



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS DEL MAR



CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE
CIENCIAS MARINAS
RIBLIOTECA
I.P.N.
POLITECNICO

**INTERACCION DE VARIABLES HIDROQUIMICAS
ENTRE LA ENSENADA DE LA PAZ
Y LA BAHIA DE LA PAZ, B. C. S., MEXICO.**

T E S I S

Que para obtener el grado de:
MAESTRO EN CIENCIAS MARINAS

Presenta:
MARTHA ALICIA SANCHEZ MARTINEZ

La Paz, Baja California Sur 1997.

INDICE

LISTA DE FIGURAS	I
LISTA DE TABLAS	II
RESUMEN	III
ABSTRAC	IV
1. INTRODUCCION	1
1.1.- GENERALIDADES	1
1.2.- AREA DE ESTUDIO	2
2. ANTECEDENTES	4
3. OBJETIVOS	6
4. HIPOTESIS	7
5. PLAN DE ESTUDIO	7
6. MATERIALES Y METODOS	10
6.1.- COLECTA DE MUESTRAS	10
6.2.- MEDICIONES TOPOGRAFICAS	10
6.3.- MEDICIONES HIDROLOGICAS	11
6.4.- MEDICIONES QUIMICAS	12
6.5.- CALCULOS DEL BALANCE	15
7.- RESULTADOS	18
7.1.- CURVA DE MAREAS	18
7.2.- DATOS HIDROLOGICOS	19
7.3.- DETERMINACIONES ANALITICAS	20
7.4.- BALANCE	22
8. DISCUSION DE RESULTADOS	26

9. CONCLUSIONES	32
10. RECOMENDACIONES	34
II .BIBLIOGRAFIA	35
12.ANEXOS	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Area de estudio	44
Figura 2. Perfil batimétrico de la sección. Del muelle fiscal al Mogote	45
Figura 3. Altura de marea y velocidad de la corriente	46
Figura 4. Altura de marea y temperatura	47
Figura 5. Altura de marea y salinidad	48
Figura 6. Altura de marea y oxígeno	49
Figura 7. Altura de marea y % de saturación	50
Figura 8. Altura de marea y boro	51
Figura 9. Altura de marea y materia orgánica particulada	52
Figura 10. Altura de marea y nitritos	53
Figura 11. Altura de marea y fosfatos	54

En todas las figuras el eje de las x corresponde al tiempo en horas. La numeración va del 1 al 24 e indica la duración del ciclo de marea; cada número corresponde a una hora determinada del ciclo estudiado como se indica a continuación:

No.	Horas	No.	Horas
1	7: 00	13	19:00
2	8: 00	14	20:00
3	9: 00	15	21 :00
4	10: 00	16	22:00
5	11:00	17	23: 00
6	12:00	18	00:00
7	13: 00	19	01 :00
8	14: 00	20	02:00
9	15: 00	21	03: 00
10	16: 00	22	04:00
11	17: 00	23	05:00
12	18: 00	24	06:00

LISTA DE TABLAS

TABLA I.	Características hidrológicas del intercambio entre La Ensenada de La Paz y La Bahía de La Paz.	39
TABLA II.	Variación diurna de variables químicas.	40
TABLA III.	Concentración de boro y su relación con la clorinidad	41
TABLA IV.	Gasto y transporte de agua.	42
TABLA V.	Balance de oxígeno, boro libre, materia orgánica y nutrientes, basado en el transporte de agua que entra y sale durante el flujo y reflujó de la marea.	43

INTERACCION DE VARIABLES HIDROQUIMICAS ENTRE LA ENSENADA DE LA PAZ Y LA BAHIA DE LA PAZ, B.C.S., MEXICO.

RESUMEN

Se llevo a cabo una evaluación del intercambio de algunas variables hidroquímicas entre La Ensenada de La Paz y La Bahía de La Paz, B.C.S., durante un ciclo de mareas vivas. Las variables estudiadas fueron: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, boro, materia orgánica particulada, nitritos y fosfatos.

Se encontraron condiciones antiestuarinas dentro de la Ensenada de La Paz, ya que las aguas de esta presentaron salinidades mayores a las del promedio marino.

La concentración de boro se mantuvo constante independientemente del flujo o reflujos de la marea, confirmando las propiedades conservativas del boro en el agua de mar. En cuanto al oxígeno, los procesos productivos dominaron sobre los de respiración, y su variación diurna fue resultado de los procesos fotosintéticos y respiratorios comunes a un sistema lagunar somero y de alta transparencia. Las altas concentraciones de materia orgánica particulada favorecieron los procesos de exportación. Se encontraron bajas concentraciones de nitritos y el flujo de estos fue de la bahía hacia la Ensenada de La Paz; el flujo de fosfatos fue también de la bahía a la laguna costera, dominando los procesos de importación.

INTERACTION OF HYDROCHEMICAL VARIABLES BETWEEN LA ENSENADA DE LA PAZ AND LA BAHIA DE LA PAZ, B.C.S., MEXICO.

ABSTRACT

An evaluation of the interchange of materials between La Ensenada de La Paz and La Bahía de La Paz, B.C.S. was carried out during a tidal cycle. The materials under study were: temperature, salinity, dissolved oxygen, boron, particulate organic matter, nitrite and phosphates.

The main results of this study can be summarized as follow: Antiestuarine conditions were inferred at La Ensenada de La Paz, the boron concentration was the same during the whole tidal cycle, supporting the conservative nature of boron in sea water. With respect to oxygen, the productive process, was higher than the respiratory one, and its diurnal variation was affected by photosynthesis and respiratory processes which are common in a shallow and transparent lagunar system. Furthermore, the high concentration of particulate organic matter within the lagoon, favored the export process. In general concentration of nitrite was low and the import processes prevailed; In relation to phosphates, the import of material predominated also.

1. INTRODUCCION.

1.1 .- GENERALIDADES

Según Phleger (1969) una laguna costera es un cuerpo de agua semicerrado, con una barrera arenosa como frontera hacia el mar, que puede o no tener aporte continental, y cuyo eje principal o largo es paralelo a la costa. Lankford (1977) clasifica 124 lagunas costeras mexicanas. Estas exhiben diferentes tamaños, regímenes hidrológicos, biota, hábitats, flujo de energía y problemas específicos.

El intercambio más obvio de las lagunas costeras con los sistemas circundantes es el agua, intercambiándose también todos aquellos elementos químicos disueltos y material en suspensión que se encuentren en ella. El efecto de las mareas, las corrientes, el viento y las descargas de agua dulce controlan el transporte y depositación de estos materiales, Ibarra (1990).

Debido al desarrollo industrial y turístico que se ha dado en la zona costera, no es raro encontrar problemas de contaminación y eutroficación en estas zonas. La interacción océano - laguna puede, según sea el caso, acentuar o reducir estos problemas, dependiendo de la frecuencia con la que se renueven las aguas lagunares a través del intercambio con el océano.

La Ensenada de La Paz es el cuerpo de agua semicerrado, en donde El Mogote representa la barrera arenosa que impide la comunicación directa del cuerpo de agua lagunar con el cuerpo de agua de la Bahía de La Paz. En esta laguna costera, no hay aportes de agua dulce considerables, solo los que proporcionan las lluvias estacionales, ya que actualmente no hay descargas de aguas residuales de La Ciudad de La Paz, (comunicación personal con el

Ing . Francisco Mendoza parissi, Gerente de la planta de tratamiento de aguas residuales de La Paz.)

Por otro lado, se sabe que la fuente de energía que induce el movimiento dentro de La Ensenada de La Paz, es principalmente la marea, y el viento.

Puesto que el cuerpo de agua de la Ensenada de La Paz depende del intercambio de masa con la bahía exterior, y dicho intercambio afecta a todas las concentraciones de elementos y compuestos disueltos en la masa de agua de ambos cuerpos, nuestro problema será el de identificar e inferir algunas de las interacciones entre La Ensenada de La Paz y La Bahía de La Paz, evaluando y realizando un balance ó presupuesto de algunas variables hidroquímicas durante un ciclo de mareas vivas.

1.2.- AREA DE ESTUDIO

La Ensenada de La Paz (Fig. 1), es una laguna costera que se localiza al sureste de la Bahía de La Paz, Baja California Sur, (México), entre los 24°06" y 24°10" de latitud norte y los 118°01'19" y 118°01'25" de longitud oeste. En su parte norte, se encuentra separada de la bahía por una barrera arenosa denominada "El Mogote", en cuyo margen interior y al principio de éste existen pequeños canales con vegetación de manglar.

Esta laguna costera, tiene una superficie aproximada de 45 km² (tomando el nivel medio del mar como referencia). La boca de la laguna costera esta formada por un sistema de dos canales paralelos con profundidades de hasta 10m. El canal principal se extiende por el centro de la laguna costera disminuyendo su profundidad a 4 m en la región más interna, Morales (1982).

La evaporación supera el aporte de aguas continentales, especialmente en los meses más calurosos y por esta razón la salinidad en La Ensenada de La Paz

es superior al promedio marino, comportándose el cuerpo de agua como un antiestuario, Espinoza (1977).

El clima de la zona es semidesértico. La mayor precipitación ocurre en el mes de septiembre. La media anual es de 180mm (Sainz, 1984). La temperatura promedio anual es de 22 °C, ocurriendo la menor en invierno en los meses de enero-febrero, y la máxima en la época de verano en el mes de julio. Los vientos dominantes de noviembre a marzo provienen del noroeste y se les conoce localmente como “collas” y de abril a agosto, son del sureste conocidos como “Coromueles”, Sainz (1984) y Morales (1982).

2. ANTECEDENTES.

Los estudios basados en la distribución y exportación de materiales disueltos o **particulados**, son escasos en nuestro país pero en los últimos años ha adquirido mayor importancia dado el incremento de las actividades agroindustriales.

Un aspecto que complica las evaluaciones de la interacción océano - laguna es que no existe homogeneidad en la metodología y terminología empleada por los autores, lo que conlleva a una multiplicidad de resultados, muchos de ellos contradictorios.

Fatfán, et al., 1983 examinaron el intercambio por mareas de nutrientes inorgánicos nitrogenados y materia orgánica en la boca de Bahía San Quintín, Baja California, detectando una importante entrada de nitritos, nitratos y carbón orgánico particulado hacia el interior de la bahía, y una exportación significativa de amonio hacia el sistema adyacente, Guerrero, et al., (1988) realizaron un estudio de la variación de nutrientes en un ciclo de mareas en la boca principal de Bahía Magdalena, Baja California Sur, encontrando que este cuerpo de agua se comporta como un exportador de materia orgánica hacia las aguas adyacentes, y como importador de nutrientes inorgánicos.

La Ensenada de La Paz ha sido estudiada por varios autores: Espinosa (1977), estudió la variación estacional de variables hidrológicas, observando que en primavera y verano la temperatura aumenta hacia el interior de la laguna costera y en otoño e invierno los valores disminuyen ; la salinidad en general aumenta hacia el interior de la laguna costera mientras que la concentración de oxígeno disuelto disminuye de la boca hacia el interior, Cervantes (1982) investigó la distribución superficial de nutrientes encontrando altas concentraciones de oxígeno en el área, un aporte de

nitratos de las aguas de la bahía hacia La Ensenada de La Paz, altas concentraciones de nitritos y altas concentraciones de amonio y fosfatos.

Granados y Alvarez Borrego, (1983) hicieron un estudio sobre la variabilidad de temperatura en La Ensenada de La Paz, encontrando los mismos resultados que Espinosa (1977), Morales y Plaza, (1983) estudiaron su régimen hidrológico cuyos resultados indican que la marea es mixta con predominancia semidiurna y que las velocidades promedio de la corriente son mayores en la superficie que en capas inferiores de la columna de agua, con los flujos de entrada y salida bien definidos y alineados al canal. Jiménez (1983) aplicó un modelo hidrodinámico numérico en el cual reproduce el patrón de circulación en esta laguna costera, Sainz (1984) realizó un estudio de transporte de agua en La Ensenada de La Paz, y encuentra que la laguna costera es capaz de sanearse (renovar sus aguas) por la acción de la marea cuando ésta es máxima, con un tiempo de residencia promedio de tres días, Cervantes y Santoyo, (1986) estudiaron su metabolismo encontrándose que los valores de producción fueron mayores a los de respiración; Cervantes y Guerrero, (1988) en su estudio sobre la variación espacio temporal de nutrientes, encontraron que existe una exportación de amonio hacia la bahía y una importación de nitratos hacia La Ensenada de La Paz.

Cruz, et al. (1989) describieron características de los sedimentos, constituidos principalmente arenas y areno-limo-arcillas, Lechuga, et al. (1990) midieron la variación diaria y estacional del oxígeno disuelto, salinidad, temperatura y amplitud de marea en la boca, hallándose valores de temperatura de 22-28°C, de salinidad 34.6-37.4 o/oo y de oxígeno entre 4.7-6.70 ml/l; encuentra además, que estas variables son afectadas por el régimen de mareas, la radiación solar, el tiempo de residencia del agua en la laguna costera y por eventos que afectan a La Bahía de La Paz y el Golfo de California, Jiménez (1991) hizo un análisis de la comunidad del manglar, encontrando que el sistema de manglar aporta a La Ensenada de La Paz amonio,

nitratos, materia orgánica **particulada** y materia orgánica macroparticulada y el agua lagunar proporciona fósforo y oxígeno al sistema de manglar. Obeso, et. al. (1993) hicieron una **modelación** hidrodinámica de la marea en la laguna costera, en la cual encuentran que la circulación dentro de esta es semejante a la encontrada por Jiménez (1983), y que en general, las velocidades de la corriente son máximas en la frontera abierta con la bahía y en la zona de los canales.

3. OBJETIVOS

Los objetivos planteados en este estudio son :

1.- Identificar e inferir algunas de las interacciones entre La Ensenada de La Paz y La Bahía de La Paz, evaluando y realizando un balance de algunas variables químicas durante un ciclo de mareas vivas.

2.- Comprobar el carácter **conservativo** del boro a través de la relación B/Cl , y del balance neto de este durante el mismo ciclo de mareas.

4. HIPOTESIS DE TRABAJO

En vista de los antecedentes mencionados se estima que La Ensenada de La Paz se comporta como un aportador de amonio y materia orgánica **particulada** a la bahía, y la bahía es un importante aportador de nitritos, nitratos , fosfatos y oxígeno disuelto al área lagunar. Por otro lado, se considera que en la laguna costera predominan valores altos de salinidad, comportándose como un antiestuario.

5. PLAN DE ESTUDIO

Para probar la hipótesis anterior en un sistema tan variable como el de La Ensenada y Bahía de La Paz, sería necesario llevar a cabo muestreos diarios y estacionales de larga duración, que cubrieran las variaciones de todos los factores involucrados como son principalmente: mareas, corrientes, viento, lluvias, descargas de agua dulce, etc.; ésto supera el alcance de éste trabajo y por ello, se hizo un muestreo de un ciclo diurno de marea de sicigia, que presenta una amplitud alta de marea y por lo tanto, un mayor intercambio en el sistema. Esta observación de un sólo día dará una idea general de la dinámica que siguen algunos elementos químicos durante la interacción de los dos cuerpos de agua, y permitirá hacer algunas inferencias de la magnitud de estos procesos de interacción.

El experimento consistió en evaluar cada hora, algunas variables hidroquímicas durante un ciclo diurno de 24 horas. Las mediciones se hicieron frente al muelle fiscal sobre el canal principal (única estación) ;esta zona fue seleccionada porque representa la boca de La Ensenada de La Paz, donde los

efectos oceánicos y lagunares se miden durante el flujo y reflujo de la marea respectivamente.

Con la finalidad de cuantificar las interacciones entre los dos sistemas, se hizo un presupuesto o balance de estas variables considerando el agua que entra a la laguna costera (flujo), y el volumen de agua que sale de ésta (reflujo). Para la obtención del volumen fue necesario registrar la velocidad y dirección de la corriente, así como de determinar la batimetría de la sección transversal del canal.

Las variables estudiadas fueron: temperatura, salinidad, boro, oxígeno disuelto, materia orgánica particulada, nitritos y fosfatos. Los análisis de temperatura y salinidad son importantes para determinar el tipo de circulación en la laguna ; además son útiles para los cálculos de porcentaje de saturación de oxígeno. El estudio del oxígeno disuelto, materia orgánica particulada y nutrientes, tiene un significado ecológico, ya que están asociados a la productividad en las lagunas.

El boro es uno de los constituyentes mayores del agua de mar, y su relación con la clorinidad se mantiene constante, Gast and Thompson, (1958), por lo que se considera como un elemento conservativo dentro del agua de mar. Incluir al boro dentro de este estudio tiene como finalidad, comprobar este principio a través de la relación B/Cl y del balance de boro de boratos. El resultado del balance, además de apoyar el carácter conservativo del boro, dará una idea de que tan acertada es la metodología oceanológica y química utilizada en este estudio.

La concentración de nitritos es por lo general menor a la de los nitratos, Cervantes y Guerrero (1988), por lo que se determinó solo nitritos porque al ser menor que los nitratos, sus niveles de concentración indicaran si la concentración de nitrógeno proveniente de NO_2 y

NO_3 son limitantes o no, para la productividad primaria. Por otro lado, el estudio de las entradas y salidas de esta especie química, mostrara cual de los dos cuerpos de agua será mayor aportador de formas oxidadas de nitrógeno inorgánico.

6. MATERIALES Y METODOS

6.1.- COLECTA DE MUESTRAS

El muestreo se realizó durante un ciclo de mareas vivas (24 horas), cuyo período fue de las 7:00 hrs del día 19 de septiembre, a las 6:00 hrs del día 20 de septiembre de 1989. La curva de marea se obtiene a partir de las tablas de predicción de mareas de 1989 (Instituto de Geofísica, 1989). El registro de datos y toma de muestras se hizo cada hora y se llevo a cabo frente al muelle fiscal sobre el canal principal con coordenadas geográficas de 24° 9' 44.27" de latitud norte y 110° 19' 26.58" de longitud oeste (Fig. 1). Se utilizó como plataforma flotante a una embarcación. Olmeca perteneciente a la armada de México.

La profundidad total en el sitio de muestreo fue de 7 metros y la toma de muestras y colocación del correntómetro, se hizo a 4 metros de profundidad; A esta profundidad se tiene una velocidad promedio de la corriente de marea (ver anexo I para la derivación de la profundidad).

Se hicieron tres tipos de mediciones: topográficas, hidrológicas y químicas.

6.2.- MEDICIONES TOPOGRAFICAS

Se elaboró un perfil batimétrico de la sección transversal del canal con una ecosonda marca Hummingbird digital, de la cual se hicieron lecturas cada 5 seg; la línea de levantamiento se orientó con una de las calles perpendiculares al canal.

6.3.- MEDICIONES HIDROLOGICAS

Estas mediciones se hicieron *in situ* con un correntómetro Inter Ocean Systems. Inc. modelo S4 con el cual se registraron los valores de temperatura salinidad, velocidad y dirección de la corriente. Cada uno de estos parámetros fueron registrados por el correntómetro dos veces por segundo durante los primeros dos minutos de cada hora, generando un total de 240 datos por variable por hora. Debido a que la desviación estándar de los datos para cada variable fue menor de 0.08 se hizo un promedio de los 240 datos y reportar un valor por hora por parámetro.

6.3.1.- Velocidad y Dirección de la Corriente de Marea.

Procesamiento de datos.

Los datos de velocidad de la corriente obtenidos por el correntómetro, son expresados en **cm/seg.**, y la dirección de la corriente está determinada por el ángulo que forma el vector velocidad con respecto al norte magnético.

Se estableció la orientación del eje del canal con respecto al norte magnético, ya que el movimiento de la corriente de marea sigue este sentido; esta orientación es de 48 grados de acuerdo a la carta náutica “La Paz y Proximidades”, de la Secretaria de Marina S.M. 357.

Para referir la corriente al eje del canal se resto **48°** a todos los datos de dirección ; el sentido del flujo está indicado por el signo: positivo cuando entra y negativo cuando sale.

6.3.2.- Temperatura y Salinidad

La temperatura se expresa en grados centígrados (°C) y la salinidad en unidades prácticas de salinidad (ups). La salinidad fue determinada con el S4 por medio del salinómetro de inducción. La clorinidad se determinó utilizando la siguiente relación :

$$s = 1.80655 \text{ Cl o/oo}$$

6.4.- MEDICIONES QUÍMICAS

En las determinaciones químicas se incluyeron los análisis de oxígeno disuelto, boro, materia orgánica particulada, nitritos y fosfatos. Las muestras se colectaron en una botella muestreadora tipo Niskin de 1.8 litros de capacidad. Las muestras para nutrientes y boro se almacenaron en botellas de plástico con tapón de rosca y se congelaron hasta su análisis en el laboratorio. La determinación de oxígeno disuelto y materia orgánica se realizó parcialmente *in situ* y se concluyó en el laboratorio. Los análisis de oxígeno disuelto, materia orgánica particulada y nutrientes, se determinaron utilizando los métodos descritos en Strickland and Parsons (1972).

6.4.1.- Oxígeno Disuelto

Las muestras se colectaron en botellas oscuras con tapa hermética; fijadas con sulfato manganoso y yoduro alcalino de acuerdo al método de Winkler modificado por Carrit y Carpenter.

Para obtener el porcentaje de saturación de oxígeno se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{Saturación} = A/B \times 100$$

Donde: A= ml de oxígeno por litro determinados por el método de winkler.

B= ml de oxígeno por litro que se disuelven a una temperatura y salinidad dada a saturación que esta dado en tablas al respecto.

6.4.2.- Boro

La determinación de boro en el agua de mar se hizo utilizando el método descrito por Gast y Thompson (1958), conocido como método del manitol, y tiene la ventaja de que se determina simultáneamente la alcalinidad del agua de mar. La concentración de boro se expresa en mg-atm de B-Boratosil. Para poder hacer los cálculos de B/Cl, las concentraciones de boro se transformaron a mg-atm B-Boratos/Kg de agua de mar.

Este método se adaptó y probó en el laboratorio de química marina del CICIMAR-IPN, obteniéndose los siguientes resultados:

% de recuperación: 99 ± 3

% de variación : 2.1

Precisión: ± 0.001 mg-atm de B-Boratos/ kg Sw

En el anexo II se describe el fundamento y metodología de esta técnica.

6.4.3.- Materia Orgánica Particulada

La materia orgánica particulada consiste principalmente de detritos, fitoplancton y zooplancton. La concentración en la capa eufónica es relativamente alta y variable y puede correlacionarse con la actividad fitoplanctónica.

Para su determinación se utilizó el método espectrofotométrico de Strickland. Las muestras fueron filtradas *in situ* con ayuda de filtros de vidrio Whatman GF/C de 4.5 cm de diámetro y poro de 0.45 micras. Los filtros se mantuvieron en congelación hasta su análisis en el laboratorio. La materia orgánica particulada se expresa en mg de C/m^3 .

6.4.4.- Nitritos

Se utilizó el método desarrollado por Bendshneider y Robinson. Este método es aplicable para la determinación de nitrito prácticamente en todo tipo de agua. La determinación de nitrito está basada en la reacción de Griess en la cual el ión nitrito en presencia de N-(1-naftil)-etilendiamina y sulfanilamida forma un compuesto altamente colorido cuya intensidad de color es proporcional a la concentración de nitrito en la muestra y se mide a una longitud de onda de 543 nm.

6.4.5.- Fosfatos

Este análisis se realizó siguiendo el método de Greenfield y Kalber. Este método se basa en que los iones fosfato reaccionan con el molibdato para formar un complejo como el amonio molibdofosfato. Una reducción controlada de este compuesto produce un complejo azul de molibdeno cuya intensidad es

proporcional a la cantidad de fosfatos presentes. La intensidad del color se mide a una longitud de onda de 882 nm.

6.5.- CALCULOS DEL BALANCE

Para la realización del balance de masa se cuantificaron las entradas y salidas de las siguientes variables: oxígeno disuelto, boro, materia orgánica **particulada**, nitritos y fosfatos. Esta cuantificación se hizo considerando el volumen de agua que entra a la laguna, y el volumen de agua que sale de ésta durante todo el ciclo de marea considerado. Para la obtención del volumen de agua intercambiado entre los dos sistemas, se tomó en cuenta el área de toda la sección transversal y se hizo la suposición de que la velocidad **obtenida** por el correntómetro por hora, es la velocidad promedio de la corriente de marea en toda la sección transversal.

Los cálculos necesarios para la determinación del balance, se describen en los siguientes puntos.

6.5.1.- Cálculo del área transversal

El área de la sección transversal se obtuvo utilizando el perfil batimétrico obtenido por la **ecosonda** y se calculó empleando la fórmula de base por altura ($b \times h$), donde la base corresponde al intervalo de distancia longitudinal entre un dato de altura y otro, la altura corresponde a todos aquellos datos de profundidad obtenidos por las mediciones batimétricas. Para obtener el área total se multiplica el intervalo de distancia que es igual a 7.76 m, por la suma de los cambios de profundidad de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$A = \sum(y_i) \Delta x$$

Donde: A= área en m²

$$\Delta x = 7.76 \text{ m}^*$$

y_i= conjunto de datos de profundidad.

*Se obtiene al dividir la distancia total del transecto entre el número de datos generados por la ecosonda.

6.5.2.- Cálculo del gasto

El volumen de agua que pasa por la sección transversal por unidad de tiempo se determinó usando la fórmula:

$$Q = AV$$

Donde: Q= gasto en m³/seg

A= área de la sección en m²

V= velocidad de la corriente en m/seg

El dato de velocidad de la corriente para cada hora se multiplicó por el dato del área de la sección transversal, obteniéndose de esta manera el gasto. Para obtener el volumen de agua desplazada, se multiplicó el gasto por el intervalo de tiempo entre un dato y otro (3600seg). Se obtiene así el transporte de agua en m³, el signo positivo corresponde a agua que está entrando a la laguna y el signo negativo a agua que está saliendo de ésta. El balance hidrológico se calcula

sumando las entradas y salidas de agua que hubo durante el ciclo de marea considerado.

6.5.3.- Cálculo del balance de masa

Las concentraciones obtenidas cada hora de las variables químicas, que están expresadas en unidades de masa por unidad de volumen (**masa/m³**), se multiplican por el volumen de agua desplazada en esa hora, obteniéndose así, la cantidad de cada variable expresada en unidades de masa que se desplazó en el intervalo de tiempo de una hora. El balance de masa resultante de cada parámetro, se obtiene sumando la cantidad que entra (signo **+**) y la cantidad que sale (signo **-**) en todo el ciclo de marea.

7. RESULTADOS

Los resultados de las mediciones hidrológicas, químicas, de gasto y transporte de agua; así como los resultados del balance, se muestran en las Tablas I, II, IV y V respectivamente. En la Tabla III se muestra la concentración de boro y de la relación **boro/clorinidad obtenida** en este estudio, en comparación con la reportada por otros autores. Con los resultados de las mediciones topográficas se obtiene el perfil batimétrico de la sección transversal, como se muestra en la Fig. 2.

Para una mejor interpretación de los resultados, las variables de temperatura, salinidad, oxígeno, boro, materia orgánica y nutrientes se **graficaron** contra el tiempo, y se relacionaron con la curva de mareas.

7.1.- Curva de Mareas

Este ciclo de marea correspondió a la marea viva de mayor amplitud en todo el mes de septiembre, observándose que no se presentó en el momento de la sicigia, sino 48 horas después debido al intervalo luna- marea .

La curva de marea de este ciclo, se presenta en la Fig. 3, asociada a la curva de velocidad de la corriente, el período que se muestra es, de las 7:00 horas del día 19 de septiembre a las 6:00 horas del día 20 de septiembre de 1989. La curva de marea muestra un comportamiento semidiurno, presentándose dos pleamares y dos bajamares de distinta altura.

La primera pleamar se presentó a las 10:00 horas del 19 de septiembre, con una altura de 1.394m de acuerdo al nivel de baja mar media inferior (MLLW), y fue la máxima elevación de la marea en todo el ciclo. La segunda pleamar se observó a la 01:00 horas del día 20 de septiembre, con una altura de 0.61 lm. La primera

bajamar se dió a las 19 :00 horas del 19 de septiembre con una altura mínima de 0.215m y la segunda bajamar se dió a las 03:00 horas con 0.581m de altura.

El período del primer flujo fue de las 07:00 horas a las 10:00 horas, el segundo flujo de las 20:00 horas a la 01:00 horas; el período del primer reflujó fue de las 11 :00 horas a las 19: 00 horas y el segundo reflujó tuvo muy poca duración y fue de las 02:00 horas a las 03:00 horas; después de las 03:00 horas, la marea empieza a subir, presentándose de las 04:00 horas a las 06:00 horas flujo de marea.

De acuerdo a la curva de marea, la duración total de flujo de marea fue de 13 horas y la duración de reflujó fue de 11 horas.

7.2.- Mediciones hidrológicas

7.2.1.- Velocidad y Dirección de la Corriente de Marea

En la Fig. 3 se presentan la curva de velocidad y dirección de la corriente de marea junto con la curva de marea. La velocidad está dada en m/seg. y la dirección está indicada por el signo, flujo positivo y reflujó negativo, el comportamiento de esta curva es similar al de la marea, ya que por lo general los valores de la corriente son positivos cuando es el flujo de la marea, y negativos durante el reflujó; además, se presentan las máximas velocidades aproximadamente a la mitad de la marea y velocidades mínimas en los momentos de máxima y mínima amplitud. La duración total del flujo, de acuerdo al sentido de la corriente, fue de 15 horas y del reflujó de 9 horas.

7.2.2.- Temperatura

El valor mínimo se presentó a las 07:00 horas con un valor de 29.06 °C durante el flujo de la marea, el valor máximo fue de 30.6 °C a las 18:00 horas durante la bajamar máxima. El intervalo de temperatura fue de 1.5 °C (Fig. 4).

7.2.3.- Salinidad

El valor mínimo de salinidad fue de 35.27 y se dió a las 11:00 horas, que correspondió justo al término de la pleamar máxima . El valor máximo de salinidad fue de 36.25 a las 17:00 horas, dándose durante el primer reflujó de la marea, casi en la bajamar máxima (Fig. 5).

7.3.- Determinaciones analíticas

7.3.1.- Oxígeno Disuelto

El valor máximo de oxígeno disuelto, así como el de saturación de dicho gas, se presentó a las 11:00 horas con un valor de 5.39 ml/lit con un porcentaje de saturación de 123.55 %. Los valores mínimos se obtuvieron a las 6:00 horas con valores de 3.96 ml/lit y 91.05% de saturación (Tabla II). El valor promedio de oxígeno disuelto durante este ciclo fue de 4.65 ml/lit con un porcentaje de saturación de oxígeno de 108 %. El porcentaje de saturación de oxígeno mostró el mismo comportamiento que el oxígeno mismo, (Fig. 6 y 7), con valores mínimos de las 02:00 a las 07:00 horas y máximos de las 09:00 a las 14:00 horas.

7.3.2.- Boro

La concentración máxima encontrada fue de 0.5654 mg-atB/lit y la concentración mínima de 0.4189 mg-atB/lit; la diferencia es de 0.146 mg-atB/lit que representa un 25% de variación. Los intervalos de la relación B/Cl fueron de 0.0203 a 0.0279 mg-atm kg-1/Cl(o/oo); y los promedios de la concentración de boro fueron de 0.4921 mg-atmB/l y para la relación B/Cl de 0.0241 mg-atm Kg-1/Cl(o/oo) (Tabla III). La Fig. 8 muestra la variación del boro en relación con la curva de marea; no se observa correlación entre las curvas.

7.3.3.- Materia Orgánica Particulada

La concentración mínima detectada en el ciclo fue de 11.78 mg C/m³ a las 22:00 horas durante el flujo, y la máxima concentración de 1290.83 mg C/m³ a las 14:00 horas durante el reflujó (Tabla II y Fig.9). La concentración promedio de materia orgánica particulada cuando el agua esta entrando a la laguna costera es de 806.8 mg C/m³ y cuando está saliendo de esta es de 926 mg C/m³.

7.3.4.- Nitritos

La concentración máxima de nitritos fue menor a la unidad (0.1908µg-at/lit a las 10:00 horas) habiendo períodos de tiempo en los que no se detectó este compuesto (Fig. 10). En general, la variación en la concentración de nitritos durante todo el ciclo fue irregular sin correlación con la marea.

7.3.5.- Fosfatos

La concentración mínima de fosfatos fue de $0.22365 \mu\text{g-at/lt}$ presentándose a las 14:00 horas y la concentración máxima fue de $2.0812 \mu\text{g-at/lt}$. (Fig. II).

7.4 Balance

7.4.1.- Area Transversal

En la Fig. 2 se muestra el perfil batimétrico de la sección. En éste perfil se observan claramente los dos canales que forman la boca de La Ensenada de La Paz; el canal principal es el canal cercano al muelle fiscal. El área total de la sección transversal es de 4844.73 m^2 . (N.M.M.).

7.4.2.- Transporte de Agua

En la tabla IV se muestran las características del ciclo de marea considerado. El cálculo de transporte presentado en esta tabla, muestra los valores en m^3 para cada hora del ciclo de marea. Como se puede ver, el balance hidrológico en todo el ciclo no es cero, sino $72,748,371 \text{ m}^3$ de agua entrando, y $61,798,446.2 \text{ m}^3$ de agua saliendo, la diferencia es de $10,949,925.5 \text{ m}^3$ de agua que entra a la laguna. Esta diferencia representa un 15% de variación.

7.4.3.- Balance de Masa

La cantidad total de cada variable intercambiada durante este ciclo, se obtuvo considerando el volumen de agua que entra y que sale de la Ensenada. Sin embargo, dado el balance hidrológico positivo obtenido, que introduce mayor

volumen de agua a la zona lagunar que la que sale, también se hicieron cálculos estimativos del material importado y exportado considerando que el volumen de agua que entra es igual a la que sale. En la tabla V se tienen los resultados del balance de las variables estudiadas, considerando un balance hidrológico cero.

7.4.3.1.- Oxígeno Disuelto

En este ciclo de marea se obtuvo 33.23×10^{10} ml de oxígeno entrando a la laguna costera y 30.66×10^{10} ml de oxígeno saliendo de ésta. Este resultado indica que durante este período hubo importación o aporte de oxígeno de la bahía a la Ensenada de La Paz; sin embargo, al considerar un balance hidrológico igual a cero, se tiene que entran 33.23×10^{10} ml de oxígeno y salen 36.1×10^{10} ml de oxígeno, lo que indica que en realidad la laguna costera aportó oxígeno a la Bahía de La Paz durante este ciclo de marea y fue de 2.87×10^{10} ml de oxígeno.

7.4.3.2.- Boro

El balance obtenido en este ciclo de marea para boro fue de 3.540×10^{10} mg-atmB que entran a la laguna costera y 2.974×10^{10} mg-atmB que salen de esta. Al ajustar los datos a un balance hidrológico cero, se tiene que entran 3.540×10^{10} mg-atmB y que salen 3.500×10^{10} mg-atmB. La diferencia entre los dos datos es de 0.039×10^{10} mg -atmB y representa una variación del 1.1%, porcentaje que está dentro de la variación del método utilizado (2.1%), en base a esto, podemos considerar que estas dos cantidades son iguales y por tanto el boro importado es igual al boro exportado.

7.4.3.3.-- Materia Orgánica Particulada

El resultado del balance de materia orgánica particulada fue de 6.17×10^{10} mg de C que entraron a la laguna costera, y 6.34×10^{10} mg de C que salieron de ésta, favoreciéndose los procesos de exportación. El sentido de flujo de materia orgánica particulada se hace más evidente al hacer los cálculos estimativos para un balance hidrológico igual a cero, ya que considerando esto, entran 6.17×10^{10} mg de C y salen 7.46×10^{10} mg de C, exportándose durante este ciclo de marea, 1.29×10^{10} mg de C que equivalen a 12.9 toneladas de carbono **particulado**.

7.4.3.4.- Nitritos

El balance observado fue de 5.85×10^9 $\mu\text{g-at}$ de nitritos que se desplazaron hacia la laguna costera, y de 4.29×10^9 pg-at de nitritos que salen de ésta; al hacer el ajuste de volúmenes de agua se tiene que entran 5.85×10^9 pg-at de nitritos , y salen 5.05×10^9 $\mu\text{g-at}$. La diferencia es de 0.8×10^9 μg at que entran a la Ensenada de La Paz; que representa una variación del 13.6 % y esta por encima de la variación del método utilizado (3.2%), por lo que se puede decir, aunque en pequeña escala, que se favorecieron los procesos de importación de nitritos durante este ciclo de marea.

7.4.3.5.- Fosfatos

El balance' de fosfatos fue de 5.02×10^{10} pg-at de fosfatos que entraron a la laguna costera y de 4.15×10^{10} pg-at que salen ; al hacer los cálculos de concentración de fosfatos considerando el balance hidrológico cero, se tiene que salen 4.90×10^{10} pg-at , lo cual hace una diferencia de 1.2×10^9 pg-at que

entran a la laguna costera. Aunque el porcentaje de variación entre la concentración de fosfatos que se importan y exportan es pequeño, (2.39%), la diferencia favoreció la importación.

8. DISCUSION DE RESULTADOS

8.1.- Temperatura y Salinidad

La variación diurna de la temperatura del agua estuvo influenciada principalmente por la radiación solar, sobre todo en el intervalo de las 07:00 a las 01:00 horas de este ciclo, ya que hubo un incremento paulatino de las 07:00 a las 18:00 horas por mayor radiación solar, y una disminución de temperatura de las 18:00 a las 01:00 horas por decremento de la luz solar y radiación de la laguna costera a la atmósfera (Fig. 4). Después de este tiempo, se puede decir que la temperatura del agua tuvo un comportamiento inverso al de la marea, donde los valores de temperatura aumentan ligeramente durante el segundo reflujos y disminuyen durante el flujo de marea. En general el intervalo de temperatura registrado en este período fue pequeño y con muy poca relación con la marea.

La salinidad presentó un comportamiento inverso a la curva de mareas (Fig. 5) ya que al subir la marea (flujo), está entrando agua de la bahía con menor salinidad mientras que al bajar la marea (reflujo), la salinidad aumenta debido a la salida de agua de la Ensenada de La Paz con mayor salinidad, debido a evaporación.

Debido a que la diferencia de temperaturas entre la bahía y la laguna costera fue pequeña, la salinidad fue la que determinó en este caso, el tipo de circulación generada por diferencias de densidad; presentándose un tipo de circulación negativa o antiestuarina, en donde el agua lagunar fluye hacia el mar abierto por el fondo, y el agua marina penetra por la superficie.

8.2.- Transporte de Agua

El desbalance hidrológico pudo haberse debido a varias razones, las más probables pueden ser las siguientes:

- a) La velocidad de la corriente de marea no es la misma en todo el transecto
- b) Las entradas y salidas de agua no se equilibraron durante este ciclo de marea.
- c) El área de la sección transversal se ve afectada por el incremento en la altura / profundidad por la amplitud de la marea.
- d) Mientras que por un canal entra agua, por el otro sale o viceversa.

Debido a las limitaciones de equipo y personal especializado, no fue posible determinar la velocidad de la corriente de marea en los dos canales que forman la boca de la Ensenada de La Paz; de tal forma, que no podemos predecir cuál fue la velocidad de la corriente de la marea en el canal cercano al Mogote, durante la entrada y salida de agua. Esto obviamente, puede estar alterando los resultados del balance hidrológico.

Por otro lado y de una manera conjunta con el punto anterior, pudo haberse dado el caso que durante este ciclo de marea, no se hayan equilibrado las entradas y salidas de agua, y este balance hidrológico se haya completado uno ó dos ciclos de marea posteriores. De hecho en los puntos 7.1 y 7.2.1 se pone de manifiesto que la duración total del flujo fue mayor que la duración del reflujó.

8.3 Oxígeno Disuelto

La variación de oxígeno no mostró una relación con la marea, sino con los procesos biológicos, ya que la radiación solar tuvo un efecto marcado presentándose los máximos valores a mediodía debido a la mayor fotosíntesis, y

los mínimos durante la noche y madrugada debido al consumo de oxígeno por respiración; un ciclo diurno similar fue reportado por Espinosa (1977).

El resultado del balance indica que predominaron los procesos autotróficos dentro de la Ensenada de La Paz, pues hubo exportación de oxígeno. Este resultado se favoreció debido a que el muestreo se llevo a cabo durante verano, donde la turbiedad dentro de la laguna costera es menor, Lechuga, et. al (1986) y por lo tanto, aumenta la profundidad de la zona eufótica y hay mayor producción de oxígeno; por otro lado, el tipo de circulación negativa permitió una buena oxigenación en el cuerpo de agua lagunar.

8.4.- Boro

El porcentaje de variación entre el valor máximo y mínimo de boro, es mayor al porcentaje de variación del método utilizado, (punto 6.4.2), y por lo general mayores a los reportados por distintos autores (Tabla III). Por otro lado, en la Fig. 8 se observa que estas variaciones de la concentración de boro no tienen relación con la marea ni con algún proceso de asimilación o remineralización de boro, por lo que considero que estos valores se deben a que las muestras analizadas en este estudio, corresponden a cuerpos de agua lagunares, en donde hay mayor influencia de las aguas continentales, precipitaciones atmosféricas, diferencias en la biota, así como cambios mas notorios de temperatura y salinidad; los datos reportados por otros autores corresponden a muestras de agua de mar profundo, donde las condiciones son muy estables.

Por lo anterior y por los resultados obtenidos del balance de boro, se confirma el comportamiento conservativo que tiene el boro en el agua de mar, ya que no hubo diferencia entre las concentraciones de boro que sale y entra a la laguna costera.

8.5.- Materia Orgánica Particulada (MOP)

La MOP presentó un comportamiento inverso a la curva de marea (Fig. 9), pues en general se observa que al bajar la marea la concentración de MOP se incrementa, mientras que al subir disminuye, presentándose la mínima concentración durante la segunda pleamar. Este comportamiento se confirma con los resultados del balance, que indican que la concentración de MOP dentro de la Ensenada de La Paz es mayor que en la bahía, favoreciéndose los procesos de exportación.

Este resultado es lógico ya que Jiménez (1991), encuentra que en el intercambio de MOP entre la zona de manglar y la Ensenada de La Paz, predomina la exportación y durante un ciclo de marea el manglar aporta a la laguna entre 0.47 y 1.16 gC/m²/día. Por otro lado, Lechuga (1977), señala que existe mayor actividad fitoplanctónica dentro de la laguna ya que los niveles de clorofila aumentan durante el descenso de la marea.

En general los niveles de MOP encontrados en el área, corresponden a los niveles presentes en océanos altamente productivos como lo es el Golfo de California. Debido a que los estudios sobre balance de materia orgánica particulada en cuerpos de agua costeros, son prácticamente desconocidos o muy escasos, no existe hasta el momento marco de referencia para evaluar la magnitud de la exportación de MOP, por parte de La Ensenada de La Paz, B.C.S.

8.6.- Nitritos

La variación diaria de nitritos (Fig. 10) no presentó una relación simple con la marea, aunque eliminando la variabilidad de alta frecuencia, presenta una variación con mayor correlación con la marea, sin embargo, la concentración de este nutriente aumenta o disminuye independientemente de la entrada o salida de

agua, y puede ser alta o indetectable en una misma fase de la marea. Los procesos de asimilación tampoco fueron determinantes en **la** variación de nitritos durante este ciclo, pues las concentraciones más bajas e incluso indetectables de nitritos, no se registraron durante las horas de fotosíntesis, sino durante la madrugada y amanecer.

Considero que los cambios en la concentración de nitritos se debieron al efecto combinado de asimilación y remineralización de este compuesto, ya que los procesos de nitrificación ó denitrificación son muy rápidos y dependen del grado de oxigenación de las aguas, de tal forma que la concentración de nitritos será alta ó baja, dependiendo del proceso que se este favoreciendo; Por otro lado, la asimilación del nitrógeno es muy dinámica, así como se consume se libera.

En general las concentraciones fueron bajas comparadas con otros sistemas lagunares, ésto se debe a que en la zona de estudio no hay aportes de agua de río y hay baja precipitación pluvial; además el muestreo se realizó en verano, época del año que junto con primavera, existe una rápida renovación de todas las especies disueltas de nitrógeno inorgánico de la zona **eufótica**, por una mayor proliferación del fitoplancton.

Los resultados del balance indican que las aguas de la Bahía de La Paz fueron más ricas en nitritos que las aguas de la Ensenada de La Paz, esto pone de manifiesto la importancia de la interacción de los dos cuerpos de agua para la ecología de la laguna costera, sobre todo en épocas de surgencias, donde las aguas de la bahía que provienen del Golfo de California, fertilizan las aguas superficiales de la laguna.

8.7.- Fosfatos

La tendencia del fosfato (Fig. II) en este ciclo de marea fue irregular, sin denotar algún patrón definido con la marea. Los procesos de asimilación del

fosfato se ven enmascarados por la dinámica del intercambio de cuerpos de agua, y por los procesos de remineralización, que al igual que los nitritos, es muy rápida y compleja.

El intervalo de concentración encontrada para fosfatos, (0.2236 $\mu\text{g-at/l}$ a 2.081 $\mu\text{g-at/l}$), están dentro de las concentraciones normales encontradas en lagunas costeras donde existen pocos aportes de agua dulce. La concentración de fosfatos no cayó a niveles muy bajos o indetectables a pesar de que el muestreo se hizo en verano, lo cual sugiere que durante este período se favorecieron los procesos de remineralización, o algún evento de surgencia pudo haberse desarrollado en el Golfo de California, ya que los niveles de fosfatos encontrados en este estudio, caen dentro de los registrados en aguas de surgencias (0.9 a 2.0 $\mu\text{g-at/l}$ De la Lanza, 1994).

Los resultados del balance apoyan lo anterior, dado que se favorecieron los procesos de importación, siendo las aguas de la bahía más ricas en este nutriente.

9. CONCLUSIONES

1.- Se comprobó el comportamiento antiestuarino de La Ensenada de La Paz, B.C. Sur ya que las aguas de ésta presentaron salinidades superiores a las del promedio marino.

2.- Durante este ciclo de marea la zona de estudio fue altamente productiva, ya que durante casi todo el ciclo estudiado los porcentajes de saturación de oxígeno fueron mayores al 100 %, lo que indica que la concentración de oxígeno producido por la actividad biológica, superó a la que se incorpora al agua de mar por intercambio atmosférico. Este fenómeno se observó más claramente dentro de la Ensenada de La Paz, ya que esta aportó oxígeno al sistema adyacente.

3.- La concentración de boro no se vio afectada por procesos de asimilación ó remineralización, ni por el intercambio de cuerpos de agua y prácticamente se mantuvo constante. Lo anterior junto con los resultados del balance, confirmaron el carácter conservativo del boro en el agua de mar.

4.- La variación diurna de nutrientes fue influenciada principalmente por los procesos de asimilación y remineralización, y sus niveles de concentración no fueron limitantes para el crecimiento del fitoplancton.

5.- La Ensenada de La Paz se comportó como exportador de materia orgánica particulada y como importador de nutrientes inorgánicos, esto último se debe principalmente al poco aporte de aguas continentales que existe en la zona. Lo anterior pone de manifiesto la influencia que tienen las aguas de La Bahía de

La Paz, más ricas en fosfatos y nitritos, sobre la actividad biológica que se desarrolla dentro de la Ensenada de La Paz. Por otro lado, las aguas de la laguna costera, al contener más materia orgánica **particulada**, son una fuente importante de energía para organismos en la bahía en varios niveles tróficos.

10. RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar con este tipo de estudios, para poder establecer metodologías oceanográficas y químicas, mas precisas que ayuden a evaluar eficazmente el intercambio de materiales entre las lagunas costeras y sus sistemas circundantes.

Para estudios posteriores en la zona de estudio, se recomienda lo siguiente:

1.- Las mediciones hidrológicas y químicas deben tomarse simultáneamente en los dos canales que forman la boca de la laguna costera. Registrar la velocidad de la corriente de marea en los dos canales, tiene como objetivo poder detectar alguna diferencia en el flujo de agua entre estos dos sitios, y así poder evaluar con mayor exactitud el balance hidrológico durante todo el período de muestreo. Por otro lado, los datos de las variables químicas indicarán si existe una mezcla completa o parcial de las aguas de los dos cuerpos de agua en estudio.

2.- Es conveniente determinar el área del transecto durante la pleamar y bajamar máxima, con la finalidad de disminuir la influencia que tiene el cambio de nivel de marea, en el cálculo del área.

3.- Se recomienda incluir dentro de los análisis químicos, la determinación de nitratos y amonio, con la finalidad de conocer los niveles de concentración de las tres formas de nutrientes nitrogenados.

4.- Para estudios posteriores de balance de masa , se recomienda que se incluyan también mediciones espacio-temporales de las variables estudiadas, para definir con mayor precisión el sentido de flujo de estos.

II. BIBLIOGRAFIA

Carta batimétrica S.M. 357. La Paz y proximidades, (profundidades en metros, escala 1:25000). De la Secretaría de Marina. Dirección General de Oceanografía Naval. 1ª Ed. Nov. 1979 /Rev. Dic. 1987.

✿ CERVANTES, R. 1982. Distribución de nutrientes en La Ensenada de La Paz, B.C.S. durante el período primavera-verano de 1981. Tesis profesional. CICIMAR-IPN. 119 pp.

CERVANTES R. y H. SANTOYO 1986. Nota acerca del metabolismo de una laguna hipersalina de Baja California Sur. Inv. Mar CICIMAR. 3 (1)

CERVANTES R. y R. GUERRERO 1988. Variación espacio-temporal de nutrientes de La Ensenada de La Paz, B.C.S. An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nat. Autón. México. 15(2): 129-142.

CRUZ-OROZCO, R., P. ROJO-GARCIA, L. GODINEZ-ORTA y E. NAVASANCHEZ, 1989. Topografía, hidrología y sedimentos de las márgenes de La Laguna de La Paz, Baja California Sur. Revista de investigación científica. Universidad Autónoma de Baja California Sur, 1(3); 3-15.

DE LA LANZA, E.G. , 1994. Química de las lagunas costeras y el litoral mexicano . En: Lagunas costeras y el litoral mexicano, De la Lanza, E.G. y C. Cáceres Martínez (Eds), Universidad Autónoma de Baja California Sur : 126-441 pp.

✿ ESPINOZA, A. J. 1977. Los principales parámetros fisicoquímicos de las aguas de la Ensenada de La Paz, Baja California Sur. Informe de labores 1977. Centro de Investigaciones Biológicas, 5-29.

FARFAN, B:C: and S. ALVAREZ-BORREGO, 1983. Variability and fluxes of nitrogen and organic carbon at the mouth of a coastal lagoon. Estuar. Coastal Shelf Sci. 17: 599-612.

GAST, J.A. and T.G. THOMPSON, 1958. Determination of the alkalinity and borate concentration of sea water. Analytical Chemistry 30 (9).

GRANADOS-GUZMAN, A. and S. ALVAREZ-BORREGO, 1983. Variabilidad de temperatura en La Ensenada de La Paz, B.C.S. Ciencias Marinas, 9(2): 133-141.

GRIVEL, P.F., 1989. Tablas de predicción de mareas (Puertos del Océano Pacifico) 1989. Servicio Mareografico Nacional. Instituto de Geofísica. UNAM.

GUERRERO, R. , R. CERVANTES and A. JIMENEZ, 1988. Nutrient variation during a tidal cycle at the mouth of a coastal lagoon in the northwest of México. Indian journal of Marine Science. 17: 235-237.

IBARRA-OBANDO, S.E., 1990. Lagunas costeras de Baja California. Ciencia y Desarrollo, XVI (92, mayo/junio): 39-49.

JIMENEZ, A.R. 1983. Aplicación de un modelo hidrodinámico numérico a la Ensenada de La Paz, B.C.S. Tesis de maestría. CICESE. 101 pp.

JIMENEZ, M.C. 1991. Contribución al conocimiento de los productores primarios de La Ensenada de La Paz: Análisis de la comunidad del manglar. Tesis profesional. CICIMAR-IPN. 203pp.

LANKFORD R. 1977. **Coastal lagoons of México. Their origin and classification.** In: Wiley, M. (De.). **Estuarine processes**, II **Academic Press**, New York, 2, 182-215.

LECHUGA-DEVEZE, C.H., 1977. La producción orgánica primaria en La Ensenada de La Paz, Baja California Sur. Resultados de las investigaciones. **CIB.** p. 47-89.

LECHUGA-DEVEZE, C.H., J.GARCIA-PAMANES y J. **BUSTILLOS-GUZMAN**, 1986. Condiciones ecológicas de una laguna costera de la costa oeste del Golfo de California. *Ciencias Marinas* 12 (1): 19-31 (13).

LECHUGA-DEVEZE, C.H., J. **BUSTILLOS-GUZMAN**, M.T. **BARRERO-GUEMES** y D. **LOPEZ-CORTEZ**, 1990. Oscilaciones semidiurnas, diarias y estacionales de variables físicas en La Ensenada de La Paz, Baja California Sur. *investigaciones Marinas, Centro Interdisciplinario de Ciencias del Mar.* Vol: 5 (1): 1-10.

* **MORALES G.E.** 1982. Mareas y corrientes en La Ensenada de La Paz, B.C.S. Tesis U.A.B.C. Ensenada, Baja California, México. 73pp.

MORALES G.E. y **F. PLAZA**, 1983. Estudio hidrobiológico de La Ensenada de La Paz, B.C.S. Reporte técnico CICESE.

NOAKES J. And **D. HOOD**, 1961. Boron-Boric acid Complex in sea Water. *Deep-Sea Research.* 8. 121-1 29.

OBESO, M., A. JIMENEZ y **S. TROYO**, 1993. **Modelación hidrodinámica de la marea en La Ensenada de La Paz, B.C.S.** *Investigaciones Marina, Centro Interdisciplinario de Ciencias del Mar.* Vol. 8(1) : 1-11.

PHLEGER, F.B., 1969. **Some general features of coastal lagoons**, 5-26. En Ayala Castañares, A. y F.B. Phleger (Eds). **Lagunas Costeras**, un Simposio. Memorias del Simposio Internacional de Lagunas costeras, UNAM-UNESCO, México, D: F: del 28 al 30 de noviembre de 1967.

 SAINZ E. 1964. Transporte de agua en La Ensenada de La Paz, B.C.S., México. Tesis UNAM 49 pp.

STRICKLAND, J.D.H. y T.R. PARSONS, 1972. A practical handbook of seawater analysis. 2a. de; **Bull. 167**; Fisheries Research Board of **Canada**: Ottawa; 310 pp.

UPPSTROM I. 1973. The boron/chlorinity ratio of deep-sea water from the **Pacific Ocean**. Deep-Sea Research, 21. 161-162.

VENNARD J.K. y R.L. STREET, 1983. Elementos de mecánica de fluidos (segunda impresión). Cia. Editorial Continental : 523-524.

TABLA I

Características hidrológicas del intercambio entre La Ensenada y Bahía de La Paz.

Tiempo Hr.	Nivel de marea (m)	Velocidad m/seg	Temp. °C	Salinidad psu	Clorinidad ‰
07	0.99	0.586675	29.06	35.79	19.81
08	1.169	0.633125	29.19	35.40	19.59
09	1.315	0.511062	29.44	35.35	19.56
10	1.394	0.301433	29.52	35.32	19.56
11	1.38	-0.07606	29.74	35.27	19.52
12	1.28	-0.45853	29.84	35.30	19.54
13	1.118	-0.57055	29.90	35.39	19.59
14	0.919	-0.61255	30.03	35.59	19.70
15	0.707	-0.62192	30.22	35.98	19.92
16	0.506	-0.57305	30.39	36.14	20.00
17	0.343	-0.47457	30.52	36.25	20.06
18	0.24	-0.11793	30.60	36.20	20.03
19	0.215	0.121916	30.59	36.17	20.02
20	0.254	0.371987	30.48	36.10	19.98
21	0.333	0.315920	30.45	36.05	19.95
22	0.431	0.247133	30.28	35.89	19.86
23	0.524	0.151595	30.13	35.73	19.77
00	0.592	0.089670	30.04	35.66	19.74
01	0.611	-0.03812	29.91	35.69	19.76
02	0.591	0.048108	29.92	35.69	19.76
03	0.581	0.061079	29.95	35.59	19.70
04	0.615	0.0741	29.94	35.70	19.76
05	0.686	0.263662	29.84	35.60	19.70
06	0.785	0.393641	29.78	35.60	19.70

TABLA II

Variación diurna de variables químicas.

Tiempo Hr.	Oxígeno disuelto ml/l	% de saturación de oxígeno	Boro mg-at/l	Materia Orgánica mg C/m ³	Nitritos µg-at/l	Fosfatos µg-at/l
07	4.2997	97.5	0.5059	706.65	0.1272	0.5676
08	4.3225	98.0	0.4505	1033.22	0.0848	0.6149
09	5.2552	119.9	0.4980	863.07	0.1272	1.1825
10	5.0505	115.3	0.5217	945.40	0.1908	0.9460
11	5.3917	123.5	0.4822	871.93	0.0848	0.8987
12	5.3200	122.0	0.4505	649.89	0.0848	0.9460
13	5.0846	116.3	0.5454	993.70	0.0636	0.4257
14	5.1415	118.4	0.5217	1290.83	0.0848	0.2365
15	4.9822	115.3	0.5454	1098.58	0.0212	0.6149
16	5.1528	119.5	0.4268	1053.64	0.0636	0.8987
17	4.7888	111.6	0.5296	1016.18	0.1060	0.8987
18	4.5500	106.3	0.4189	1136.03	0.1060	0.7568
19	4.9481	115.3	0.4664	760.15	0.1060	1.0406
20	4.7092	109.5	0.4368	981.13	0.0424	0.7095
21	4.5613	106.0	0.5217	651.14	0.000	0.3784
22	4.816	111.3	0.5375	11.78	0.0848	0.5676
23	4.5500	105.0	0.5138	783.73	0.0848	0.4730
00	4.5613	105.0	0.4743	459.63	0.1272	0.6622
01	4.5386	104.9	0.5375	223.54	0.1060	2.0812
02	4.2883	98.6	0.5454	792.39	0.0848	0.4730
03	4.5386	104.3	0.5217	890.19	0.0848	0.5676
04	4.3111	99.3	0.4822	968.03	0.0212	0.6149
05	4.1746	95.9	0.5059	1057.85	0.0000	0.5203
06	3.9698	91.0	0.5654	1197.57	0.0000	0.6149

TABLA III

Concentración de boro y su relación con la clorinidad.

LUGAR	B mg-at/l (intervalo y promedio)	B/Cl (mg-atkg ⁻¹)/(°/oo) (intervalo y promedio)	REFERENCIA
Noreste del Océano Pacífico*	0.4102-0.4314 0.4208	0.0222-O. 0220 0.0221	Gast and Thompson (1958)
Golfo de México*	0.4491-0.4552 0.4521	0.0207-0.0216 0.021 15	Noakes and Hood (1961)
Cari be*	0.4055-0.4124 0.40895	0.0209-0.0218 0.02135	Noakes and Hood (1961)
Océano Pacífico*	0.4362-0.4617 0.44895	0.0227-0.0237 0.0232	Uppstrom (1973)
Ensenada y Bahía de La Paz, B.C.S. México	0.4189-0.5654 0.4921	0.0203-O. 0279 0.0241	Este estudio

*Datos encontrados en muestras de agua de mar profundo.

TABLA IV

Gasto y transporte de agua.

Tiempo Hr.	Area de la sección m ²	Gasto m ³ /seg	Transporte m ³
07		2842.28	10232215
08		3067.32	11042350.8
09	4844.73	2475.95	8913446.6
10		1460.36	5257301.4
11		-368.5	-1326564.6
12		-2221.45	-7997234.5
13		-2764.16	-9950978.5
14		-2967.64	-10683502
15		-3013.03	-10846924.1
16		-2776.27	-9994581.1
17		-2299.16	-8276989
18		-571.34	-2056820.4
19		590.6	2126340
20		1802.17	6487835.2
21		1530.54	5509969
22		1197.39	4310253
23		734.4	2643972.6
00		434.42	1563936.5
01		-184.68	-664852
02		233.07	839052
03		295.9	1065280
04		358.9	1292380
05		1277.37	4598536
06		1907	6865503.7

TABLA V

Balance de oxígeno, boro. Materia orgánica **particulada** y nutrientes, basado en el transporte de agua que entra y sale durante el flujo y reflujo de la marea.*

Parámetro	Entra	Sale	Diferencia	Dirección del flujo
Oxígeno ml de O ₂	33.23x10 ¹⁰	36.1x10 ¹⁰	-2.87x10 ¹⁰	Salen del sistema
Boro mg-at	3.540x10 ¹⁰	3.50x10 ¹⁰	La diferencia cae dentro de la variación del método	Balance cero
MOP mg de C	6.17x10 ¹⁰	7.46x10 ¹⁰	-1.29x10 ¹⁰	Salen del sistema
N-NO ₂ pg-at	5.85x10 ⁹	5.05x10 ⁹	0.8x10 ⁹	Entran al sistema
P-PO4 pg-at	5.02x10 ¹⁰	4.90x10 ¹⁰	1.2x10 ⁹	Entran al sistema

*Considerando un balance hidrológico igual a cero.

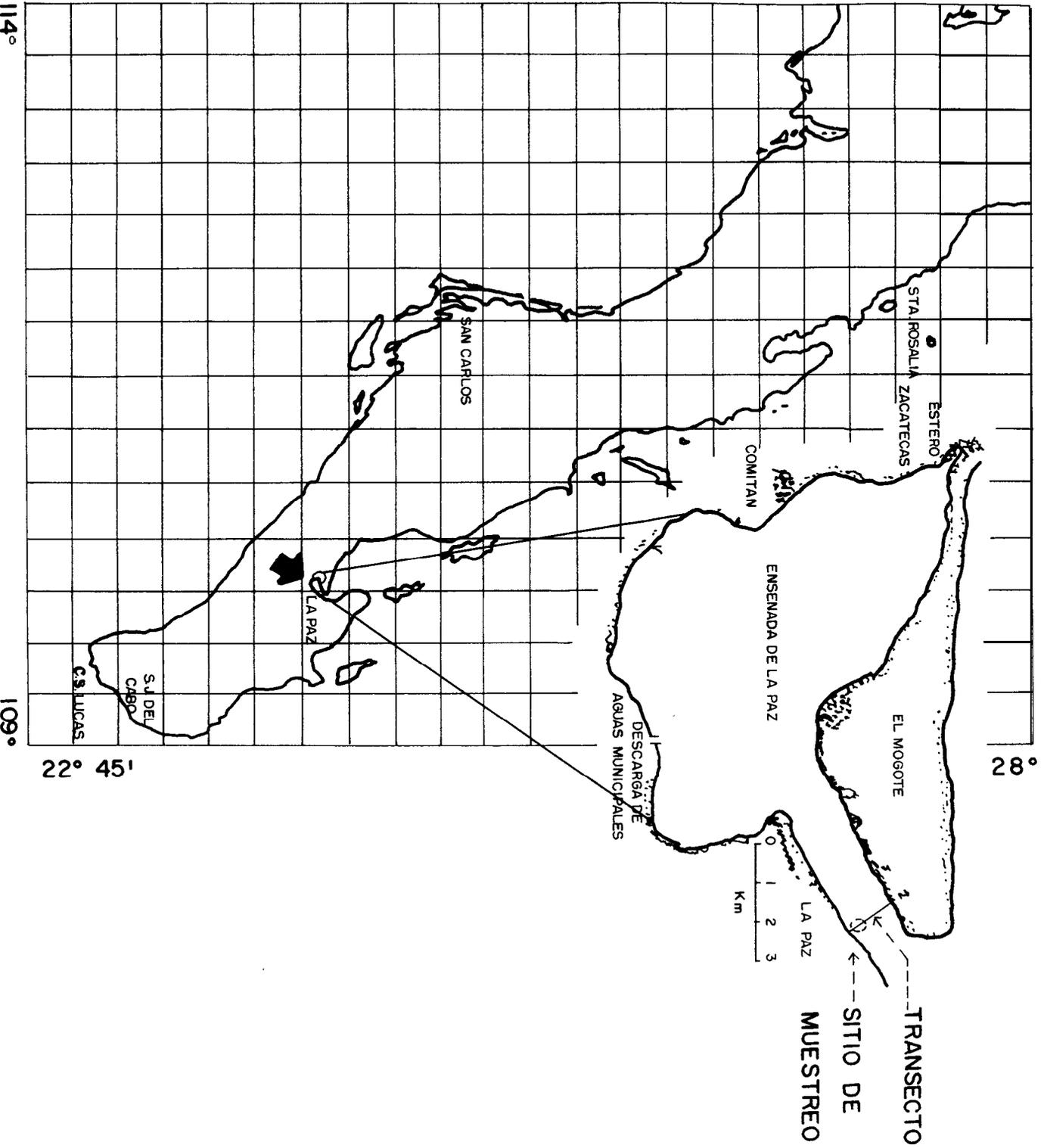


FIG. 1 LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO

**FIG.2 PERFIL BATIMETRICO DE LA SECCION
DEL MUELLE FISCAL AL MOGOTE.**

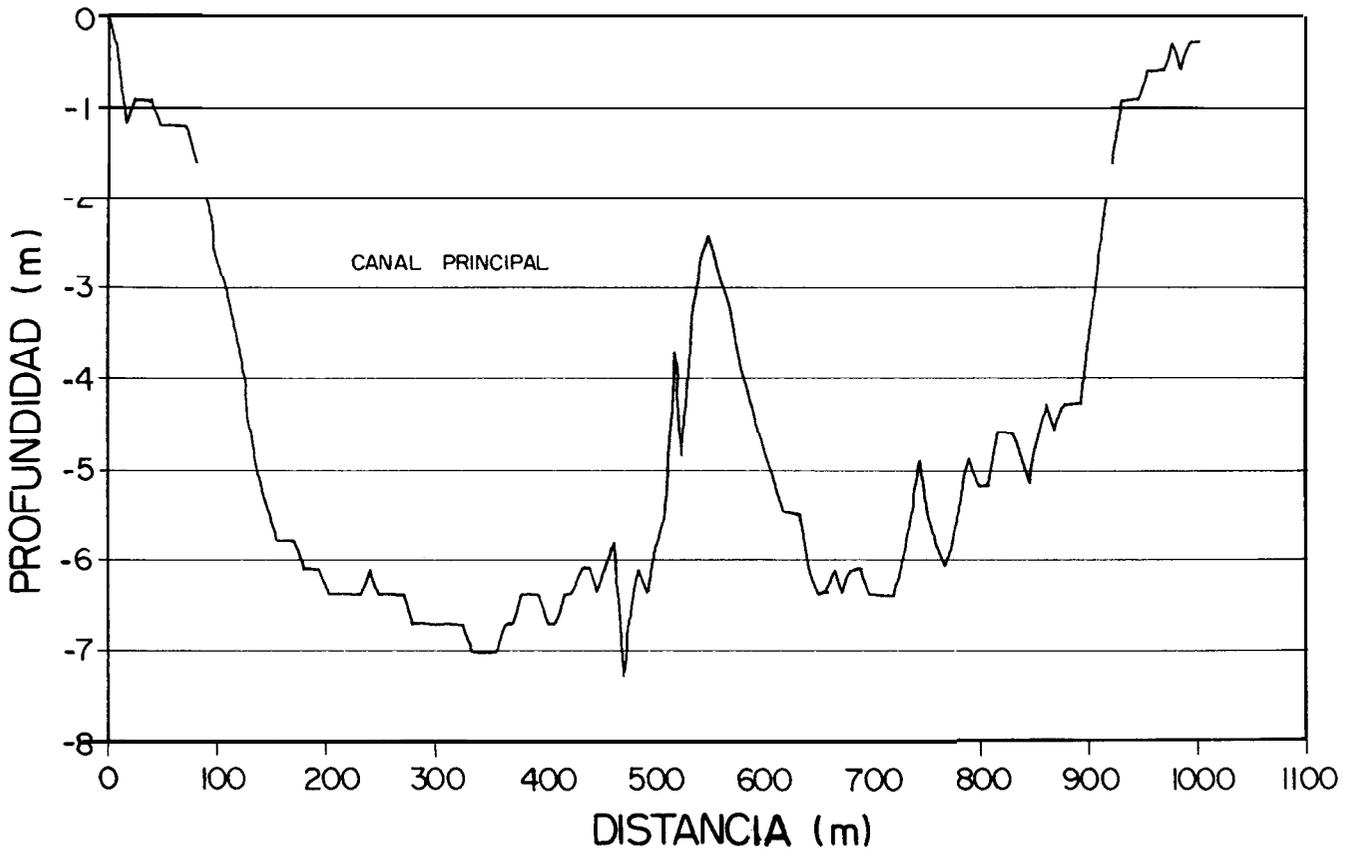


FIG.4 ALTURA DE MAREA Y TEMPERATURA

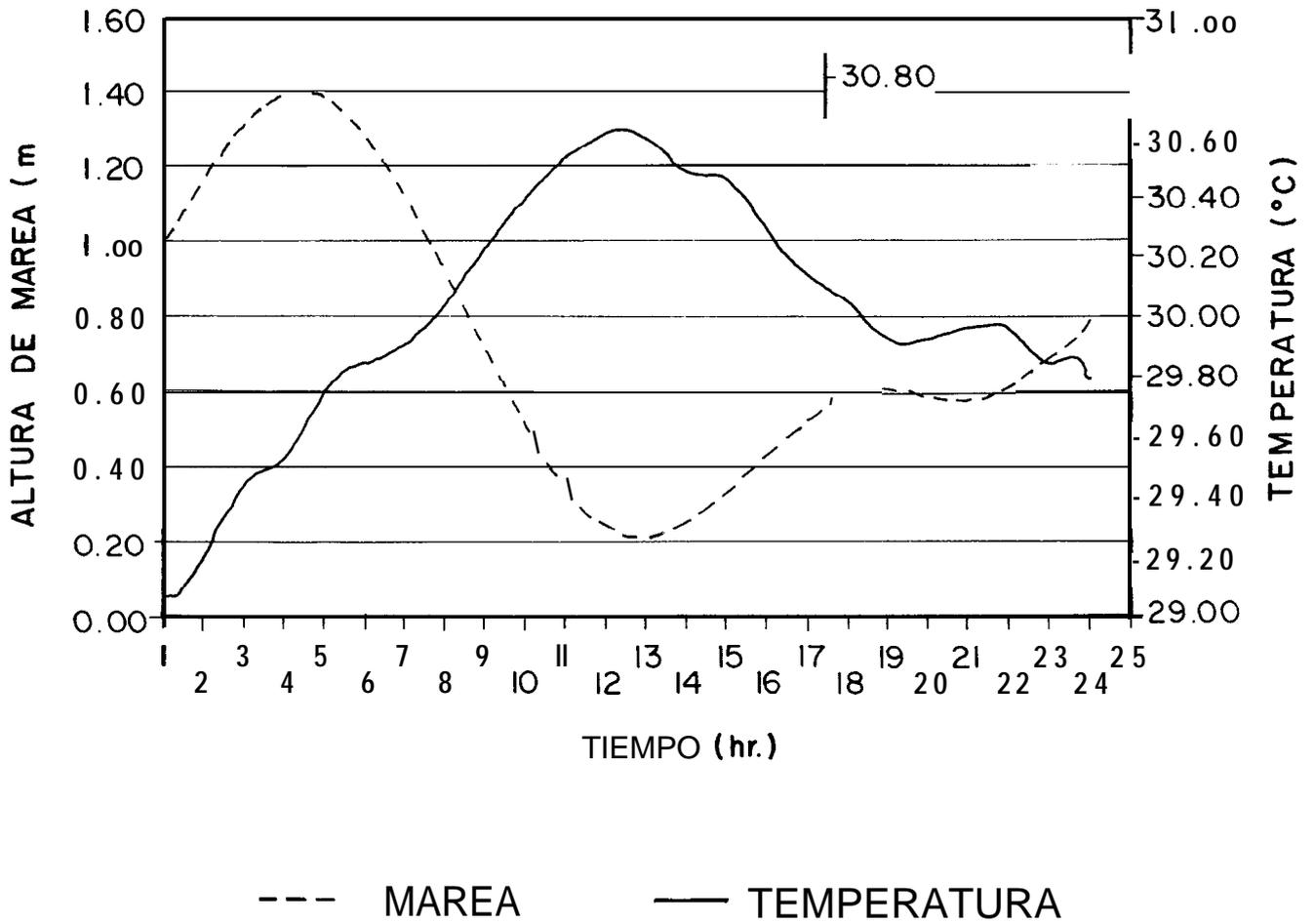


FIG.5 ALTURA DE MAREA Y SALINIDAD

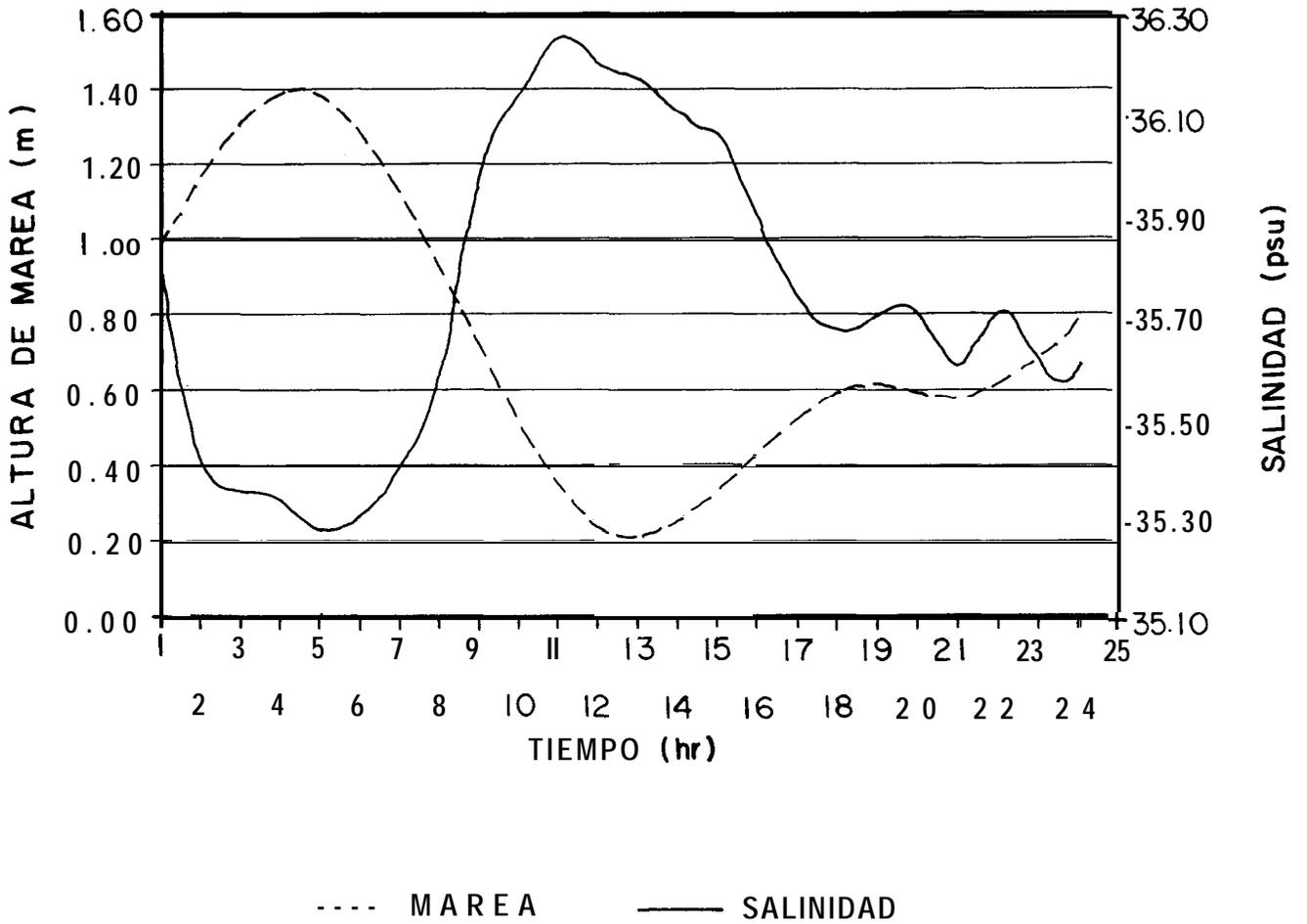
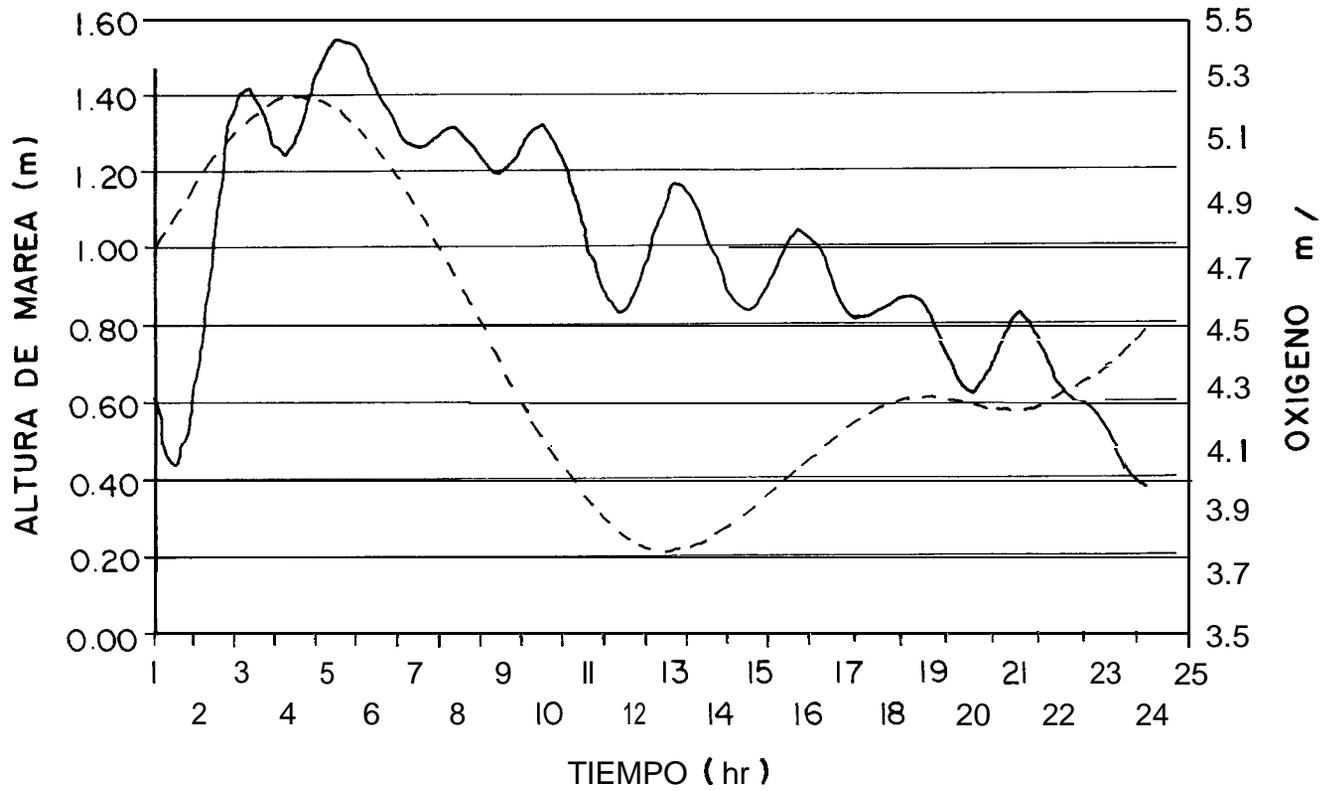
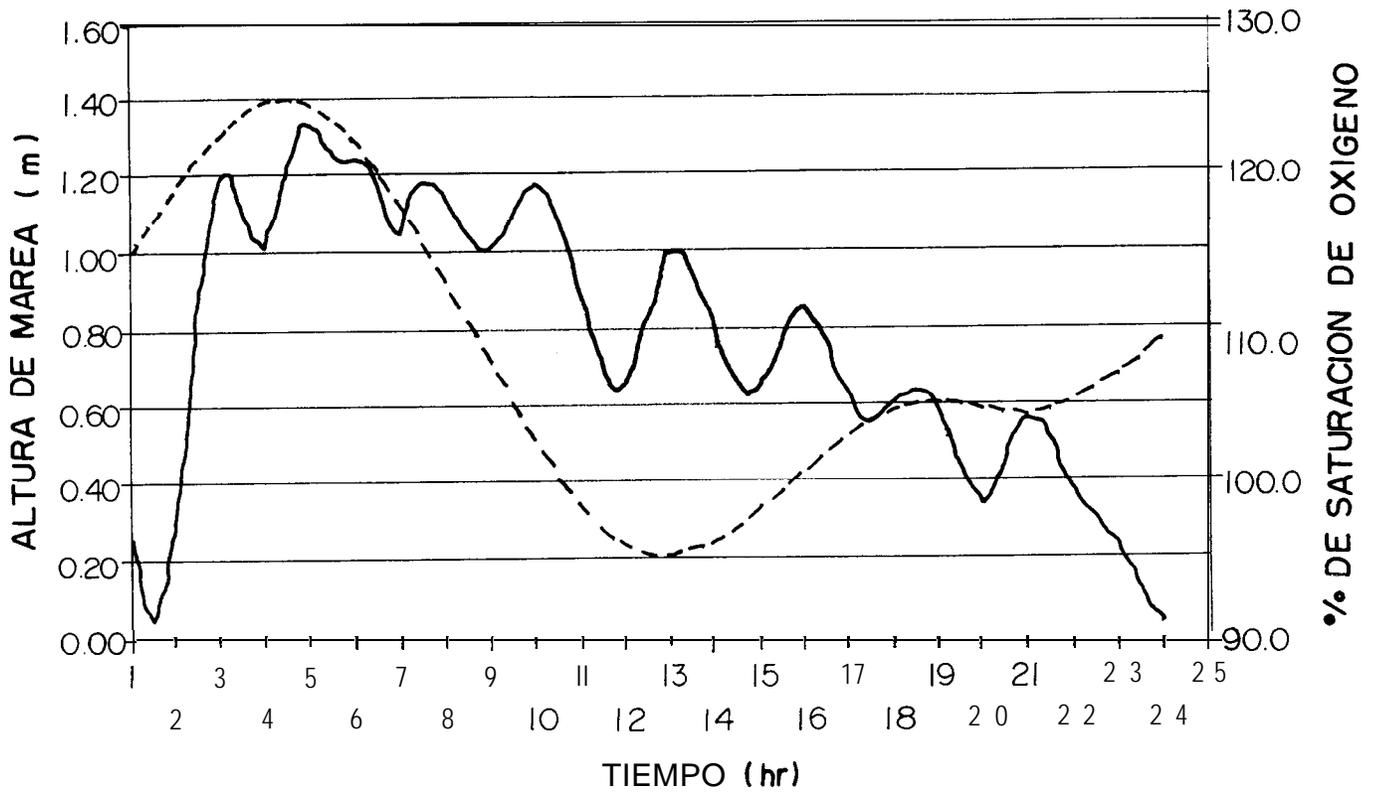


FIG.6 ALTURA DE MAREA Y OXIGENO

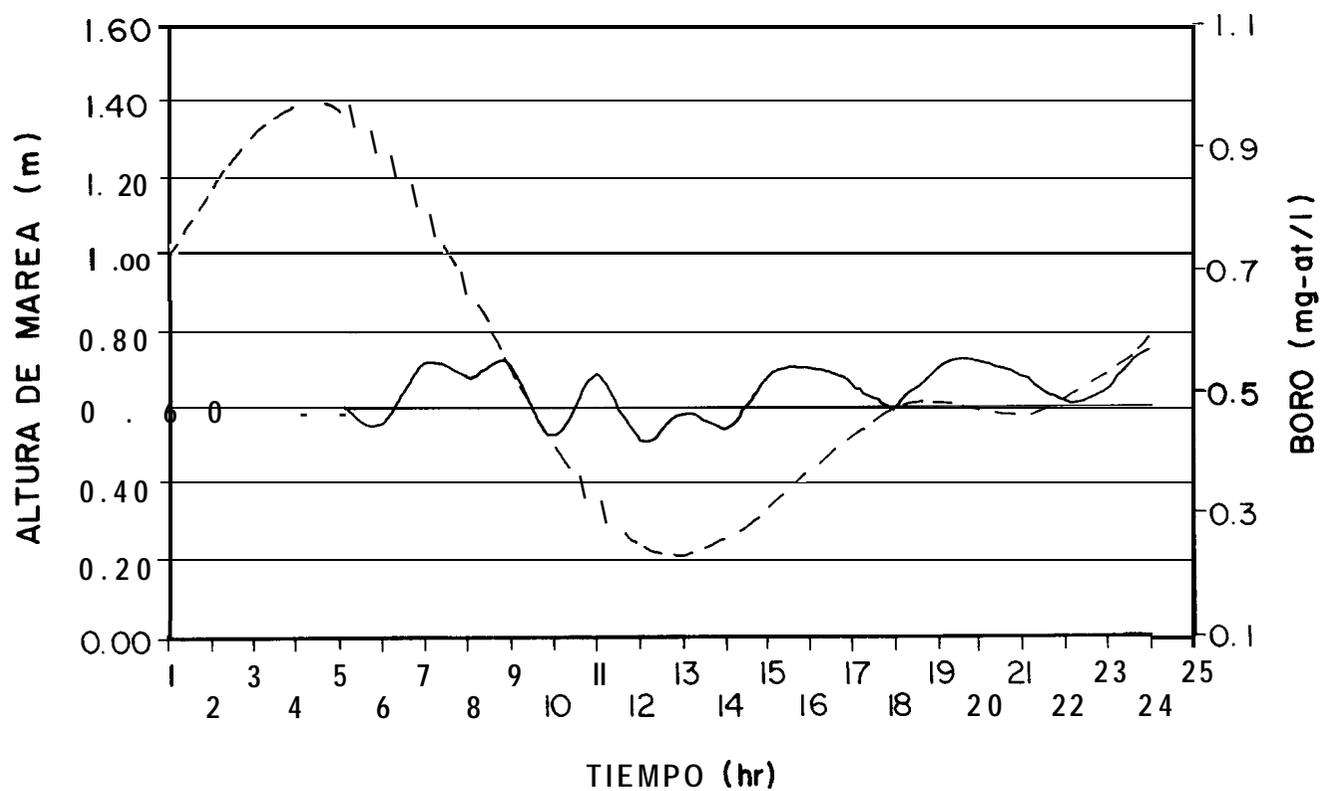
--- MAREA — OXIGENO

FIG.7 ALTURA DE MAREA Y % DE SATURACION

--- MAREA

— % DE SATURACION

FIG.8 ALTURA DE MAREA Y BORO



--- MAREA — BORO

FIG. 9 ALTURA DE MAREA Y MATERIA ORGANICA

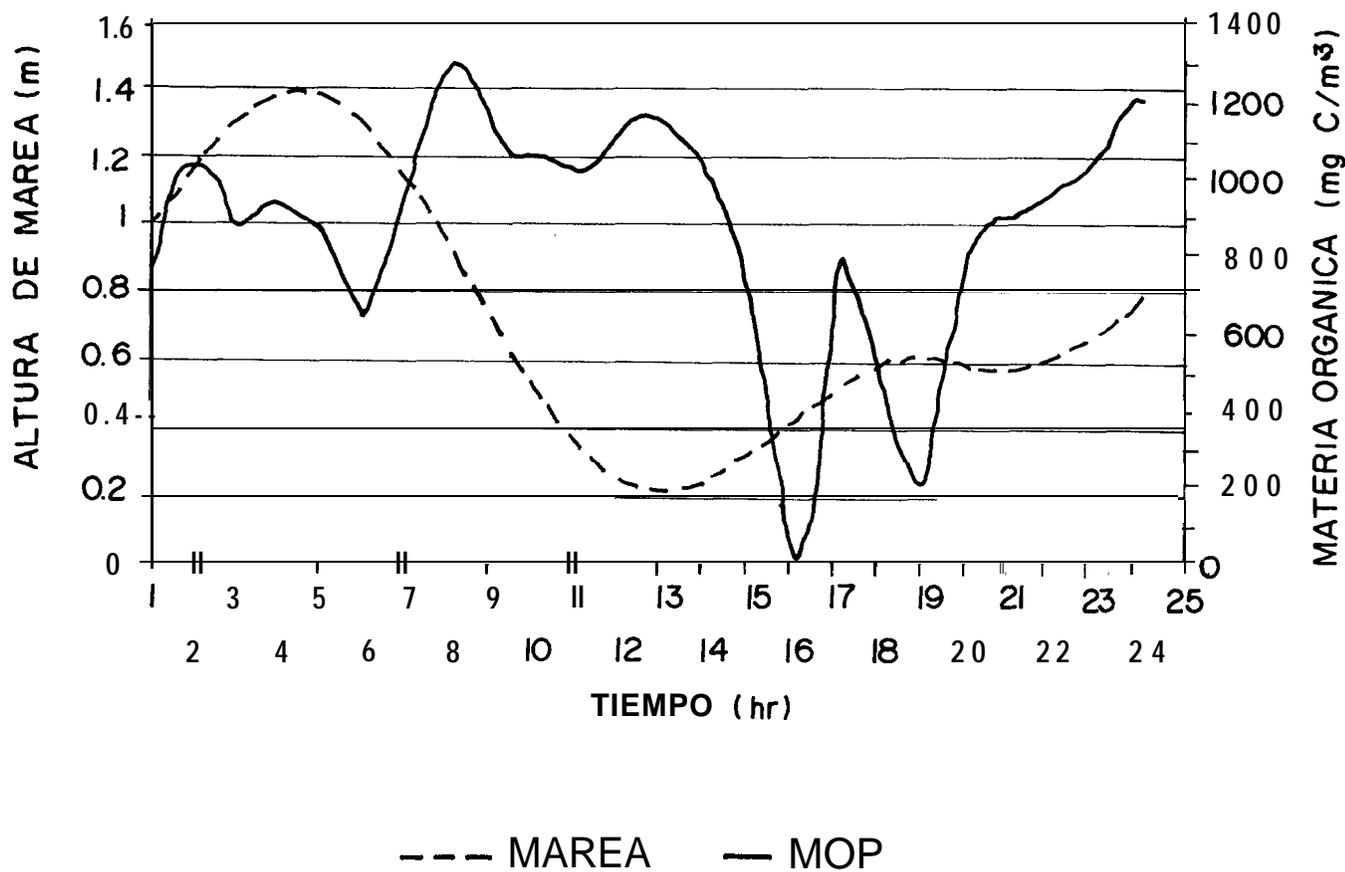
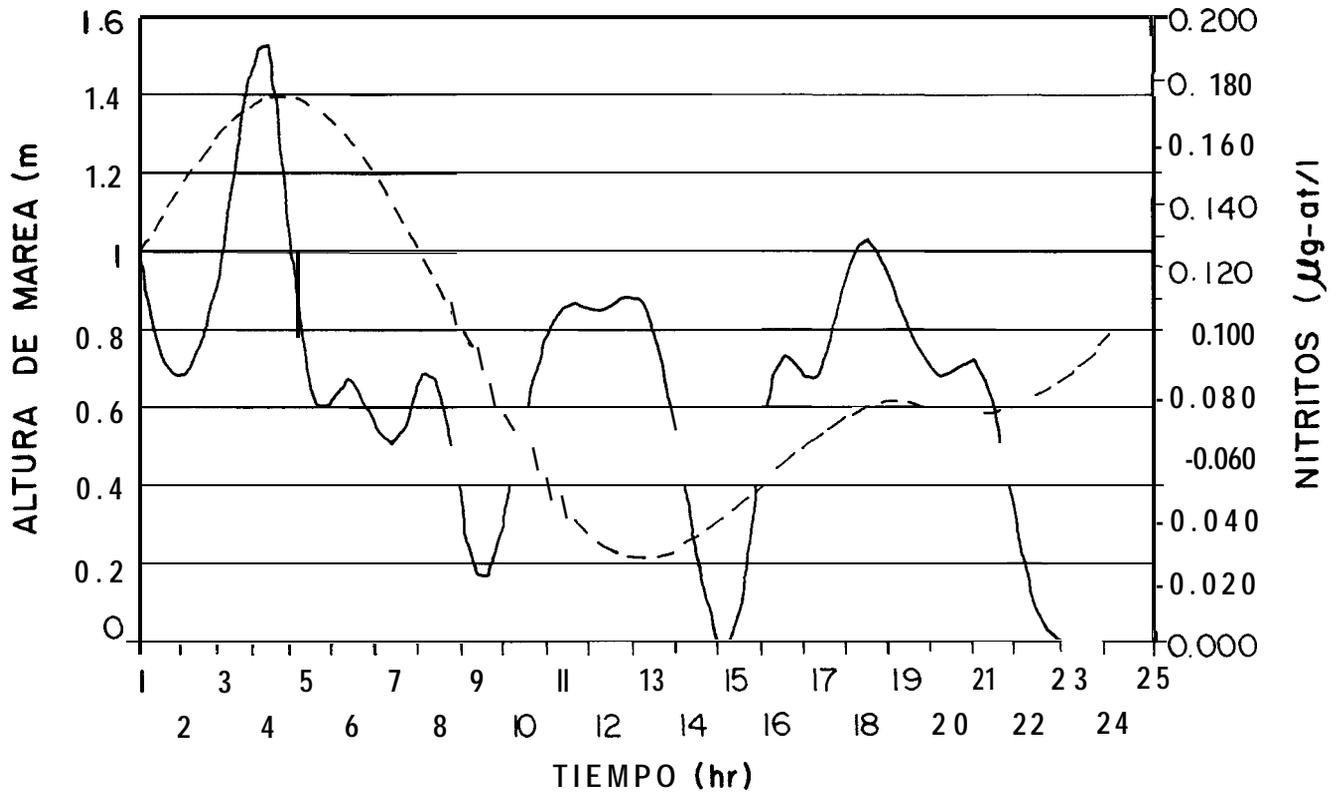
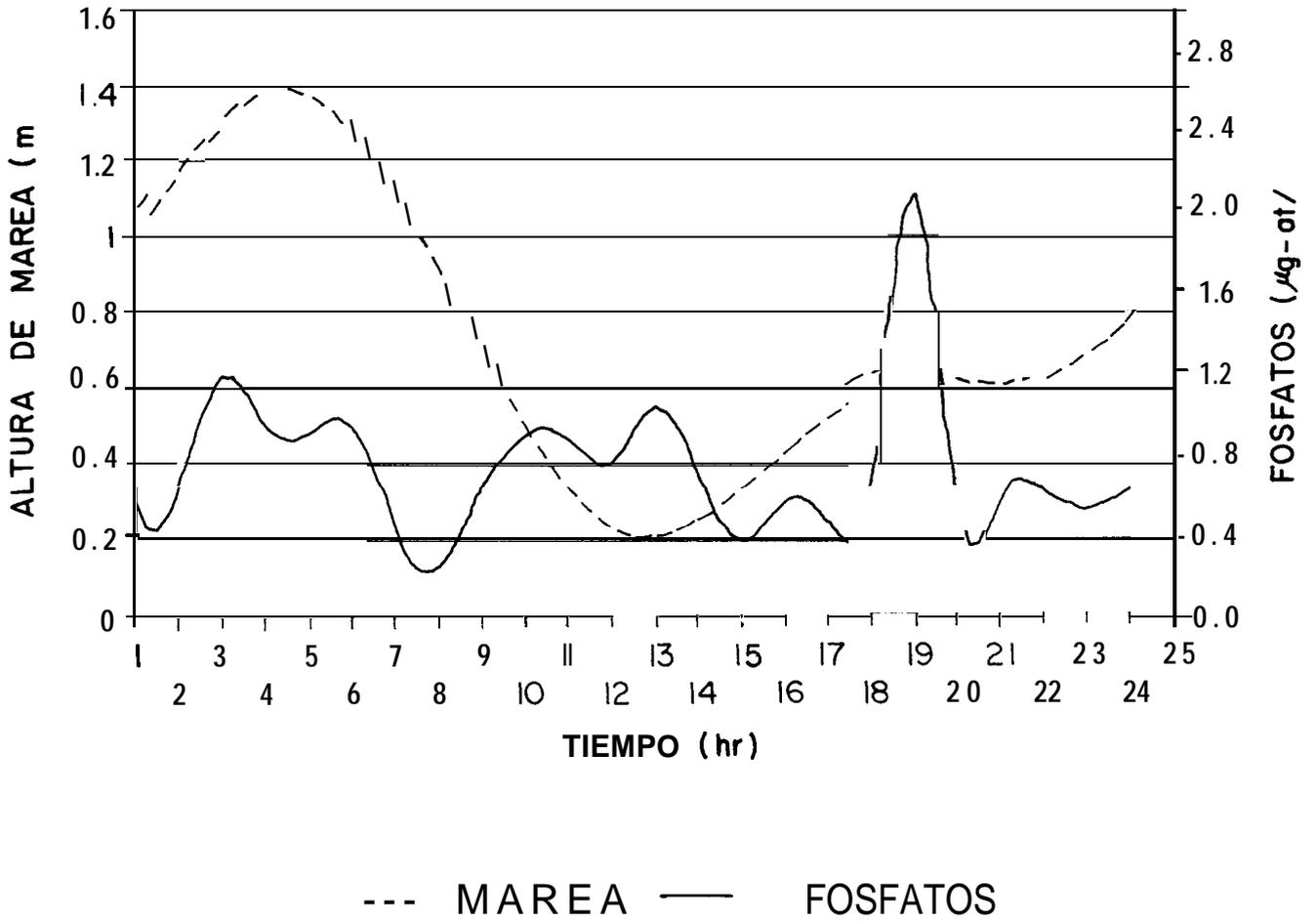


FIG.10 ALTURA DE MAREA Y NITRITOS



--- MAREA — NITRITOS

FIG.II ALTURA DE MAREA Y FOSFATOS



12. ANEXOS

ANEXO I

Derivación de la profundidad de muestreo

Para canales abiertos como en el caso del canal considerado se asumió un perfil parabólico de velocidad dado como:

$$V = V_{\max}(1-h^2/H^2) \quad (1a)$$

Donde H es la profundidad máxima (7 m) del canal, y h es la profundidad de medición para una velocidad específica. Por otra parte, la velocidad promedio de un flujo parabólico en un canal abierto (Vennard y Street, 1983) es:

$$\bar{v} = (2/3 V_{\max}) \quad (2a)$$

Ahora si igualamos $V=\bar{v}$ en la ecuación la, podemos calcular la profundidad h donde la velocidad alcanza un valor medio, así se obtiene un valor de h igual a 4 metros (ecuación 1c) que fue la profundidad a la cual se llevo a cabo la toma de muestras. Por lo tanto la ecuación de gasto dada por la ecuación (2) en la sección de metodología, utiliza la velocidad promedio de un flujo laminar Newtoniano.

$$h = \sqrt{1/3} H \quad (1c)$$

ANEXO II

Determinación de Boro y Alcalinidad en el agua de mar.

Método de Gast y Thompson 1958.

Fundamento.

Alcalinidad:

La determinación de alcalinidad se fundamenta en la capacidad que tiene el agua de mar de neutralizar un ácido fuerte. La muestra se trata primero con un exceso de ácido Clorhídrico de normalidad conocida; parte de éste ácido es neutralizado por la alcalinidad propia del agua de mar, el exceso de ácido se neutraliza con hidróxido de sodio 0.025 N. La cantidad de hidróxido gastado es proporcional a la cantidad de ácido clorhídrico en exceso, de esta manera mediante una resta se determina la cantidad de ácido clorhídrico que es neutralizado por el agua de mar y que es equivalente a la alcalinidad de ésta.

Boro:

Al tener la muestra neutra (pH 7) ésta se hace reaccionar con manitol; el boro presente reacciona con el manitol para formar el ácido manitobórico que es proporcional al boro presente en la muestra, el cual se valora con hidróxido de sodio 0.025 N.

Metodología:

Reactivos:

Solución estandar de ácido bórico conteniendo 0.040 mg-atm de boro/ml.

Solución de NaOH 0.025 N.

Solución de HCl 0.1 N.

Procedimiento:

Se miden 100 ml de agua de mar y se colocan en un matraz erlenmeyer, se adicionan 5 ml de HCl 0.1 N. Se lleva a reflujo la solución durante 5 minutos para eliminar todo el CO₂. Se enfría la solución. Se ajusta el pH de la solución a 7 por titulación de la muestra con la solución de NaOH 0.025 N y utilizando un potenciometro Beckman modelo H-2. Posteriormente se adicionan 7 gramos de manitol y titular de nuevo a pH 7.

Con los datos de la primera titulación se calcula la alcalinidad de la muestra de agua de mar como sigue:

$$\text{Alcalinidad como meq./l a } 20\text{ }^{\circ}\text{C} = 10[(5 \times \text{N HCl} - \text{ml NaOH} \times \text{N NaOH})]$$

De los datos de la segunda titulación se obtienen los miligramos átomos de boro por litro de agua de mar:

$$\text{mg. AtmB-Boratos/l} = (\text{ml NaOH} - \text{ml Blanco}) \times \text{N} \times 10$$

donde N son los miligramos átomos de boro equivalentes por ml de NaOH 0.025N.

NOTA: Las titulaciones deben realizarse en una atmósfera libre de bióxido de carbono; para lo cual se burbujea nitrógeno en la superficie de las muestras, durante la titulación.