



**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE
BAJA CALIFORNIA**

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS



**VARIACION DIURNA Y ESTACIONAL DE VARIABLES
HIDROLOGICAS Y CLOROFILA A EN BAHIA
WILLARD, GOLFO DE CALIFORNIA**

TESIS

Que para obtener el Título de

OCEANOLOGO

presenta

Leopoldo Guillermo Mendoza Espinosa

RESUMEN

Se llevaron acabo muestreos a lo largo de cuatro estaciones del año en dos puntos de Bahía Willard (costa noroeste del Golfo de California), uno localizado en la boca del sistema y otro ubicado en el interior del mismo, de primavera a invierno de 1985, comprendiendo mareas vivas (primavera y otoño) y mareas muertas (verano e invierno). Se tomaron muestras a nivel de superficie cada dos horas, generando series de tiempo de aproximadamente 36 horas, con el objeto de describir la variación espacial y estacional de temperatura, salinidad, oxígeno, biomasa y nutrientes y elucidar los principales factores que causas su variación. Los intervalos de valores encontrados fueron 16.5-32.5°C para temperatura, 35.232-35.793 ups para salinidad, 3.70-5.70 mg/l para oxígeno disuelto, 0.0-0.64 μM para nitritos, 0.0-8.22 μM para nitratos, 0.74-2.40 μM para fosfatos y 0.33-5.86 mg/m³ para clorofila *a*. En general, la dinámica del sistema provocó que las variaciones diurnas no mostraran variaciones espaciales de temperatura, oxígeno disuelto, biomasa y nutrientes durante los muestreos de primavera, verano y otoño. La salinidad sí presentó variación espacial, principalmente como resultado del efecto de la irradiación solar sobre la bahía. En invierno se presentó un gradiente espacial de biomasa y nutrientes como resultado de procesos biológicos en el interior de la bahía. La temperatura y salinidad presentaron una clara variación estacional, con valores máximos durante verano, principalmente como reflejo de condiciones locales producidas por la irradiación solar. El oxígeno, nutrientes y clorofila *a* presentaron una variación estacional, con valores máximos durante el invierno. La variación estacional en Bahía Willard sugiere que, por la dinámica de la bahía, esta presenta características similares a las aguas aledañas del Golfo de California.

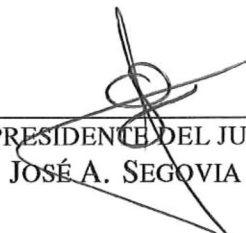
VARIACIÓN DIURNA Y ESTACIONAL DE VARIABLES HIDROLÓGICAS Y
CLOROFILA A EN BAHÍA WILLARD, GOLFO DE CALIFORNIA.

T E S I S

QUE PRESENTA

LEOPOLDO GUILLERMO MENDOZA ESPINOSA

APROBADA POR:



PRESIDENTE DEL JURADO
OC. JOSÉ A. SEGOVIA ZAVALA



SINODAL PROPIETARIO
M.C. FRANCISCO DELGADILLO HINOJOSA



SINODAL PROPIETARIO
M.C. HÉCTOR BUSTOS SERRANO

DEDICATORIA

A MIS PADRES

I.B.Q. MARITZA ESPINOSA RUSSI Y

DR. LEOPOLDO E. MENDOZA ONOFRE

POR SU AMOR, APOYO Y CONFIANZA Y POR SER UN EJEMPLO DIFÍCILÍSIMO DE
SUPERAR

A MIS HERMANOS

YAZMÍN D. MENDOZA ESPINOSA Y

LUIS ERNESTO MENDOZA ESPINOSA

POR TANTOS RATOS DE ALEGRÍA, POR SER UNOS VERDADEROS HERMANOS Y ESTAR
SIEMPRE CONMIGO

A MI ESPOSA

OC. TIRZZA Y. A. TANAHARA ROMERO

POR SU AMOR, POR APOYARME EN TODAS MIS LOCURAS DE MANERA INCONDICIONAL
Y POR PERMITIRME COMPARTIR SUS SUEÑOS

A NUESTRO HIJO

LUIS ENRIQUE MENDOZA TANAHARA

POR ILUMINAR NUESTRAS VIDAS DÍA CON DÍA Y SER MOTIVO DE MI SUPERACIÓN
PERSONAL

AGRADECIMIENTOS

AL OC. JOSÉ ANTONIO SEGOVIA ZAVALA POR SUS ENSEÑANZAS, CRÍTICAS, RECOMENDACIONES Y TIEMPO INVERTIDO EN DIRIGIR ESTA TESIS.

AL M.C. FRANCISCO DELGADILLO HINOJOSA POR SUS ENSEÑANZAS, RECOMENDACIONES Y SUGERENCIAS AL PRESENTE TRABAJO QUE LO COLOCARON COMO MI SEGUNDO DIRECTOR DE TESIS.

AL M.C. HÉCTOR BUSTOS SERRANO POR SUS SUGERENCIAS Y CORRECCIONES AL PRESENTE TRABAJO.

A LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA, ESPECIALMENTE A LA FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS, POR HABERME COBIJADO DURANTE CINCO AÑOS Y PERMITIRME CUMPLIR CON UNO DE MIS MAYORES ANHELOS, SER OCEANÓLOGO.

A LOS PROFESORES (EN TODA LA EXTENSIÓN DE LA PALABRA) DE LA FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS, ESPECIALMENTE A DORA WAUMMAN, ARMANDO RODRÍGUEZ PINAL, IRMA SORIA MERCADO, EDUARDO DURAZO BELTRÁN Y RAÚL CANINO HERRERA CUYAS ENSEÑANZAS TRASCENDIERON LAS AULAS.

A LA OC. MARTHA BENET CAMARENA ACEVEDO POR LA REALIZACIÓN DE LA FIGURA DEL ÁREA DE ESTUDIO.

A ALEJANDRA QUEZADA Y A CARLOS CADENA, POR SER SIEMPRE UNOS BUENOS AMIGOS Y POR SU AYUDA EN LAS BUENAS Y EN LAS MALAS.

A LA FAMILIA TANAHARA ROMERO, ESPECIALMENTE A DOÑA ESTELA Y DON LUIS, POR SU CONFIANZA.

A MIS COMPAÑEROS ARAMÍS, TEX, HUGO, BETO, ENRIQUE, ARIEL, CHAYO, MARTHA Y CELINA POR SU AMISTAD DURANTE NUESTRA ESTANCIA EN ENSENADA.

A MIS PADRES, SIN CUYO APOYO MORAL Y ECONÓMICO ESTO NO HUBIESE SIDO POSIBLE.

A TIRZZA Y A LUISITO, POR TODO EL TIEMPO QUE LES ROBÉ.

INDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. GENERALIDADES	1
1.2. ANTECEDENTES	1
1.3. OBJETIVO	6
2. MATERIALES Y MÉTODOS	7
2.1. AREA DE ESTUDIO	7
2.2. METODOLOGÍA	9
3. RESULTADOS	12
3.1. DINÁMICA DEL SISTEMA	12
3.2. VARIACIÓN DIURNA	13
3.3. VARIACIÓN ESTACIONAL	23
3.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	27
4. DISCUSIÓN	29
5. CONCLUSIONES	43
6. REFERENCIAS	44
ANEXOS	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización del área de estudio y zonas de muestreo.	8
Figura 2. Volumen de agua movilizada y sus respectivos periodos durante las épocas de muestreo.	12
Figura 3. Primavera. Serie de tiempo de altura de marea, temperatura, salinidad, densidad, nitritos, nitratos, fosfatos y clorofila <i>a</i> .	14
Figura 4. Verano. Serie de tiempo de altura de marea, temperatura, salinidad, densidad, nitritos, nitratos, fosfatos, oxígeno disuelto y clorofila <i>a</i> .	16
Figura 5. Otoño. Serie de tiempo de altura de marea, temperatura, salinidad, densidad, nitritos, nitratos, fosfatos, oxígeno disuelto y clorofila <i>a</i> .	19
Figura 6. Invierno. Serie de tiempo de altura de marea, temperatura, salinidad, densidad, nitritos, nitratos, fosfatos, oxígeno disuelto y clorofila <i>a</i> .	21
Figura 7. Variación estacional de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto en Bahía Willard.	25
Figura 8. Variación estacional de % de saturación, nitritos, nitratos, fosfatos y clorofila <i>a</i> en Bahía Willard.	26
Figura 9. Series de tiempo de % de saturación de oxígeno y densidad en Bahía Willard.	52

LISTA DE TABLAS.

Tabla I. Fechas de los muestreos en Bahía Willard.	9
Tabla II. Resultados del Análisis de Componentes Principales aplicado a la matriz que agrupó a la estación de la boca y la estación del interior.	28
Tabla III. Valores de temperatura y salinidad de sistemas del Golfo de California.	30
Tabla IV. Valores de oxígeno disuelto, nitratos, fosfatos y clorofila <i>a</i> de sistemas del Golfo de California.	34
Tabla V. Valores de oxígeno disuelto, nitratos, fosfatos y clorofila <i>a</i> de sistemas fuera del Golfo de California.	35
Tabla VI. Estadística general del muestreo de Primavera en Bahía Willard.	50
Tabla VII. Estadística general del muestreo de Verano en Bahía Willard.	50
Tabla VIII. Estadística general del muestreo de Otoño en Bahía Willard.	51
Tabla IX. Estadística general del muestreo de Invierno en Bahía Willard	51

1.INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES

Las lagunas costeras son cuerpos de agua semiprotegidos con orientación paralela a la costa, separadas del océano por medio de una barrera y conectada a él por una o más bocas (Phleger, 1982). Desde el punto de vista biológico, presentan una vital importancia debido a que normalmente actúan como trampas de material orgánico, aunque en sistemas maduros pueden funcionar como fuente de material orgánico al océano adyacente (Kjerfve y Magill, 1989) debido a que los sedimentos, nutrientes inorgánicos, materia orgánica y bacterias que ahí se encuentran son fácilmente recirculados por procesos físicos, lo que provoca un aumento en su producción orgánica primaria (Phleger, 1982). La marea, el viento y el balance de calor son algunos de los principales factores que llegan a controlar las características hidroquímicas de las lagunas costeras (Kjerfve y Magill, 1989). Los sistemas estuarinos han estado sujetos a una gran cantidad de estudios sistemáticos de sus procesos biológicos, químicos y físicos, muchos de los cuales tienen que ser inferidos en sistemas antiestuarinos (Kjerfve y Magill, 1989). Por tal motivo, es necesario aportar conocimientos para el mayor entendimiento de los procesos que rigen a sistemas de bajo o nulo aporte de agua dulce como Bahía Willard, que además presenta una boca permanentemente abierta de gran tamaño (1.2 km) en relación a su longitud (2.5 km) y se localiza en una zona donde la evaporación excede a la precipitación en 1-2 m/año (Bray, 1988).

1.2. ANTECEDENTES

En las costas de Baja California la gran mayoría de estudios sobre cuerpos costeros se han limitado a la costa oeste de la Península, siendo el Estero de Punta Banda y la Bahía de San Quintín las principales regiones estudiadas (Durand-Sarmiento, 1989), inicialmente con enfoque al desarrollo de ostricultivos (Jaime-Silva, 1974; Islas-Olivares, 1974) y posteriormente al conocimiento de sus características hidrológicas para el adecuado aprovechamiento de las mismas (Alvarez-Borrego y Alvarez-

Borrego, 1982; Galindo-Bect y Flores-Báez, 1982; Millán-Núñez *et al.*, 1982; Farfán y Alvarez-Borrego, 1983; Muñoz-Anderson y Millán-Núñez, 1991). En general, los estudios señalan que la temperatura en ambas lagunas costeras aumenta de la boca al interior y el comportamiento térmico se correlaciona con la onda de marea, la irradiación solar y la evaporación. La marea juega un papel importante en la resuspensión de nutrientes y estos no parecen ser limitantes para el crecimiento del fitoplancton. La productividad primaria presenta valores máximos durante el verano y mínimos durante otoño e invierno, así como una asociación de valores de razón de asimilación altos con las mareas muertas.

En relación al Golfo de California, este es considerado como la principal cuenca de evaporación de la costa del Océano Pacífico, con características físicas y químicas únicas en la región norte (Roden, 1964), por lo que ha sido objeto de numerosos estudios oceanográficos (Anderson *et al.*, 1950; Ayala-Castañares y Phleger, 1969; van Andel y Shor, 1964; citados por Gilmartin y Revelante, 1978). En las costas del Golfo, se localizan aproximadamente el 30% de las lagunas costeras del litoral mexicano (Lankford, 1977; citado por Hungar-Sierra, 1990). Desde hace varios años existen diversos estudios sobre ellas, resaltando el de Gilmartin y Revelante (1978) quienes estudiaron quince lagunas de ambos lados del Golfo, encontrando que todas las lagunas localizadas en la costa este presentan una influencia positiva sobre la producción primaria del mismo. En general, las lagunas del este presentaron mayores niveles de salinidad, temperatura y nitratos que las aguas adyacentes del Golfo, las concentraciones de oxígeno se mantuvieron entre el 65-105% de saturación, los fosfatos en las lagunas someras presentaron un rango de 0.40-0.60 μM . El hecho de que al aumentar el intercambio por marea se presentaran incrementos en los nutrientes y biomasa, sugiere la existencia de reciclamiento de nutrientes en el interior de las lagunas.

Continuando con la costa este del Golfo, se han realizado investigaciones más particulares, como en el sistema lagunar de Topolobampo, en donde Sigala-Morales (1993) realizó un estudio sobre algunas

variables fisicoquímicas y de clorofila *a*, encontrando que la intrusión de aguas de desecho a la Bahía de Ohuira disminuye la salinidad y el índice de transparencia, provocando incrementos en los niveles de clorofila *a* en las aguas aledañas a la descarga. Además, durante el verano existe un gradiente de incrementos de clorofila *a* de la boca hacia el interior, condición que se revierte en invierno. En Bahía de Lobos, Son., existen estudios fitoplanctónicos que indican que la bahía es una exportadora de biomasa al medio (Gilmartin y Revelante, 1974; Hungar-Sierra, 1990), señalando esta última autora que la máxima abundancia celular se presenta en las épocas de vientos intensos, durante invierno y primavera. Ochoa-Araiza (1979) realizó un estudio sobre distribución superficial de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH en cuatro bahías del estado de Sonora (costa este del Golfo), principalmente con el fin de determinar si estas variables son limitantes o no para el cultivo de diversas especies de ostras. Encontró que durante todo el año las bahías de Yasícuri, Lobos y Yavaros son antiestuarios, con salinidad y temperatura más elevada hacia el interior que en la boca y Moroncárit es estuario a excepción de los meses de mayo, junio y julio.

La costa oeste del Golfo de California, principalmente Bahía de los Angeles, también ha sido objeto de estudios hidrológicos, de productividad y/o nutrientes (Barnard y Grady, 1968; Lizárraga-Arciniega y Marinone-Moschetto, 1978) y en los últimos años por parte de Ibarra-Sañudo (1988), Castro-Montoya (1988), Durand-Sarmiento (1989), López-Valdéz (1989), Canino-Herrera *et al.* (1990), Bustos-Serrano (1991), Muñoz-Barbosa *et al.* (1991), encontrando en general que el viento y la marea son los principales procesos físicos que regulan las variables hidrológicas, biomasa y productividad primaria de la bahía, presentándose estratificación de la columna de agua durante verano y ausencia de la misma durante invierno, además de una variación diurna de compuestos nitrogenados asociada a la actividad biológica de la bahía.

La zona norte del Golfo de California es considerada una zona de gran actividad fotosintética, principalmente como resultado de la introducción de nutrientes a la zona eufótica por las surgencias

presentes en la zona de las islas (Roden, 1964) y ha recibido gran atención desde principios de siglo. Gaxiola-Castro *et al.* (1985) llevaron a cabo la medición de parámetros fotosintéticos y de productividad en el Golfo durante el invierno de 1981, y encontraron valores altos de clorofila *a* y nitritos, así como valores bajos de fosfatos y nitratos frente a las costas de la bahía de San Luis Gonzaga (aledaña a Bahía Willard). Alvarez-Borrego y Galindo-Bect (1974), Alvarez Borrego *et al.* (1975) y Martínez-Rojas (1990) realizaron estudios en la desembocadura del Río Colorado, encontrando una gran variabilidad en las condiciones hidrográficas de la zona del Alto Golfo de California, con temperaturas mínimas de 8.25°C en diciembre y máxima de 32.58°C en agosto, así como salinidad superficial mínima de 35.28 ‰ en octubre y máxima de 41.0 ‰ en julio. Alvarez-Borrego *et al.* (1978) y Alvarez-Borrego y Gaxiola-Castro (1988) reportan datos de nutrientes del norte del Golfo con intervalos de NO₃ de 0 a 40 μM, NO₂ de 0 a 0.2 μM, PO₄ de 0.7 a 1.0 μM y SiO₂ de 6.1 a 18.0 μM. Hernández-Ayón (1990) identificó tres zonas en base a las concentraciones de NO₃, NO₂, PO₄ y SiO₂ en el Delta del Río Colorado: costa de Sonora (bajas concentraciones de nutrientes), costas de Baja California (altas concentraciones de PO₄ y NO₂) y la región del río (altas concentraciones de NO₃ y SiO₂). Además, señala que los nutrientes presentan valores menores en verano y mayores en invierno.

Los estudios previamente mencionados son de bahías y lagunas aledañas a nuestra zona de estudio: Bahía Willard, también conocida por los lugareños como Laguna Willard o Ensenada de San Francisquito, localizada en la costa noroeste del Golfo. Los únicos estudios oceanográficos realizados en Bahía Willard son de Sandoval-Sandoval (1986) y Merino-Paredes (1987). La primera autora encontró que la calidad bacteriológica del agua de mar es aceptable para usos recreativos y para cultivo de mariscos bivalvos, aunque durante verano y con mareas muertas se presentaron altas concentraciones de bacterias coliformes. Merino-Paredes (1987) reportó valores relativamente altos de producción primaria, clorofila y seston a lo largo de un ciclo anual.

El clima en Bahía Willard (noroeste del Golfo) es árido y la evaporación excede a la

precipitación en 1-2 m/año (Bray, 1988); es factible que, por este hecho, presente concentraciones salinas mayores a las del océano adyacente. Sin embargo, por tener la bahía una boca grande permanentemente abierta (1.2 km) en relación a su longitud (2.5 km), profundidad promedio de aproximadamente 4 m, gran amplitud de marea (3-5 m) y bajo tiempo de residencia (1.3 días), las características hidrológicas de la laguna tenderán a ser similares al océano adyacente o, en su defecto, diferentes, si la magnitud de los procesos en el interior del sistema permiten la presencia de gradientes a pesar del intercambio de mareas.

Por lo tanto, para un mejor conocimiento oceanográfico de Bahía Willard, se exponen y discuten la temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación, clorofila *a* y nutrientes, con el fin de determinar sus variaciones espaciales y estacionales y determinar los factores que influyen en ellas.

1.3. OBJETIVO

Determinar la variación espacial y estacional de temperatura, salinidad, oxígeno, biomasa y nutrientes en Bahía Willard, B.C., una laguna costera de la región norte del Golfo de California.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. AREA DE ESTUDIO

La Bahía Willard o Ensenada de San Francisquito se localiza entre los 29° 48' 28" y 29° 49' 33" de latitud Norte y entre los 114° 23' 34" y 114° 24' 38" de longitud Oeste (Fig. 1), en la costa noroccidental del Golfo de California.

Bahía Willard abarca un área de aproximadamente 3 km². El litoral de la parte norte de la laguna está constituido por cantos rodados y bloques rocosos que van disminuyendo hacia el interior del sistema. La parte media cuenta con arenas gruesas que, al avanzar hacia el interior y sobre la boca sur, forman una barra de arena. En la parte este central de la bahía se localiza una barra rocosa de tipo ígneo que nace a partir de la Isla de San Luis Gonzaga. El fondo de la laguna es cienoso-lodoso y en marea baja queda expuesta una superficie extensa plana y fangosa (Merino Paredes, 1987). La profundidad promedio de la laguna es mayor a los 2 m, su amplitud de marea es de hasta 5 m y no presenta aportes de agua dulce (Sandoval-Sandoval, 1986).

Las condiciones meteorológicas son las de una zona desértica, con clima y vegetación típicas de la región noreste de la península. La temperatura ambiental a través del año oscila entre 5°C y 43°C (Merino Paredes, 1987). La evaporación promedio de la región es de 0.9 m/año (Lavin y Organista, 1988) y la precipitación media anual es de 68 mm (Miranda-Reyes *et al.*, 1990).

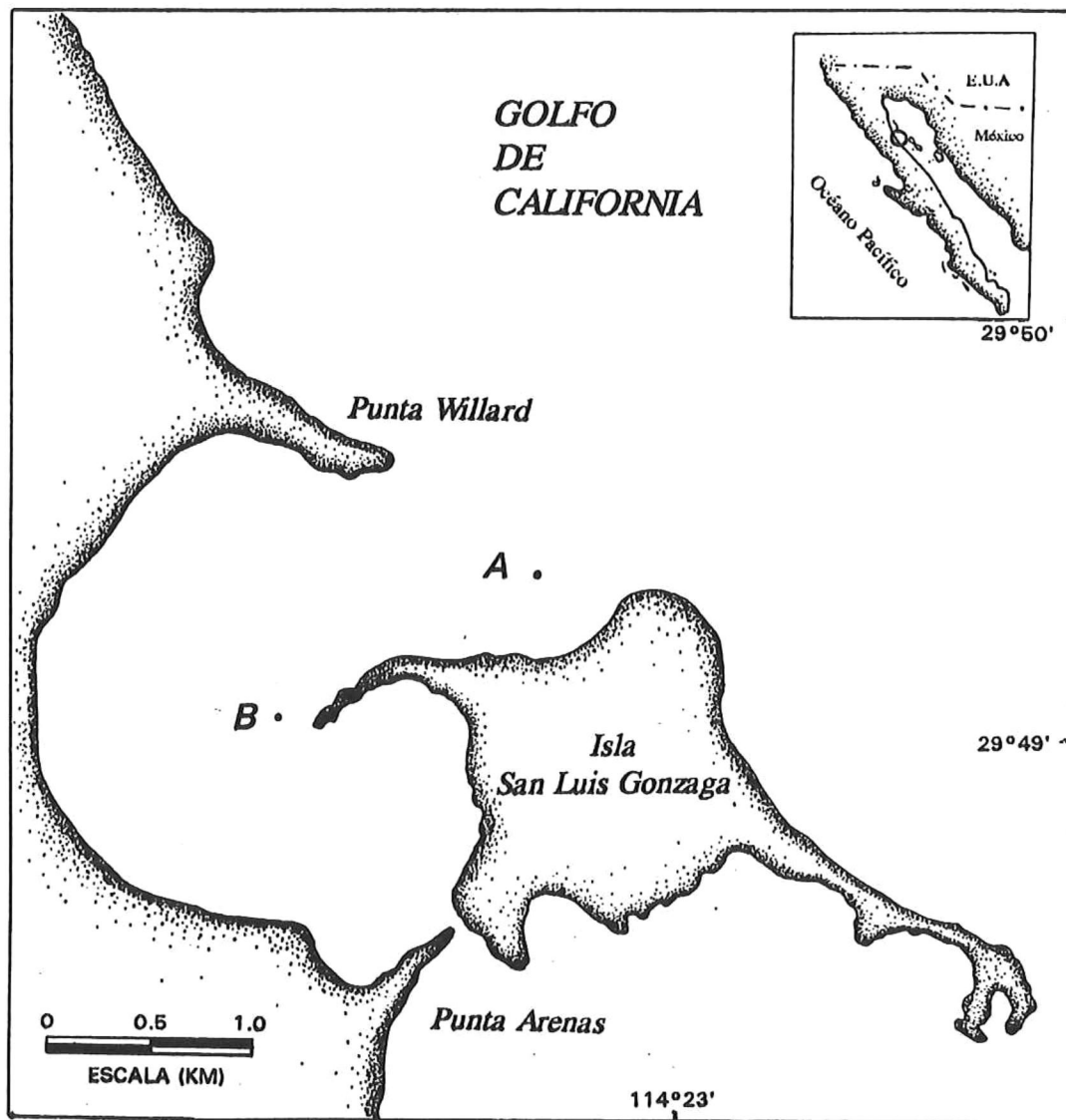


Fig.1. Zona de estudio y áreas de muestreo.

2.2. METODOLOGÍA

Las fechas de los muestreos en Bahía Willard se presentan en la Tabla I.

Tabla I.

MUESTREO	FECHA	ESTACION	MAREA
1	3 mayo 1985	Primavera	viva
2	24 y 25 agosto 1985	Verano	muerta
3	11 y 12 noviembre 1985	Otoño	viva
4	17 y 18 febrero 1986	Invierno	muerta

Se tomaron muestras en dos puntos: uno en la boca del sistema (punto A) y otro en el interior del mismo (punto B). Los muestreos fueron cada dos horas, existiendo una diferencia de 15 a 20 minutos entre la toma de muestras de las dos estaciones; sin embargo, los datos se trataron como si las muestras se hubiesen tomado simultáneamente.

Las muestras fueron colectadas a nivel de superficie con botellas Van Dorn de 2.5 litros. Las variables analizadas fueron temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, nitratos, nitritos, fosfatos y clorofila *a*. Las muestras de agua para nutrientes y biomasa se congelaron y se almacenaron para su análisis posterior.

La temperatura se determinó *in situ* con un termómetro de cubeta (precisión de 0.1°C), la salinidad por medio de un salinómetro de inducción (precisión de 0.003 ‰) y el oxígeno disuelto por el método macrowinkler descrito por Parsons *et al.* (1984).

Los nitratos, nitritos y fosfatos fueron determinados por métodos espectrofotométricos (Parsons *et al.*, 1984) en el laboratorio de Química Marina del I.I.O. (UABC) con el empleo de un

espectrofotómetro Spectronic 710. Las muestras de clorofila *a* se filtraron a través de filtros GF/C, los cuales permanecieron congelados hasta su análisis fluorimétrico (Yentsch y Menzel, 1963); la medición se realizó con un fluorímetro Turner 112.

Las mareas predichas para los días de muestreo en Bahía Willard fueron proporcionadas por el Grupo de Mareografía de CICESE.

Con los valores de oxígeno disuelto, temperatura y salinidad se calculó el porcentaje de saturación de oxígeno (Fig. 9, Anexo 3); con la temperatura y salinidad se obtuvo la densidad (σ_t ; Fig. 9, Anexo 3); la diferencia de valores de densidad entre la estación del interior y la de la boca (B-A) nos proporcionó el gradiente de densidad ($\Delta\rho$) el cual nos dio idea del movimiento de las masas de agua dentro del sistema; por medio de las ecuaciones planteadas por Pritchard *et al.*, (1979) se calcularon las velocidades de la corriente durante los días de muestreo.

PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO

Con el objeto de caracterizar adecuadamente al sistema en estudio, se obtuvo la estadística general de las variables muestreadas, haciendo incapié en las medidas de tendencia central y de dispersión (media, desviación estándar, valor máximo, valor mínimo y límites de confianza al 95%) de cada una de ellas (Tablas VI, VII, VIII y IX; Anexos 1 y 2).

Para llevar a cabo una mejor interpretación diaria de los resultados se graficaron las variaciones de las variables analizadas durante cada época del año. Además, para distinguir la variación estacional se comparó el promedio y la desviación estándar de cada una de las variaciones diurnas de cada uno de las variables.

Con el fin de reducir el número de variables sin que hubiese existido una pérdida excesiva de la información y analizar en conjunto una gran cantidad de variables que explicaran los principales

mecanismos que influyeron sobre la variación del sistema, se utilizó el Análisis de Componentes Principales (ACP) (Sokal y Rohlf, 1979). Para ello, las variables se agruparon en matrices según la estación del año a la que correspondían y se realizó el ACP agrupando a las estaciones A y B.

3. RESULTADOS

3.1. DINÁMICA DEL SISTEMA

Durante el ciclo anual se registraron dos patrones dinámicos diferentes: uno con mareas vivas durante los muestreos de primavera y otoño; el otro durante las mareas muertas de los muestreos de verano e invierno (Fig. 2).

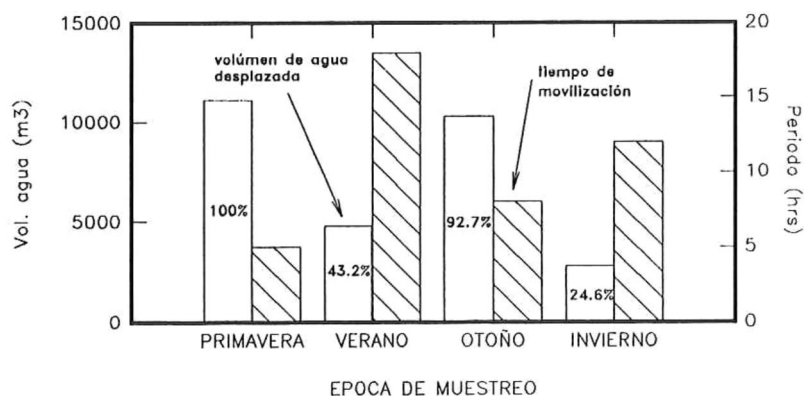


Fig. 2. Volúmen de agua movilizada y sus respectivos periodos durante las épocas de muestreo. (El máximo volumen anual -Primavera- se consideró como el 100%)

Los intervalos de volumen de agua y sus tiempos de movilización respectivos fueron de 11,100 m³ en cinco horas aproximadamente en marea viva y 4,800 m³ en dieciocho horas en marea muerta. Los intervalos de velocidad de corriente fueron de 13.5 y 1.7 cm/seg durante marea viva y marea muerta, respectivamente. Existen sistemas lagunares en Australia y en el Pacífico con tiempos de residencia promedio de 400 y 50 días, respectivamente (Smith, 1984), por lo que los valores encontrados de velocidad de corriente y tiempos de residencia en el presente estudio indican que Bahía Willard es un sistema de gran dinámica. Además, en Bahía Willard se registró un intervalo de mareas de hasta 4 m; si se toma en cuenta que la altura de oleaje promedio en la bahía es de cerca de 0.5 m, Bahía Willard estaría clasificada como una laguna costera dominada por la marea según el criterio de Nixon (1982).

3.2. VARIACIÓN DIURNA

La Fig. 3 presenta el comportamiento de temperatura ($T^{\circ}\text{C}$), salinidad ($S^{\circ}/\text{‰}$), gradiente de densidad ($\Delta\rho$), oxígeno disuelto (OD), nutrientes (NO_2 , NO_3 y PO_4) y biomasa (Cla) durante el muestreo de primavera, con marea viva. En general, los parámetros no conservativos tienden a presentar homogeneidad de valores durante el reflujo (Fig. 3A).

El comportamiento de $T^{\circ}\text{C}$ para ambas estaciones es prácticamente el mismo durante la pleamar, donde la temperatura se incrementó paulatinamente de los 19.6° a los 20.5°C (Fig. 3B). Durante el reflujo se presentó el máximo gradiente entre ambas estaciones (1.1°C). La máxima temperatura (21.10°C) y la mínima (19.60°C) se presentaron en B durante reflujo y flujo, respectivamente.

La $S^{\circ}/\text{‰}$ presentó un comportamiento similar en las dos estaciones, con tendencia a incrementarse a lo largo del muestreo y permaneciendo siempre mayor en el interior del sistema (Fig. 3C). La máxima concentración se registró al final del reflujo en la estación B ($35.36^{\circ}/\text{‰}$) y la mínima en A al inicio del mismo ($35.23^{\circ}/\text{‰}$). El mínimo gradiente fué de $0.084^{\circ}/\text{‰}$ y el máximo de $0.10^{\circ}/\text{‰}$, ambos durante flujo.

La densidad presentó mayores valores en el interior del sistema que en la boca durante el flujo y pleamar (Fig. 3D) presentando un comportamiento muy similar al registrado para la onda de marea. Durante el reflujo y la bajamar se observa que $\Delta\rho$ presenta valores negativos, es decir, la densidad en A es mayor que en B.

La concentración de NO_2 en primavera fué pequeña y con tendencia a disminuir a lo largo del muestreo (Fig. 3E), registrándose el máximo valor en A ($0.10\ \mu\text{M}$) antes del mediodía, durante la pleamar y valores indetectables tanto en A como en B.

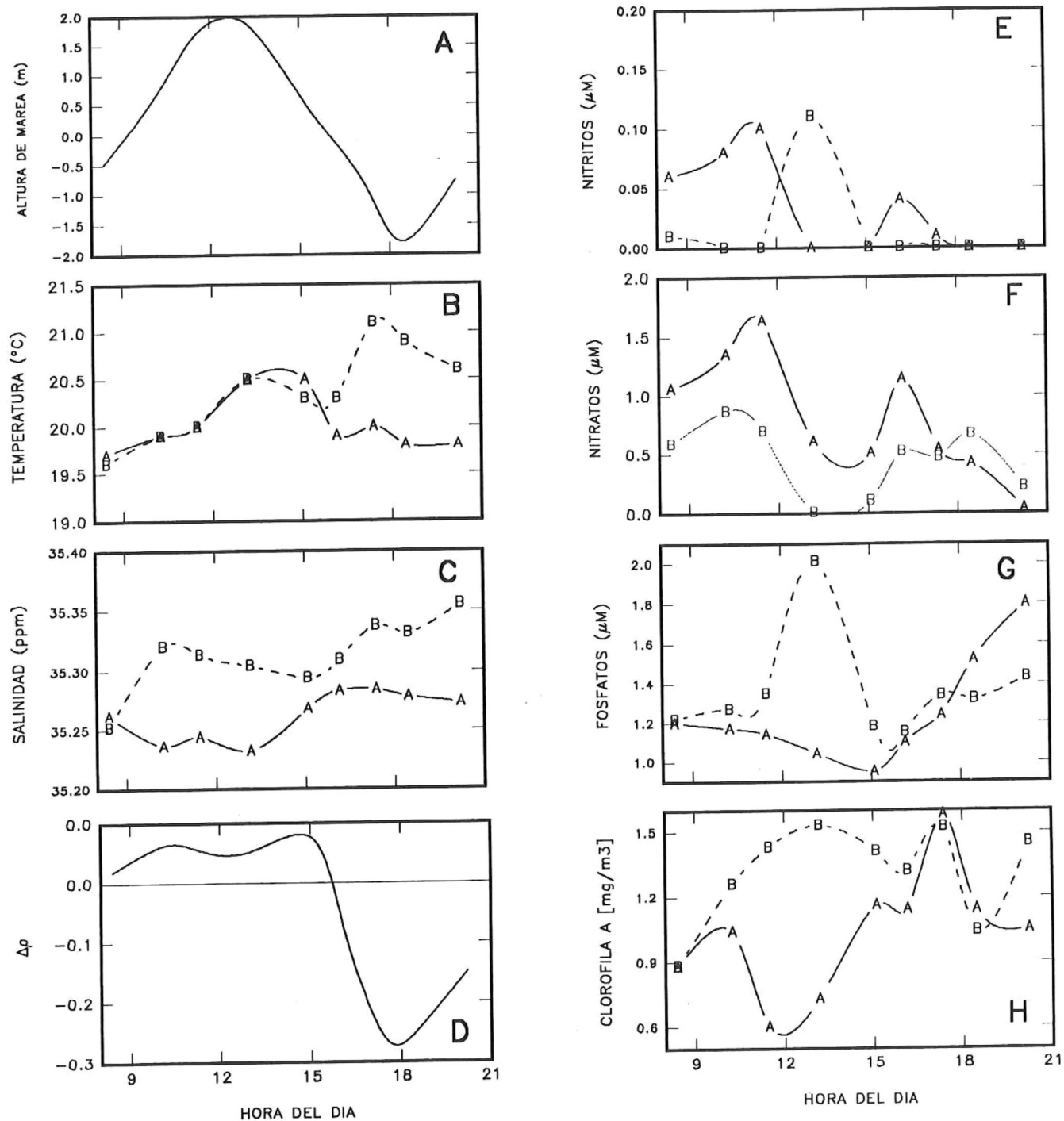


Fig. 3. Primavera. Serie de tiempo de altura de marea (A), temperatura (B) salinidad (C), $\Delta\rho$ (D), nitritos (E), nitratos (F), fosfatos (G) y clorofila a (H).

En general, la concentración de NO_3 fué mayor en la boca que en el interior del sistema, con tendencia a disminuir en el transcurso del muestreo (Fig. 3F). Durante el flujo se presentan las mayores concentraciones de nitratos, 1.64 y 0.87 μM en A y B respectivamente. Al momento de la pleamar prácticamente no se registran NO_3 en B y es únicamente al final de la bajamar cuando los valores de A se presentan por debajo de los de B.

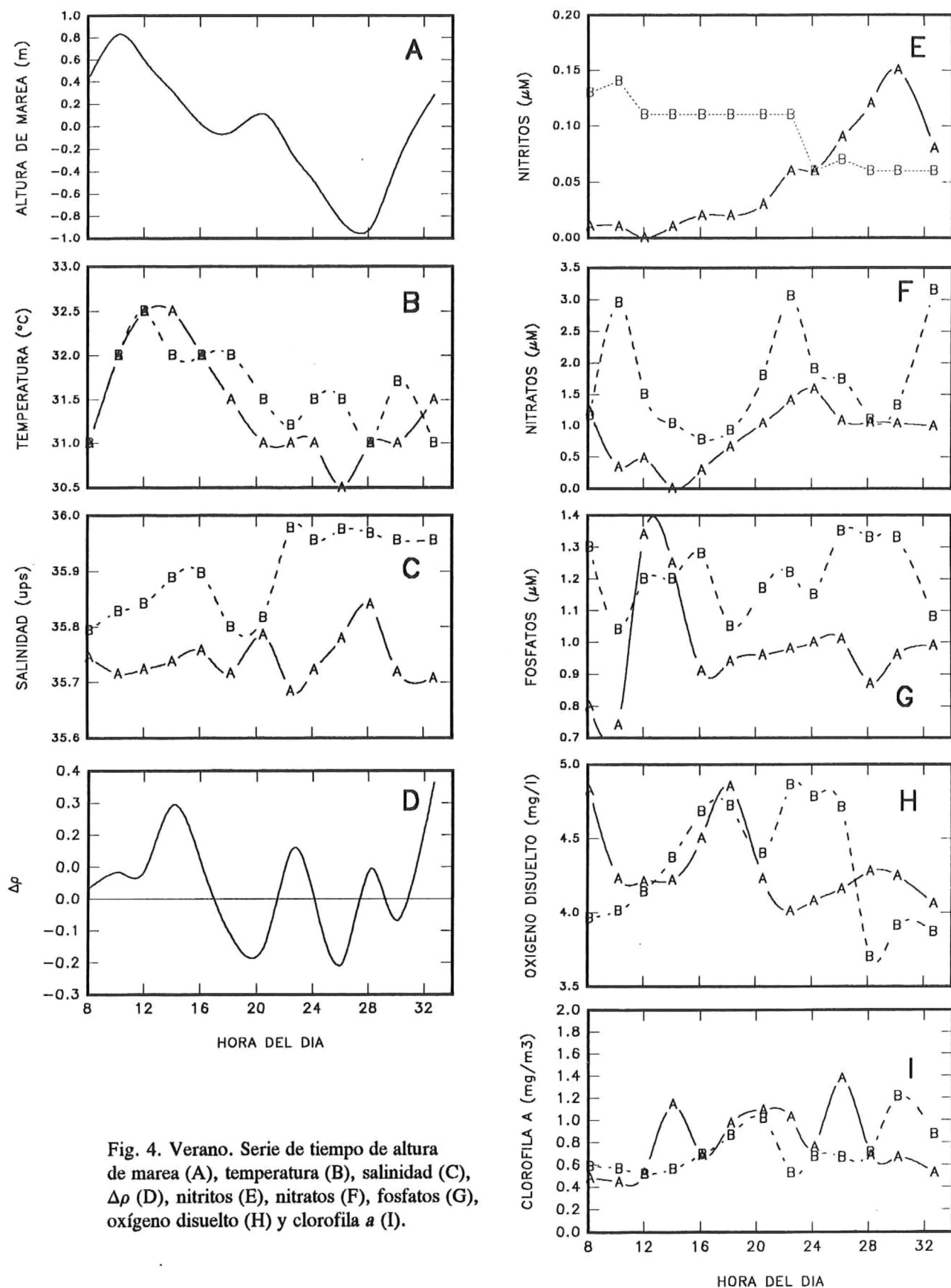
La concentración de PO_4 en A y B tiende a disminuir durante el flujo, la pleamar y comienzo del refluo (Fig. 3G), existiendo una mayor concentración en el interior, revirtiéndose este comportamiento al momento de la bajamar, alcanzado los máximos valores (1.80 y 1.42 μM , A y B respectivamente) al final del muestreo.

La Cla presenta comportamientos inversos entre las estaciones A y B (Fig. 3H). Los niveles de Cla en B son mayores que en A durante las horas de mayor intensidad lumínica, alcanzando valores máximos en ambas estaciones a las 17:36 hrs, con 1.58 mg/m^3 en A y 1.52 mg/m^3 en B respectivamente. Se registró un gradiente máximo de 0.83 mg/m^3 durante el final del flujo y homogenización de valores en el refluo e inicio del flujo.

La Fig. 4 presenta el comportamiento de temperatura, salinidad, $\Delta\rho$, oxígeno disuelto, nutrientes y biomasa durante el muestreo de verano.

La $T^\circ\text{C}$ se incrementó rápidamente en A y en B, llegando a su punto máximo (32.5°C) al medio día, hora a la que también corresponde la marea más alta del día, lo que explica que en las dos estaciones se presente la misma temperatura (Fig. 4B). Posteriormente, la temperatura del sistema disminuye junto con la marea alcanzando la boca el mínimo valor de 30.5°C en bajamar.

La S°/oo fué mayor en el interior que en la boca del sistema (Fig. 4C) a lo largo de todo el muestreo, con tendencia a aumentar durante el mismo. El máximo valor fué de $35.98^\circ/\text{oo}$ en la estación



B durante reflujo y el mínimo en A (35.68 ‰) también en reflujo. El gradiente mínimo y máximo fueron 0.031 y 0.193 ‰, durante pleamar y reflujo, respectivamente.

Los valores de $\Delta\rho$ en verano no presentaron un patrón definido (Fig. 4D). Se observa que tiende a existir una homogenización en la columna de agua ya que el $\Delta\rho$ presenta valores positivos y negativos a lo largo del muestreo, sin que se asocien claramente a la onda de marea.

La concentración de NO_2 en el sistema se comporta de manera inversa entre ambas estaciones (Fig. 4E), con tendencia a aumentar en la boca y a disminuir en el interior durante el transcurso del muestreo. Durante el reflujo se registran las mismas concentraciones de NO_2 en el sistema. La máxima y mínima concentración se presentan en la boca (0.0 y 0.15 μM) en flujo y reflujo respectivamente.

Los valores de NO_3 a lo largo de todo el muestreo fueron mayores en el interior que en la boca del sistema (Fig. 4F). En general se observó que la concentración de NO_3 tendió a aumentar en B en flujos, registrándose los mayores gradientes entre las dos estaciones (hasta 2.64 μM). Asimismo, los menores gradientes se presentaron en bajamares (0.05 μM). La máxima concentración fue de 3.14 μM (en el interior) y la mínima fue de 0.0 (en la boca).

En general, la concentración de PO_4 fue mayor en el interior que en la boca del sistema (Fig. 4G), observándose una situación inversa durante la primera pleamar. La máxima concentración del sistema se registró en B (1.35 μM) durante el reflujo y la mínima en A (0.74 μM) durante flujo. El máximo gradiente (0.46 μM) se presentó durante la bajamar más pronunciada.

El comportamiento del OD durante el muestreo de verano tiende a ser menor en B que en A durante los reflujos (Fig. 4H), con la máxima concentración (4.86 ml/l) y mínima (3.70 ml/l) en el interior del sistema durante reflujo y bajamar, respectivamente.

La variación diurna de Cla se presenta fue muy similar entre A y B (Fig. 4I), permaneciendo

mayor en la boca con excepción de las últimas cuatro horas de muestreo. La máxima y mínima concentración se presentan en A (1.4 y 0.44 mg/m^3), antes de la segunda bajamar y durante la primera pleamar, respectivamente.

La Fig. 5 presenta el comportamiento de temperatura, salinidad, $\Delta\rho$, oxígeno disuelto, nutrientes y biomasa durante el muestreo de otoño.

La $T^\circ\text{C}$ en A y B presenta un patrón de variación similar (Fig. 5B); la estación A presenta una temperatura mayor a B durante casi todo el muestreo, a excepción de las 11:00 hrs, en donde se presentan las mayores temperaturas en las dos estaciones, siendo ligeramente mayor en B (21.3°C) que en A (21.1°C). El mínimo valor fué de 19.5°C y se registró en el interior durante el segundo reflujo.

La $S^\circ/\text{‰}$ presentó un comportamiento inverso al de la temperatura (Fig. 5C) con mayores concentraciones en la estación B durante la mayor parte del muestreo, a excepción del final del segundo flujo, momento en que registra la menor concentración del sistema ($35.44^\circ/\text{‰}$). Asimismo, durante la pleamar de menor magnitud (11:00 hrs) los valores de salinidad en las dos estaciones prácticamente se igualan. La mayor concentración del sistema ($35.73^\circ/\text{‰}$) se presentó en el interior durante la primera bajamar.

Los valores de $\Delta\rho$ se mantuvieron positivos durante la mayor parte del muestreo, presentándose los máximos valores en reflujos (Fig. 5D) y valores negativos en la primera bajamar y segundo reflujo.

El comportamiento de los NO_2 fué similar entre las estaciones A y B (Fig. 5E), manteniéndose la primera por arriba de los niveles de la segunda durante casi todo el muestreo. El máximo gradiente de concentraciones ($0.15 \mu\text{M}$) se presentó al inicio del segundo flujo y la estación B fué mayor que A durante el segundo reflujo. La máxima concentración del muestreo fué $0.46 \mu\text{M}$ (boca) y la mínima 0.23

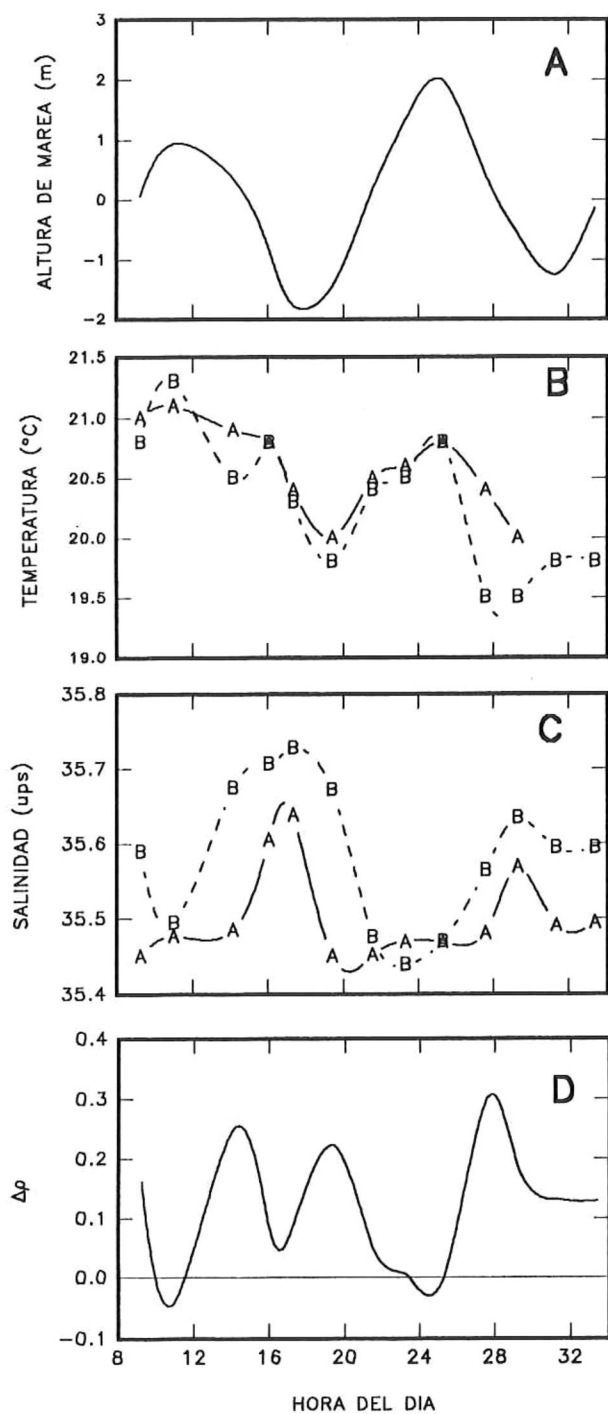
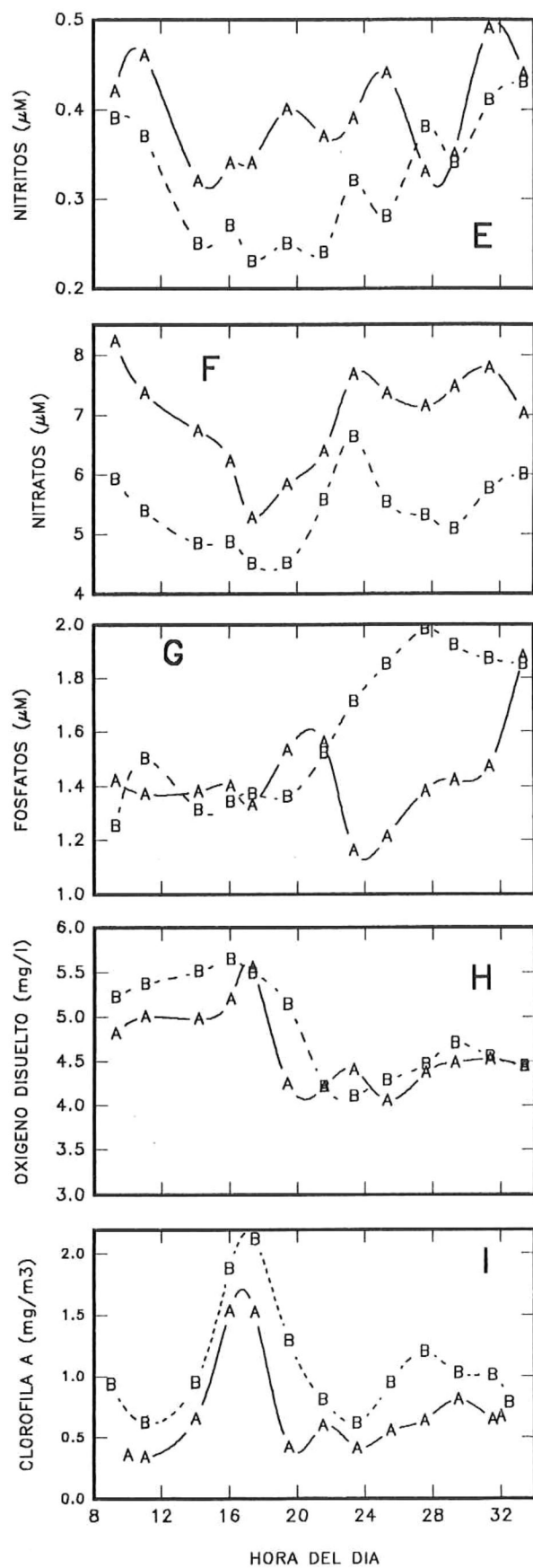


Fig. 5. Otoño. Serie de tiempo de altura de marea (A), temperatura (B), salinidad (C), $\Delta\rho$ (D), nitritos (E), nitratos (F), fosfatos (G), oxígeno disuelto (H) y clorofila *a* (I).



μM (interior).

Los NO_3 presentaron una mayor concentración en la boca que en el interior del sistema en la primera bajamar. Durante el primer refluo la estación A presentó la máxima concentración del muestreo ($8.22 \mu\text{M}$) y durante la primera bajamar, la estación B la mínima ($4.50 \mu\text{M}$).

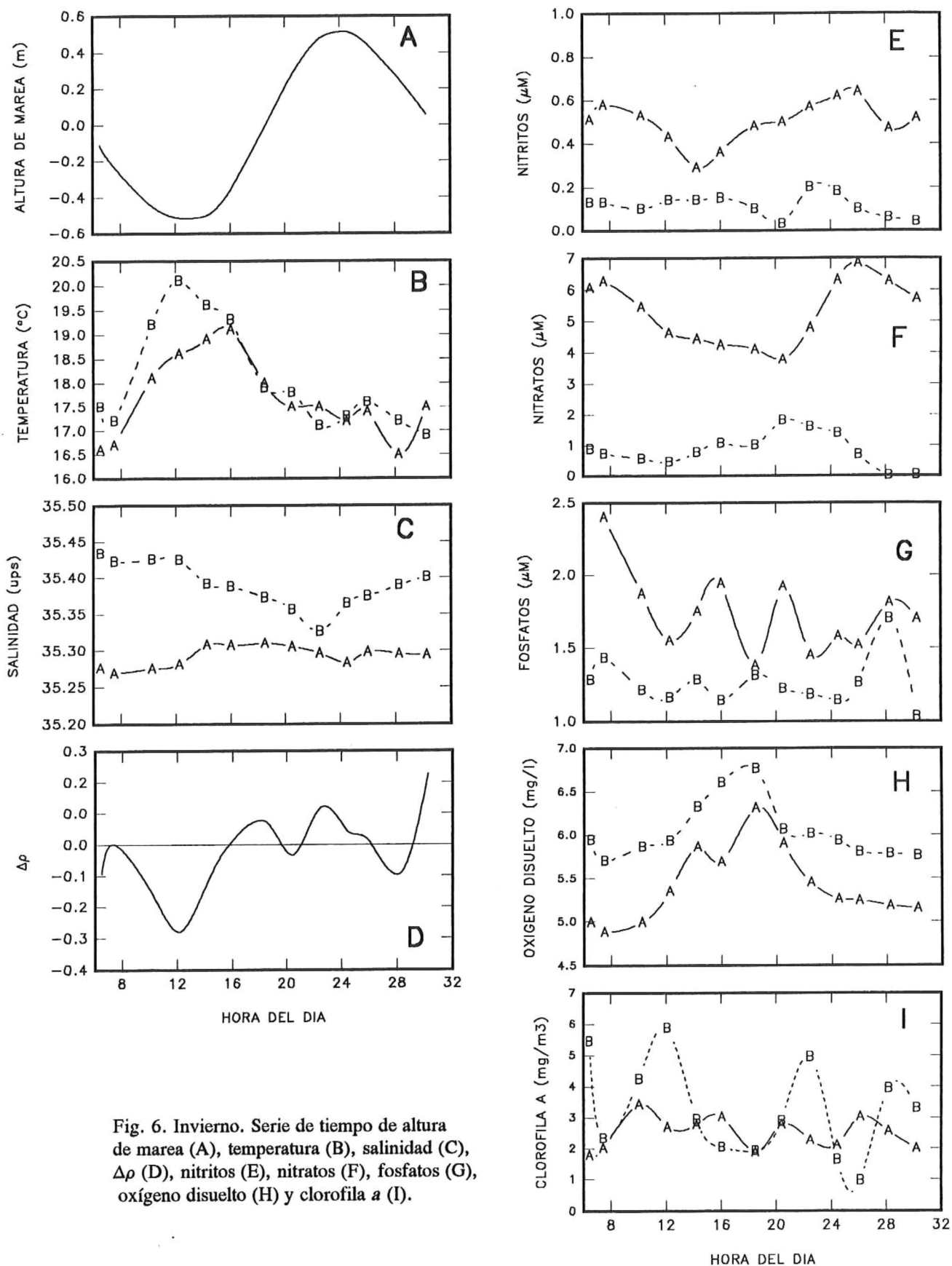
En la boca del sistema la concentración de PO_4 tiende a presentar una disminución durante las horas nocturnas y a aumentar en el interior (Fig. 5G). Durante la segunda pleamar se presentó el máximo gradiente entre las estaciones ($0.64 \mu\text{M}$) y en el primer refluo y segundo flujo la boca del sistema presentó mayores concentraciones de PO_4 que el interior. La máxima concentración ($1.98 \mu\text{M}$) se registró durante el segundo refluo y la mínima ($1.16 \mu\text{M}$) en la segunda pleamar.

A lo largo de todo el muestreo el OD presentó un comportamiento similar entre las estaciones A y B (Fig. 5H). En general, la concentración de OD en A es menor que en B; el máximo gradiente se presenta durante la primera bajamar, con valores en A de 4.24 ml/l y de 5.14 ml/l en B. Al término del primer refluo la estación B registró la máxima concentración (5.64 ml/l); la mínima concentración fue de 4.05 ml/l en la boca.

La concentración de Cl_a siempre fue mayor en la estación B que en A; ambas estaciones guardan un comportamiento similar (Fig. 5I). El interior presentó la máxima concentración del sistema (2.12 mg/m^3) durante la primera bajamar y la boca la mínima concentración (0.33 mg/m^3) en la primera pleamar.

La Fig. 6 presenta el comportamiento de temperatura, salinidad, $\Delta\rho$, de oxígeno disuelto, nutrientes y biomasa durante el muestreo de invierno.

La $T^\circ\text{C}$ presentó una variación inversa a la marea (Fig. 6B), con mayores valores en el interior del sistema durante la mayoría del muestreo. El máximo gradiente (1.5°C) se presenta durante la



bajamar, observándose gran homogenización durante el flujo y pleamar. La máxima T°C (20.1°C) se presentó en el interior durante la bajamar y la mínima (16.5°C) se registró en la boca durante reflujo.

Durante todo el muestreo la estación B presentó una mayor concentración salina que A (Fig. 6C), con un gradiente máximo de 0.150 ‰ y uno mínimo de 0.030 ‰ en el primer reflujo y flujo, respectivamente. El interior registró la mayor salinidad (35.43 ‰) y la boca la menor (35.27 ‰), ambas durante reflujo.

Los valores de $\Delta\rho$ tendieron a presentar un comportamiento similar al de la onda de marea (Fig. 6D), con valores negativos durante reflujo y bajamar y positivos al aumentar la marea.

La concentración de NO₂ en la estación A fué siempre mayor que la estación B (Fig. 6E), presentando la primera un comportamiento similar al de la onda de marea, con el máximo valor (0.64 μM) durante la pleamar. La estación B presenta niveles bajos, con el mínimo valor (0.03 μM) durante flujo. El máximo gradiente entre las estaciones (0.54 μM) se registró durante la pleamar y el mínimo (0.15 μM) durante bajamar.

A lo largo de todo el muestreo de invierno, la boca registra mayores concentraciones de NO₃ que el interior del sistema (Fig. 6F). Se presentaron amplios gradientes entre ambas estaciones, con máximos de 6.15 μM (reflujo) y mínimo de 1.98 μM (flujo). En la estación B los NO₃ fueron indetectables durante las últimas horas de muestreo y en la estación A se registró la máxima concentración (6.84 μM) durante reflujo.

Durante todo el muestreo, la concentración de PO₄ fué mayor en la estación A que en B, con grandes fluctuaciones en la primera y ambas con tendencia a repuntar al término del mismo (Fig. 6G). El máximo gradiente (0.97 μM) se presentó durante las primeras horas del muestreo, bajo la acción del reflujo y los menores (0.07 y 0.11 μM) durante flujo y reflujo, respectivamente. La máxima

concentración ($2.40 \mu\text{M}$) y la mínima ($1.03 \mu\text{M}$) se registró en la boca y en el interior durante reflujos.

El OD presentó mayores valores en el interior que en la boca del sistema, ambas estaciones registraron tendencia a aumentar durante el día y a disminuir durante la noche (Fig. 6H). El máximo gradiente entre las estaciones fue de 0.87 ml/l (reflujo) y el mínimo de 0.16 ml/l (flujo). El interior registró la mayor concentración (6.76 ml/l) en flujo y la boca la menor (4.88 ml/l) en reflujos.

En general, los niveles de Cla en ambas estaciones tienden a ser mayores en B que en A y a disminuir en el transcurso del muestreo (Fig. 6I). Se presentó el máximo gradiente (3.5 mg/m^3) durante la bajamar y las concentraciones del interior fueron menores que las de la boca al inicio del flujo y durante la pleamar. La máxima y mínima concentración (5.86 y 0.95 mg/m^3) se registraron en la estación B durante bajamar y pleamar, respectivamente.

3.3. VARIACIÓN ESTACIONAL

Las mayores temperaturas en Bahía Willard se presentan en la época de verano, alcanzando un valor promedio de 31.42°C en la estación A y 31.61°C en la estación B (Fig. 7A). Durante primavera y otoño prácticamente se registran las mismas temperaturas (de 20 a 20.5°C) y en invierno descienden hasta alrededor de 18°C . A lo largo del ciclo anual, la $T^\circ\text{C}$ en las dos estaciones (A y B) es prácticamente la misma.

Al igual que la $T^\circ\text{C}$, la mayor salinidad en el sistema se presenta en verano, promediando 35.74 y 35.90 ‰ en A y B respectivamente (Fig. 7B). Le siguen en orden descendente, los muestreos de otoño, invierno y primavera. En general, la estación del interior de la bahía (estación B) presentó mayor $S^\circ\text{‰}$ que la estación de la boca (estación A), aunque con un gradiente de valores promedio menor a 0.15 ‰ .

Durante el invierno, la concentración de OD fue la más alta del ciclo anual (5.40 ml/l ; 122%

saturación en A y 6.03 ml/l; 138% en B), siguiéndole otoño y finalmente verano (Fig. 7C y 8A). La estación del interior presentó los mayores valores de OD durante otoño e invierno, así como el mismo patrón que A durante el verano, pero con una mayor variación en sus concentraciones.

En primavera y verano se presentan concentraciones de NO_2 menores a $0.15\mu\text{M}$ (Fig. 8B), incrementándose en otoño en ambas estaciones y alcanzando en invierno las más altas concentraciones del año en A ($0.50\mu\text{M}$), estación del año en la que se presenta el máximo gradiente anual como producto de la gran actividad biológica en B, reflejado en los altos valores de Cla (Fig. 8E).

En A y B, las mayores concentraciones de NO_3 se presentaron durante el otoño, siendo en A ligeramente mayores que en B (Fig. 8C). Durante el invierno se presenta una gran diferencia en la concentración de NO_3 , al igual que los NO_2 , siendo los valores $5.3\mu\text{M}$ en la boca y $0.8369\mu\text{M}$ en el interior.

La concentración de PO_4 es mayor en la estación B que la estación A durante primavera, verano y otoño (Fig. 8D); la estación A en invierno presenta las mayores concentraciones del sistema de todo el ciclo anual alcanzando una concentración promedio de fosfatos de $1.7392\mu\text{M}$. Nuevamente, en invierno se presenta una depreciación en los valores del nutriente probablemente por efecto biológico.

A lo largo del ciclo anual, los niveles de Cla en la estación B fueron mayores que los de la estación A, a excepción del verano, en que prácticamente son iguales. Durante los muestreos de primavera, verano y otoño se presentó una variación mínima, manteniéndose en promedio entre 0.7018 y 1.315 mg/m^3 ; en el muestreo de invierno se presentaron los valores más altos del ciclo anual 2.484 y 3.259 mg/m^3 en A y B respectivamente.

De manera general, en el interior del sistema se presentaron las mayores concentraciones de oxígeno disuelto, fosfatos y clorofila *a* (Figs. 8C, 8D y 8E), mientras que en la boca, los nitritos y

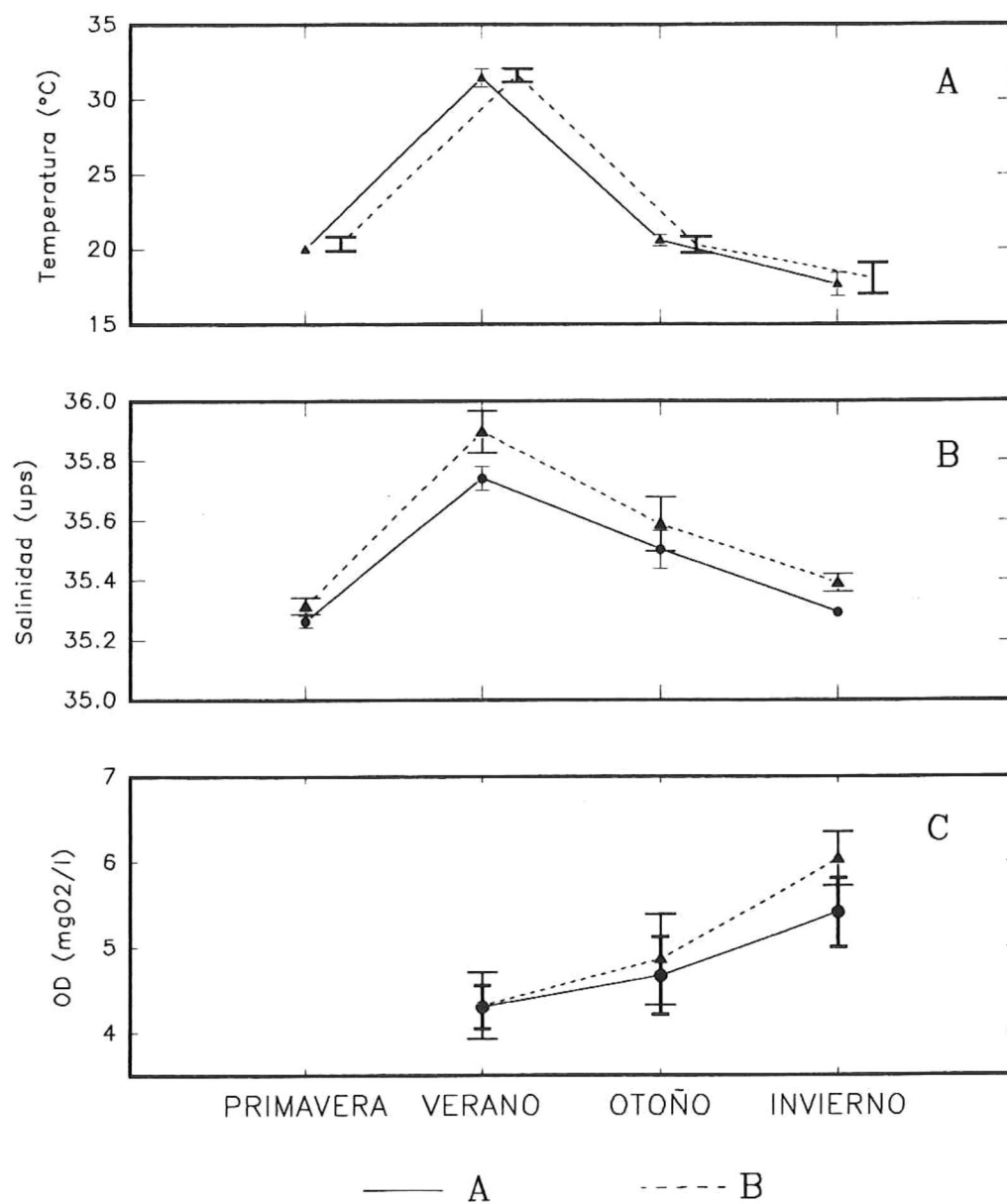


Fig. 7. Variación estacional de temperatura (A), salinidad (B) y oxígeno disuelto (C) en Bahía Willard.

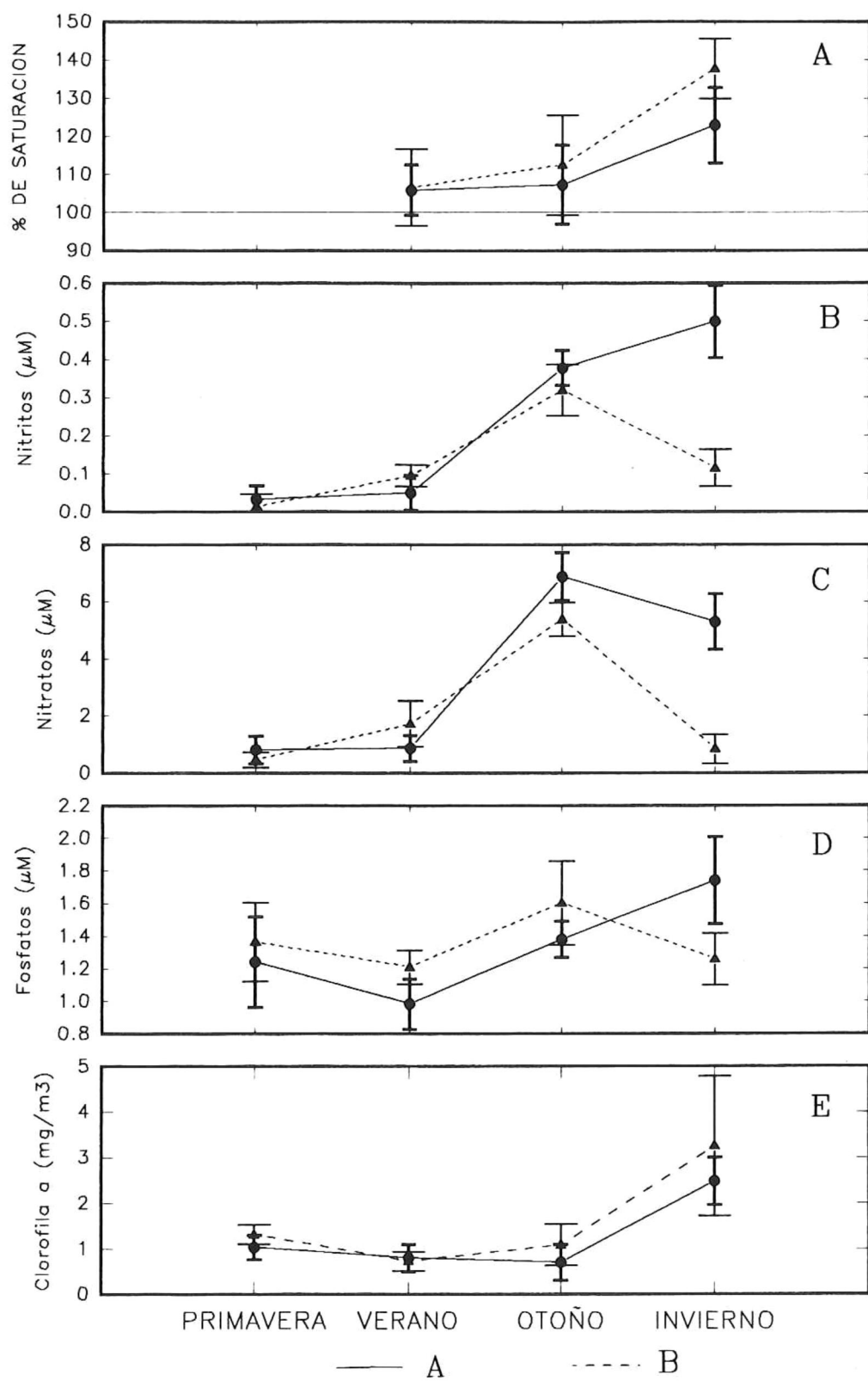


Fig. 8. Variación estacional de % de saturación (A), nitritos (B), nitratos (C), fosfatos (D) y clorofila a (E) en Bahía Willard.

nitratos fueron mayores durante la mayor parte del año (Figs. 8B y 8C). El OD presenta una clara tendencia a aumentar conforme disminuye la temperatura del sistema (Fig. 8A); los NO_2 y NO_3 presentan una clara tendencia estacional, con valores bajos durante las estaciones cálidas y valores altos durante las estaciones frías (Figs. 8B y 8C); los fosfatos no presentan tendencia estacional definida (Fig. 8D) y la clorofila *a* presenta los valores más altos durante el invierno (Fig. 8E).

3.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En general, el Análisis de Componentes Principales corrobora lo expuesto anteriormente (Tabla II).

Durante los muestreos de primavera y otoño las variables físicas ($T^{\circ}\text{C}$, $S^{\circ}/\text{‰}$, marea, $\sigma\text{-t}$ y $\Delta\rho$) explican el mayor porcentaje de variación en Bahía Willard (49% y 42.9%, respectivamente), probablemente debido a fenómenos de advección como producto del intenso dinamismo de las mareas vivas. Además, en otoño se observa que las variables biológicas como el OD y nutrientes (NO_2 y NO_3) también contribuyen con un gran porcentaje de la variación del sistema.

En verano, las variables físicas ($T^{\circ}\text{C}$, $\sigma\text{-t}$, marea) continúan explicando el mayor porcentaje de variación y las variables biológicas (clorofila *a*, nutrientes, y oxígeno disuelto) aparecen formando parte de componentes individuales.

Durante el muestreo de invierno, las variables que mayormente explican la variación del sistema son, en primer término, las variables biológicas (nutrientes; 28.4%) y, en segundo, las variables físicas (marea; 19.7%).

Tabla II. Resultados del Análisis de Componentes Principales aplicado a la matriz que agrupó a la estación de la boca y la estación del interior.

PRIMAVERA	VERANO	OTOÑO	INVIERNO
CP1 (27.68%) marea $\Delta\rho$	CP1 (19.63%) temperatura σ -t	CP1 (23.70%) oxígeno disuelto % de saturación salinidad	CP1 (28.42%) salinidad nitratos nitritos fosfatos
CP2 (21.35%) σ -t temperatura	CP2 (10.97%) marea	CP2 (19.19%) temperatura σ -t	CP2 (19.70%) marea
CP3 (13.36%) clorofila <i>a</i>	CP3 (8.68%) clorofila <i>a</i>	CP3 (9.76%) clorofila <i>a</i>	CP3 (8.64%) clorofila <i>a</i>
CP4 (14.83%) fosfatos nitratos	CP4 (9.55%) oxígeno disuelto % de saturación	CP4 (7.61%) marea	CP4 (15.44%) oxígeno disuelto % de saturación
CP5 (12.49%) nitritos	CP5 (8.55%) nitritos	CP5 (16.28%) nitritos nitratos	CP5 (14.23%) σ -t temperatura
CP6 (6.47%) salinidad	CP6 (17.39%) fosfatos	CP6 (10.16%) fosfatos	CP6 (4.51%) fosfatos
Porcentaje Total 96.19	CP7 (8.72%) $\Delta\rho$	CP7 (8.79%) $\Delta\rho$	CP7 (7.74%) $\Delta\rho$
	CP8 (8.44%) nitratos	Porcentaje Total 95.49	Porcentaje Total 98.67
	CP9 (6.89%) salinidad		
	Porcentaje Total 99.22		

4.DISCUSIÓN

El intervalo anual de temperatura en Bahía Willard fué de 16.5 a 32.5°C, similar a los reportados para la Ensenada de La Paz, en la costa oeste del Golfo de California y desde la Laguna de la Cruz hasta el sistema lagunar de Topolobampo en la costa este del Golfo (Tabla III). El promedio anual de temperatura en Bahía Willard fué de 23.04°C, lo que la sitúa como la de menor temperatura promedio en el Golfo (Tabla III), posiblemente sólo equiparable con el promedio anual en la desembocadura del Río Colorado reportado por Martínez-Rojas (1990). Como era de esperarse, la mayor temperatura promedio se presentó durante verano en el interior de la bahía (31.61°C) y la menor en invierno en la boca (17.66°C) debido principalmente al papel que juega la irradiación solar sobre las aguas de la región norte del Golfo, como lo señalan Alvarez-Borrego y Galindo-Bect (1974) y Alvarez-Borrego *et al.* (1975), provocando que la variación estacional de temperatura sea reflejo de una variación a nivel regional.

En general la variación diurna refleja condiciones derivadas de eventos locales, como en el muestreo de otoño, en donde se observa claramente que la temperatura del sistema es regulada por la entrada de agua; probablemente por las condiciones de marea viva y fuertes vientos durante el muestreo, a lo largo de toda la serie la estación de la boca presentó mayores valores de T°C que el interior. Durante los muestreos de primavera, verano y otoño, se detectaron las más altas temperaturas durante las pleamares y las menores durante las bajamares (Figs. 3, 4 y 5) mientras que en invierno (Fig. 6) se presentó un patrón contrario. A pesar de tratarse de una laguna pequeña con una gran movilización y cortos tiempos de residencia de sus aguas (Fig. 2), las características climáticas que imperan en Bahía Willard provocan que, de manera general, la temperatura del interior del sistema sea mayor al de la boca, viéndose afectada principalmente por corrientes de marea, lo que genera gradientes horizontales de temperatura como reflejo de la batimetría irregular de la zona, tal y como lo señalan Alvarez-Borrego y Alvarez-Borrego (1982) para Bahía de San Quintín y el Estero de Punta Banda.

Tabla III. Valores de temperatura y salinidad de sistemas del Golfo de California.

Laguna	T(°C)		S(‰)	
	x	rango	x	rango
Delta del Río Colorado <i>Martínez-Rojas (1990)</i>	-	8.2-32.6	-	35.3-41.0
Bahía de los Angeles* <i>Alvarez-Borrego y Gaxiola-Castro (1988)</i>	27.4	25.2-29.2	35.5	35.3-35.5
<i>Ibarra-Saádo (1988)</i>	-	-	-	-
	28.7	27.3-29.9	35.43	32.2-35.8
Bahía Willard <i>este estudio</i>	23.0	16.5-32.5	35.50	35.23-35.98
Bahía Concepción*	28.2	21.4-32.6	35.6	35.1-36.0
Ensenada de la Paz* <i>Espinoza-Avalos (1976)</i>	29.3	28.9-29.8	37.2	35.0-37.8
	-	19.9-31.9	-	34.7-38.8
Laguna de la Cruz* <i>Castro-Longoria y Grijalva-Chon (1991)</i>	31.1	29.5-32.0	-	-
	-	15.9-31.9	-	35.0-40.0
Bahía de Guaymas*	31.4	30.1-32.3	35.7	35.5-36.3
Bahía de Yásicuri <i>Ochoa-Araiza (1979)</i>	-	13.0-34.0	-	38.0-49.0
Bahía de Lobos* <i>Ochoa-Araiza (1979)</i>	30.5	29.3-31.6	35.5	34.8-36.7
	-	13.0-34.0	-	36.0-42.0
Est. de Huivuilay o B. de Tóbari* <i>Ochoa-Araiza (1979)</i>	28.6	27.1-30.1	33.2	31.3-34.6
	-	14.0-33.0	-	20.0-44.0
Laguna de Moroncárit <i>Ochoa-Araiza (1979)</i>	-	15.0-31.0	-	14.0-40.0
Bahía Yavaros* <i>Ochoa-Araiza (1979)</i>	27.8	26.2-29.4	32.6	30.1-35.1
	-	15.0-33.0	-	37.0-42.0
Estero de Agiabampo*	31.7	31.3-32.4	34.4	32.6-36.1
Estero de las Lajitas <i>Serrano-Esquer (1978)</i>	-	18.0-33.0	-	26.0-37.0
Estero de Lechugilla*	30.1	29.5-30.5	30.1	26.7-34.3
Sistema lagunar de Topolobampo <i>López-Ruelas (1985)</i>	26.9	20.3-33.5	34.73	29.10-37.91
<i>Sigala-Morales (1993)</i>	-	17.6-32.2	-	31.07-35.87
Bahía Ohuira*	29.1	27.6-30.4	31.2	25.4-35.9
Canal de Saliaca*	-	-	36.5	34.4-38.1
Bahía de Santa María*	31.4	30.0-32.1	36.2	33.6-38.6
Estero de Quevedo*	31.7	31.4-32.6	39.0	34.6-46.2
Estero de Urias*	30.7	28.5-31.8	32.5	30.6-33.9
Golfo de California <i>Farfán (1975)</i>	-	8.2-32.6	-	35.3-41.0
<i>Gaxiola-Castro et al. (1985)</i>	-	18.3-21.3	-	35.27-35.62

* Gilmartin y Revelante (1978)

En algunos casos se observa que durante los flujos o reflujos tienden a presentarse valores similares de $T^{\circ}\text{C}$, o por lo menos se registran los menores gradientes entre las estaciones A y B (Fig. 3, 5 y 6) debido a que en esas horas el agua de la laguna se encuentra sujeta a gran movimiento provocando que durante el reflujo las aguas más calientes del interior de la laguna y sujetas a una mayor evaporación por su carácter de aguas someras, sean detectadas en la estación B. De la misma manera, durante el flujo, las aguas de menor $T^{\circ}\text{C}$ de la boca del sistema, sujetas a la influencia de aguas oceánicas, son detectadas en la estación A. Tal patrón es similar al reportado para Bahía de San Quintín (Galindo-Bect y Flores-Báez, 1982), sistema lagunar de Topolobampo (López-Ruelas, 1985), entre otros.

En Bahía Willard, la salinidad registró un rango anual de 35.232 a 35.977 ‰, lo que la coloca como uno de los sistemas costeros del Golfo con menor variación anual de la misma (Tabla III). Tal intervalo es similar al de las aguas del Golfo reportado por Gaxiola-Castro *et al.* (1985) lo que sugiere que no existe aporte significativo de agua dulce en Bahía Willard. Esto y el gran dinamismo de la bahía, provocan que, a pesar de que la evaporación excede a la precipitación en 1-2 m/año en la zona (Bray, 1988), la salinidad en la laguna se incrementa sólo aproximadamente 0.7 ‰ o mantiene la misma concentración salina que las aguas aledañas del Golfo, lo que contrasta con lo que sucede en el delta del Río Colorado o en las lagunas del este del Golfo (Tabla III). Al igual que la temperatura, durante verano el interior de la bahía presentó el mayor promedio estacional (35.896 ‰) pero fué durante primavera cuando la boca del sistema presentó el menor (35.263 ‰). El promedio anual de salinidad fué de 35.50 ‰, similar a sistemas del área como Bahía de los Angeles y Bahía de Guaymas (Tabla III).

En general, durante todo el ciclo anual en Bahía Willard se presentó una relación inversa entre los valores de salinidad y la onda de marea (Figs. 3, 4, 5 y 6), con máximas salinidades correspondientes a mareas bajas y viceversa, al igual que en el sistema lagunar de Topolobampo, Sin. (López-Ruelas, 1985), Estero de Punta Banda (Zertuche-González y Alvarez-Borrego, 1978; Galindo-Bect y Flores-

Báez, 1982), Bahía de San Quintín (Zertuche-González y Alvarez-Borrego, 1978; Ortiz-Cortéz, 1881; Galindo-Bect y Flores-Báez, 1982), Bahía Magdalena (Acosta-Ruiz y Lara-Lara, 1978) y Estero el Cardón, B.C.S. (Vidal-Musiño, 1983), Tal patrón, típico de bahías cálidas, en donde la evaporación excede a la precipitación y donde existen aportes restringidos de agua dulce, origina una corriente superficial dirigida hacia el interior de la bahía, con $T^{\circ}\text{C}$ y $S^{\circ}/\text{‰}$ menor a la otra, más profunda y en sentido opuesto, característico de sistemas denominados antiestuarinos (Margalef, 1980) y es posible que Bahía Willard lo presente.

Por su parte, durante los muestreos de primavera, verano y otoño, la densidad ($\sigma\text{-t}$) presentó un comportamiento inverso al de la temperatura del sistema y a la onda de marea: a mayor temperatura, menor densidad y viceversa. Este comportamiento es típico de sistemas antiestuarinos debido a que el efecto de la temperatura es mayor que el de la salinidad, provocando que el agua no se mezcle y tenga estabilidad por flotación (López-Valdéz, 1989). En sistemas en los que existen condiciones dinámicas de vientos y/o corrientes por mareas, como en Bahía Willard, parecen predominar los fenómenos de advección sobre los de mezcla, como se observa principalmente durante primavera y otoño (Figs. 3D y 5D). En verano, los valores de $\sigma\text{-t}$ (Fig. 9; Anexo 3) indican que tiende a presentarse homogenización y $\Delta\rho$ presentó valores negativos (Fig. 4D), es decir, que la densidad en la boca del sistema fué mayor que la del interior del mismo, principalmente cuando el sistema se encontraba sujeto a flujos y pleamares (Figs. 3, 4, 5 y 6) corroborando lo mencionado en relación a la dinámica del sistema y a la diferencia espacial de $T^{\circ}\text{C}$ y $S^{\circ}/\text{‰}$.

El intervalo anual de nitritos en Bahía Willard fué de 0.0 a $0.64\ \mu\text{M}$, con un promedio de $0.188\ \mu\text{M}$ a lo largo del año. Es posible que estos bajos niveles de nitritos en Bahía Willard, principalmente durante verano se debieron a que los procesos que los producen, tales como degradación bacteriana y nitrificación (Nixon y Pilson, 1983) no fueron un factor importante en el reciclaje del nitrógeno dado que el ambiente presentó valores de sobresaturación de oxígeno (Fig. 9; Anexo 3), tal y

como lo señalan Cervantes-Duarte y Guerrero-Godínez (1987) en un estudio de nutrientes en la Ensenada de La Paz, B.C.S.

Los nitratos presentaron un intervalo de 0.0 a 8.22 μM , a lo largo del ciclo anual, superior a los sistemas estudiados en la costa este y oeste del Golfo, con excepción del delta del Río Colorado y Bahía de los Angeles (Tabla IV). El intervalo de NO_3 en Bahía Willard es superior al reportado para Bahía de San Quintín y Estero de Punta Banda, con excepción del rango de $\text{NO}_2 + \text{NO}_3$ reportado por Soto-Balderas y Alvarez-Borrego (1991) para éste último (Tabla V) y menor a los registrados para sistemas del Mar Mediterráneo como Laguna Mauguio (Francia) y Laguna Urbino (Italia) (Tabla V).

En Bahía Willard se presenta un comportamiento similar entre la marea y nitritos-nitratos durante los muestreos de primavera, otoño e invierno (Figs. 3, 5 y 6), es decir, se presentó un aumento en las concentraciones conforme al flujo de la marea y una disminución en condiciones de reflujo, lo que podría indicar que existe un aporte de nutrientes inorgánicos del océano adyacente hacia la laguna y por lo tanto el incremento en la concentración de los mismos se presenta durante el flujo de la marea durante esas épocas del año. Tal patrón ha sido reportado anteriormente por Zertuche-González y Alvarez-Borrego (1978) y Muñoz-Anderson y Millán-Núñez (1991) para el Estero de Punta Banda.

Bahía Willard registró las mayores concentraciones de nitrógeno inorgánico durante otoño e invierno (Figs. 8B y 8C). Nixon (1982) señala que es difícil identificar patrones estacionales comunes de abundancia de nitrógeno inorgánico con excepción de los nitratos, en que los altos valores se asocian a entradas de agua dulce. Los valores de salinidad (Fig. 7B) no permiten comprobar la presencia de escurrimientos importantes de agua dulce hacia Bahía Willard durante ninguna época del año, por lo que no es posible asociar los altos valores de nitratos y nitritos en la bahía en otoño e invierno a entradas de agua dulce sino, más bien, a una variación a nivel Alto Golfo de California provocada por cambios en los movimientos de masas de agua del mismo como se mencionará más adelante.

Tabla IV. Valores de oxígeno disuelto, nitratos, fosfatos y clorofila *a* de sistemas del Golfo de California.

Laguna	O ₂ (ml.l ⁻¹)		NO ₃ (μM)		PO ₄ (μM)		Cl-a (mg.m ⁻³)	
	x	rango	x	rango	x	rango	x	rango
Delta del Río Colorado <i>Hernández-Ayón (1990)</i>	-	-	-	1.0-53.0	-	0.2-11.5	-	-
Bahía de los Angeles* <i>Alvarez-Borrego y Gaxiola-Castro (1988)</i>	4.49	3.35-5.04	0.61	0.07-5.04	1.11	0.80-2.24	0.3	0.2-0.5
<i>Castro-Montoya (1988)</i>	-	-	-	-	-	-	3.47	-
<i>Ibarra-Saáido (1988)</i>	-	-	-	0.13-9.47	-	0.50-1.75	-	-
<i>Durand-Sarmiento (1989)</i>	4.75	4.01-5.41	-	-	-	-	-	-
<i>Canino-Herrera et al. (1990)</i>	-	-	-	1.02-17.17	-	-	-	-
<i>Muñoz-Barbosa et al. (1991)</i>	-	-	-	-	-	-	-	0.3-2.5
Puerto Don Juan <i>Bustos-Serrano (1991)</i>	-	-	3.7	2.6-5.8	-	0.2-1.1	3.2	0.6-5.3
Bahía Willard este estudio	4.93	3.70-6.76	2.78	0.0-8.22	1.35	0.74-2.40	1.43	0.33-5.86
Bahía Concepción*	3.67	0.0-5.11	0.66	0.05-5.79	1.24	0.30-5.77	0.4	0.2-0.6
Ensenada de la Paz* <i>Espinosa-Avalos (1976)</i>	3.56	2.72-4.26	0.69	0.27-1.75	0.55	0.45-0.78	2.4	0.9-3.2
<i>García-Pamnes (1976)</i>	-	3.69-6.88	-	-	-	-	-	-
<i>Lechuga-Dereze (1976)</i>	-	-	-	<0.10-0.3	-	-	-	-
<i>Lechuga-Dereze (1977)</i>	-	-	-	-	-	-	-	1.0-8.0
<i>Cervantes-Duarte y Guerrero-Godínez (1987)</i>	4.5	2.92-6.92	0.37	0.0-5.39	1.53	0.3-7.06	-	0.2-8.2
Laguna de la Cruz*	4.33	3.81-4.70	-	-	0.37	0.24-0.53	5.3	3.0-11.4
Bahía de Guaymas*	4.21	3.48-4.78	0.92	0.50-1.31	0.41	0.15-0.65	8.8	4.7-12.8
Bahía de Yacúri <i>Ochoa-Araiza (1979)</i>	-	2.4-6.8	-	-	-	-	-	-
Estero de Lobos* <i>Ochoa-Araiza (1979)</i>	3.92	3.26-4.79	0.65	0.21-1.59	0.69	0.54-0.84	4.4	3.4-6.7
<i>Hungar-Sierra (1990)</i>	-	3.5-6.0	-	-	-	-	-	-
Est. de Huivuilay o B. de Tóbari* <i>Ochoa-Araiza (1979)</i>	3.78	3.27-4.00	0.78	0.24-1.56	1.04	0.82-1.37	8.5	4.4-11.7
<i>Arenas (1970)</i>	-	1.6-7.0	-	-	-	-	-	-
Bahía Yavaros* <i>Ochoa-Araiza (1979)</i>	-	-	0.85	0.48-1.23	0.54	0.35-0.74	7.9	4.3-11.5
<i>Arenas (1970)</i>	-	-	-	-	-	-	0.5	-
Estero de Agiabampo*	4.75	3.44-5.72	0.64	0.14-1.05	0.37	0.23-0.79	4.4	2.4-7.2
Estero de las Lajitas <i>Serrano-Esquer (1978)</i>	-	3.8-7.0	-	-	-	-	-	-
Estero de Lechugilla*	4.42	3.94-4.58	0.90	0.50-1.23	1.47	0.71-2.18	12.6	6.5-19.9
Sistema lagunar de Topolobampo <i>López-Ruelas (1985)</i>	4.41	3.56-5.33	-	-	-	-	-	-
<i>Sigala-Morales (1993)</i>	-	5.53-7.47	-	-	-	-	-	1.52-7.47
Bahía Ohuira*	4.10	3.40-5.11	1.85	0.80-3.62	1.24	0.87-1.31	12.0	8.3-12.5
Canal de Saliaca*	4.71	3.97-5.61	0.92	0.40-1.52	0.56	0.26-1.43	4.8	2.0-11.8
Bahía de Santa María*	4.12	3.06-4.80	0.69	0.16-1.33	0.44	0.11-1.31	7.0	2.6-19.3
Estero de Quevedo*	4.36	3.52-4.65	0.83	0.53-1.18	0.51	0.42-0.64	5.6	3.4-8.4
Estero de Urias*	4.39	2.56-5.62	0.93	0.58-1.83	0.93	0.57-1.44	7.9	3.4-8.4
Golfo de California <i>Rivera (1977)</i>	-	-	-	5.0-15.0	-	1.0-2.0	-	-
<i>Gaxiola-Castro et al. (1985)</i>	-	-	-	3.69-9.55	-	1.20-1.50	-	1.00-3.96
<i>Alvarez-Borrego y Gaxiola-Castro (1988)</i>	-	-	-	0.0-40.0	-	0.7-1.0	-	-

* Gilmartin y Revelante (1978)

Tabla V. Valores de oxígeno disuelto, nitratos, fosfatos y clorofila a en sistemas fuera del Golfo de California.

Laguna	O ₂ (ml.l ⁻¹)		NO ₃ (μM)		PO ₄ (μM)		Cl-a (mg.m ⁻³)	
	x	rango	x	rango	x	rango	x	rango
Bahía de San Quintín								
<i>Alvarez-Borrego et al. (1975)</i>	-	3.0-7.5	-	-	-	-	-	-
<i>Alvarez-Borrego et al. (1977)</i>	-	4.8-6.3	-	-	-	-	-	-
<i>Lara-Lara y Alvarez-Borrego (1978)</i>	-	-	-	-	-	-	-	0.0-0.8
<i>Zertuche-González y Alvarez-Borrego (1978)</i>	-	-	-	-	-	3.7-4.4	-	-
<i>Lara-Lara et al. (1980)</i>	-	3.6-6.8	-	-	-	0.7-4.4	-	0.8-15.7
<i>Galindo-Bect y Flores-Baez (1982)</i>	-	3.35-6.8	-	-	-	-	-	-
<i>Millán-Núñez et al. (1982)</i>	-	-	-	0.0-0.42	-	0.36-2.86	-	0.5-37.9
<i>Silva-Cota y Alvarez-Borrego (1988)</i>	-	-	-	0.5-5.0	-	-	-	-
Estero de Punta Banda								
<i>Acosta-Ruiz (1973)</i>	-	3.39-7.04	-	-	-	-	-	-
<i>Céliz-Ceseña (1975)</i>	-	4.15-6.65	-	-	-	-	-	-
<i>Sánchez-Hernández (1978)</i>	-	-	-	0.0-4.49	-	0.29-5.21	-	-
<i>Alvarez-Borrego et al. (1977)</i>	-	4.8-5.8	-	-	-	-	-	-
<i>Zertuche-González y Alvarez-Borrego (1978)</i>	-	-	-	-	-	0.02-0.9	-	-
<i>Millán-Núñez et al. (1981)</i>	-	-	-	-	-	0.2-1.9	-	0.0-11.6
<i>Galindo-Bect y Flores-Baez (1982)</i>	-	5.6-6.9	-	-	-	-	-	-
<i>Silva-Benavides (1990)</i>	4.59	3.36-5.26	3.25*	1.28-5.63*	-	-	-	-
<i>Muñoz-Anderson y Millán Núñez (1991)</i>	-	-	-	1.0-3.0	-	0.2-0.8	-	0.5-7.1
<i>Soto-Balderas y Alvarez-Borrego (1991)</i>	-	-	-	1.0-10.0 *	-	0.3-7.2	-	-
Bahía Magdalena								
<i>Acosta-Ruiz y Lara-Lara (1976)</i>	-	-	-	-	-	1.00-1.82	-	1.8-5.1
Estero el Cardón								
<i>Vidal-Musiño (1983)</i>	-	4.46-7.76	-	-	-	-	-	-
Laguna Thau (Med. francés)								
<i>Váulot (tomado de Nixon, 1982)</i>	-	-	-	1.03-4.8	-	1.52-4.58	-	-
Laguna Mauguio Med. francés								
<i>Váulot (tomado de Nixon, 1982)</i>	-	-	-	7.1-37.8	-	0.45-2.29	-	-
Laguna Diana (Italia)								
<i>Váulot (tomado de Nixon, 1982)</i>	-	-	-	0.0-83.0	-	0.0-4.5	-	-
Laguna Urbino (Italia)								
<i>Váulot (tomado de Nixon, 1982)</i>	-	-	-	0-100	-	0.0-1.7	-	-
Laguna Marsala (Med. italiano)								
<i>Magazzu (1977) tomado de Nixon (1982)</i>	-	-	-	0.08-0.25	-	0.06-0.25	-	-
Laguna Bardawil (Sinai)								
<i>Krumgalz et al., (1980)</i>	-	5.44-6.10	-	0.0-0.047	-	0.0-0.37	-	-
Bahía Willard este estudio	-	3.70-6.76	-	0.0-8.22	-	0.74-2.40	-	0.33-5.86

El intervalo anual de fosfatos en Bahía Willard fué de 0.74 a 2.40 μM , mayor a los reportados para las lagunas del este del Golfo, similar para Bahía de los Angeles y menor a la ensenada de La Paz, Bahía Concepción (Tabla IV), Bahía de San Quintín, Estero de Punta Banda y algunas lagunas del Mediterráneo (Tabla V).

En general, los fosfatos guardaron muy poca relación con la marea, probablemente por involucrarse en procesos biológicos de remineralización (Alvarez-Borrego y Chee-Barragán, 1976; Ortíz-Cortéz, 1981), por lo que se observaron mayores concentraciones en el interior de Bahía Willard.

Los fosfatos presentaron la mayor concentración promedio anual durante el muestreo de otoño en la estación B (1.60 μM) y durante invierno en la estación A (1.74 μM) (Figs. 5G y 6G); las menores concentraciones se registraron en verano, lo que, combinado con la mínima concentración promedio de oxígeno disuelto y de porcentaje de saturación (Figs. 5H, 6H y 8, respectivamente) y la máxima concentración de materia orgánica registradas (Merino-Paredes, 1987), contrasta con lo mencionado por Nixon (1982) en el sentido en que la mayoría de las lagunas costeras presentan máximos valores de fosfatos durante el verano debido a la remineralización de materia orgánica provocada por un florecimiento fitoplactónico *a priori* en aguas aledañas y/o por la remineralización de fosfato de los sedimentos donde las aguas del fondo se hacen anóxicas con la estratificación en verano y las altas velocidades de respiración (Taft y Taylor, 1976; citados por Soto-Balderas y Alvarez-Borrego, 1991). Nixon (1982) también señala que tal patrón puede depender únicamente del almacenamiento de cierta cantidad de materia orgánica en el fondo que puede ser remineralizada a mayores temperaturas y el fosfato resultante ser mezclado rápidamente en la columna de agua. Al ser la temperatura el factor físico que afecta de manera significativa la remineralización de nutrientes en los sedimentos y en la columna de agua e influir proporcionalmente sobre la velocidad metabólica de bacterias degradadoras de materia orgánica (Klump y Martens, 1983), es posible que las altas temperaturas del agua en Bahía Willard durante el muestreo de verano (aprox. 31.5°C; Fig. 4B) y la máxima abundancia de bacterias durante

esta época (Sandoval-Sandoval, 1986) provocaran que la materia orgánica fuera rápidamente remineralizada. El hecho de que la actividad fotosintética del fitoplancton en la superficie se viera afectada de manera negativa por la intensidad lumínica de la época, provocó que existiera la mayor producción gruesa de fitoplancton de todo el ciclo anual en el fondo en lugar de en la superficie, principalmente por la atenuación que sufre la irradiancia al atravesar la columna de agua (Merino-Paredes, 1987). Por lo tanto, y dado las condiciones poco dinámicas del momento, es probable que el fosfato remineralizado fuera rápidamente utilizado por el fitoplancton localizado en el fondo, lo que haya provocado que no se registraran los altos niveles esperados.

En general, las concentraciones promedio de nutrientes (NO_2 , NO_3 , PO_4) no se presentaron como limitantes para el desarrollo fitoplanctónico (Azam y Chisholm, 1976; Dugdale, 1972; Thomas y Dodson, 1968; citados por Muñoz-Anderson y Millán-Núñez, 1991), por lo que la productividad podría estar principalmente en función de la concentración de la biomasa fitoplanctónica y de la irradiación solar (Nixon, 1982) en Bahía Willard.

Los niveles de nutrientes (principalmente el nitrógeno inorgánico) durante el verano se mantuvieron bajos (Fig. 4E y 4F), lo que, aunado con la existencia de la mayor producción orgánica primaria del ciclo anual (Merino-Paredes, 1987), encaja dentro del patrón reportado por Nixon (1982) para lagunas alrededor del mundo, en donde las bajas concentraciones de nitrógeno durante verano se deben a su rápida remoción por las altas tasas de asimilación de carbono.

En Bahía Willard, como ya se mencionó, las concentraciones promedio de los nutrientes no son limitantes para producción orgánica primaria. Se corrobora lo mencionado por Boynton *et al.* (1982) al asegurar que el nitrógeno es el factor más importante en la producción de sistemas estuarinos y costeros, ya que presenta una menor concentración que el fósforo (Figs. 8B, 8C y 8D) durante los mayores índices de productividad (Merino-Paredes, 1987), que se presentaron durante primavera y

verano.

En cuanto a la concentración anual de nutrientes y sus cambios estacionales, en general el patrón en Bahía Willard es a permanecer bajos durante primavera y verano, elevarse en otoño y alcanzar su concentración máxima en invierno. En Bahía Magdalena durante 1973-1974 se registraron los valores más altos de fosfatos y silicatos durante invierno, primavera y verano, disminuyendo en otoño (Alvarez-Borrego *et al.*, 1975). Para el Estero de Punta Banda, Sánchez-Hernández (1978) encontró los máximos valores de fosfatos y nitratos durante el verano. En el Golfo, los únicos sistemas que han presentado una variación estacional de nutrientes de este tipo, con bajas concentraciones durante primavera y verano y altas concentraciones durante otoño e invierno han sido el delta del Río Colorado (Hernández-Ayón, 1990) y Bahía Willard (este estudio). El primero atribuye este comportamiento a la entrada de aguas ricas provenientes del Golfo de California, ya que este presenta una corriente con giro anticiclónico provocada por frentes térmicos cercanos al poblado del Golfo de Santa Clara, de mayor intensidad durante verano (Durazo-Arvizu, 1989), la cual reemplaza las aguas de la zona con aguas oceánicas, con bajo contenido de nutrientes. La ausencia de esta corriente durante el invierno provoca un mayor tiempo de residencia en las aguas de la zona, lo cual es un factor importante para el incremento paulatino de nutrientes. En 1975, Lepley *et al.* señalaron un patrón de circulación en le fondo del norte del Golfo en el sentido de las manecillas y una circulación superficial en sentido contrario que provoca "surgencias" en la zona. Alvarez-Borrego y Schwartzlose (1979) confirman la existencia de un movimiento convectivo durante invierno en el norte del Golfo, afectando la distribución vertical de las diferentes propiedades físicas y químicas del agua del norte del Golfo por lo que es posible que las aguas de Bahía Willard se vean influenciadas por este tipo de corrientes y presenten características comunes a las aguas del Golfo. Sin embargo, es necesario llevar a cabo estudios con el fin de elucidar con mayor claridad este fenómeno.

El oxígeno disuelto registró un intervalo anual de 3.70 a 6.76 ml/l, manteniéndose con valores superiores al 90% de saturación durante todo el ciclo anual (Fig. 8A). Dicho intervalo es similar al de la

Ensenada de La Paz (Espinoza-Avalos, 1976; Cervantes-Duarte y Guerrero-Gondínez, 1987) y a los sistemas más estudiados de la costa oeste de la península de Baja California, Estero de Punta Banda y Bahía de San Quintín, así como ligeramente menor al Estero el Cardón. B.C.S. (Tabla V). En general, el valor máximo (6.76 ml/l) es superior que todos los reportados para las bahías del este del Golfo (Tabla IV), pero encaja dentro de los intervalos registrados en los sistemas de la costa oeste de la península.

De manera general, al igual que la salinidad y la densidad, el oxígeno disuelto mostró un patrón de comportamiento con valores máximos durante reflujos y bajamares y mínimos durante flujos y pleamares (Figs. 3, 4, 5, y 6). Durante el muestreo de invierno, con marea muerta, se presentaron las más altas concentraciones promedio de OD (Figs. 6H y 7C), debido a la combinación de las bajas $T^{\circ}C$ y $S^{\circ}/\text{‰}$ que regulan y favorecen la solubilidad del gas. Además, existe una alta productividad fotosintética en el interior del sistema reflejada en los mayores niveles de clorofila *a* de todos los períodos muestreados (Fig. 6I) y en los altos % de saturación mayores al 150% (Fig. 8; Anexo 3), lo que indica una mayor concentración de oxígeno medido que el esperado por la temperatura y salinidad del agua, como resultado de la producción biológica en la misma (Parsons y Takahashi, 1986). Se han reportado valores superiores a 8.0 mlO₂/l (cercaos al 100% de saturación) durante mareas vivas, aumentando hasta 140% en mareas muertas para Bahía de los Angeles (López-Valdéz, 1989). En Puerto Don Juan (Bustos-Serrano, 1991), bajo condiciones de verano reportó una máxima concentración de OD 7.27 ml/l y porcentajes de saturación entre 26 y 146%, aumentando la variabilidad de oxígeno durante mareas muertas.

Durante los muestreos de otoño y de invierno, el oxígeno disuelto presentó variaciones diurnas similares en el sistema, con valores ligeramente mayores en B que en A, altos niveles durante el día y relativamente bajos durante la noche (Figs. 5H y 6H), como resultado de los procesos de fotosíntesis y respiración, respectivamente. Aparentemente el flujo y reflujo no tuvieron efecto considerable sobre la concentración de OD, ya que éstas no variaron en A y B durante la noche, o las condiciones dentro y

fuera de la bahía fueron muy similares durante este período.

Durante verano se observó que los mayores valores de OD se registraron en la estación de la boca, en los momentos en los que el sistema se hallaba bajo acción de los reflujos (Figs. 4A y 4H). Debido a que la relación fotosíntesis-producción de O_2 no es instantánea ni ocurre en un sólo lugar, es factible que haya existido una alta producción fotosintética en el interior de la laguna durante las horas del día, provocando la formación de parches fitoplactónicos, y que se hayan detectado los altos valores de OD en la boca como resultado de ella. De igual manera, la máxima concentración de OD del muestreo (4.86 mg/l; Fig. 4H) se presentó durante la noche, evidentemente sin que haya sido como producto de actividad fotosintética de esas horas, sino como resultado de la llegada al punto de muestreo de aguas del interior del sistema (indicado por los valores de $S^\circ/_{\infty}$; Fig. 4C), que durante el día se enriquecieron con OD, producto de la fotosíntesis. Por lo tanto, la variación de OD durante verano es producto del movimiento (por medio de corrientes) de los gradientes de oxígeno que se forman en la laguna. En verano la mínima concentración de OD coincidió con la mayor concentración de materia orgánica (Merino-Paredes, 1987) y de bacterias (Sandoval-Sandoval, 1986) indicándonos que es posible que exista una considerable remineralización de materia orgánica en la bahía que demanda grandes cantidades de oxígeno disuelto o, al estar la concentración de OD en función de la temperatura y salinidad, los altos valores de estas variables (Figs 3, 4, 5 y 6) provocaron los bajos valores de OD.

El intervalo anual de Cla en Bahía Willard fué de 0.33 a 5.86 mg/m³, muy parecido al reportado para aguas frente a la Bahía de San Luis Gonzaga (Gendrop-Funes *et al.*, 1973) y a los registrados en Puerto San Juan, Bahía de los Angeles, Golfo de California (Tabla IV) y Bahía Magdalena (Tabla V); menor a los sistemas costeros del este del Golfo, Ensenada de La Paz (Tabla IV), Bahía de San Quintín y Estero de Punta Banda (Tabla V). A su vez, el intervalo anual en Bahía Willard fué mayor a los reportados por Gilmartin y Revelante (1978) para Bahía de los Angeles, Bahía Concepción y Ensenada de La Paz. El promedio anual de Cla en Bahía Willard fué menor a todos los sistemas

estudiados en el Golfo, con excepción de los valores en Bahía de los Angeles y Bahía Concepción reportados por Gilmartin y Revelante (1978) lo que sitúa a la bahía como un sistema con valores de biomasa menores al promedio general de los sistemas del Golfo.

La fuerte acción de los reflujos, movilizand o aguas provenientes del interior del sistema, sujetas a una mayor actividad fotosintética por la acción menos intensa de la marea en esa parte de la bahía, provocó que la *Cla* en Bahía Willard mostrara un patrón similar al presentado por la salinidad, densidad y oxígeno disuelto, con valores máximos durante reflujos y bajamares y mínimos durante flujos y pleamares (Figs. 3, 4, 5 y 6); Acosta-Ruiz y Lara-Lara (1978) reportan una variación similar durante la primavera de 1976 en Bahía Magdalena, B.C.S. Riaux y Douvillé (1980, citados por Merino-Paredes, 1987) reportaron que existe una correlación entre el flujo y reflujo de marea con los más altos niveles de materia en suspensión por lo que es posible que el aumento en la concentración de *Cla* fuera provocado por la resuspensión del fitoplancton en el fondo de la laguna o por la relación existente con la luz del día.

Los niveles de clorofila *a* en el interior del sistema fueron mayores que en la boca durante todo el ciclo anual, a excepción del muestreo de verano en que, a pesar de ello, es evidente que las altas concentraciones de OD (4.4 - 4.86 ml/l, 110 a 120% de saturación) registrados durante la noche (20:00 - 04:00 hrs) en la estación B (Figs. 4D y 9) provienen del interior del sistema ya que coinciden con el segundo reflujo de agua con alta $S^{\circ}/\text{‰}$; durante la marea alta de la tarde-noche (18:00 - 21:00 hrs) y debido al poco movimiento de marea registrado durante ese lapso de tiempo (aprox. 0.2 m), se registraron los valores de la actividad fotosintética desarrollada previamente en el interior del sistema.

En invierno, bajo condiciones de baja energía del sistema (marea muerta, mayor tiempo de residencia, menor irradiación solar y bajas velocidades de corrientes) la estación del interior del sistema desarrolló una gran producción fitoplanctónica que consumió nutrientes, elevó la concentración de OD e incrementó la biomasa. Tal comportamiento pudo presentarse en las células algales como respuesta al

acondicionamiento para incrementar su eficiencia fotosintética (Stemann Nielsen *et al*, 1962; Stemann Nielsen y Jorgensen, 1968; citados por Merino-Paredes, 1987) y propició que la Cla se asociara directamente con la concentración de OD e inversamente con los nutrientes, provocando que las variables biológicas hayan explicado el mayor porcentaje de variación del sistema (Tabla II). Como resultado de esto, durante invierno se detectó la máxima producción gruesa superficial del ciclo anual (Merino-Paredes, 1987), así como la mayor diferencia de concentraciones de nutrientes entre las estaciones A y B.

El Análisis de Componentes Principales revela que durante mareas vivas (primavera y otoño) las variables físicas explican el mayor porcentaje de variación de Bahía Willard (Tabla II), principalmente como reflejo de la gran dinámica a la que se encuentra sujeto el sistema durante esos días, en que se desplaza gran volumen de agua en un corto tiempo (Fig. 2). En mareas muertas (verano e invierno), no se observa un patrón tan claro; en verano, a pesar de que se moviliza un pequeño volumen de agua en un largo tiempo (Fig. 2), las variables físicas explican el mayor porcentaje de variación (Tabla II), mientras que en invierno las variables biológicas lo hacen. Tal diferencia puede existir debido que el patrón estacional de corrientes de la zona norte del Golfo (mencionado con anterioridad) provoca mayores niveles de nutrientes y biomasa durante invierno por la poca movilización del agua en la zona durante esa época del año.

5. CONCLUSIONES

Bahía Willard se considera como una laguna costera de gran dinámica por su gran amplitud de marea, la movilización de sus aguas y el corto tiempo de residencia de las mismas.

La dinámica del sistema provocó que las variaciones diurnas no mostraron variaciones espaciales de temperatura, oxígeno disuelto, biomasa y nutrientes durante los muestreos de primavera, verano y otoño.

La salinidad sí presentó variación espacial, principalmente como resultado del efecto de la irradiación solar sobre la bahía.

En invierno se presentó un gradiente espacial de biomasa y nutrientes, como resultado de procesos biológicos en el interior de la bahía.

La temperatura y salinidad (variables conservativas) presentaron una clara variación estacional, con valores máximos durante verano, principalmente como reflejo de condiciones locales producidas por la irradiación solar.

El oxígeno, nutrientes y clorofila *a* (variables no conservativas) presentaron variación estacional, con máximos valores durante el invierno.

La variación estacional en Bahía Willard sugiere que, por la dinámica de la bahía, esta presenta características similares a las aguas aledañas del Golfo de California.

6. REFERENCIAS

- Acosta-Ruiz, M. J. y S. Alvarez-Borrego. (1974). Distribución superficial de algunos parámetros hidrológicos, físicos y químicos en el Estero de Punta Banda, B.C. en condiciones de otoño e invierno. *Ciencias Marinas*, 1(1): 16-45.
- Acosta-Ruiz, M.J. y J.R. Lara-Lara (1978). Resultados físico-químicos en un estudio de variación diurna en el área central de Bahía Magdalena, B.C.S. *Ciencias Marinas*, 5(1):37-46.
- Alvarez-Borrego, S. y L.A. Galindo-Bect. (1974). Hidrología del Alto Golfo de California I. Condiciones durante otoño. *Ciencias Marinas*, 1(1):46-64.
- Alvarez-Borrego, S. y L.A. Galindo-Bect y B. Flores-Báez (1975). Hidrología del Alto Golfo de California II. Condiciones durante invierno, primavera y verano. *Ciencias Marinas*, 2(1):21-36.
- Alvarez-Borrego, S., Ballesteros-Grijalva, G. y Chee-Barragán, A. (1975). Estudio de algunas variables físicoquímicas superficiales en Bahía San Quintín, en verano, otoño e invierno. *Ciencias Marinas*, 2(2): 1-9
- Alvarez-Borrego, S., L.A. Galindo-Bect y A. Chee-Barragán. (1975). Características hidroquímicas de Bahía Magdalena, B.C.S. *Ciencias Marinas*, 2(2):94-110.
- Alvarez-Borrego, S., Acosta-Ruiz, M.J. y Lara-Lara, R. (1977) Hidrología comparativa de las bocas de dos antiestuarios de Baja California. *Ciencias Marinas*, 4(1): 1-11.
- Alvarez-Borrego, S., J.A. Rivera, G. Gaxiola-Castro, M. Acosta-Ruiz y R.A. Schwartzlose. (1978). Nutrientes en el Golfo de California. *Ciencias Marinas*. 6:43-63.
- Alvarez-Borrego, S. y R.A. Schwartzlose. (1979). Masas de agua del Golfo de California. *Ciencias Marinas*, 6:43-63.
- Alvarez-Borrego, J. y S. Alvarez-Borrego (1982). Temporal and spatial variability of temperature in two lagoons. *CalCOFI R. XXIII*: 188-197.
- Alvarez-Borrego, S. y G. Gaxiola-Castro. (1988). Photosynthetic parameters of Northern Gulf of California phytoplankton. *Cont. Shelf Res.* 8(1):37-47.
- Arenas, S. (1979). Informe final sobre la productividad primaria en los Planes Piloto Escuinapa-Yavaros. En: Informe final de los trabajos contratados en los Planes Piloto Escuinapa-Yavaros. UNAM-SARH. p. 234-287.
- Barnard, J.L. and Grady, J.R. (1968). A biological survey of Bahia de los Angeles, Gulf of California, México. I. General account. *San Diego Soc. Nat. Hist. Trans.*, 15:51-66.
- Boynton, W.R., W.M. Kemp y C.W. Keefe. (1982). A comparative analysis of nutrients and other factors influencing estuarine phytoplankton production. En: *Estuarine Comparisons*. Academic Press. 69-90.
- Bray, N.A. (1988). Thermohaline circulation in the Gulf of California. *Jour. of Geophysical Res.* 93(C5):4993-5020

- Bustos-Serrano, H. (1991). Producción orgánica primaria de una laguna costera en el Canal de Ballenas del Golfo de California, verano de 1986. Tesis de Maestría. UABC, Facultad de Ciencias Marinas, Ensenada, B.C. 47 pp.
- Canino-Herrera, S.R., G. Gaxiola-Castro y J.A. Segovia-Zavala. (1990). Efecto de procesos físicos sobre la variación de clorofila, seston y productividad primaria en la ensenada norte de Bahía de Los Angeles (verano 1986). *Ciencias Marinas*, 16(2): 67-85.
- Castro-Longoria, R. y J.M. Grijalva-Chon. (1991). Variabilidad espacio-temporal de nutrientes y seston en la laguna costera de La Cruz, Sonora. *Ciencias Marinas* 17(2):83-97.
- Castro-Montoya, H.D. (1988). Variabilidad de nutrientes en la ensenada norte de Bahía de los Angeles, B.C. (verano de 1986). Tesis de licenciatura. UABC, Facultad de Ciencias Marinas, Ensenada, B.C. 44 pp.
- Céliz-Ceseña, R. (1975). Distribución superficial de algunos parámetros hidrológicos, físicos y químicos en el Estero de Punta Banda, Baja California, durante primavera y verano. Tesis de licenciatura. UABC, Escuela Superior de Ciencias Marinas, Ensenada, B.C. 30 pp.
- Cervantes-Duarte R. y R. Guerrero-Godínez. (1988). Variación espacio-temporal de nutrientes de la Ensenada de La Paz, B.C.S., México.
- Durand-Sarmiento, L.F. (1989). Variabilidad temporal de nitratos, nitritos y amonio en la ensenada norte de Bahía de los Angeles, B.C. en condiciones de invierno. UABC, Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Marinas, Ensenada, B.C. 40 pp.
- Durazo-Arvizu, R. (1989). Frentes térmicos de verano en el Alto Golfo de California. Tesis de Maestría. CICESE.
- Espinoza-Avalos, J. (1976). Resultados preeliminares y avance actual de los principales parámetros hidrológicos de la Ensenada de La Paz, B.C.S., durante un ciclo anual. En: Los proyectos de investigación. Estudio hidrológico de la Ensenada de La Paz, B.C.S. CIB.
- Farfán, C.B. (1975). Biomasa de zooplancton en el Alto Golfo de California. Tesis de Licenciatura. UABC, Escuela Superior de Ciencias Marinas, Ensenada, B.C. 54 pp.
- Farfán, C.B. y S. Alvarez-Borrego. (1983). Variability and fluxes of nitrogen and organic carbon at the south of a coastal lagoon. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 17:599-617.
- Galindo-Bect, L.A. y B.P. Flores-Baez. (1974). Hidrografía del Alto Golfo de California. Tesis de Licenciatura. UABC, Escuela Superior de Ciencias Marinas, Ensenada, B.C.
- Galindo-Bect, M.S. y Flores-Baez, B.P. (1982). Hidrología comparativa en la boca de dos antiestuarios en Baja California durante otoño e invierno. *Ciencias Marinas* 8(1): 97-108.
- García-Pamanes, J. (1977) Nutrientes en la Ensenada de La Paz, B.C.S. Informe de Labores 1977. Centro de Investigaciones Biológicas. 28 pp.

- Gaxiola-Castro, G., S. Alvarez-Borrego y A. Chagoya-Guzmán. (1985). Photosynthetic parameters and productivity of the Gulf of California, Winter Phytoplankton. En: CIBCASIO Transactions (10):
- Gendrop-Funes, V., M.J. Acosta-Ruiz y R.A. Schwartzlose. (1978). Distribución de clorofila a durante la primavera, en la parte Norte del golfo de California. Ciencias Marinas, 5(1):71-89.
- Gilmartin, M. y N. Revelante. (1978). The phytoplankton characteristics of barrier island lagoons of the Gulf of California. Estuar. Coastal Mar. Sci., 7(1): 29-47.
- Hernández-Ayón, J.M. (1990). Distribución espacial y registros circadianos de NO_3 , NO_2 , PO_4 y SiO_2 en el Delta del Río Colorado. Tesis de Licenciatura. UABC, Facultad de Ciencias Marinas, Ensenada, B.C. 83 pp.
- Hungar-Sierra, D.G. (1990). Variación temporal de fitoplancton en Bahía de Lobos, Sonora, (Agosto/1985-Mayo/1986). Tesis de Licenciatura. UABC, Facultad de Ciencias Marinas, Ensenada, B.C. 62 pp.
- Ibarra-Sañudo, S. (1988). Serie de tiempo de variables hidrológicas al norte de Bahía de los Angeles, B.C., condiciones de verano. Tesis de Licenciatura. UABC, Facultad de Ciencias Marinas, Ensenada, B.C. 58 pp.
- Islas-Olivares, R. (1974). Cultivo piloto del ostión japonés (*Crassostera gigas*) en Bahía San Quintín, B.C. Tesis de Licenciatura. UABC, Escuela Superior de Ciencias Marinas, Ensenada, B.C. 38 pp.
- Jaime-Silva, D.R. (1974). Cultivo del ostión japonés (*Crassostera gigas*), Tumbers, 1975 (Mollusca: Eulamellibranchia) en el Estero de Punta Banda de la Bahía de Todos Santos, B.C. Tesis de Licenciatura. UABC, Escuela Superior de Ciencias Marinas, Ensenada, B.C. 21 pp.
- Kjerfve, B. y K.E. Magill. (1989). Geographic and hydrodynamics characteristics of shallow coastal lagoons. Marine Geology, 88:187-199.
- Klump, J.V. y C.S. Martens. (1983). Benthic Nitrogen Regeneration. Chapter 12. En: Nitrogen in the Marine Environment. E.J. Carpenter y D.G. Capone (eds.). Academic Press, London, p. 411-457.
- Krumgalz, B.S., H. Hornung y O.H. Oren. (1980). The study of a natural hypersaline lagoon in a desert area (the Bardawil Lagoon in northern Sinai). Est. and Coastal Mar. Sci. 10(4):403-415.
- Lara-Lara, J.R. y S. Alvarez-Borrego. (1975). Ciclo anual de clorofilas y productividad orgánica primaria en Bahía de San Quintín, B.C. Ciencias Marinas, 2(1):77-97.
- Lara-Lara, J.R., Alvarez-Borrego, S. y Small, L. (1980). Variability and tidal exchange of ecological properties in a coastal lagoon. Estuar. and Coastal Marine Shelf, 11: 613- 637.
- Lavin, M.F. y S. Organista. (1988). Surface heat flux in the northern Gulf of California. J. of Geophysical Res. 93 (C11):14033-14038.

- Lechuga-Dereze, C. (1977). La producción orgánica primaria en la Ensenada de La Paz, Baja California Sur. Informe de Labores 1977. Centro de Investigaciones Biológicas, 47-69.
- Lepley, L.K., S.P. Vonder-Haar, J.R. Hendrickson y G. Calderón-Riveroll (1975). Circulation in the northern Gulf of California from orbital photographs and ship investigations. *Ciencias Marinas* 2(2):86-93.
- Lizárraga-Arciniega, R. y S.G. Marinone Moschetto. (1978). Comportamiento de algunos parámetros físico-químicos en Bahía de Los Angeles, B.C. En: Resúmenes, VI Congreso Nacional de Ocean., Ensenada, B.C., 10-13 de abril.
- López-Ruelas, J. (1985). Hidrología del sistema lagunar de Topolobampo, Sinaloa. Tesis de Licenciatura. UABC, Facultad de Ciencias Marinas, Ensenada, B.C. 67 pp.
- López-Valdéz, C. (1989). Variabilidad hidrológica en Bahía de los Angeles, B.C. en condiciones de invierno. UABC, Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Marinas, Ensenada, B.C.
- Margalef, R. (1980). Ecología. Ed. Omega. Barcelona, España. p. 192-193.
- Martínez-Rojas-Reynoso, M.K. (1990). Distribución espacial y registros circadianos de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto en el delta del Río Colorado. Tesis de Licenciatura. UABC, Facultad de Ciencias Marinas, Ensenada, B.C. 69 pp.
- Merino-Paredes, I.M. (1987). Variación estacional de la producción primaria, clorofila y seston en Bahía Willard, Costa Oeste del Golfo de California. Tesis de Licenciatura. UABC, Facultad de Ciencias Marinas, Ensenada, B.C. 68 pp.
- Millán-Núñez, E., F.J. Ortiz-Cortéz y S. Alvarez-Borrego. (1981). Variabilidad temporal y espacial de nutrientes y fitoplancton en una laguna costera, a finales de verano. *Ciencias Marinas* 7(1):103-128.
- Millán-Núñez, R., S. Alvarez-Borrego y D.M. Nelson. (1982). Effects of Physical Phenomena on the Distribution and Phytoplankton Productivity in a Coastal Lagoon. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 15:317-335.
- Miranda-Reyes, J.F., S. Reyes-Coca y J. García-López (1990). Climatología de la región noroeste de México. Parte I: Precipitación. Rep. Téc. EBA No. 3. CICESE, Ensenada, Baja California, México. 160 pp.
- Muñoz-Anderson, M.A. y R. Millán-Núñez (1991). Variación anual de la productividad del fitoplancton en el estero de Punta Banda, B.C. *Ciencias Marinas* 17(2):57-70.
- Muñoz-Barbosa, A., Gaxiola-Castro, G. y Segovia-Zavala, J.A. (1991). Variabilidad temporal de productividad primaria, clorofila y seston en Bahía de Los Angeles, Golfo de California. *Ciencias Marinas*, 17(4).
- Nixon, S.W. (1982). Nutrient dynamics, primary production and fisheries yield of lagoons. *Oceanol. Acta*. 5:357-371.
- Nixon, S.W. y M.E.Q. Pilson. (1983). Nitrogen in Estuarine and Coastal Marine Ecosystems. Chapter

15. En: Nitrogen in the Marine Environment. E.J. Carpenter y D.G. Capone (eds.). Academic Press, London. p. 565-649.
- Ochoa-Araiza, G. (1979). Distribución superficial de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH en cuatro bahías del estado de Sonora, México, durante un ciclo anual. Tesis de Licenciatura. UABC, Facultad de Ciencias Marinas, Ensenada, B.C. 68 pp.
- Ortíz-Cortés, F.J. (1981). Variabilidad temporal y espacial de nutrientes inorgánicos en una laguna costera de Baja California. Tesis de Licenciatura. UABC, Escuela Superior de Ciencias Marinas, Ensenada, B.C. 44 pp.
- Parsons, R.T., Takahashi y B. Hargrave. (1984). Biological Oceanographic Processes. Pergamon Press, N. York. E.U. p. 80.
- Parsons, R.T., Y. Maita y C.M. Lalli. (1984). A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. Pergamon Press. 14-17 pp.
- Phleger, F.B. (1982). A review of some general features of coastal lagoons. En: Coastal Lagoons Research, present and future. Unesco Technical Paper In Marine Science, 33:7-14.
- Pritchard, W.D., R. De la Paz-Vela, S. Farreras-Sanz, H. Cabrera-Muro y E. Morales. (1979). Hidrografía física del Estero de Punta Banda, Parte II. Aplicación de un modelo para intercambio y dispersión. Ciencias Marinas 6(1 y 2):1-17.
- Rivera, J.A. (1977). Distribución vertical de nutrientes en un transecto longitudinal en el Golfo de California. Tesis de Licenciatura. UABC, Escuela Superior de Ciencias Marinas, Ensenada, B.C. 17 pp.
- Roden, G.I. (1964). Oceanographic aspects of the Gulf of California. In: Marine Geology of the Gulf of California. H. Van Andel and G.G. Shor. Jr. (Eds.). Am. Assoc. Pet. Geol. Mem., 3:30-58.
- Sánchez-Hernández, J.L. (1978). Distribución superficial de nutrientes en un ciclo anual en el Estero de Punta Banda, B.C. Tesis de Licenciatura. UABC, Escuela Superior de Ciencias Marinas, Ensenada, B.C.
- Sandoval-Sandoval, R. (1986). Evaluación de la calidad bacteriológica del agua de mar en Bahía Willard. Tesis de Licenciatura. UABC, Facultad de Ciencias Marinas, Ensenada, B.C. 60 pp.
- Serrano-Esquer, J. (1978). Distribución superficial de algunos parámetros físico-químicos en el Estero de las Lajitas, estado de Sinaloa. Tesis de Licenciatura. UABC, Escuela Superior de Ciencias Marinas, Ensenada, B.C.
- Sigala-Morales, R. (1993). Distribución superficial de algunas variables fisicoquímicas y clorofila "a", en el sistema lagunar de Topolobampo, Sinaloa, de junio de 1987 a febrero de 1988. Tesis de Licenciatura. UABC, Facultad de Ciencias Marinas, B.C. 87 pp.
- Silva-Benavides, J.L. (1990). Dinámica del nitrógeno a través de la interfase sedimento-agua en el Estero de Punta Banda, Baja California, México. Tesis de Licenciatura. UABC, Facultad de Ciencias Marinas, Ensenada, B.C. 46 pp.

- Smith, S. V. (1984). Phosphorus versus nitrogen limitation in the marine environment. *Limnology and Oceanography* 29:1149-1160.
- Sokal, R.R. y F.J. Rohlf. (1969). *Biometría*. H. Blume Ediciones. Madrid, España. 832 pp.
- Soto-Balderas, M.G.L. y S. Alvarez-Borrego (1991). Nutrientes inorgánicos en los canales de inundación de las marismas de una laguna costera del noroeste de Baja California. *Ciencias Marinas* 17(3):1-20.
- Vidal-Musiño, M. (1983). Hidrología del Estero el Cardón, Baja California Sur, durante otoño, invierno y primavera. Tesis de Licenciatura. UABC, Escuela Superior de Ciencias Marinas, Ensenada, B.C.
- Yentsch, C.S. y Menzel, D.W. (1963). A method for the determination of phytoplankton chlorophyll and phaeophytin by fluorescence. *Deep-Sea Res.*, 10:221-223.
- Zertuche-González y S. Alvarez-Borrego. (1978). Series de tiempo de variables físico-químicas en las bocas de dos antiestuarios de Baja California. *Ciencias Marinas*, 5(1):91-103.

ANEXO 1

Tabla VI. Estadística general del muestreo de Primavera en Bahía Willard.

Variable	Media		Desv. Estándar		Valor Máximo		Valor Mínimo		Lím. de Conf. al 95 %	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
T°C	20.01	20.36	0.2767	0.4524	20.50	21.10	19.70	19.60	0.2256	0.3689
S°/‰	35.262	35.313	0.0190	0.0277	35.284	35.355	35.232	35.252	0.0155	0.0226
NO ₂ (μM)	0.0322	0.0133	0.0371	0.0343	0.10	0.11	0.00	0.00	0.0302	0.0280
NO ₃ (μM)	0.8114	0.4622	0.4823	0.2734	1.64	0.87	0.04	0.01	0.3938	0.2229
PO ₄ (μM)	1.2400	1.3633	0.2777	0.2435	1.80	2.01	0.95	1.15	0.2020	0.1985
Cl _a (mg/m ³)	1.0351	1.3156	0.2653	0.2110	1.576	1.532	0.604	0.875	0.2176	0.1712

Tabla VII. Estadística general del muestreo de Verano en Bahía Willard.

Variable	Media		Desv. Estándar		Valor Máximo		Valor Mínimo		Lím. de Conf. al 95 %	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
T°C	31.42	31.61	0.6154	0.4582	32.50	32.50	30.50	31.00	0.3871	0.2882
S°/‰	35.741	35.896	0.0396	0.0694	35.854	35.977	35.684	35.793	0.0250	0.0436
O ₂ (mg/l)	4.300	4.316	0.2557	0.3890	4.85	4.86	4.01	3.70	0.1608	0.2447
NO ₂ (μM)	0.0504	0.0954	0.0459	0.0279	0.15	0.14	0.00	0.06	0.0287	0.0176
NO ₃ (μM)	0.8592	1.7215	0.4497	0.7972	1.58	3.14	0.00	0.77	0.2829	0.5014
PO ₄ (μM)	0.9808	1.2077	0.1552	0.1031	1.34	1.35	0.74	1.04	0.0976	0.5877
Cl _a (mg/m ³)	0.7981	0.7261	0.2947	0.2095	1.378	1.213	0.444	0.515	0.1781	0.1266

ANEXO 2

Tabla VIII. Estadística general del muestreo de Otoño en Bahía Willard.

Variable	Media		Desv. Estándar		Valor Máximo		Valor Mínimo		Lím. de Conf. al 95%	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
T°C	20.591	20.292	0.3554	0.5456	21.10	21.30	20.00	19.50	0.2504	0.3432
S°/‰	35.503	35.587	0.0640	0.0913	35.637	35.727	35.449	35.438	0.0371	0.0574
O ₂ (mg/l)	4.663	4.855	0.4532	0.5328	5.55	5.64	4.05	4.10	0.2657	0.3351
NO ₂ (μM)	0.3782	0.3200	0.0451	0.0679	0.46	0.43	0.32	0.23	0.0333	0.0427
NO ₃ (μM)	6.8809	5.3762	0.8377	0.5968	8.22	6.63	5.27	4.50	0.5076	0.3754
PO ₄ (μM)	1.3782	1.6023	0.1122	0.2569	1.56	1.98	1.16	1.25	0.1063	0.1616
Cla(mg/m ³)	0.7018	1.0872	0.3915	0.5328	1.528	5.640	0.333	0.615	0.2366	0.2714

Tabla IX. Estadística general del muestreo de Invierno en Bahía Willard.

Variable	Media		Desv. Estándar		Valor Máximo		Valor Mínimo		Lím. de Conf. al 95%	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
T(°C)	17.657	18.05	0.8048	1.0493	19.10	20.10	16.50	16.90	0.5101	0.6600
S(°/‰)	35.292	35.389	0.0133	0.0302	35.310	35.433	35.269	35.326	0.0084	0.0190
O ₂ (mg/l)	5.404	6.035	0.4059	0.3159	6.30	6.76	4.88	5.70	0.2553	0.1987
NO ₂ (μM)	0.50	0.1154	0.0947	0.0488	0.64	0.20	0.29	0.03	0.0596	0.0307
NO ₃ (μM)	5.30	0.8369	0.9782	0.5197	6.84	1.80	3.78	0.00	0.6152	0.3269
PO ₄ (μM)	1.7392	1.2569	0.2670	0.1588	2.40	1.70	1.38	1.03	0.1772	0.0999
Cla(mg/m ³)	2.4848	3.2586	0.5177	1.5336	3.418	5.858	1.769	0.947	0.3128	0.9268

ANEXO 3

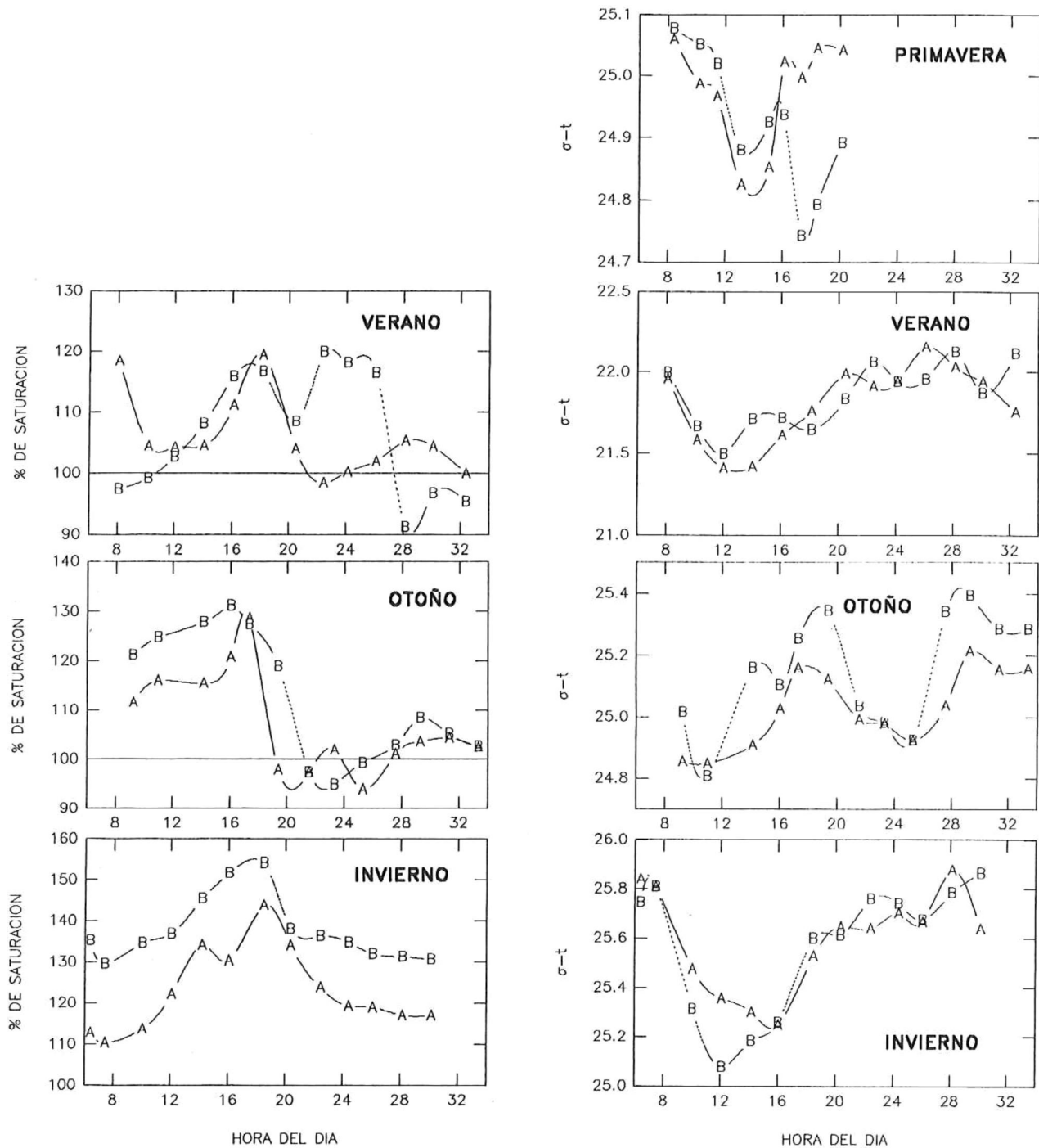


Fig. 9. Series de tiempo de % de saturación de oxígeno y $\sigma-t$ en Bahía Willard.