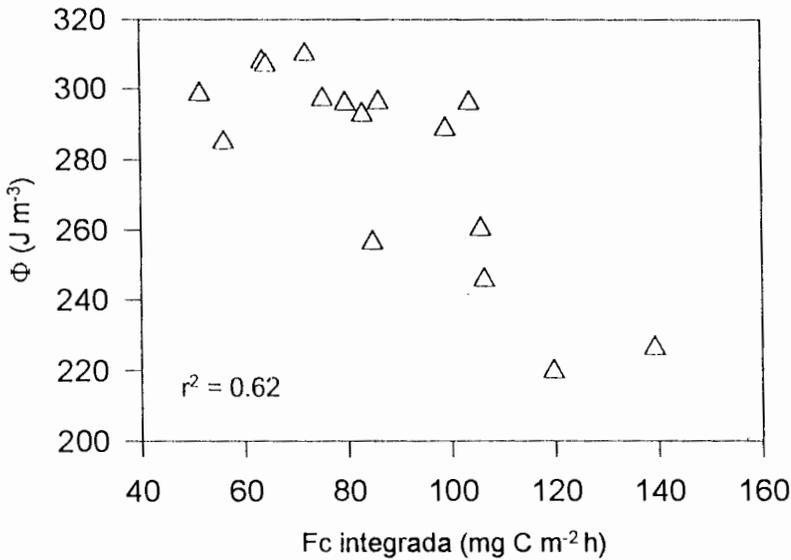


Fig. 40 Relación entre pp integrada (5m-Ze) y Φ durante el período de muestreo.

Con la finalidad de observar si existe una relación estrecha de Φ con la pp integrada se realizó un análisis de correlación en el que se obtuvo un coeficiente de determinación de 0.62 ($p < 0.05$), lo cual significa que la estratificación de la columna de agua esta estrechamente relacionada con los valores bajos de pp durante los meses de verano (Fig. 40).

En el mismo contexto se relaciono Φ con la concentración de clorofila a y seston obteniéndose un coeficiente de determinación de 0.56 y 0.29 ($p < 0.05$) respectivamente. En el caso de la clorofila a pesar de ser un valor bajo se considera una relación significativa en la que aparentemente los bajos valores de Cla están en correspondencia con los altos valores de Φ y viceversa. Para el seston no fue significativa, debido a la gran dispersión que presentan los datos.

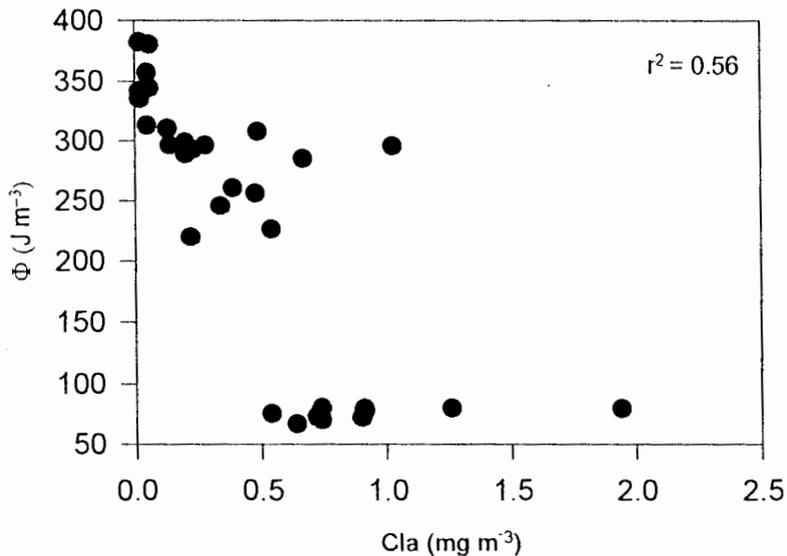


Fig. 41 Relación entre Cla y Φ durante el período de muestreo.

VI. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio soportan claramente la hipótesis que señala a la bahía de La Paz como una zona de elevada productividad fitoplanctónica cuya variabilidad esta en función de un efecto combinado de los principales factores que la determinan, con una fuerte contribución de la estratificación de la columna de agua sobre esta.

La productividad primaria presenta un marcado ciclo estacional (primavera-verano) de latitudes templadas. Tanto la productividad primaria como la hidrografía de la bahía de La Paz presentan una compleja variación espacial durante la primavera, principalmente en la zona litoral y el área adyacente a la ensenada de La Paz. En el verano la variación espacial es relativamente más homogénea.

La productividad primaria superficial y la productividad primaria integrada durante el período de estudio mostraron un decremento en función del tiempo y en respuesta a las condiciones que la favorecen o limitan como: un cielo despejado, vientos débiles, buena transparencia, concentraciones altas de nutrientes y densidades bajas de fitoplancton.

Aparentemente no existen diferencias significativas entre los valores mensuales de productividad primaria superficial y productividad primaria integrada, lo cual confirmaría que la bahía sostiene una alta productividad comparada con algunas áreas del Pacífico mexicano y golfo de California.

VII. RECOMENDACIONES.

Los siguiente comentarios tienen como finalidad enmarcar los aspectos clave que permitirán obtener un panorama mas completo del funcionamiento de la bahía de La Paz, teniendo en cuenta que algunas de las consideraciones ya son llevadas a la práctica o bien existen planes para ello; siempre en la inteligencia de que su ejecución en la mayoría de las veces es costosa, paulatina y de carácter secuencial.

- Se debe considerar el estudio del fitoplancton de una manera continua complementándose con estudios relacionados, de manera interdisciplinaria, que finalmente rindan ideas sobre los flujos de energía y patrones de distribución, así como alternativas de manejo.

- Se debe estandarizar la técnica de fluorescencia a través de la comparación entre la técnica de fluorescencia y la técnica de incorporación de carbono radiactivo (^{14}C).

- Con el propósito de identificar mejor la influencia que tiene el golfo de California sobre la bahía es necesario obtener muestras de nutrientes en toda la columna de agua con la finalidad de utilizarlos como trazadores de masas de agua.

- Debido al evento "EL NIÑO" durante 1997-98 es necesario continuar con el monitoreo de las condiciones Hidrográficas en la bahía y determinar las posibles implicaciones en la ecología del fitoplancton en un año "NORMAL".

- Describir la variación espacio-temporal de la biomasa fitoplanctónica con métodos *in situ* y la relación con la obtenida a partir de imágenes del color del océano (SeaWIFS).

- Se deben realizar estudios sinópticos de los vientos superficiales y locales con la finalidad de conocer la influencia en la capa superficial de la bahía.

- Se sabe que la productividad primaria en ambientes acuáticos esta dada principalmente por el fitoplancton, sin embargo también es de primordial importancia la productividad de las bacterias y su actividad en la recirculación de los nutrientes. Por lo que se debe plantear estudios que permitan establecer las relaciones de abundancia y biomasa entre el fitoplancton y bacterioplancton.

- Se deben realizar estudios mas detallados sobre los principales componentes del seston con la finalidad de conocer la cantidad y calidad del alimento disponible a la siguiente trama trófica.

- Finalmente es conocido que en la mayoría de los centros de investigación limnológica y oceanográfica se empleen con gran éxito técnicas colorimétricas para determinar las concentraciones de los componentes químicos del agua. Uno de los objetivos fundamentales de estas técnicas analíticas es la obtención de resultados confiables y óptimos que representen la dinámica de un cuerpo de agua. Dado que los componentes químicos del medio ambiente acuático son menos perceptibles que los físicos o los biológicos, pero que indudablemente afectan en forma determinante la distribución y abundancia de las especies. Por tal motivo es necesario que cada una de las técnicas sean reproducibles con continuidad, así como realizar una concienzuda capacitación en el análisis de muestras.

VIII. LITERATURA CITADA.

- ABRAJAN-VILLASEÑOR, I. 1986. Relación fotosíntesis-irradiancia del fitoplancton total y por fracciones de tamaños en dos estaciones del estero Punta Banda B. C. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, B. C. S. México. 60 pp.
- ALVAREZ-BORREGO, S. 1983. The Gulf of California. En: Ketchum B. H. (ed.). *Estuaries and Enclosed Seas*. Elsevier, New York. 427-449.
- ALVAREZ-BORREGO, S. 1995. Satellite derived photosynthetic pigment surveys: A review of marine phytoplankton biomass and productivity. Geofísica Internacional. Vol. 35, Núm. 1, 51-61.
- ALVAREZ-BORREGO, S. y A. C. BARRAGÁN. 1976. Distribución superficial de fosfatos y silicatos en bahía San Quintín, B. C. Ciencias Marinas. 3(1):51-61.
- ALVAREZ-BORREGO, S. and G. GAXIOLA-CASTRO. 1988. Photosynthetic parameters of northern Gulf of California phytoplankton. Continental Shelf Research. 8(1):37-47.
- ✓ALVAREZ-BORREGO, S. and J. R. LARA-LARA. 1991. The physical environment and primary productivity of the Gulf of California. En: Dauphin, J.P. and B. Simoneit (eds.). *The Gulf and Peninsular Province of the Californias*. Amer. Assoc. Petrol. Geol. Memoir 47, 555-567.
- BARREIRO-GÜEMES, M. T., C. H. LECHUGA-DEVÉZE y J. BUSTILLOS-GUZMÁN. 1993. Variabilidad diurna de la producción primaria en la boca de la ensenada de La Paz, B. C. S. Hidrobiológica. Vol 3 (1-2). 17-27.
- BENDSCHNEIDER, and ROBINSON. 1952. J. Mar. Res., 11:87.
- BERMAN, T. 1975. Size fractionation of natural aquatic populations associated with autotrophic and heterotrophic carbon uptake. Mar. Biol. 33:215-220.
- BIGELOW, H. B., L. C. LILLICK and M. SEARS. 1940. Phytoplankton and planktonic protozoa of the offshore waters of the Gulf of Maine. Part I Numerical distribution. Trans. Am. Phil. Soc., N.S., 31:149-191.
- BOTO, K. G. 1982. Nutrient and organic fluxes in mangroves. En: *Mangrove ecosystem in Australia. Structure, Function and Management*. Australian Institute of Marine Science. B.F. Clough (Ed). Australian University Press, Canberra. 239-257.

- BUSTILLOS-GUZMÁN, J. 1986. Fitoplancton en tres ecosistemas de manglar en la bahía de La Paz, B. C. S. (México). I. Diatomeas. An.Inst.Cienc.Mar. y Limnol., UNAM. 13(3):301-306.
- BUSTILLOS-GUZMÁN, J. 1995. Specific phytoplankton signatures and their relationship to hydrographic conditions in the coastal northwestern Mediterranean Sea. Mar. Ecol. Prog. Ser. 124:247-258.
- BUSTILLOS-GUZMÁN, J. y C. H. LECHUGA-DEVÉZE 1989. Relación disco de Secchi versus irradiancia escalar cuantica en la costa occidental de Baja California y golfo de California. Ciencias Marinas, 15(1):39-46.
- BUSTILLOS-GUZMÁN, J. y E. OLIVARES-GONZÁLEZ. 1986. Fitoplancton en tres ecosistemas del manglar de la bahía de La Paz, B. C. S. México II. Producción primaria bruta neta y respiración. An.Inst.Cienc.Mar. y Limnol., UNAM. 13(3):307-312.
- CABRERA MURO, H. R., C. DAHM y P. K. PARK 1977. Distribución longitudinal de silicato a 180° en el Océano Pacífico. Ciencias Marinas. 4(1):34-39.
- CALVARIO, O. y E. G. DE LA LANZA. 1987. Productividad primaria y productos de excreción en el Noroeste de la isla de Isabel, Mex. Mem. VII Simp. Latinoamer. Oceanogr. Biol., Nov. 1981, Acapulco. 155-170.
- CERVANTES-DUARTE, R. 1982. Distribución de nutrientes en la ensenada de La Paz, B. C. S. durante el período primavera-verano de 1981. Tesis Licenciatura. CICIMAR-IPN.
- CERVANTES-DUARTE, R. 1996. Componentes ópticamente activos en aguas del golfo de California. Tesis Doctoral. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. México. 118 pp.
- CERVANTES-DUARTE, R. 1997. Estimación de producción primaria vía fluorescencia natural en la bahía de La Paz, B. C. S., México. Boletín No. 56. CICIMAR-IPN.
- CERVANTES-DUARTE, R., S. AGUIÑIGA-GARCÍA y R. GUERRERO-GODÍNEZ. 1991. Variación estacional de temperatura, salinidad y nutrientes en la ensenada de La Paz, B. C. S. (1986-1988). Rev. Inv. Cient. 2(2). U.A.B.C.S.
- CERVANTES-DUARTE, R., G. GAXIOLA-CASTRO y J. E. VALDEZ-HOLGUÍN. 1993. Relación entre clorofila superficial y clorofila en la zona eufótica del golfo de California: Posible aplicación para estimar la producción primaria con datos obtenidos por sensores remotos. Ciencias Marinas. 19(4):1-18.

- CERVANTES-DUARTE, R. y R. GUERRERO-GODÍNEZ. 1988. Variación espacio-temporal de nutrientes de la ensenada de La Paz, B. C. S., México. An.Inst.Cienc.Mar y Limnol., UNAM. 15(2):129-142.
- CERVANTES-DUARTE, R. y R. H. MASKE. 1996. Seasonal distribution of seston, pigments, and yellow substance in the norther Mexican Pacific. Ocean Sciences Meeting, San Diego California.
- CERVANTES-DUARTE, R., R. H. MASKE y E. GARCÍA-MENDOZA. 1996. Datos Planctónicos, Ópticos e Hidrográficos del golfo de California y Corriente de California (1992-1995). Informe técnico. Centro de Investigación Científica y De Educación Superior de Ensenada. 289 pp.
- CERVANTES-DUARTE, R. y H. SANTOYO. 1986. Nota acerca del metabolismo de una laguna hiperhalina de Baja California Sur. Inv. Mar. CICIMAR-IPN. 3(1):133-139.
- CONTRERAS, F. 1987. Algunos índices de la productividad primaria en la laguna de Tamiahua, Ver., Méx. Mem. VII Simp. Latinoamer. Oceanogr. Biol. Nov. 1981 Acapulco. 183-484.
- CRUZ-AYALA, M. B. 1996. Variación espacio-temporal de la ficoflora y su abundancia relativa en la bahía de La Paz, B. C. S. México. Tesis de Mestría. CICIMAR-IPN. 100 pp.
- CRUZ-OROZCO, R., C. MARTÍNEZ-NORIEGA y A. MENDOZA-MARAVILLAS. 1996. Batimetría y sedimentos de la bahía de La Paz, B. C. S., Oceánides. Vol. 11, No. 1, 21-27.
- CRUZ-OROZCO, R., P. ROJO, L. GODÍNEZ y E. NAVA. 1989. Topografía, hidrología y sedimentación de los márgenes de la laguna de La Paz, B. C. S. Rev.Inv.Cient. 8(1):3-15. U.A.B.C.S.
- DAY, J. W., CH. A. HAIL., W. N. KEMP & A. YAÑEZ ARANCIBIA. 1989. Estuarine Ecology. Joh Wiley and Sons, New York. 558 pp.
- DEMERS, S., L. LEGENDRE and J. C. TERRIAULT. 1986. Phytoplankton responses to vertical tidal mixing. En Bowman, M.J., C.M. Yentsch and W.T. Peterson. Lecture Notes on Coastal and Estuaries Studies, Vol. 17. Tidal Mixing and Plankton Dynamics. Springer-Verag Berlin Heidelberg. 1-40.

- DE LA LANZA, E. G. 1994. Química de las Lagunas Costeras y el Litoral Mexicano. En: Lagunas Costeras y el Litoral Mexicano. De la Lanza Espino G. y C. Cáceres Martínez (Eds) 525 pp.
- DE SILVA-DÁVILA, R. 1997. Abundancia y distribución de los eufácidos y producción larvaria de *Nyctiphanes simplex* (Hasne), en la bahía de La Paz, B. C. S. México. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. 112 pp.
- DE SILVA-DÁVILA, R. and J. R. PALOMARES-GARCÍA. 1998. Unusual larval growth production of *Nyctiphanes simplex* in bahía de La Paz, Baja California sur, México. J.Crustacean Biol. 18(3):9.
- ESPINOSA-CARREÓN, L. 1996. Productividad primaria y su relación con algunas variables Bio-ópticas en la bahía de Todos Santos, Baja California, Mexico. Tesis de Maestría. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. México. 157 pp.
- ESPINOZA-AVALOS, J. 1976(a). Principales parámetros hidrológicos de la ensenada de La Paz, B. C. S. durante un ciclo anual. Informe de labores 1976 del Centro de Investigaciones Biologicas, La Paz, B.C.S., México. 79-86.
- ESPINOZA-AVALOS, J. 1976(b). Resultados preliminares sobre la distribución de parámetros fisico-quimicos en la ensenada de La Paz, B. C. S., durante la primavera de 1976. CIBCASIO. trans. 2:25-48.
- FALKOWSKI, G. P. and J. A. RAVEN. 1997. Aquatic photosynthesis. Blackwell Science. 375 pp.
- FELIX PICO, E. F. 1975. Primer informe preliminar del programa de estudios Ecológicos en bahía Concepción, estero San Lucas y bahía de La Paz. (SARH). Reporte Investigaciones CIB. 58-66.
- FLORES-RAMÍREZ, S., R. J. URBÁN, VILLARREAL-CHÁVEZ y R. VALLES-JIMÉNEZ. 1996. Cambios espaciales y temporales de la estructura comunitaria de los cetáceos en bahía de La Paz, B. C. S., México (1988-1991). Ciencias Marinas. 22(2): 151-173.
- GARCÍA-MENDOZA, E. 1994. Fluorescencia natural y productividad primaria en el Pacífico Mexicano. Tesis de Maestría. Centro de Investigación científica y de Educación Superior de Ensenada. 128 pp.

- GARCÍA-MENDOZA, E. and R. H. MASKE. 1996. The relationship of solar-stimulated natural fluorescence and primary productivity in Mexican Pacific waters. Limnol. Oceanogr. 41(8):1697-1710.
- GARCÍA-PÁMANES, J. 1981. El fitoplancton de la porción oriental de la bahía de La Paz, B. C. S., durante primavera y verano. Resúmenes y Programa, VII Simposio Latinoamericano sobre Oceanografía Biológica. Acapulco, Guerrero, México. Nov. 15-19. 38 pp.
- GARATE-LIZARRAGA, I. and A. MARTÍNEZ-LÓPEZ. 1997. Red tides of the protozoan *Mesodinium rubrum* (Lohmann) Kahl in Bahía de La Paz. Boletín No. 53, CICIMAR-IPN.
- GAXIOLA-CASTRO, G. 1994. Efectos de algunos procesos físicos sobre la fisiología y productividad del fitoplancton marino. Tesis Doctoral. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. 145 pp.
- GAXIOLA-CASTRO, G. y S. ALVAREZ-BORREGO. 1984. Relación fotosíntesis-irradiación en el fitoplancton de aguas costeras del noroeste de Baja California. Ciencias Marinas. 10(3):53-66.
- GAXIOLA-CASTRO, G. y S. ALVAREZ BORREGO. 1986. Productividad primaria del Pacífico Mexicano. Ciencias Marinas. 12(3):26-33.
- GAXIOLA-CASTRO, G., J. GARCIA-CORDOVA, J. E. VALDÉZ-HOLGUÍN y M. BOTELLO-RUVALCABA. 1995. Spatial distribution of chlorophyll a and primary productivity in relation to winter physical structure in the Gulf of California. Continental Shelf Research. 15(9):1043-1059.
- GILMARTIN, M and N. REVELANTE. 1978. The phytoplankton characteristics of the Barrier Island Lagoons of the Gulf of California. Estuarine and Coastal Marine Science. 7(1):29-47.
- GOLDMAN, J. C. and DE AMEZAGA E. 1984. Primary productivity and precipitation at Castle Lake and Lake Tahoe during twenty-four years, 1959-1982. Veren. Limnol., 22, 591-599.
- GÓMEZ-AGUIRRE, S. 1987. Microplancton y ensayos de producción primaria en el sector occidental del golfo de California (Jun-Jul 1979). Mem VII simp. Latinoamer. Oceanogr. Biol., Nov. 1981, Acapulco.

- GÓMEZ, J. H., H. CABRERA y FERRERA, S., 1984. Estudio hidrográfico de La Ensenada de La Paz, B. C. S. Primera Reunión sobre Ciencia y Sociedad. Presente y Futuro de la ensenada de La Paz. Memoria UABCS. Gobierno del Estado. 7-13.
- GONZÁLEZ-MORALES, A. T., G. GAXIOLA-CASTRO and R. LARA-LARA. 1993. Daily Phothosynthetic Parameters and Biomass from Size-Fractionated Phytoplankton off Baja California. Estuarine Coastal and Shelf Science. 36:147-158.
- GORDON, H. R., D. K. CLARK, J. L. MUELLER, and A. HOVIS. 1980. Phytoplankton pigments derived from the Nimbus-7 CZCS: Initial comparisons with surface measurements. Science. 210, 63.
- GORDON, H. R. and A. MOREL. 1983. Remote assessment of ocean color for interpretation of satellite visible imagery: A review. New York Springer-Verlag.
- GRANADOS-GUZMÁN, A. y S. ALVAREZ-BORREGO. 1983. Variabilidad de temperatura en la ensenada de La Paz, B. C. S. Ciencias Marinas. 9(2):133-141.
- HANS, J. S. and G. SACHUETTE. 1981. Marine Diatoms the sea, Vol 7. The oceanic lithosphere Edited by C. Emiliani. 1179-1230.
- HERNÁNDEZ-BECERRIL, D. U. 1993. Fitoplancton Marino en México. En Biodiversidad Marina y Costera de México. Salazar-Vallejo, S.I. y N.E. González (eds). Com Nal. Biodiversidad y CIQRO, México, 865 pp.
- HERRERA-JUÁREZ, R. 1995. Manual de Meteorología y Fenómenos Meteorológicos. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). 361 pp.
- JEFREY, S. W. and HUMPHREY. 1975. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1 and c2 in algal, phytoplankton and higher plants. Biochem. Physiol. Pflanz. B.P.P. 167:191-194.
- JIMÉNEZ-ILLESCAS, A. R., 1983. Aplicación de un modelo hidrodinámico numérico a la ensenada de La Paz, B. C. S. Tesis de Maestría. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, México. 109 pp.
- JIMÉNEZ-ILLESCAS, A. R., 1996. Análisis de procesos barotrópicos y baroclínicos en la bahía de La Paz, B. C. S. Tesis Doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México. 193 pp.

- JORDÁN, E. 1972. Comparación entre dos métodos para estimar productividad primaria de aguas litorales del golfo de México. An.Inst.Biol. UNAM 43, Ser.Cienc.Mar.Limnol. 1:21-32.
- KRANCK, K. 1980. Variability of particulate matter in a small coastal inlet. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 37:1209-1215 pp.
- KIEFER, D. A., N. S. CHAMBERLIN and C. R. BOOTH. 1989. Natural fluorescence of chlorophylla: Relationship to photosynthesis and chlorophyll concentration in the western south Pacific gyre. Limnol Oceanogr. 35(5)808-884.
- LARA-LARA, J. R. y S. ALVAREZ-BOREGO. 1978. Series de tiempo de clorofilas y producción orgánica primaria en bahía San Quintín, B. C. Ciencias Marinas. 2(1):77-96.
- LARA-LARA, J. R., R. MILLAN-NUÑEZ, J. L. LARA-OSORIO y C. BAZAN-GUZMÁN. 1993. Productividad y biomasa del fitoplancton por clases de tamaño, en la parte central del golfo de California durante primavera, 1985. Ciencias Marinas. 19(2):137-154.
- LAVANIEGOS, E. B. and D. LÓPEZ-CORTÉS. 1997. Fatty Acid Composition and Community Structure of Plankton from the San Lorenzo Channel, Gulf of California. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 45, 845-854.
- LAVÍN, M. F., E. BEIER y A. BADAN. 1997. Estructura hidrográfica y circulación del golfo de California: Escalas estacional e interanual, en: Lavín, M. F. Editor, Contribuciones a la Oceanografía en México, Monografía No3., Unión Geofísica Mexicana, 141-171.
- LECHUGA-DEVÉZE, C. H., 1982. Mediciones anómalas de oxígeno disuelto en experimentos con botellas claras y oscuras. Inv. Pesq., 41-50.
- LECHUGA-DEVÉZE, C. H. 1997. Budgets for Mexican Coastal Lagoons. Ensenada de La Paz, Baja California sur. En: Smith, S.V., Ibarra-Obando, P.R. Boudreau and V.F. Camacho-Ibar. 1997. Comparison of Carbon, Nitrogen and Phosphorus Fluxes in Mexican Coastal Lagoons, LOICZ Reports & Studies No. 10, ii + 84 pp. LOICZ, Texel, The Netherlands.
- LECHUGA-DEVÉZE, C. H., J. BUSTILLOS-GUZMÁN, G. M. T. BARREIRO y D. LÓPEZ-CORTÉS. 1990. Oscilaciones semi-diurnas, diarias y estacionales de variables físicas en la ensenada de La Paz, B. C. S. Inv. Mar. CICIMAR, 5(1):1-9.

- LECHUGA-DEVÉZE, C. H., J. GARCÍA-PÁMANES y J. BUSTILLOS-GUZMÁN. 1986. Condiciones ecológicas de una laguna costera de la costa oeste del golfo de California, turbiedad y clorofila a. Ciencias Marinas. 12(1):19-31.
- LEVASSEUR, M., J. C. THERRIAULT and L. LEGENDRE. 1984. Hierarchical control of phytoplankton succession by physical factors. Mar.Ecol.Prog.Ser. 19:211-222.
- LEWIS, M. R., J. J. CULLEN and T. PLATT. 1984a. Relationships between vertical mixing and photoadaptation of phytoplankton: similarity criteria. Mar.Ecol.Prog.Ser. 15:112-149
- LEWIS, M. R., E. P. W. HORNE, J. J. CULLEN, N. S. OAKLEY and T. PLATT. 1984b. Turbulent motions may control phytoplankton photosynthesis in the upper ocean. Nature. 311:49-50.
- MARGALEF, R. 1974. Ecología. Ed. Omega. 950 pp.
- MARGALEF, R. 1978. Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. Oceanologica Acta 1:493-510.
- MARTÍNEZ-LÓPEZ A., R. CERVANTES-DUARTE y A. REYES-SALINAS(en revisión). Cambio estacional de clorofila a total y fraccionada en la bahía de La Paz, B. C. S., México.
- MARTIN, D. F. 1970. Marine Chemistry. Theory and Applications. Vol. 2 Marcel Dekker. Inc. E.U.A. 451 pp.
- MARRA, J. 1978a. Effect of short-term variations in light intensity on photosynthesis of marine phytoplankton: a laboratory simulation study. Mar. Biol., 46:191-202.
- MARRA, J. 1978b. Phytoplankton photosynthetic response to vertical movement in a mixed layer. Mar. Biol., 46: 203-208.
- MAYZAUD, P., J. P. CHANUT and R. G. ACKMAN. 1989. Seasonal changes of the biochemical composition of marine particulate matter with special reference to fatty acids and sterols. Mar.Ecol.Prog.Ser. 56:189-204.
- MEGARD, O. R. and T. BERMAN. 1989. Effects of algae on the Secchi transparency of the southeastern mediterranean Sea. Limnol. Oceanogr., 34(8), 1640-1655.
- MILLÁN-NUÑEZ, R., R. CAJAL-MEDRANO, E. SANTAMARIA-DEL ANGEL y E. MILLAN-NUÑEZ. 1993. Productividad primaria y clorofila a en la parte central del golfo de California (otoño 1987). Ciencias Marinas. 19(1):29-40.

MORRIS and RILEY. Anal. Chim. Acta. 29:272, 1963.

MURPHY, J. and P. RILEY. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal. Chim. Acta. 27:31.

MULLIN and RILEY. 1955. Anal. Chim. Acta. 12:162.

MURILLO, J. M. 1987. Algunas características paleoceanográficas y cuerpos de agua inferidos a partir del registro micropaleontológico (radiolaria) en la bahía de La Paz, B. C. S., México. Tesis Licenciatura. UABCS. 70 pp.

NIETO-GARCÍA, E. y J. GARCÍA-PÁMANES. 1991. I Jornada Académica de Biología marina. U.A.B. C. S. La Paz, B. C. S. Octubre de 1991.

OBESO-NIEBLAS, M. 1986. Propagación de la constituyente M2 de la marea en la bahía de La Paz, B. C. S. México. Mediante un modelo bidimensional hidrodinámico numérico. Tesis Maestría. CICIMAR-IPN. 123 pp.

OBESO-NIEBLAS, M. y R. A. JIMÉNEZ-ILLESCAS. 1989. Propagación de la constituyente M2 de la marea en la bahía de La Paz, B. C. S., México, mediante un modelo bidimensional hidrodinámico numérico. *Inv. Mar. CICIMAR.* 4(2):241-256

OBESO-NIEBLAS, M., R. A. JIMÉNEZ-ILLESCAS y S. TROYO-DIEGUEZ.. 1993a. Modelación hidrodinámica de la marea en la ensenada de La Paz. *Inv. Mar. CICIMAR.* 8(1):1-11

OBESO-NIEBLAS, M., R. A. JIMÉNEZ-ILLESCAS y S. TROYO-DIEGUEZ. 1993b. Modelación de la marea en la bahía de La Paz. *Inv. Mar. CICIMAR.* 8(1):14-22

OTERO-DÁVALOS, L. 1987. Ciclo estacional de la producción primaria de la bahía Chamela, Jalisco Mex. (1980). *Mem VII. Simp. Latinoamer. Oceanogr. Biol.,* Nov. 1981, Acapulco. 171-182.

PAASCHE, E. Silicon. Chapter 7. 259-283.

PARSONS, T. R., Y. MAITA and C. M. LALLI, 1984a. A manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. Pergamon Press. 173 pp.

PARSONS, T. R., TAKAHASHI and B. HARGRAVE. 1984b. Biological Oceanographic Processes. 3rd edition. Pergamon Press. 330 pp.

- PLATT, T. and D. V. S. RAO. 1970. Energy flow and species diversity in marine phytoplankton blooms. Nature, 227:1059-1060.
- PLATT, T. and S. SATHYENDRANATH. 1988. Oceanic primary production: Estimation by remote sensing at local and regional scales. Science. 241, 1613.
- POULET, S.A., D. COSSA and J.C. MARTY. 1986. Combined analysis of the size spectra and biochemical composition of particles in the St. Lawrence estuary. Mar.Ecol.Prog.Ser. 30:205-214.
- RILEY, G. A. 1942. The relationship of vertical turbulence and spring diatom flowerings. J. Mar. Res. 67-87.
- RILEY, J. P. y R. CHESTER. 1989. Introducción a la química marina. AGT editor. 244 pp.
- ROBLES GIL-METRE, S. 1998. El clima de la ciudad de La Paz, B. C. S. Tesis de Maestría. UNAM. 233 pp.
- SÁNCHEZ-MARTÍNEZ, M. A. 1997. Interacción de variables hidroquímicas entre La Ensenada de La Paz y La bahía de La Paz. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. 57 pp.
- SANDOVAL-ROJO, L. C., F. J. FLORES-VERDUGO, U. ZARAGOZA-ARAUJO, J. W. DAY and A. ESTRADA-MERCADO. 1988. Phytoplankton productivity in the Barra de Navidad coastal lagoon on the Pacific coast of Mexico. Rev. Hidrobiol. Trop. 21(2):101-108.
- SANTAMARÍA-DEL ÁNGEL, E., R. MILLAN-NUÑEZ y G. DE LA PEÑA-NETLEL. 1996. Eefecto de la turbidez en la productibilidad primaria en dos estaciones en el área del delta del Río Colorado. Ciencias Marinas. 22(4):483-493.
- SANTOYO-REYES, H. 1994. Fitoplancton y productividad. En: Lagunas Costeras y el Litoral Mexicano. De la Lanza Espino G. y C. Cáceres Martínez (Eds) 525 pp.
- SATHYENDRANATH, S. and T. PLATT. 1989. Computation of aquatic primary production: Extended formalism to include effect of angular and spectral distribution of light. Limnol. Oceanogr. 34, 188.
- SIGNORET, M. y H. SANTOYO. 1980. Aspectos ecológicos del plancton de la bahía de La Paz, Baja California Sur. An.Inst.Cienc.Mar y Limnol. UNAM. 7(2):217-248.

- SMAYDA, T. 1980. Phytoplankton species succession. En: Morris' I. (ed). The phycological ecology of phytoplankton. Brackwell Scientific Publications. London 7:493-570.
- SIMPSON, J. H. and J. R. HUNTER. 1974. Fronts in the Irish Sea. *Nature*, 250, 404-406.
- SIMPSON, J. H., C. M. ALLEN and N. C. G. MORRIS. 1978. Shelf sea fronts adjustment revealed by satellite IR imagery. *Nature*. 280, 648-651.
- SIMPSON, J. H., D., G. HUGHES and N. C. G. MORRIS. 1977. The relation of seasonal stratification to tidal mixing on the continental shelf. En Angel, M. (ed) A Voyage to Discovery. *Depp. Sea. Res.* (suppl) 327-340.
- SIMPSON, J. H., P. B. TETT, M. L. ARGOTE-ESPINOZA, A. EDWARDS, K. J. JONES and G. SAVIDGE. 1982. Mixing and phytoplankton growth around an island in a stratified sea. *Cont Shelf.Res.* 1:15-31.
- SIMPSON, J. H. and P. B. TETT. 1986. Island stirring effects on phytoplankton growth. En: Bowman, M.J., C.M. Yentsch y E.T. Peterson. Lecture Notes on Coastal and Estuaries Studies, Vol. 17. Tidal Mixing and Plankton Dynamics. SpringerVerlag Berlin Heidelberg. 41-76.
- STEEMANN, N. 1952. The use of radioactive carbon (^{14}C) for measuring organic production in the sea. *J. Cons. per. int. Explor. Mer.* 18:117-140
- STEGMANN, P. M., M. R. LEWIS, C. O., DAVIS and J. J. CULLEN. 1992. Primary production estimates from recording of solar-stimulated fluorescence in the equatorial Pacific at 150°W. *J. Geophys. Res.* 97:627-638.
- STRICKLAND, J. D. 1960. Measuring the production of marine phytoplankton. *Bull.Fish.Res.Bd.Can.* 122:1-172.
- STRICKLAND, J. D. H. and T. R. PARSONS. 1972. A practical handbook of seawater analysis. *Bull.Fish.Res.Bd.Can.* 167:207-211.
- SVERDRUP, H. U. 1941. The Gulf of California: Preliminary discussion of the curise of the "E.W. Scripps" in February and March, 1939. Proc. 6th Pacific Science Congr., 3, 161-166.
- SVERDRUP, H. U. 1953. On conditions for the vernal blooming of phytoplankton. *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, 18: 287-295.

- THURMAN, H. V. 1990. Essentials of Oceanography. 3rd edition. Merrill Publishing Company. 398 pp.
- TORRES-OROZCO, E. 1993. Análisis volumétrico de las masas de agua del golfo de California. Tesis de Maestría. Centro de investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. 80 pp.
- URBAN-RAMÍREZ, J. y M. RAMÍREZ-RODRÍGUEZ. 1997. La bahía de La Paz: Investigación y conservación. México. UABCS. 345 pp.
- VALDÉZ-HOLGUÍN, J. E., G. GAXIOLA-CASTRO y R. CERVANTES-DUARTE. 1993. Mediciones Bio-ópticas en el golfo de California. OPTICA 3(1):19-26.
- VALDÉZ-HOLGUÍN, J. E., y J. R. LARA-LARA. 1987. Productividad primaria en el golfo de California. Efectos del evento "El Niño" 1982-1983. Ciencias Marinas. 13(2):34-50.
- VILLASEÑOR-CASALES, A. 1979. Distribución vertical de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto en la bahía de La Paz, Baja California Sur, durante la primavera de 1976. CalCOFI Rep. 20:146-149.
- WAYNE, D. W. 1987. Bioestadística: Base para el análisis de las Ciencias de la Salud. Ed. Limusa. 485 pp.
- WEIHAUPT, G. J. 1984. Exploración de los Océanos. Introducción a la Oceanografía. Ed. C.E.C.S.A. 640 pp.
- WYRTKI, K. 1967. Circulation and water masses in the eastern equatorial Pacific Ocean. Jour. Oceanol. Limnol. 1(2): 114-147.
- ZAYTSEV, O. V., F. SALINAS-GONZALEZ and S. TROYO-DIÉGUEZ. 1998. Water dynamics and mixing studies in the coastal zone of the Gulf of California. Proc. Canadian Hydrographic Conference, 267-276.
- ZEITZSHEL, B. 1969. Primary productivity in the Gulf of California. Mar. Biol. 3:201-207.

IX ANEXOS.

MAR		VIENTO			Estado De La Superficie Para Un Mar Completamente Desarrollado
Descripción	Fuerza	Descripción	Velocidad (m/seg)	No. De Beaufort	
Liso	0	Tranquilo	0 - 0.2	0	Como un espejo.
Rizado	1	Céfiro	0.3 - 1.5	1	Rizos pequeños sin crestas espumosas.
Suave	2	Brisa leve	1.6 - 3.3	2	Ondas pequeñas, cortas y mas pronunciadas; crestas con apariencia vitrea y que no se rompen.
Suave	2	Brisa suave	3.4 - 5.4	3	Las crestas empiezan a romper; espuma con apariencia vitrea; crestas ocasionales de espuma blanca.
Leve	3	Brisa moderada	5.5 - 7.9	4	Olas pequeñas, volviendose mas largas; frecuentemente crestas coronadas de espuma blanca.
Moderado	4	Brisa fresca	8.0 - 10.7	5	Olas moderadas que toman formas mas pronunciadamente largas; muchas crestas de espuma blanca; algo de rocío.
Fuerte	5	Brisa fuerte	10.8 - 13.8	6	Olas grandes empiezan a formarse; las crestas rompen formando grandes áreas de espuma blanca; algo de rocío.
Muy Fuerte	6	Casi Ventarrón	13.9 - 17.1	7	El mar se amontona, la espuma blanca de las olas rompientes empiezan a soplar ráfagas en la dirección del viento.
--	--	Ventarrón	17.2 - 20.7	8	Olas moderadamente altas con crestas de considerable longitud; los extremos de las crestas rompen en remolinos; la espuma es arrojada en ráfagas bien marcadas en la dirección del viento.
Borrascoso	7	Ventarrón fuerte	20.8 - 24.4	9	Olas altas; ráfagas densas de espuma en la dirección del viento; las crestas de las olas empiezan a voltearse; el rocío puede reducir la visibilidad.
Muy Borrascoso	8	Tormenta	24.5 - 28.4	10	Olas muy altas con grandes crestas colgantes; la espuma hace que la superficie del mar parezca blanca; el desorden del mar se vuelve violento y golpeante; la visibilidad se reduce.
Mar Excepcionalmente borrascoso	9	Tormenta violenta	28.5 - 32.6	11	Olas excepcionalmente altas; los extremos de las crestas son arrojados como espuma; el rocío reduce visibilidad.
Mar Excepcionalmente borrascoso	9	Huracán	32.7 - 36.9	12	El aire llena con espuma y rocío; mar completamente blanco; visibilidad muy reducida.

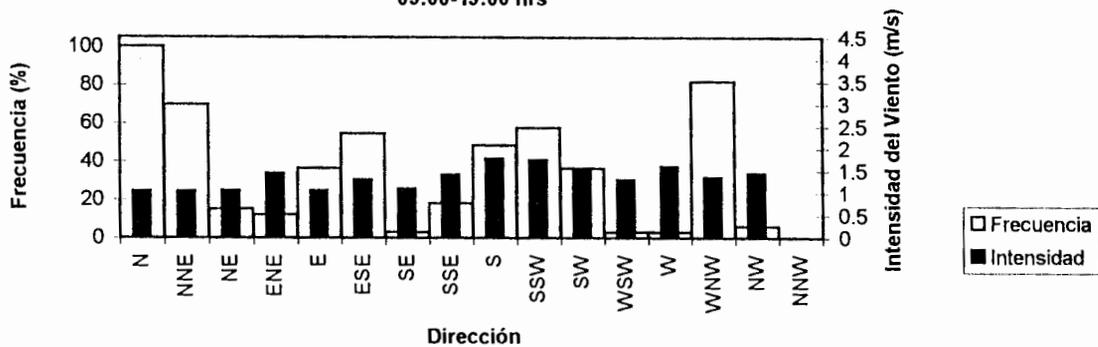
IX.1. Escala de Beaufort para el Estado del Mar y el Viento. Tomado de Weihaupt (1984).

En las cartas meteorológicas de superficie la nubosidad se mide en décimos y octavos de nubes que cubre la bóveda celeste (Herrera J., 1995). Como se muestra en la siguiente figura:

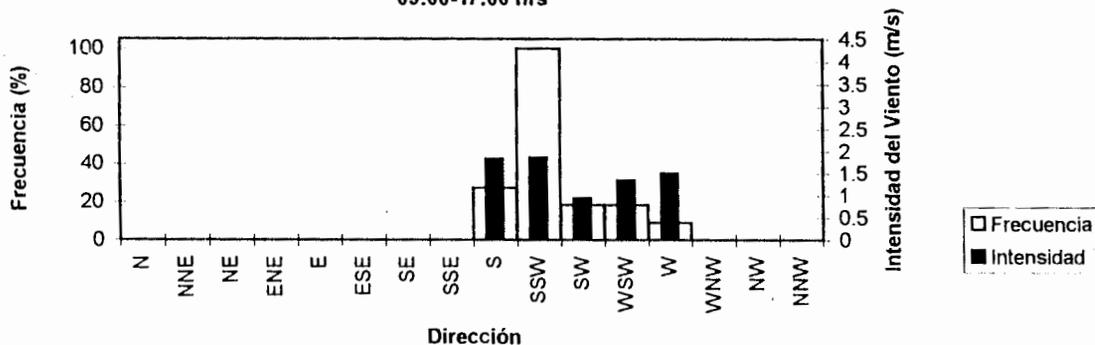
	0/8 Despejado
	1/8 cubierto
	2/8 cubierto
	3/8 cubierto
	4/8 cubierto
	5/8 cubierto
	6/8 cubierto
	7/8 cubierto
	8/8 Totalmente cubierto

IX.2. Símbolos de cobertura del cielo

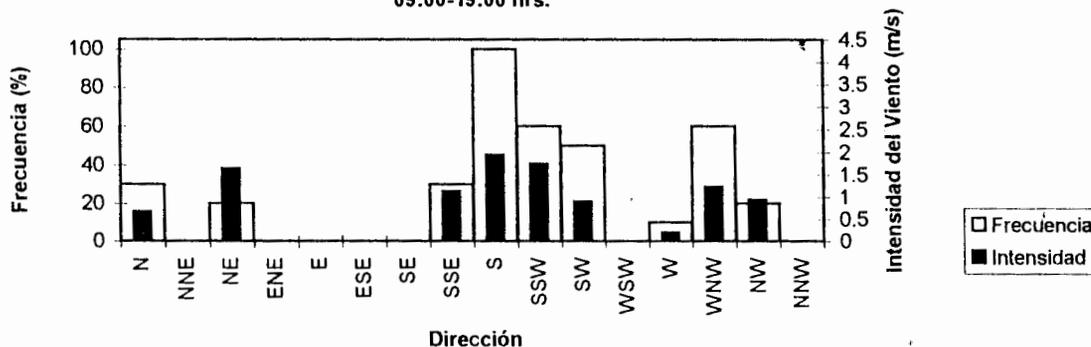
Vientos del 4 al 6 de Marzo de 1997
09:00-19:00 hrs



Vientos del 17 al 18 de Abril de 1997
09:00-17:00 hrs

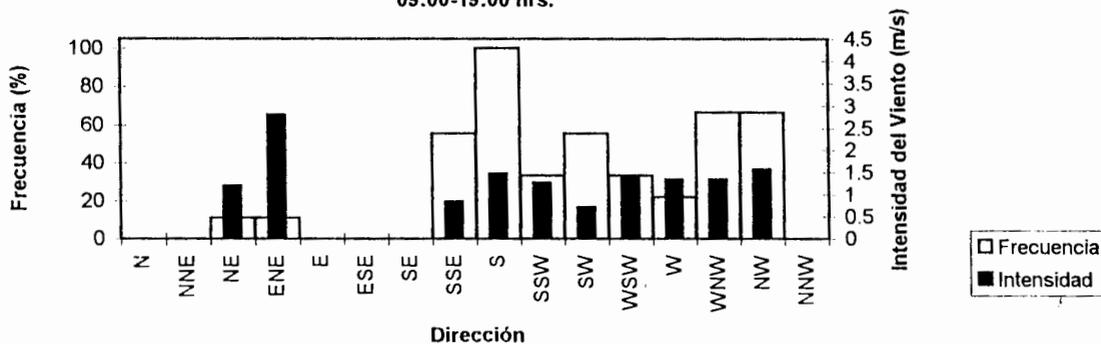


Vientos del 19 al 22 de Mayo de 1997
09:00-19:00 hrs.

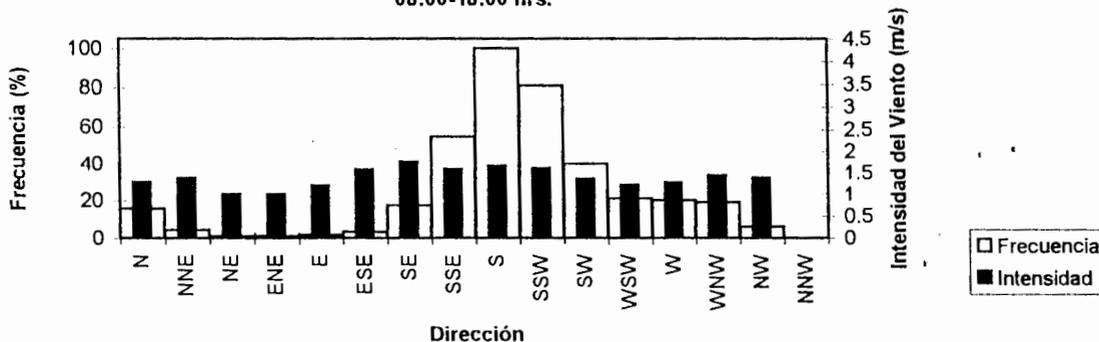


IX.3. Intensidad y Frecuencia de los vientos durante marzo, abril y mayo (1997). Los datos fueron tomados de la estación meteorológica del CIBNOR.

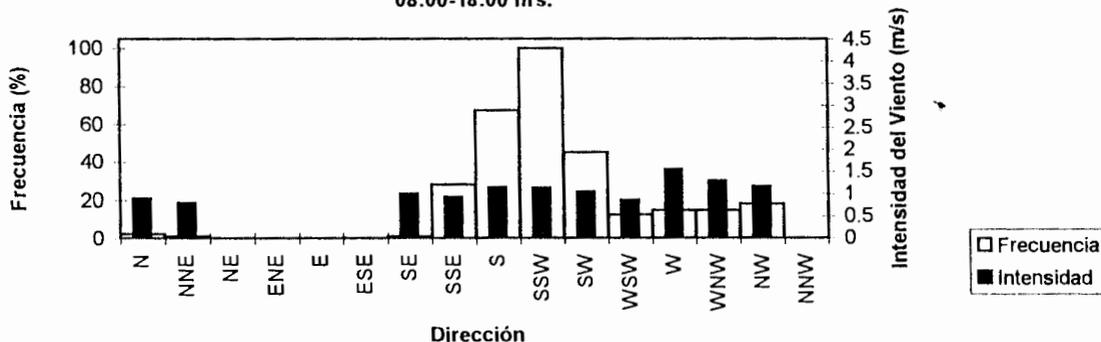
Vientos del 26 al 29 de Junio de 1997
09:00-19:00 hrs.



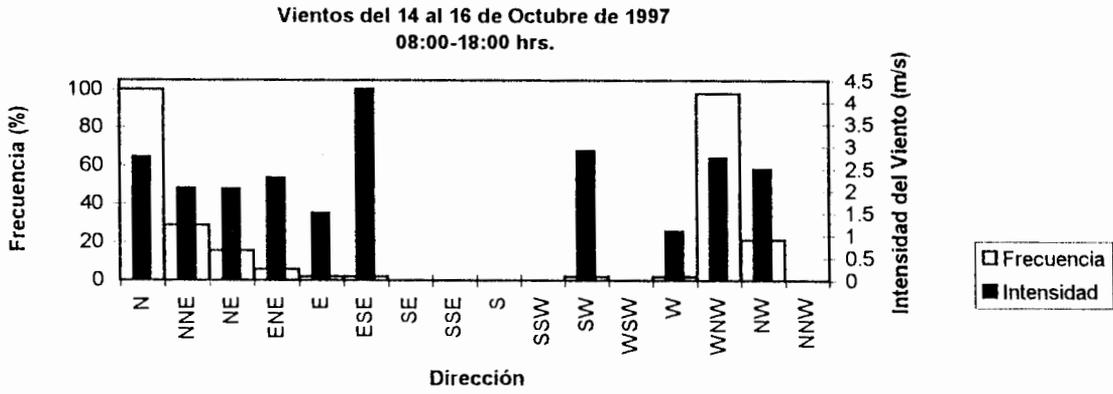
Vientos del 1 al 9 de Julio de 1997
08:00-18:00 hrs.



Vientos del 26 al 30 de Septiembre de 1997
08:00-18:00 hrs.



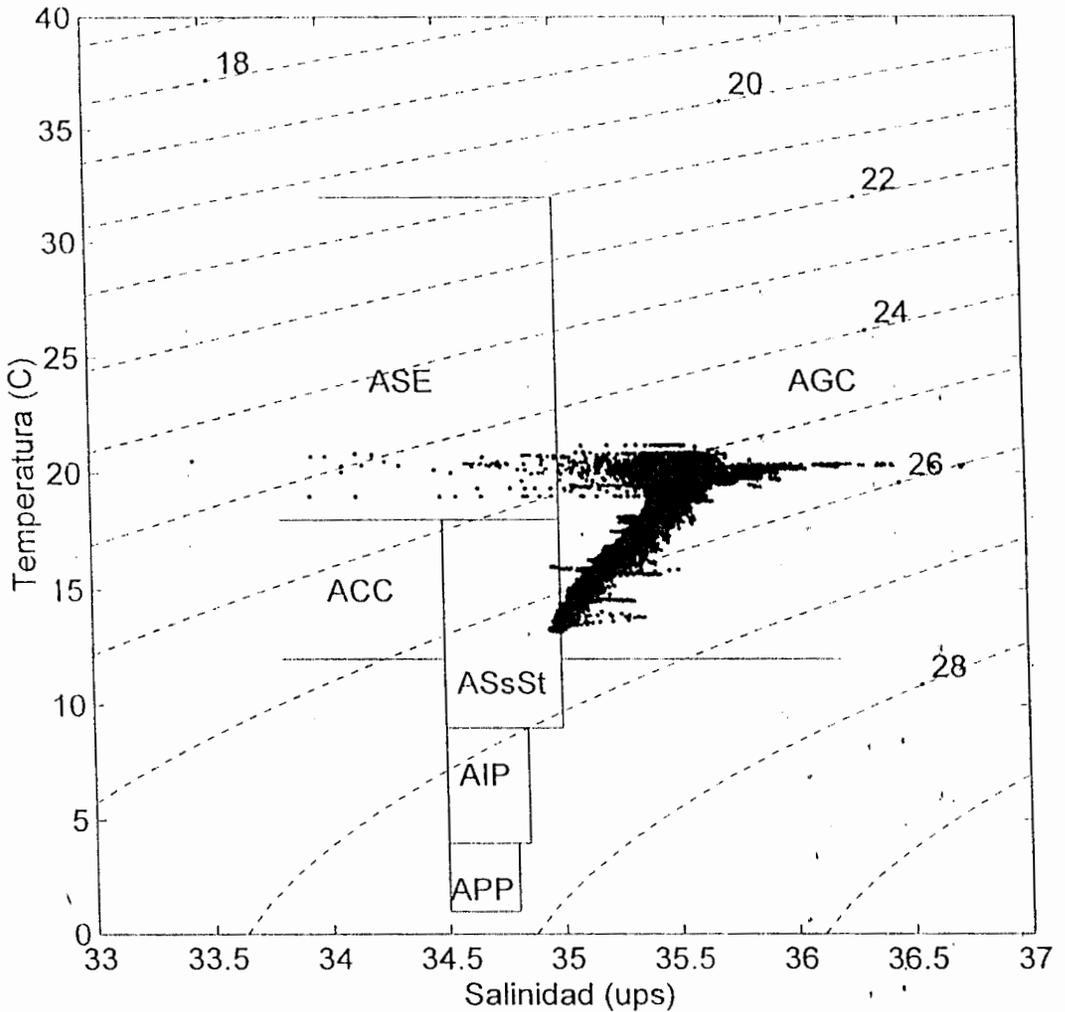
IX.4. Intensidad y Frecuencia de los vientos durante junio, julio y septiembre (1997). Los datos fueron tomados de la estación meteorológica del CIBNOR.



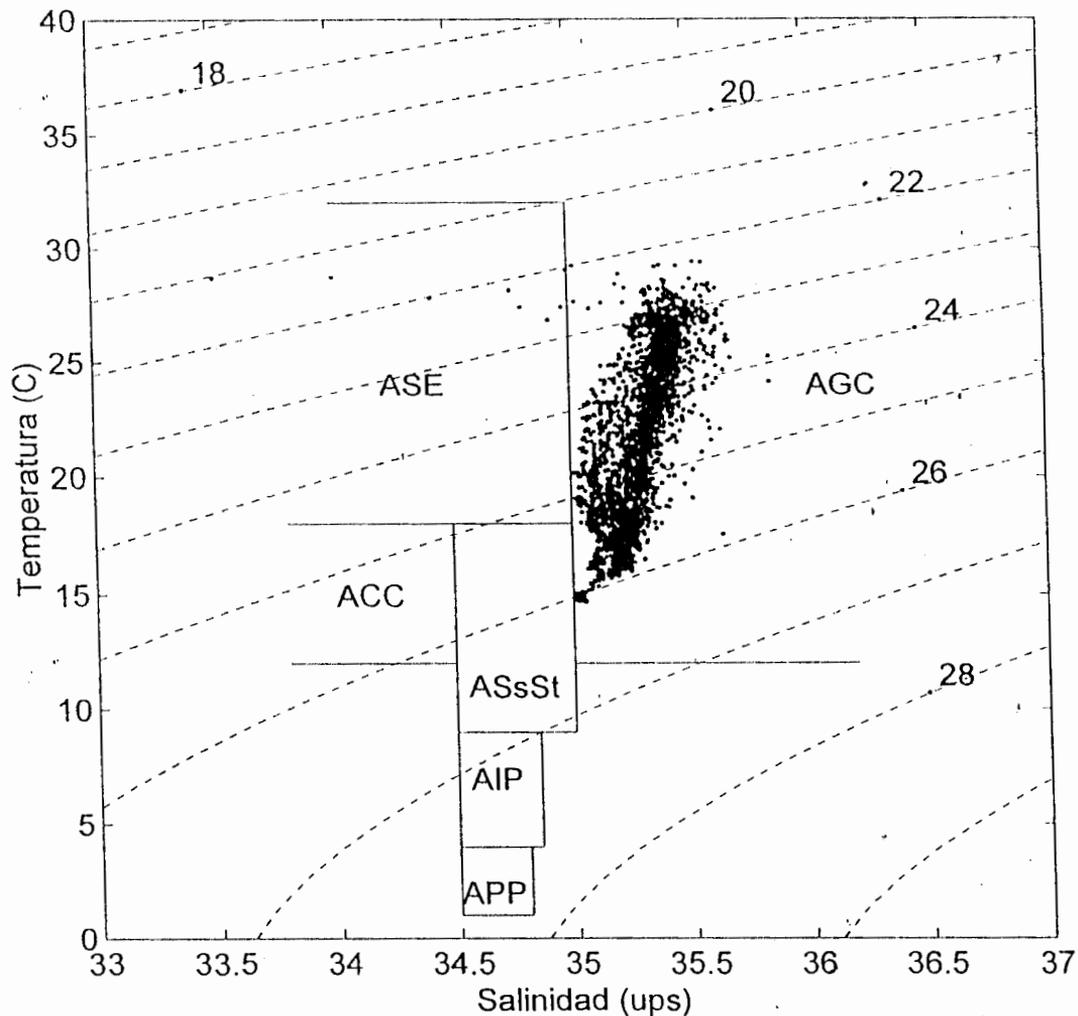
IX.5. Intensidad y Frecuencia de los vientos durante octubre (1997). Los datos fueron tomados de la estación meteorológica del CIBNOR.

MASAS DE AGUA	SALINIDAD-TEMPERATURA	Z (m)
Agua del Golfo de California (AGC)	$S \geq 35.0$ ups, $T \geq 12.0$ °C	0-295
Agua Superficial Ecuatorial (ASE)	$S < 35.0$ ups, $T \geq 18.0$ °C	0-100
Agua de la Corriente de California (ACC)	$S < 34.5$ ups, $12.0 \leq T^{\circ}\text{C} < 18.0$	
Agua Subsuperficial Subtropical (ASsSt)	$34.5 < S$ ups < 35.0 , $9.0 \leq T^{\circ}\text{C} < 18.0$	40-430
Agua Intermedia del Pacifico (AIP)	$34.5 < S$ ups < 34.8 , $4.0 \leq T^{\circ}\text{C} < 9.0$	430-1160
Agua Profunda del Pacífico (APP)	$S > 34.5$ ups, $T < 4.0$ °C	1150-fondo

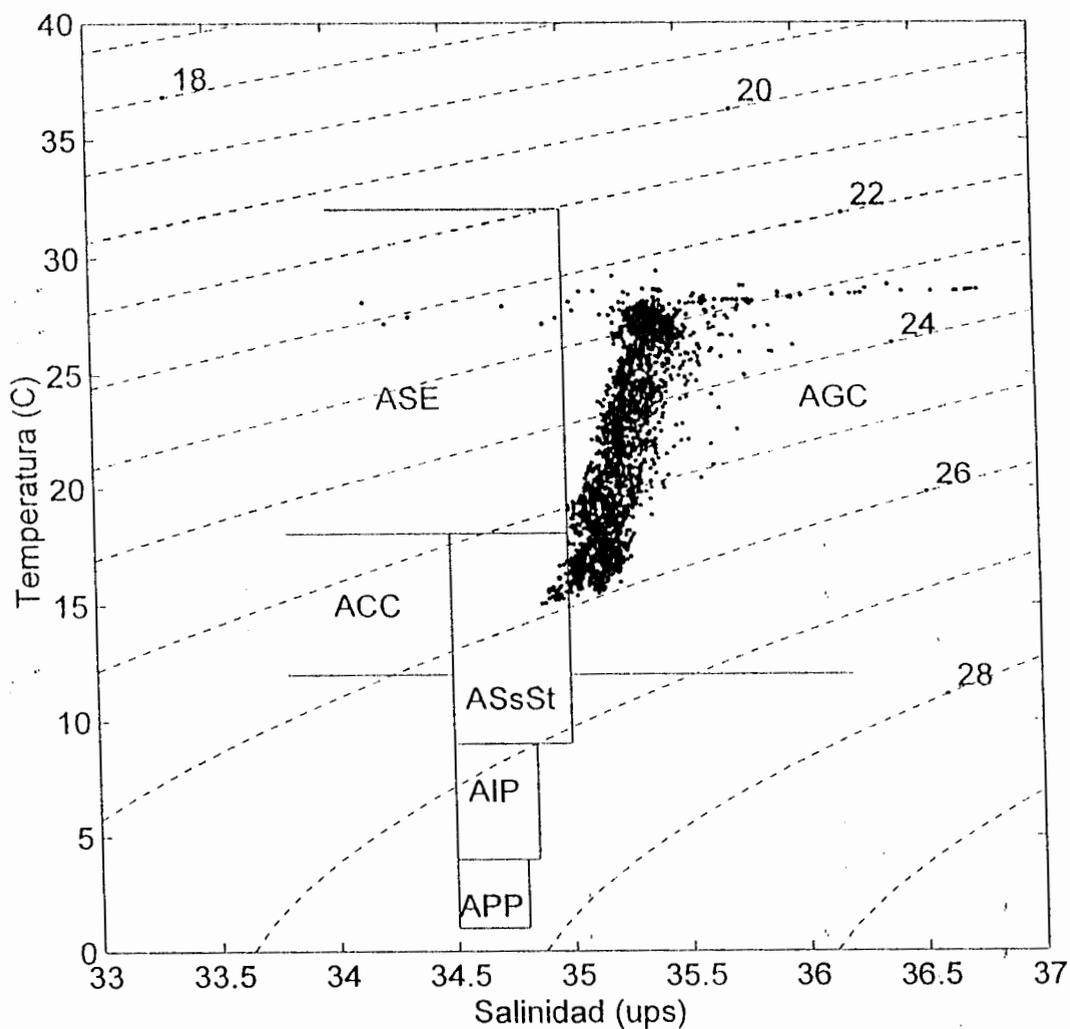
IX.6. Intervalos de temperatura y salinidad para las masas de agua presentes en el golfo de California. (Tomada de Torres-Orozco, 1993)



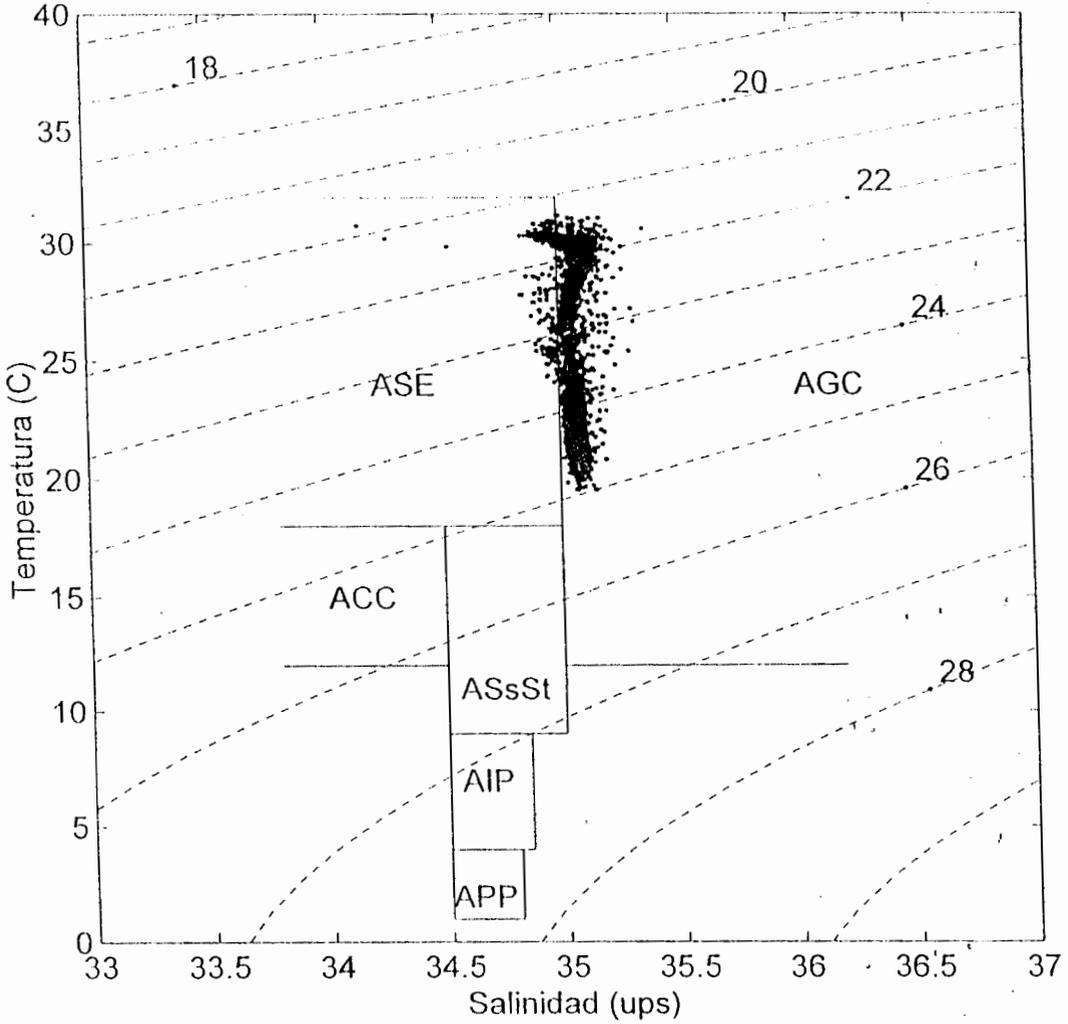
IX.7. Diagrama T-S obtenido de los datos correspondientes al mes de marzo para la Bahía de La Paz. Se muestran los intervalos de temperatura y salinidad referidos en Torres-Orozco (1993) para las masas de agua presentes en el golfo de California. Agua Profunda del Pacífico (APP), Agua Intermedia del Pacífico (AIP), Agua Subsuperficial Subtropical (ASsSt), Agua de la corriente de California (ACC), Agua Superficial Ecuatorial (ASE) y Agua del Golfo de California (AGC).



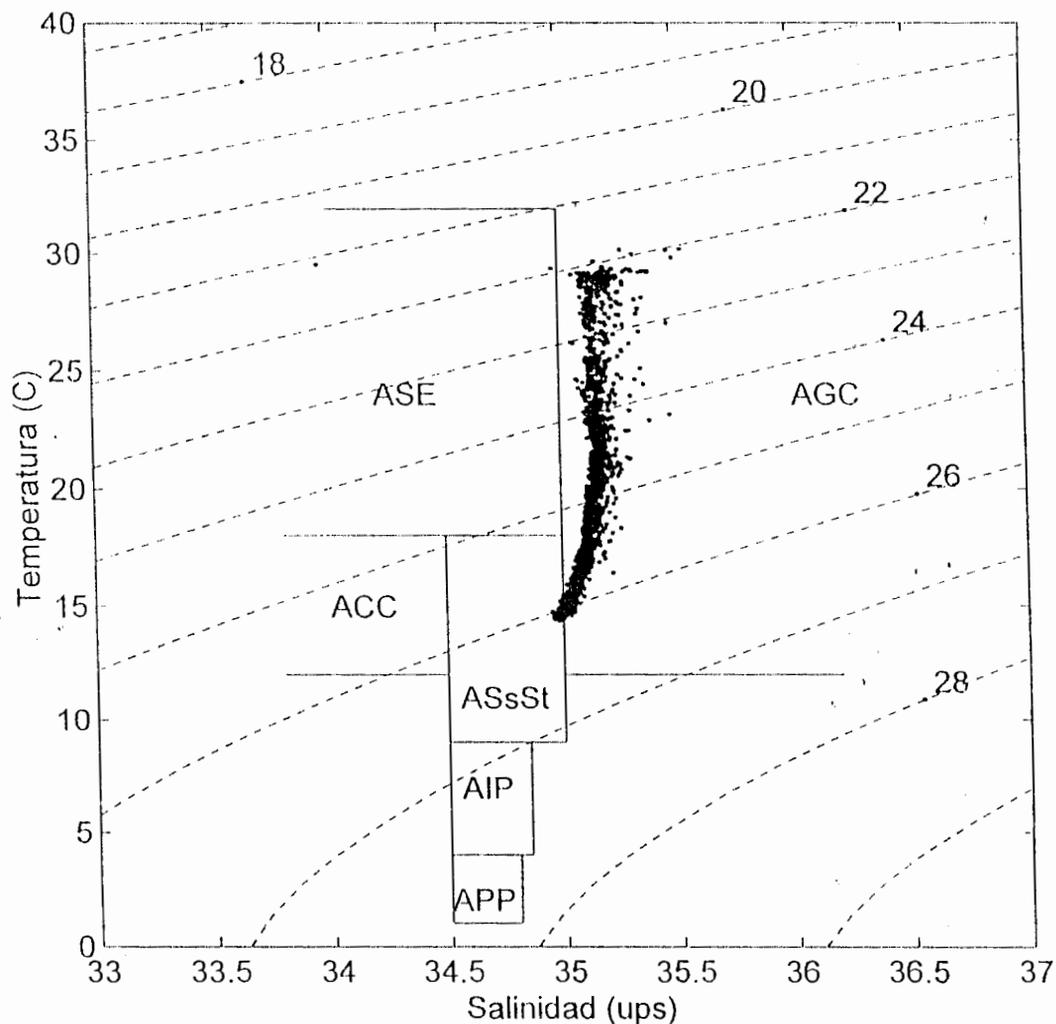
IX.8. Diagrama T-S obtenido de los datos correspondientes al mes de junio para la Bahía de La Paz. Se muestran los intervalos de temperatura y salinidad referidos en Torres-Orozco (1993) para las masas de agua presentes en el golfo de California. Agua Profunda del Pacífico (APP), Agua Intermedia del Pacífico (AIP), Agua Subsuperficial Subtropical (ASsSt), Agua de la corriente de California (ACC), Agua Superficial Ecuatorial (ASE) y Agua del Golfo de California (AGC).



IX.9. Diagrama T-S obtenido de los datos correspondientes al mes de julio para la Bahía de La Paz. Se muestran los intervalos de temperatura y salinidad referidos en Torres-Orozco (1993) para las masas de agua presentes en el golfo de California. Agua Profunda del Pacífico (APP), Agua Intermedia del Pacífico (AIP), Agua Subsuperficial Subtropical (ASsSt), Agua de la corriente de California (ACC), Agua Superficial Ecuatorial (ASE) y Agua del Golfo de California (AGC).



IX.10. Diagrama T-S obtenido de los datos correspondientes al mes de septiembre para la Bahía de La Paz. Se muestran los intervalos de temperatura y salinidad referidos en Torres-Orozco (1993) para las masas de agua presentes en el golfo de California. Agua Profunda del Pacífico (APP), Agua Intermedia del Pacífico (AIP), Agua Subsuperficial Subtropical (ASsSt), Agua de la corriente de California (ACC), Agua Superficial Ecuatorial (ASE) y Agua del Golfo de California (AGC).



IX.11. Diagrama T-S obtenido de los datos correspondientes al mes de octubre para la Bahía de La Paz. Se muestran los intervalos de temperatura y salinidad referidos en Torres-Orozco (1993) para las masas de agua presentes en el golfo de California. Agua Profunda del Pacífico (APP), Agua Intermedia del Pacífico (AIP), Agua Subsuperficial Subtropical (ASsSt), Agua de la corriente de California (ACC), Agua Superficial Ecuatorial (ASE) y Agua del Golfo de California (AGC).