

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

**USO DE NUTRIENTES COMO TRAZADORES
DE MASAS DE AGUA: BOCA DEL GOLFO DE
CALIFORNIA, AGOSTO 1995**

**TESIS QUE PARA OBTENER
EL TITULO DE**

OCEANOLOGO

PRESENTA

Dagoberto Alvarado Aguilar

ENSENADA, B.C., MAYO 1998

RESUMEN

El Golfo de California representa una área subtropical con tasas excepcionalmente altas de productividad orgánica primaria, comparables con las áreas de surgencia. Por lo tanto el conocimiento de la tasa de cambio de las propiedades físicas y químicas que se dan en el Golfo es importante para los estudios de explotación y conservación de los recursos naturales que este posee. La boca del Golfo de California es ancha (200 km) y profunda (2.5 km), por lo que las masas de agua pueden intercambiarse libremente entre el Golfo y el Océano Pacífico. Estos intercambios son generados por vientos regionales, diferencias de mezcla entre las mismas masas y por patrones de circulación. En la boca del Golfo se distingue un total de seis masas de agua, tres superficiales y tres subsuperficiales o profundas.

Cada masa de agua puede ser definida por su temperatura y su salinidad, parámetros que tradicionalmente se han usado como trazadores, pero también puede utilizarse las características químicas y biológicas. El uso de nutrientes para identificar y trazar masas de agua, es aplicable debido a las facilidades de medición actuales.

En base a los estudios de Broecker en el Océano Atlántico, donde usó las concentraciones de nitrato y oxígeno, se aplicaron las mismas fórmulas a la zona de la boca del Golfo de California para trazar las masas de agua, con los datos recabados en el crucero PESCAR 7, se obtuvieron valores para cada masa de agua en base a las concentraciones de nutrientes presentes. Las concentraciones de las masas variaron desde 100 $\mu\text{M/kg}$ en superficie hasta 600 $\mu\text{M/kg}$ en aguas de fondo.

Se logran separar las masas de agua por su concentración de nutrientes, probando así la eficacia del índice semiconservativo usado.

**USO DE NUTRIENTES COMO TRAZADORES DE MASAS DE AGUA:
BOCA DEL GOLFO DE CALIFORNIA, AGOSTO 1995**

TESIS
que para obtener el título de
OCEANOLOGO
Presenta:

Dagoberto Alvarado Aguilar

APROBADA POR:



M.C Héctor Bustos Serrano
Director



Dr. Reginaldo Durazo Arvizu
Sinodal



Dr. Victor F. Camacho Ibar
Sinodal

Ahora las Sirenas disponen de un arma más mortífera que su canción: su silencio... Es posible que alguien haya escapado a su canto, pero a su silencio, nunca jamás.

Franz Kafka,
Parábolas

Dedicatoria...

A la memoria de dos grandes hombres, de aquellos que son imprescindibles, diría Bertold Brech, ya que sus esfuerzos y sus luchas, aunque lejanas ya, siguen dando frutos... una vida de lucha que continúa aun

Don Moisés Alvarado Pastelín † y Don Plutarco Aguilar Villalba †

Dicen que de tras de cada gran hombre hay una gran mujer, y realmente lo creo, ya que gracias a su esfuerzo, su coraje, sus lagrimas, sus rezos, y su valentía, lograron lo que anhelaban para su familia y tal vez mas de lo que algún día soñaron...

Doña Sara García Enríquez y Doña Rosa María Caellas Merino.

Aun por de seres, que un día al unir sus destinos nunca imaginaron que lograrían tanto, en este extenso océano que es la vida, ellos que han sido desde mi puerto de arranque y refugio, mi viento, mi ancla y la brújula que seguir, gracias por enseñarme que lo único que puede detener a una persona es ella misma...

Santos Alvarado y Alicia Aguilar.

A esa pequeña engendra, de color moreno, que creció convirtiéndose en mi mejor amiga, mi cómplice y mi apoyo incondicional, gracias Gina R.

Después de la sección lacrimógena viene otra que no lo es tanto, y normalmente es la segunda o tercera cosa que lee uno, al ver una tesis (lo primero fue el título), *los agradecimientos*, estos como verán no serán nada formales, en parte por que lo formal normalmente elimina lo emotivo, y por lo tanto pierde un tanto la humanidad o espontaneidad, y en segundo porque yo en especial no me considero nada formal... continuando con esto hay mucha gente a quien agradecer, hace poco alguien en una platica me dijo que cada persona que pasa por nuestras vidas, nos alimenta y nos hace crecer al compartir desde una opinión hasta cosas mas profundas, entonces creo yo que tengo que agradecer a todo aquel o aquella que se haya cruzado en mi camino, y la verdad es que si pues cada día se aprende un poco mas de los demás... pero bueno también hay que agradecer personalmente a gente que no solamente paso sino que dejo algo mas ...

Al M. en C. Hector Bustos, por su gran PACIENCIA, por el apoyo en mis locuras de tesis, y la confianza que deposito en mi, al incluirme en su equipo de trabajo desde el servicio social, y en especial por su amistad. . . Muchas Gracias

Para que no digan que soy malagradecido, (y no por barbero) a los Doctores destructores (perdón!! revisores) de tesis, Dr. Victor Camacho y Dr. Reginaldo Durazo, por su apoyo y consejos (donde he leído algo así???), además de las criticas y rayones a los borradores de la tesis, ya que gracias a eso se logro un mejor trabajo.

Creo que en la dedicatoria, exprese bastante lo que podría decir a mis principales patrocinadores: Madre, Padre, gracias por todo su apoyo, y por dejarme volar, la distancia fue grande pero esa misma creo que ayudo a este logro, que no es de uno solo, sino de toda la familia,

Dicen que los amigos son la familia que uno se crea, y en esta zona del planeta donde se reúnen una serie de factores muy especiales, creo que se formo una muy especial, la cual pese a todo sigue unida por lazos realmente fuertes, carnales Julio, Fausto, y Dahan, y a mi hermana Anita. Por su apoyo incondicional y el gusto o la necesidad de involucrarse en altos vuelos, a veces con viento, sin viento y hasta contra el viento, pero siempre tras un sueño en el que creemos firmemente

Con un cariño muy especial y muy grande, a la personita que supo poner un poco de luz en este sinuoso y largo camino.... **Dennise A.**

Esto no fue trabajo de una sola persona, el resto del equipo durante la mayor parte de la carrera tienen también un agradecimiento muy especial sobretodo por haberme aguantado tanto tiempo (y eso ya es bastante), Vannesa y Gabriel,... ah!! y también a la otra parte David

A mis hermanitas de cubiculo, Grecia, y Jessica, y las que se acumulen, gracias por su amistad y confianza....

Al Dr. Eduardo Santamaria, por sus consejos y guías en la parte estadística, al decirme donde realmente la estaba regando.

Al resto de la gente (maestros, alumnos, etc.,) de la zona de cubos de Biología también otro agradecimiento por sus conocimientos compartidos dentro o fuera del salón de clases...

A la gente del área de Oceanografía Física del IIO, Chato Larios Ruben, White por sus consejos, tips y ayuda en la parte física de este trabajo....

Al final de cuentas para bien o para mal existió una generación que realmente no se la deseo a nadie (no es cierto, tal vez a mis peores enemigos si) , ya en serio, la XLIV "PIROCLASTOS" fue tal vez una de las mejores cosas, que me pasaron, en ella aprendí una cosa muy importante, podemos no estar unidos pero eso no implica que no podemos hacer algo bien, juntos.... Chofa, Paty, Gaby, Pablo, Vanne, Lesli, Gabriel, Susy, Javier, y porque no....??, Moch, Oliver, Rex, Alfred, Omarcito y los que se quedaron en el camino...

A todos los maestros que dando un poco de si dejaron alguna huella en mi, las horas de clase, las salidas al campo, los laboratorios, etc.,... la lista va desde el primer semestre con Roberto Pérez, Dieguez, Pedro B., Dora, Antonio Martínez, Luis Zamudio, Manuel Moreno, Graciela Guerra, Apango, Memo Ávila, Rafael H. Walls, Raúl Canino, Cupul, Memo Torres Moye, Oscar González Y., Oscar Delgado, B.C., hasta los profesores de los paquetes, Ley Lou, Ana María, Irma Soria, Viky, Krasovsky, Luna, Cheo, y tantos otros que aunque no mencione dejaron algo en mi formación...

Al personal del Laboratorio Analítico de MSI-UCSB, por su ayuda en el procesamiento de las muestras de nutrientes además de su amistad (Bob, Jeff & Zarina).

Un especial agradecimiento al Dr. Wallace S. Broecker por su atención a mis cartas, que sirvió para complementar esta tesis.

A la raza INSÍPIDA de México que aunque ahora ya dispersa, fueron en un principio el mejor apoyo acá en la lejanía... (Erika, Fernanda, Yazmín, Sandra, Yuri, Osvaldo, Edwin, Ale, Coco, y Ara)

A la Asociación de Salvavidas Voluntarios, por todo lo que aprendí dentro de ella y a todos los salvavidas que me toco conocer y aprender de ellos, Lobo, Mike, Victor, Foo-Kong, Carelia, Gordito, Hiroshi, Julio, Meiners, Camilo, Vanne, Pluky, Masaru, Mochis, Yan, Artemio, Gerardo, Ralph, Blanca, Laura, Andrés, Alex Carrillo, Alex Reyes , Alex Bravo, Gaby, Maza, Pedro, Ethel, Lalo, Omar Q., Shamara, Samanta, Diana, los novatos..... POR LA VIDA.

A otro patrocinador muy especial, bueno de hecho todo un conjunto, a la familia Cruz Aquino y Anexos, por su apoyo y patrocinio a lo largo de estos mas de cinco años, Doña Alejandra, Jesús, Don Luis, Edhit, Samuel.

Al resto de la Familia Alvarado Cuellar, Anexos y Conexos, y también a lo que falta de la Aguilar García, gracias por las porras, por los rezos y por el apoyo a los que se quedaron.

A las chicas lindas de Ensenada, que me brindaron su amistad, Claudia Frez, Diana, Julia, Abril, Travi, Zora, Mirna, Claudia C., Nidia

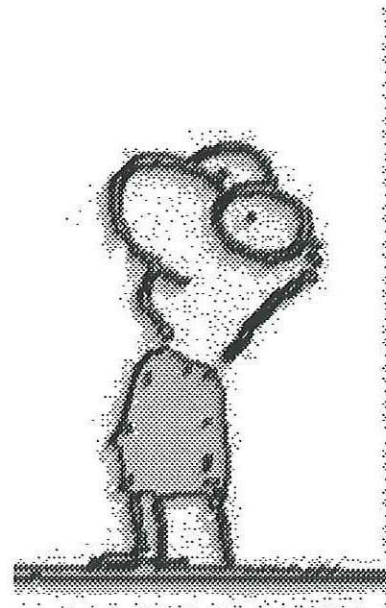
At last but not at least, en toda familia hay no solamente hermanos, también hay primos, sobrinos, cuñados, hijos de su #%\$@! mama, y agregados culturales, en esta gran casa que es para mi la facultad, creo que hice muchos lazos y la lista tal vez no sea muy grande o mi memoria no lo es tanto, así que si no te encuentras no te agüites ok??: Sonia M., Lety R., Margarita, Angélica e Ivonne, Salmenes (Chiquis, Gigi, Mariana, Aida, Jesús, Lola), Corchos (Borrego, Fersin, Tatanka, Lula), Snorquels (Neza, Ceci, Gerardo, Rana), Narwhals (Jorge, Nats, Gaby, Aaron, Vaquero, Vaca), los Guamos (Israel, Yadira, Tío, Gerardo), Los Crudaceos (Juan, Norma, Nancy, Gio, Lalo, Rinah, Yunuen), Albin, Tania C., las Sailors (Ruth, Gaby, Grisel, Miriam, Gloria), las Chokis (Lorena, Melissa, Blanca, Cynthia, Marina), Mayra, Cristina, Berta, Karel, al resto de la tropa Goofy (Alex, Giovani, Gabo, etc.), y a todos aquellos que formaron parte de este gran sueño.....

..... que no se quedo dormido en una playa.

"MAS ALLÁ ESTÁ UN MUNDO INMENSO, QUE EXISTE AL MARGEN DE NOSOTROS, LOS SERES HUMANOS, Y QUE SE NOS MUESTRA COMO UN GRANDIOSO Y ETERNO ENIGMA, AUNQUE PARCIALMENTE ACCESIBLE A NUESTRO ANÁLISIS Y ESPECULACIÓN. LA CONTEMPLACIÓN DE ESTE MUNDO NOS LLAMA COMO UNA LIBERACIÓN...

EL CAMINO HASTA ESTE PARAÍSO NO ES TAN CONFORTABLE NI TENTADOR COMO EL QUE CONDUCE AL ÉDEN RELIGIOSO, AUNQUE SE NOS HA MOSTRADO SEGURO Y DIGNO DE CONFIANZA. POR MI PARTE NO LAMENTO EN ABSOLUTO HABERLO ESCOJIDO"

Albert Einstein



ÍNDICE

	pagina
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	7
OBJETIVOS	10
DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	11
METODOLOGIA	16
RESULTADOS	18
DISCUSIONES	28
CONCLUSIONES	33
ANEXOS	
ANEXO I. OBTENCION DEL NO_x	34
ANEXO II. RESULTADOS ESTADISTICOS	36
REFERENCIAS	39

LISTA DE TABLAS

	pagina
TABLA I.- Concentración media y variacion de NOx en las masas de agua.	27
TABLA II.- Resultados de la Anova no Parametrica para el Transecto I.	37
TABLA III.- Análisis <i>a posteori</i> para el Transecto I.	37
TABLA IV.- Resultados de la Anova no Parametrica para el Transecto II.	38
TABLA V.- Análisis <i>a posteori</i> para el Transecto II.	38

LISTA DE FIGURAS.

	pagina
Figura No. 1.- Boca del Golfo de California y transectos del PESCAR7	6
Figura No. 2.- Diagramas T-S correspondientes al Transecto I.	19
Figura No. 3.- Diagramas T-S correspondientes al Transecto II.	20
Figura No. 4.- Perfiles de Salinidad (a) y Temperatura (b) para el Transecto I.	22
Figura No. 5.- Perfiles de Oxígeno (a), Nitritos + Nitratos (b) y NOx (c) para el Transecto I.	23
Figura No. 6.- Perfiles de Salinidad (a) y Temperatura (b), para el Transecto II.	25
Figura No. 7.- Perfiles de Oxígeno (a), Nitritos + Nitratos (b) y NOx (c) para el Transecto II.	26

INTRODUCCIÓN

1.1 Nutrientes en el Agua de Mar

Los nutrientes inorgánicos disueltos (fósforo, nitrógeno y sílice) son una de las principales variables estudiadas en el medio ambiente marino, debido a que son requerimientos esenciales para el desarrollo de la producción orgánica primaria (Loomis, 1960; Fogg, 1968; Cacho-Lopez, 1992). El crecimiento de organismos en el mar se debe en gran parte a los nutrientes esenciales como son nitratos, silicatos y fosfatos (Neshyba, 1987). La principal fuente externa de estos nutrientes al océano son los aportes de ríos. (Dugdale, 1976).

Las transformaciones (procesos de oxidación y reducción) de nutrientes ocurren en el orden de horas o días (Nixon, 1981). Sin embargo de acuerdo con Lewis y Platt (1982), las variaciones estacionales, están determinadas principalmente por la magnitud de los procesos biológicos (asimilación), físicos (cambios estacionales de temperatura) y químicos (procesos de oxidación de material orgánico).

La importancia de estudiar los nutrientes se debe a que los fosfatos y nitratos disueltos en el agua de mar son la principal fuente alimenticia del fitoplanctón, que es la base de la cadena trófica en el medio ambiente marino, además de que al determinar su distribución en las masas de agua se puede observar, describir y comprender el comportamiento de los organismos (Cacho-López, 1992)

Los nutrientes presentes en el agua de mar pueden dividirse en dos fracciones: nutrientes de origen oxidativo, que han sido regenerados de la materia orgánica y nutrientes preformados, los cuales son de origen inorgánico, y están presentes en las

masas de agua desde su formación o en determinados casos desde su afloramiento a la superficie. (Redfield *et al.*, 1963; Dugdale, 1976).

Los nutrientes preformados proporcionan una idea de las condiciones que influyeron en la superficie del mar, en el momento de la formación de las masas de agua. En contraste la utilización aparente de oxígeno (UAO), o su equivalente en nutrientes, provee una medida del efecto de la actividad biológica en la composición del agua de mar (Redfield *et al.*, 1963).

La concentración de los nutrientes preformados puede ser calculada con la UAO y las concentraciones totales del nutriente en una masa de agua. Si las condiciones ambientales del sitio de formación de la masa de agua no varían, la concentración de nutriente preformado puede ser un valor constante, característico de la masa de agua. La concentración calculada puede ser utilizada como un marcador conservativo en el movimiento de las masas de agua. Se ha observado que cuando las masas de agua estudiadas tienen una diferencia muy marcada entre las concentraciones del nutriente preformado será posible seguirlas y distinguirlas por largas distancias (Libes, 1992).

Existe una relación entre las concentraciones de oxígeno disuelto, bióxido de carbono, nitrato y fosfato en el agua de mar, basado en la composición promedio de plancton. Esta relación predice que la razón de oxígeno consumido a producción de nutrientes por oxidación biológica es constante y puede ser representada por la ecuación :



donde $(\text{CH}_2\text{O})_{106}(\text{NH}_3)_{16}\text{H}_3\text{PO}_4$ es una molécula orgánica hipotética promedio, que contiene carbono, nitrógeno y fósforo en la proporción que ocurre en el plancton. Esta ecuación predice que al consumirse 276 átomos de oxígeno disuelto en el agua de mar se producen 106 carbonos, 16 nitrógenos y 1 átomo de fósforo (Redfield, 1934).

En base a los conceptos de nutriente preformado y en la relación de Redfield (1934), Broecker (1974), propone combinarlos por vía matemática, para eliminar el consumo de los nutrientes y de oxígeno, al grado de obtener un índice de tipo conservativo, que pueda ser usado para el seguimiento de las masas de agua. Por resultados de estudios anteriores Broecker propuso que por cada mol de oxígeno molecular consumido, aproximadamente un noveno de los enlaces de nitrógeno es pasado a ion nitrato, por lo que la suma de $9[\text{NO}_3] + [\text{O}_2]$, proporciona el índice de tipo conservativo buscado, que para efectos de identificación en este trabajo será llamado "NOx" (Anexo 1).

1.2 Masas de Agua

El estudio de las masas de agua es de gran importancia para la Oceanografía ya que, además de generar conocimientos para ayudar a entender la dinámica del océano, proporciona bases para establecer la síntesis sobre los movimientos del agua de mar y todo lo que esto involucra

Cada masa de agua puede ser definida por su temperatura y su salinidad, parámetros que tradicionalmente se ha usado como marcadores. También es posible

identificarlas por sus características químicas y biológicas, por ejemplo, el contenido de oxígeno disuelto o la presencia de ciertas comunidades de organismos (en aguas superficiales). En fechas recientes isótopos como el tritio, el carbono 14 y en algunos casos los clorofluorocarbonos han sido usados con este fin (Dahlgaard, 1995; Bailly, 1996; Bergsten *et al.*, 1996;). El uso de nutrientes para identificar y seguir masas de agua, es aplicable debido a las facilidades de medición con las que actualmente se cuenta, como son los sistemas de flujo continuo, que proporcionan datos muy precisos en tiempo muy corto.

1.3 Planteamiento del Problema

El conocimiento de la tasa de cambio de las propiedades físicas y químicas que se dan en el Golfo, es importante para los estudios de explotación y conservación de sus recursos naturales. Desde los primeros exploradores en el siglo XVI, se ha mencionado que existe alta productividad en el Golfo de California. Sin embargo, se está lejos de conocer con detalle la variación en concentraciones de nutrientes, tanto en espacio como en tiempo (Alvarez-Borrego *et al.*, 1978).

El Golfo de California es un área subtropical con tasas excepcionalmente altas de productividad orgánica primaria, comparables con aquellas de las localidades donde se presentan surgencias (Alvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991; Bustos-Serrano *et al.*, 1996). Zeitzchel (1969) explica que la tasa media de productividad en el Golfo ($0.382 \text{ gC m}^{-2}\text{d}^{-1}$) es comparable con la de otras regiones, como lo es la Bahía de Bengala ($0.406 \text{ g C m}^{-2}\text{d}^{-1}$) en la India, las áreas de surgencia frente a la costa occidental de Baja California ($0.140 \text{ g C m}^{-2}\text{d}^{-1}$ - $0.988 \text{ g C m}^{-2}\text{d}^{-1}$) y frente al noroeste de África. ($0.609 \text{ g C m}^{-2}\text{d}^{-1}$).

La región sur del Golfo presenta notables variaciones en la distribución de las propiedades fisicoquímicas por estar situada en una zona transicional en el Océano Pacífico. Ahí ocurre la unión del agua de origen subártico con aguas cálidas de la región ecuatorial, sin que se observen fronteras bien definidas entre ellas (Alvarez-Sanchez *et al.*, 1978). Una buena estimación del transporte de masas de agua hacia adentro y hacia afuera, permitirá cuantificar la variación de propiedades dentro del Golfo, así como la interacción de las diferentes masas de agua que se presentan en su entrada. El conocimiento anterior y su variación estacional es primordial para realizar cálculos del flujo de nutrientes y consecuentemente, para la productividad del Golfo (Ruiz-Loya, 1994), esto último debido a que al conocer como varía la distribución de los nutrientes será posible asociarlo con la productividad primaria y esta con pesquerías.

En agosto de 1995 se realizó el crucero número siete de la serie "Pegasus in the Sea of Cortes Area" (PESCAR7), en el cual se llevaron a cabo tres transectos en la región de la boca del Golfo de California (Fig. 1). En este crucero se logró cubrir una malla que abarcó desde la superficie hasta fondo, con lo que se obtuvieron datos de la mayor parte de las masas de agua presentes en la zona. Como se mencionó con anterioridad si se logra un cálculo del flujo de nutrientes en la boca del golfo se podrá inferir datos de productividad en el Golfo y su zona adyacente, además de que estos pueden ser aplicados para otros estudios de tipo biológico como son pesquerías o distribución de especies. El presente trabajo contempla utilizar el conjunto de datos generados, para trazar por medio de diagramas T-S y caracterizar por nutrientes, las masas de agua que se ubican en la boca del Golfo de California

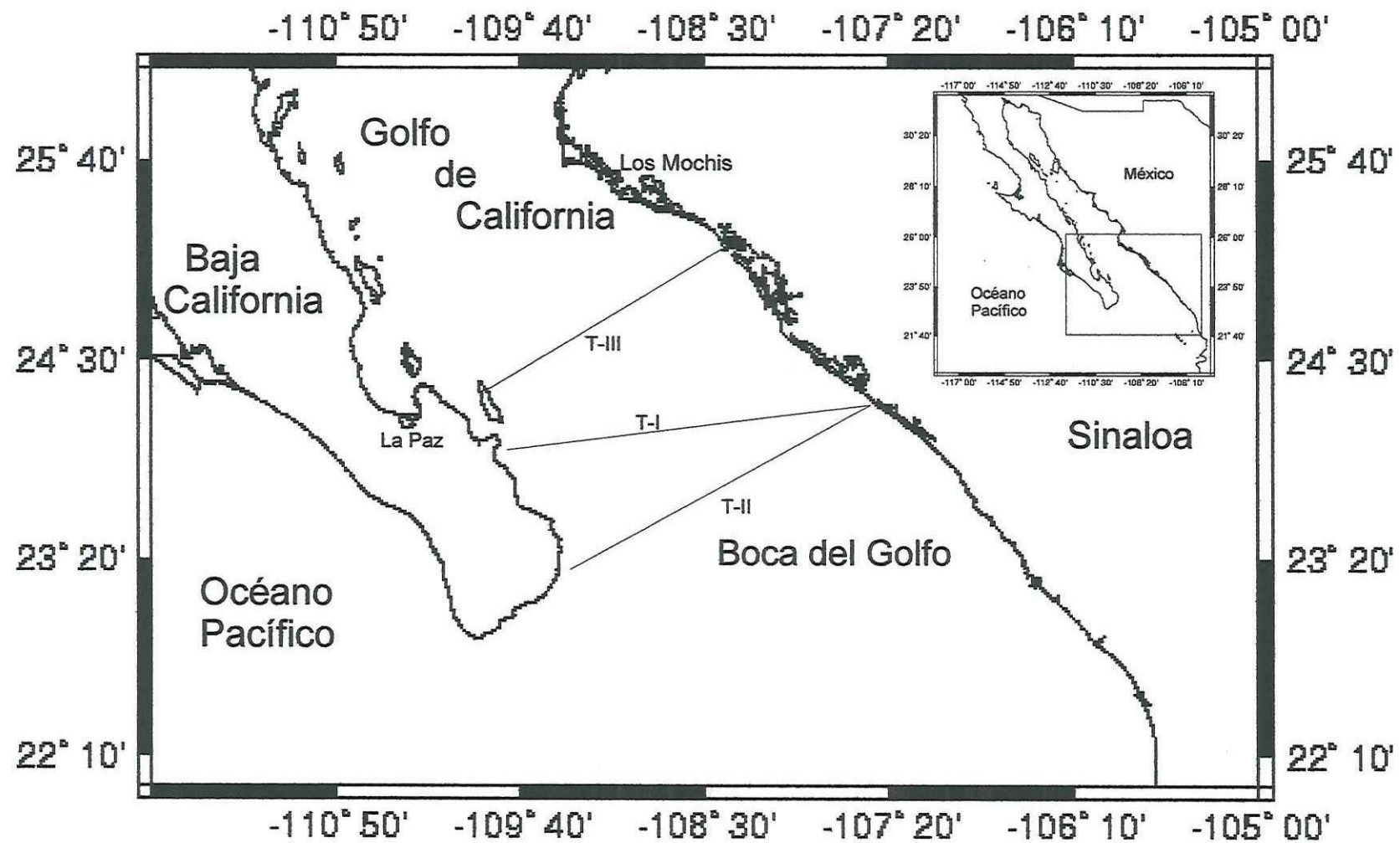


Figura 1. Boca del Golfo de California. Ubicación de los transectos del PESCAR 7

Antecedentes

En la zona de la boca del Golfo de California los estudios que se han realizado son enfocados principalmente al estudio de la circulación en la entrada así como a los flujos de calor en la interface aire-mar, masas de agua, y salinidad, que se dan en esta zona. Los primeros estudios datan desde hace más de 20 años.

Roden y Groves en 1959 estimaron el intercambio geostrófico de agua entre el Océano Pacífico y el Golfo, obteniendo valores cercanos a un Sverdrup (Sv). Por su parte Warsh y Warsh en 1971, en la misma zona determinaron valores entre 1.4 y 3.6 Sv de intercambio de agua. Griffiths (1968) describió tres masas de agua superficiales, que son básicamente las aguas provenientes de la corriente de California, del Pacífico Tropical y el agua del Golfo. Castro *et al.* (1994) calcularon el flujo neto de calor nivel superficial entre la atmósfera y el Golfo, en aproximadamente 118 W m^{-2} . Además describieron el flujo de calor en la boca del Golfo, en el cual la entrada de calor por parte del Océano Pacífico ocurre de marzo a junio y en dirección contraria el resto del año. En cuanto circulación superficial Alvarez-Sanchez *et al.*, (1978) describen un patrón de tipo estacional, en el cual es ciclónica en verano y anticiclónica en invierno.

Referente a estudios químicos o biológicos, los más comunes son de productividad, sobre todo en la capa superficial. La mayoría de los estudios se dan en la parte central y norte del Golfo. Zeitschel (1969) fue el primero en describir productividad en la entrada del Golfo reportando niveles similares a la encontrada en áreas de alta productividad como son las de surgencia de Baja California, o el Golfo de Bengala en la

India. Gilmartin y Relevante (1978), reportaron que en la parte sur del Golfo los valores en aguas oceánicas son 10 veces menores que en las estaciones costeras.

Valdez-Holguín y Lara-Lara (1987) compararon las condiciones de productividad durante las primaveras de 1983 y 1984 con la ocurrencia del evento de "El Niño", y los valores de productividad fueron ligeramente mayores en 1983 que en 1984. En los estudios de nutrientes.

Alvarez-Borrego *et al.*, (1978), estudian un transecto longitudinal al Golfo en el cual describen la distribución desde superficie hasta el fondo de nitritos, fosfatos, silicatos y oxígeno, y mencionan una variación estacional en la parte sur del Golfo en los 300 m superficiales.

Warsh *et al.* (1973) hacen un estudio similar al anterior pero a lo ancho de la entrada del Golfo y únicamente para silicatos y fosfatos, además identificaron las masas de agua en base a las relaciones de fosfatos y salinidad. Encontraron e identificaron cinco masas de agua las cuales nombran como Agua Superficial del Golfo, Agua Transicional A y B, Agua del Golfo y Agua del Pacífico Ecuatorial. En estas masas de agua la concentración de fosfatos va desde cero en el Agua de la Superficie del Golfo, hasta mayores de 2.6 $\mu\text{g átomo/L}$ en el Agua del Pacífico Ecuatorial. Warsh y colaboradores, son los primeros en diferenciar masas de agua por sus concentraciones de nutrientes.

En los estudios de seguimiento de masas de agua, se reporta a Warsh (1973) en el Golfo de California y Broecker (1974) en el Atlántico. Broecker usó las concentraciones de nitratos y oxígeno y propuso un índice para seguir las masas presentes a lo largo de

este océano. Este índice fue probado en los datos provenientes de la expedición Geosecs que abarcó toda la cuenca Atlántica. Los resultados mostraron que los valores del índice variaron desde 420 $\mu\text{m/kg}$ a 520 $\mu\text{m/kg}$ para aguas profundas (Agua Profunda del Atlántico Norte, y Agua Antártica de Fondo). Broecker logra hacer el seguimiento de las masas de agua del Atlántico, con sus mejores resultados en las masas de agua profundas o de fondo. El reporte más reciente de este método de identificación por nutrientes es de McGill y Rodríguez-de-León (1983), ellos trabajaron en el Mediterráneo, e identificaron las masas de agua presentes en esta cuenca con especial interés en la masa de agua que sale del Mediterráneo hacia el Atlántico. En la zona del Océano Pacífico no se han realizado estudios de este tipo, por lo que este trabajo representa un trabajo pionero en el intento por identificar masas de agua con índices semiconservativos.

OBJETIVOS

- Identificar las masas de agua presentes en la boca del Golfo de California durante agosto de 1995, por medio de la utilización de diagramas T-S.

- Caracterizar cada masa de agua presente en la boca del Golfo de California en base a la concentración de NOx.

MATERIALES Y METODOS

Descripción del Área de Estudio.

El Golfo de California es uno de los mares marginales del Océano Pacífico Nororiental. Está situado en la costa oeste de México entre la árida y montañosa península de Baja California en la parte oeste, y los también áridos estados de Sonora y Sinaloa en el este. Las dimensiones del Golfo son de un promedio de 150 km. de ancho aproximadamente, con su parte más estrecha cerca de la Isla Tiburón, y su parte más amplia en la zona de la boca, en la latitud 23° N. Su longitud aproximada es de 1400 km., con una superficie total de 210,000 km² (Roden, 1958).

El Golfo de California se divide por su batimetría, en secciones claramente diferenciadas, norte y sur; la parte norte posee profundidades promedio de 200 m y la sur alcanza profundidades mayores a 2000 m. Estas dos regiones se dividen por umbral de la Cuenca Salsipuedes o Canal de Ballenas y la cadena de islas formadas por Isla Tiburón, Isla San Esteban, e Islas Ángel de la Guarda y San Lorenzo (Alvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991; Torres-Orozco, 1993). La región sur tiene comunicación abierta con el Océano Pacífico, a esta zona se le conoce como boca del Golfo (fig. 1).

Las montañas peninsulares separan al Golfo de la influencia moderadora del Océano Pacífico, por lo que su clima es cálido y árido, más típico de regiones desérticas que el de la costa oeste de Baja California; sus condiciones son un tanto más tropicales durante el verano cuando los vientos prevalecientes introducen aire húmedo del sur (Torres-Orozco, 1993).

Comparado con las temperaturas superficiales de latitudes similares en el Pacífico, las temperaturas en el Golfo son más cálidas de Abril a Septiembre y son similares el resto del año. El intervalo anual es amplio y es de 9°C en la boca hasta 22°C en la cabeza (Alvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991).

Los intensos forzamientos por mareas, vientos, calentamiento solar y las interacciones con el Océano Pacífico, crean una circulación vigorosa. La primera descripción de la circulación superficial en la parte sur del Golfo es trazada con cartas de temperatura construidas a partir de datos tomados de bitácoras de barcos, se encontró una circulación ciclónica con transporte superficial neto en la dirección de los vientos estacionales, además de temperaturas bajas en la costa este durante el invierno relacionadas a surgencias por vientos del NW (Thorade, 1909; Roden, 1958). Esta circulación ciclónica también ha sido observada a fines de verano a partir de datos hidrográficos, con agua de baja salinidad que fluye hacia el interior sobre la costa este del Golfo y agua de alta salinidad que lo hace hacia el sur a lo largo de la península a 50 m. de profundidad (Roden y Groves, 1959). Bray (1988b) estudia la distribución de corrientes geostrofas, y concluye que el flujo baroclinico de salida ocurre en la costa oeste del Golfo entre los cero a 250 metros, y el flujo baroclinico de entrada se da principalmente en la parte central del Golfo, entre los 250 a 500 metros de profundidad. En términos generales, la circulación superficial del Golfo de California se caracteriza por flujos hacia el sur en invierno y hacia el norte en verano (Torres-Orozco, 1993).

Gilbert y Allen (1943) postularon que la circulación general del agua en el Golfo, se caracteriza por un afluente de agua profunda y un efluente de agua superficial. Este modelo implica un afluente neto de nutrientes inorgánicos del Océano Pacífico hacia el Golfo durante el invierno y la primavera (Alvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991).

En el Golfo de California están presentes diversas masas de agua. Sin embargo, la distinción entre estas no es sencilla en todos los casos, particularmente para las masa de agua en la capa superficial (~200 m). Esto último obedece a que diferentes autores han asignado nomenclatura distinta y aún distintos intervalos T-S a una misma masa de agua, así como a efectos de procesos locales como mezcla aislamiento, y evaporación (comunes en el Golfo de California) que modifican sus características distintivas (Torres-Orozco, 1993).

En la boca del Golfo se distinguen tres masas de agua superficiales (Roden y Groves, 1959; Wyrtsky, 1967): Agua de la Corriente de California (ACC), Agua Superficial del Pacífico Tropical Oriental (AST), y Agua del Golfo de California (AGC). Debajo estas se han encontrado: Agua Subsuperficial Subtropical (ASsSt), Agua Intermedia del Pacífico (AIP) y Agua Profunda del Pacífico (APP) (Wyrtsky, 1967).

La presencia del ACC en la boca se denota por un núcleo de agua de baja salinidad (34.6 ups) y baja temperatura. (Alvarez-Sánchez, *et al.*, 1978). Roden y Groves (1959) mencionan que la contribución de esta masa de agua al Golfo es pequeña. En cuanto a el AST, Alvarez-Borrego y Schwartzlose (1979) mencionan que en invierno y primavera es posible encontrarla en la boca del Golfo, pero el resto del año invade

prácticamente hasta la parte sur de las islas Tiburón y Ángel de la Guarda, esta masa se caracteriza por tener una salinidad de 34.65 a 34.85 ups.

El ASsSt, se encuentra entre los 50 y 150 metros de profundidad, como un máximo de salinidad supsuperficial de 34.8 ups (Alvarez-Borrego y Schwartzlose, 1979). La presencia de ASsSt se da hasta la región central del Golfo durante todo el año (Robles y Marinone, 1987).

El AGC es identificada por su salinidad mayor a 34.9 o según algunos autores por ser mayor o igual a 35 (Alvarez-Sanchez *et al.*, 1978; Alvarez -Borrego y Schwartzlose, 1979; Lara-Lara, 1991; Wyrski, 1967; Bray, 1988). Alvarez-Sanchez *et al.* (1978) la localizan entre la superficie hasta los 150 metros de profundidad en la boca del Golfo.

El AIP es localizada entre los 600 y 900 metros, con un mínimo de salinidad de 34.5 ups (Wyrski, 1967; Robles y Marinone, 1987). Se ha detectado desde la boca del Golfo hasta la cuenca de Guaymas. Fuera del Golfo es encontrada hasta la zona de la convergencia subtropical (20° - 23°N).

Por debajo del AIP se encuentra el APP que se distingue por un ligero incremento de la salinidad con la profundidad (Alvarez-Borrego y Schwartzlose, 1979; Alvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991). Las características de ésta masa son una temperatura promedio de 1.3°C y una salinidad promedio de 34.67 (Kin'dyushev, 1968).

Torres-Orozco (1993), realiza un estudio en el cual caracteriza las masas de agua no solo por su salinidad, sino que asigna intervalos dentro del diagrama T-S, lo cual

facilita mejor la identificación de las mismas. Por otra parte realiza el análisis volumétrico de las masas de agua en el Golfo, donde menciona que poco más del 70 % del volumen total es ocupado por las masas de AIP y APP con 33% y 41% respectivamente, el 19% por ASsSt, el 6 % por AGC y el Agua Superficial Ecuatorial (ASE) tan solo con 1%.

El Golfo de California es un mar marginal de Océano Pacífico, ubicado en una zona transicional en donde se da la unión de masas de agua provenientes de las zonas ártica y subtropical. Posee una activa circulación debida principalmente a mareas, vientos e interacciones con el Océano Pacífico, por lo que se da un intercambio continuo de masas de agua que entran y salen del Golfo. En la zona de la boca del Golfo, se han descrito seis masas de agua, las cuales están presentes en mayor o menor proporción durante todo el año. Presenta eventos de surgencia, en la costa este durante el invierno y primavera por vientos provenientes del noroeste. En la costa oeste las surgencias se dan durante el verano debidas a vientos del sureste.

Metodología.

Del 12 al 15 y del 20 al 21 de agosto de 1995 se realizaron tres transectos a lo ancho de la boca del Golfo abordo del Barco Oceanográfico "El Puma", donde se realizaron mediciones *in situ* y abordo de temperatura, salinidad, oxígeno, pH. Asimismo en un total de 50 estaciones hidrológicas en las cuales se muestreo desde superficie hasta 30 metros antes del fondo se colectaron muestras para el análisis posterior de pigmentos fotosintéticos y nutrientes,. En todas las estaciones hidrológicas se midió, temperatura y salinidad, utilizando CTD (SBE-911), calibrado por la Cia. Sea Bird Electronics en abril de 1995, con sensores de temperatura (SBE3-01/F) y conductividad (SBE 4-01), con una resolución de 0.0003°C y 0.0004 S/m respectivamente, además de una exactitud de 0.01°C/seis meses y 0.001 S/m/mes, (para mayor información acerca de la calibración y el manejo de los datos obtenidos por este medio consultar Blanco-Betancourt *et al.*, 1995). Se tomaron muestras puntuales de agua a cinco profundidades diferentes, por medio de botellas Niskin de cinco litros de capacidad para el análisis abordo de oxígeno por método Winkler (Strickland y Parsons, 1972) con una precisión de 0.01 mL/L y pH por medio un potenciómetro Orion 720A con electrodo Orion tipo Ross calibrado con amortiguadores Tris-marinos de pH = 8.875 y pH = 7.458 (Smith y Hood, 1964) con una precisión de 0.01.

Los análisis de nutrientes se llevaron a cabo por medio de un sistema de inyección de flujo continuo (Johnson *et al.*, 1985). El sistema empleado fue un Lachat Instruments QuikChem 8000, del Laboratorio Analítico del Instituto de Ciencias Marinas de la Universidad de California en Santa Barbara (MSI - UCSB) con una precisión de 0.001 μM y un error de 1%.

Con los datos de temperatura, salinidad, oxígeno y nutrientes de dos transectos, se identificó cada masa de agua por medio de diagramas T-S. Posteriormente, se caracterizó cada masa de agua utilizando las fórmulas propuestas por Broecker (1974). En estas se parte de la base que por cada cambio en la concentración de oxígeno, una novena parte de los enlaces de nitrógeno pasan a ion nitrato. Ver Anexo I.

La concentración de ion nitrato preformado esta dada por:

$$[\text{NO}_3^-]_{\text{preformado}} = [\text{NO}_3^-]_{\text{medido}} - 1/9 \text{ UAO}$$

$$\text{UAO} = [\text{O}_2]_{\text{esperado}} - [\text{O}_2]_{\text{medido}} .$$

Substituyendo estos términos en la ecuación original (ver anexo 1) y reacomodando se tiene que:

$$\text{NOx} = 9[\text{NO}_3^-]_{\text{medido}} + [\text{O}_2]_{\text{medido}} = 9[\text{NO}_3^-]_{\text{preformado}} + [\text{O}_2]_{\text{esperado}}$$

obteniéndose un índice de tipo semiconservativo (NOx), que fue utilizado para identificar o distinguir las masas de agua.

Para corroborar la separación de masas de agua por NOx se llevo a cabo un "Análisis de Varianza", que debido a la insuficiente cantidad de datos, tuvo que ser de tipo No Paramétrico por lo que se aplico un análisis Kruskal-Wallis, y una prueba *a posteori* de Comparación Múltiple No Paramétrica. La primera prueba fue realizada en el paquete estadístico Statistica for Windows versión 4.2, y la segunda en forma manual como lo describe Zar (1974). Ver anexo II.

RESULTADOS

Las masas de agua presentes en los transectos fueron identificadas por medio de los diagramas de temperatura-salinidad utilizando el criterio establecido por Torres-Orozco (1993) (Fig. 2 y 3).

Los diagramas T-S obtenidos a partir de los datos del transecto I (Fig. 2a), denotan la presencia de cinco masas diferentes que son ASE, ASsSt, AIP, AGC, y ACC. En la figura 2b se observan las estaciones de las cuales se tiene información de nutrientes y oxígeno, estas provienen básicamente de tres masas de agua, la cuales son AIP, ASsSt, y ASE, la mayor parte de los datos son de las dos primeras masas. Este primer transecto es el que posee menor número de muestras, de nutrientes y oxígeno y estas están distribuidas principalmente en las orillas del Golfo y hasta una profundidad de 1000 metros.

El diagrama T-S para el transecto II (Fig. 3a), indica la presencia de seis masas de agua, ACC y AGC, ASE, ASsSt, AIP y APP. En la figura 3b, se muestran los puntos en los cuales se tienen datos de nutrientes y oxígeno, en este caso los datos provienen de cuatro masas bien diferenciadas. Este transecto es el más completo tanto en lecturas de temperatura y salinidad como de oxígeno y nutrientes, además de poseer los lances más profundos. Es de hecho el transecto sobre el cual se obtuvieron los mejores resultados, en las estimaciones de NOx.

El transecto I tiene un menor número de datos provenientes de las muestras de agua obtenidas por botella, pero aun así se obtuvieron mediciones suficientes para la

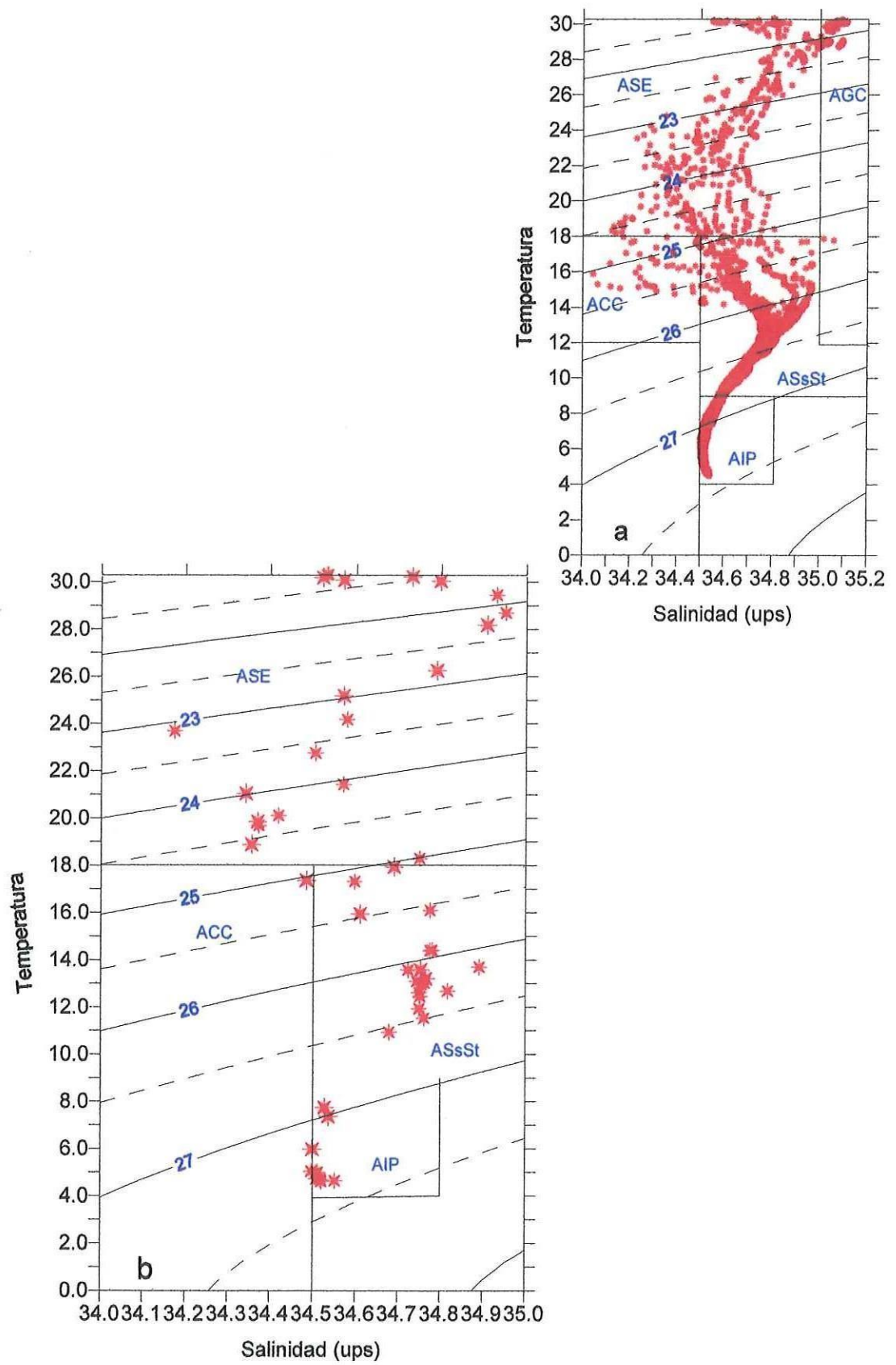


Figura 2. Diagramas T-S. Transecto I.

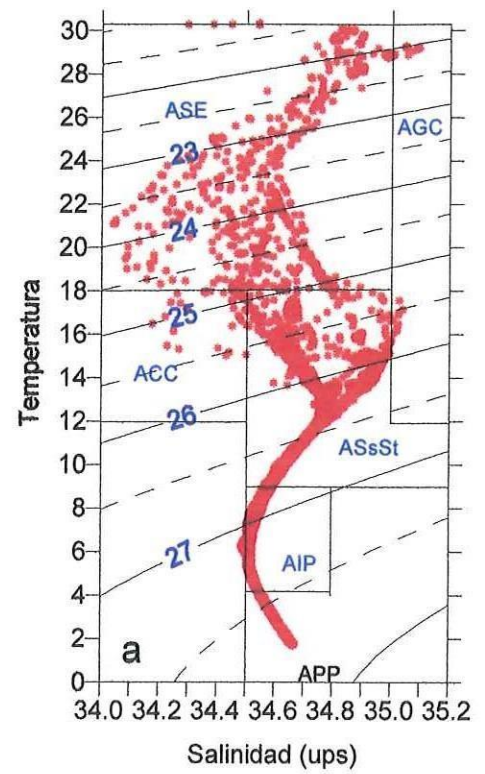
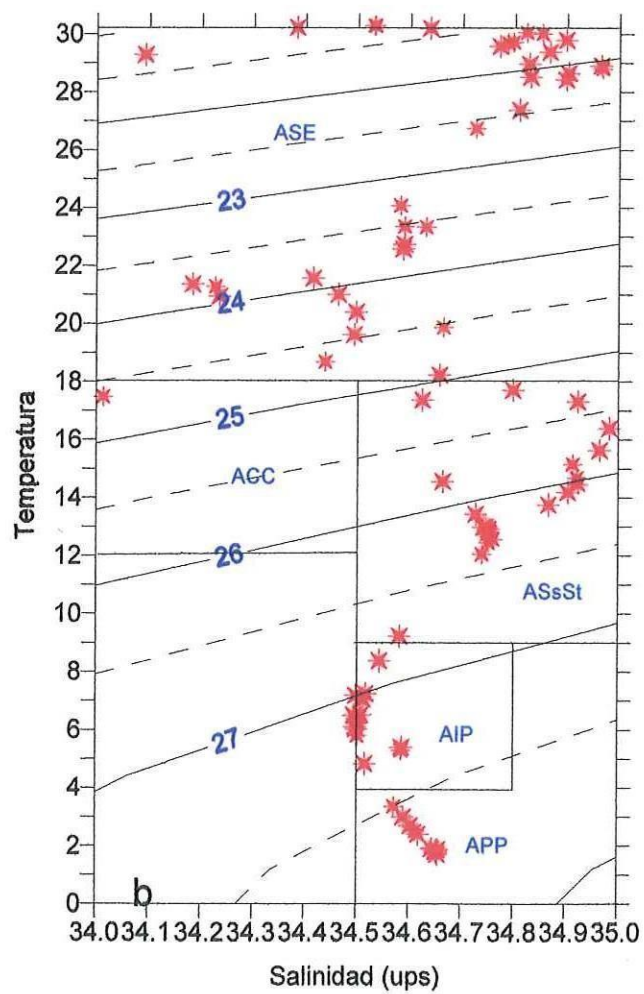


Figura 3. Diagramas T-S. Transecto II.

realización de gráficos con las distribuciones verticales de oxígeno, nitratos más nitritos, temperatura y salinidad (Fig. 4 y 5). En lo que se refiere a temperatura (Fig. 4a), se observa un comportamiento continuo hacia profundidad sin cambios bruscos, con ligeras ondulaciones a lo largo de todo el transecto y hacia profundidad. Se observa un comportamiento en superficie similar a una surgencia pegada a la costa de Baja California, proveniente de entre los 25 a 50 metros, esta también se observa en los diagramas de salinidad. El agua de mayor temperatura (30°C) se encuentra en un núcleo cercano a la costa de Sinaloa en la superficie. En la gráfica de salinidad (Fig. 4b) se observa que los dos lados del Golfo presentan mediciones muy similares (34.5). En la parte central se encuentran las concentraciones mas altas con mediciones que van desde 34.7 hasta 35. Se tienen tres núcleos de baja salinidad, de menos de 34.5, que se encuentran entre los 40 y 70 m distribuidos, a lo largo del transecto, con uno de los núcleos pegado al lado de Sinaloa. Estos núcleos pueden ser por sus características de salinidad y temperatura de ACC. La máxima salinidad, se encuentra, en superficie en un núcleo cercano a Sinaloa y que coincide con el máximo de temperatura, por lo que pudiera ser AGC .

La distribución de oxígeno (Fig. 5a), presenta valores de 6 mL/L en superficie hasta menos de 1 mL/L de los 100 metros hacia el fondo. En la gráfica se observa una intrusión de una masa de agua de concentración que va de 1 a 1.5 mL/L, bajando de los 100 a los 150 m, justamente a la mitad del Golfo. En lo que respecta a nitratos más nitritos (Fig. 5b), los valores más altos se dan hacia el fondo del lado de Sinaloa, mientras que las concentraciones más bajas se ubican del lado de Baja California tanto en superficie como en fondo. El índice NO_x (Fig. 5c) presenta sus valores máximos del lado de Baja California en superficie pero también de ese mismo lado se ven los mínimos al pasar de los 100 metros, mientras que del lado de Sinaloa se observa una distribución

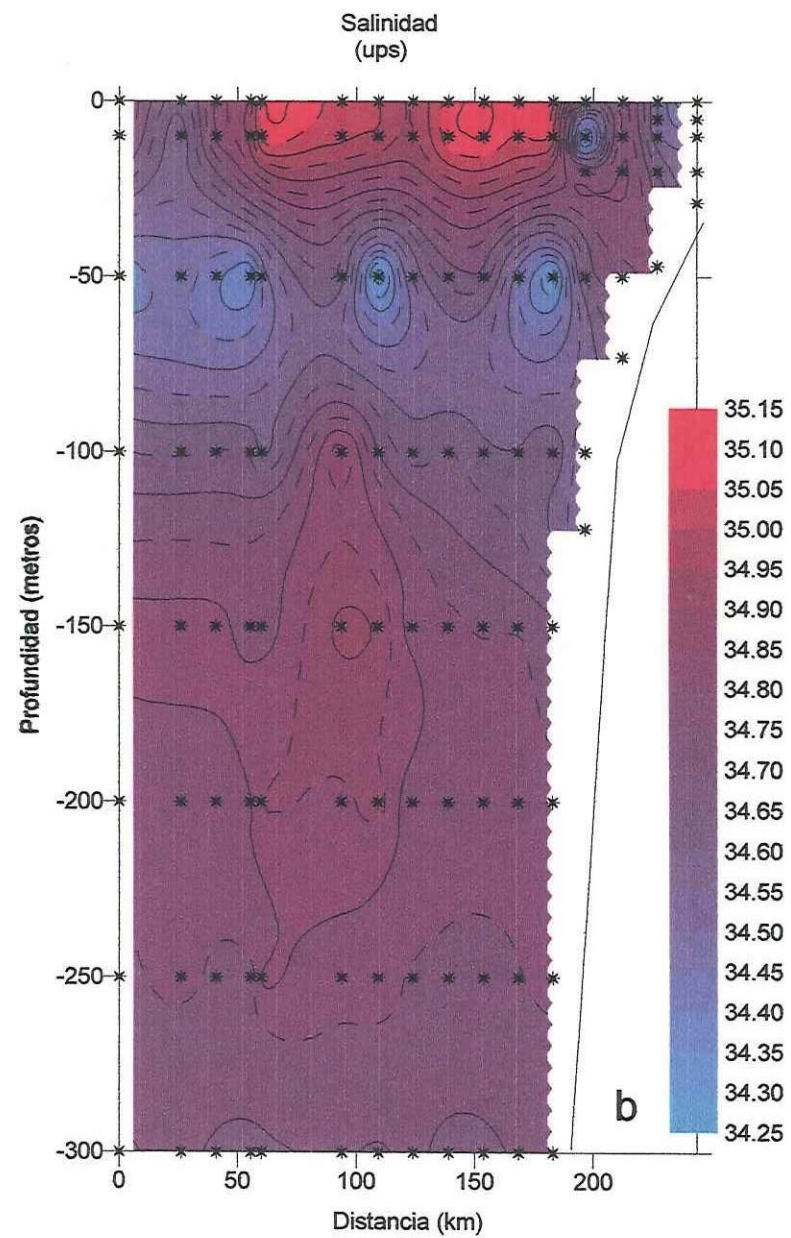
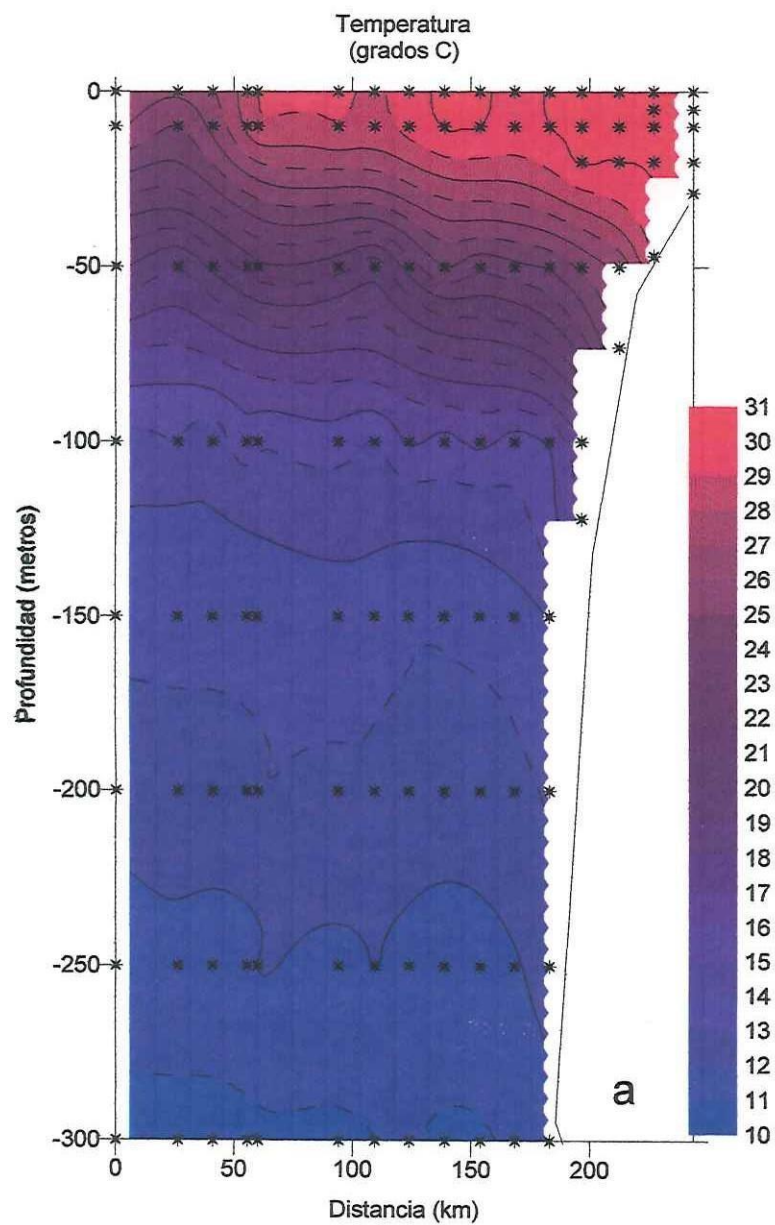


Figura 4
Perfiles de Salinidad y Temperatura
Transecto I.

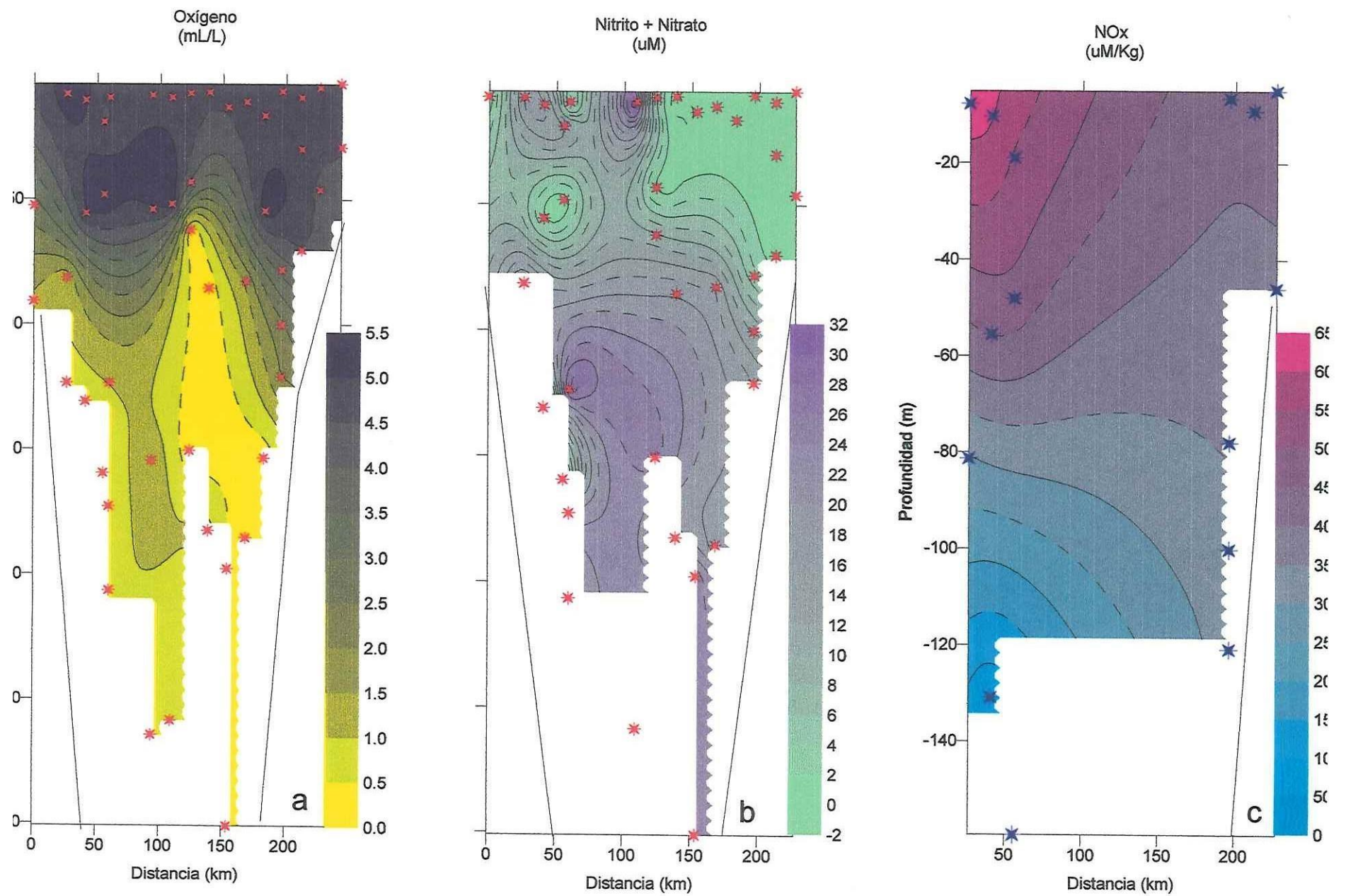


Figura 5. Perfiles de Nitratos + Nitritos, Oxígeno y NOx del transecto I.

homogénea que en la cual disminuye la concentración conforme aumenta la profundidad; los valores van desde 55 $\mu\text{m/kg}$. hasta extremos de 626 $\mu\text{m/k}$.

La distribución transversal de temperatura en el transecto II (Fig. 6a) muestra una surgencia somera (menos de 50 m) del lado de la península. Las temperaturas máximas ($>30^{\circ}\text{C}$) se encuentran del lado de Sinaloa. Por parte de la salinidad (Fig. 6b), se observa un núcleo de alta concentración (34.9) a una profundidad de entre los 100 a 200 metros. La surgencia en este caso también es notoria al observarse las isopícnas ascender desde profundidades cercanas a los 50 m. Se presenta una franja de menor concentración (< 34.5) que recorre todo el golfo y sube a superficie en la zona de surgencia.

La distribución de oxígeno (Fig. 7a) presenta una distribución vertical típica, los valores máximos de concentración se dan en el lado de Sinaloa, y los mínimos entre los 500 y 1000 metros. Observaciones más profundas que no se muestran aquí indicaron que la concentración de oxígeno aumenta a partir de los 1500 m. hasta concentraciones mayores de 3 mL/L en el fondo. La distribución de nitritos más nitratos (Fig. 7b), tiene sus valores máximos en la zona donde el oxígeno es mínimo (de los 500 a 1500 m. de profundidad) y disminuye hacia fondo y superficie. En superficie se observa el mínimo de nitrito más nitratos del lado de Sinaloa. En lo que respecta al NO_x (Fig. 7c), presenta un comportamiento variable al poseer núcleos de baja concentración y otros de alta, muy cercanos entre sí. Las más bajas concentraciones se encuentran regularmente en la superficie. Uno de los núcleos de mas alta concentración se ubica donde se dieron los mínimos de oxígeno y los máximos de nitrito más nitratos (500 a 1500 metros). Los valores observados van desde 112 $\mu\text{m/kg}$. hasta 635 $\mu\text{m/kg}$.

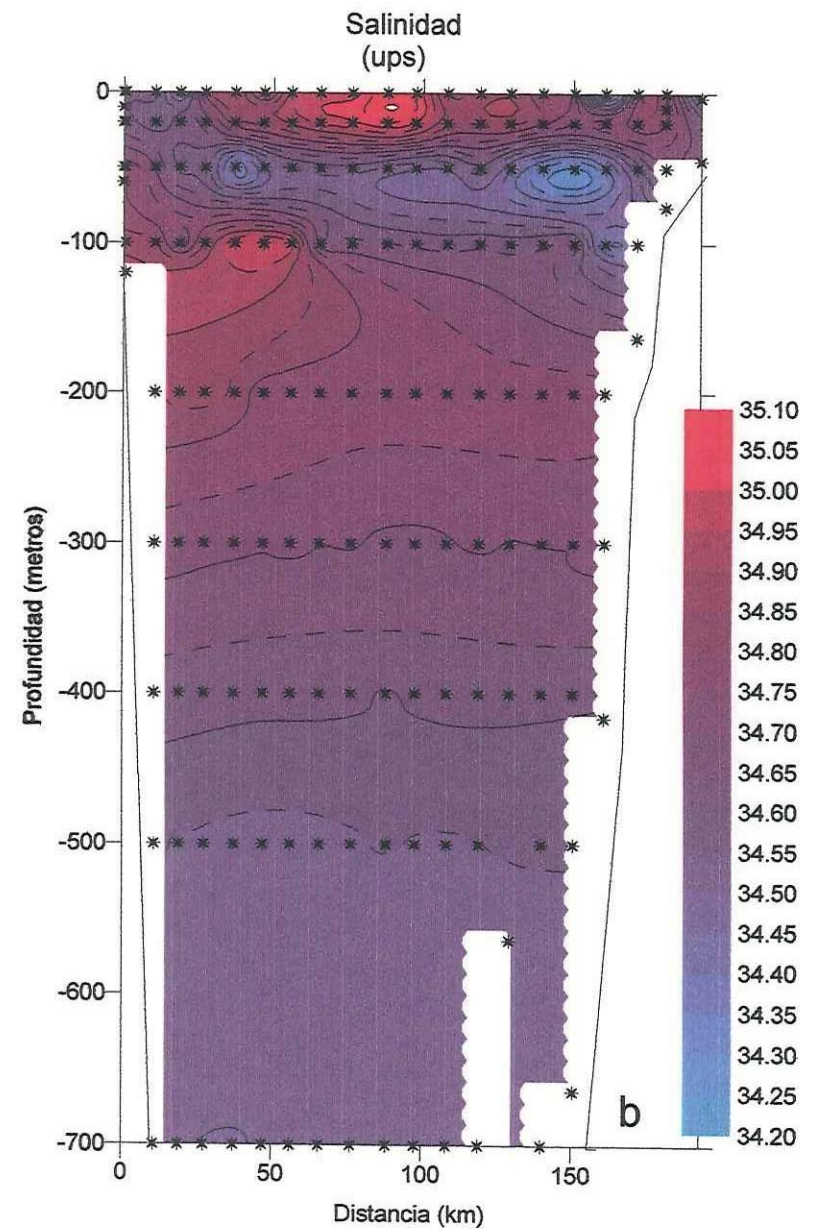
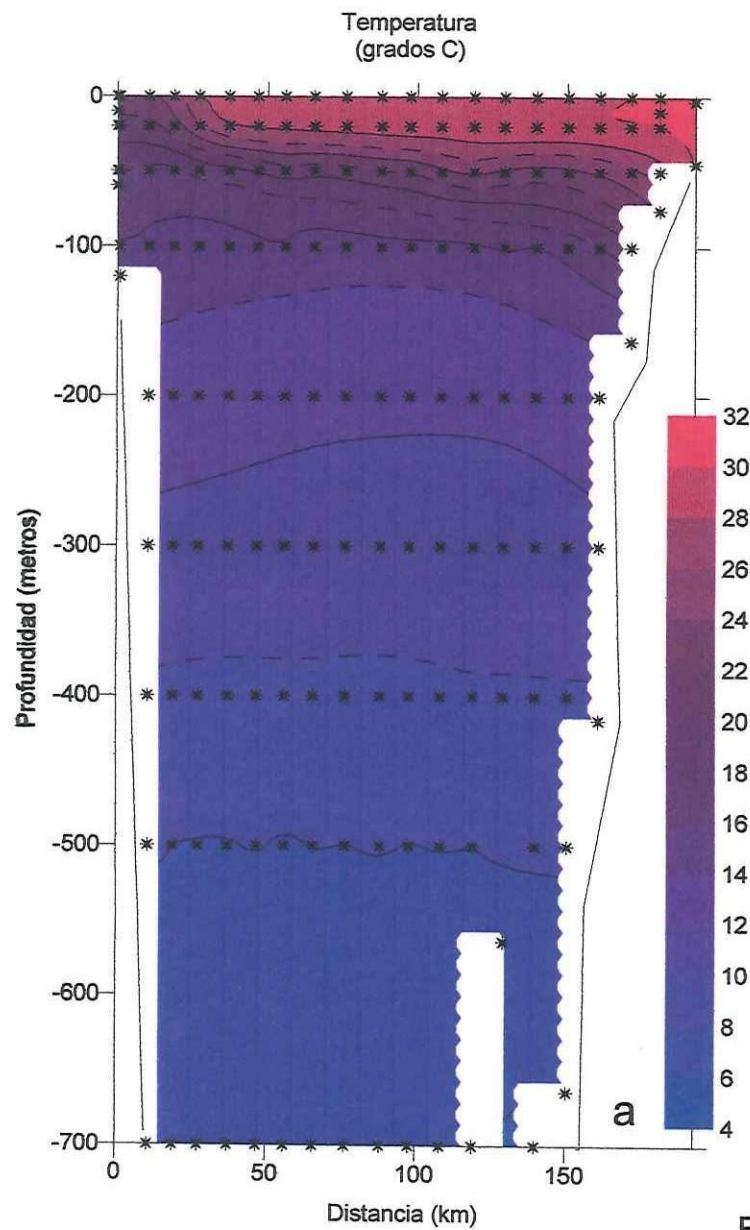


Figura 6.
Perfiles de Salinidad y Temperatura
Transecto II.

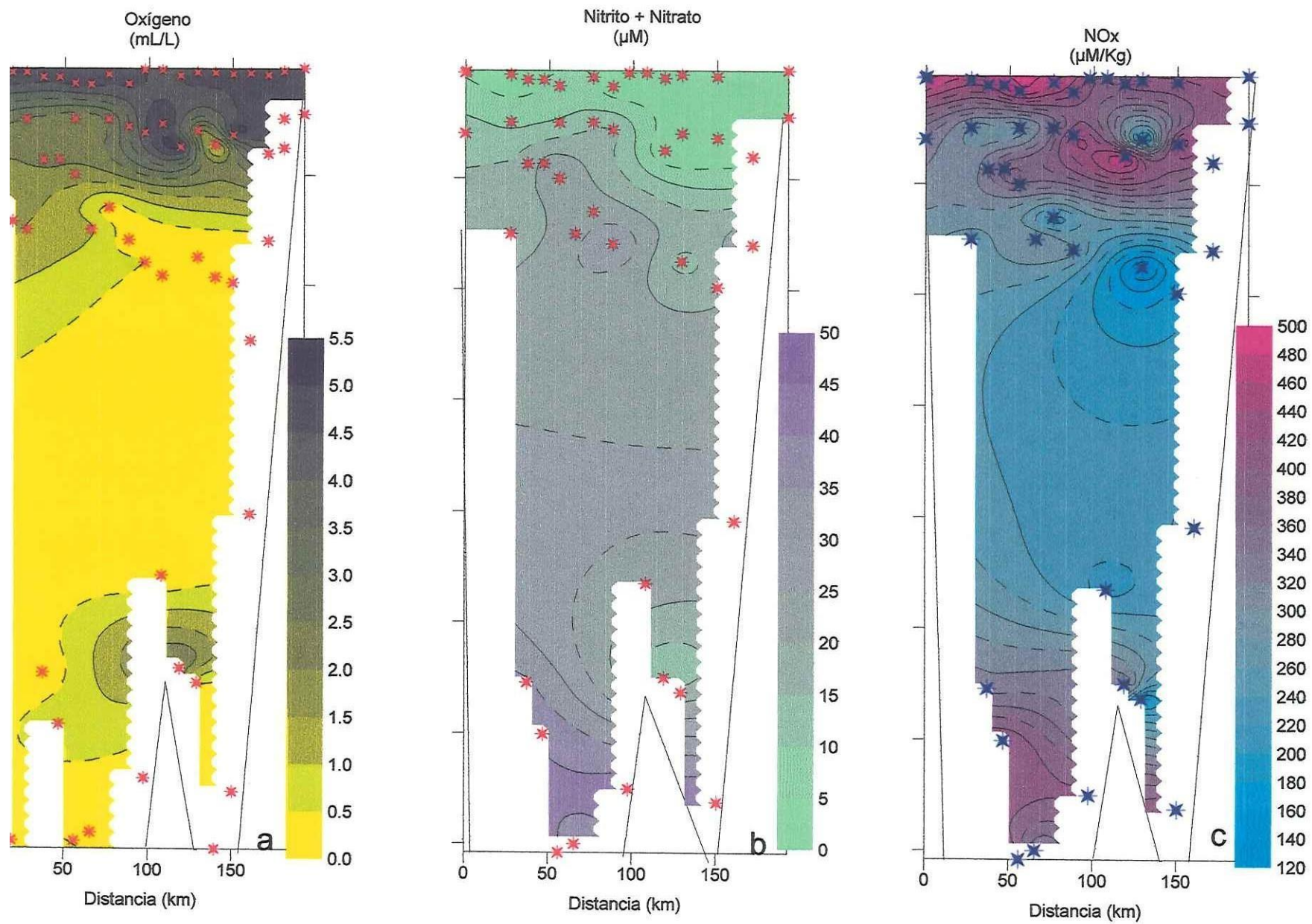


Figura 7. Perfiles de Nitratos + Nitritos
Oxígeno y NOx del Transecto II.

Además de la prueba anova, se obtuvo la estadística básica para las concentraciones de NOx en cada masa de agua, obteniendo media y desviación estándar (Tabla I).

Tabla I. Concentración media y variación de NOx en las masas de agua

Masa de Agua	ASE	ASsSt	AIP	APP
Concentración media ($\mu\text{m/kg.}$)	419	298	345	505
Variación	65	90	90	90

La prueba de anova se realizó para corroborar que la separación de las masas o grupos de datos, obtenida por salinidad y temperatura, era similar a la que se tenía por concentración de NOx, y con esto demostrar que sí se podían diferenciar las masas de agua por el índice semiconservativo creado a partir de nutrientes. Los resultados de este análisis demostraron que la separación era posible al existir una diferencia significativa entre las concentraciones del índice en las masas de agua, tanto en el transecto I como en el II. De la prueba a posteori, se obtuvo que existían en el transecto I dos grupos, los cuales eran significativamente diferentes entre si. En el transecto II, se obtuvo un total de cinco conjuntos diferentes entre si, los cuales se asociaban a masas de agua diferentes entre si. (Ver Anexo II).

DISCUSIONES

Las masas de agua identificadas por medio de los diagramas T-S en la boca del Golfo para agosto de 1995, fueron un total de seis, ASE, ASsSt, AGC, ACC, AIP, APP, coincidiendo en lo que reportan otros autores (Torres-Orozco, 1993; Blanco-Betancourt, 1996; Collins *et al.*, 1997). No se tuvo la presencia de todas las masas en los dos transectos, esto puede deberse a dos causas principales, la profundidad de los lances ya que en el primer transecto tan solo llegaron a los 1000 m. de profundidad y existen masas de agua, que circulan abajo de esta profundidad, y sobretodo la época del año en que se realizo el muestreo, pues la presencia de ciertas masas de agua en la zona varia estacionalmente.

En el caso del transecto I se localizan cinco masas de agua, y se tiene como característica especial que se observa ACC, caso raro ya que este es el transecto que se haya mas adentro del Golfo y esta masa de agua tiene su mayor penetración al Golfo en invierno. Las otras cuatro masas ya han sido reportadas anteriormente, en el caso del ASE se tienen reportes que en verano es encontrada hasta la zona de las Islas (Alvarez-Borrego y Schwartzlose, 1979), es por esto normal encontrarla a esta latitud en el Golfo. No se encontró APP, por la profundidad a la que esta acostumbra encontrarse (desde 1600 metros hasta el fondo), puesto que los muestreos en este caso llegaron tan solo a los 1000 metros

En el transecto II al tener un mayor número de estaciones y a mayores profundidades, en los cuales en la mayoría se llego al fondo (más de 2800 metros), se pudo localizar la masa de agua del APP, y ACC por la cercanía a la boca. El ACC se

presenta en una cantidad baja de estaciones, esto puede deberse a la época del año ya que esta masa presenta su máximo de penetración al Golfo en la primavera (Alvarez-Sanchez *et al.*, 1978).

La surgencia observada en el transecto I, debe ser debida a vientos, ya que hay que recordar, que es durante el verano cuando se dan las surgencias del lado de la península debido a la dirección con que soplan los vientos en esta época.. En el caso del transecto I, la surgencia es somera al provenir el agua de entre los 40 a 70 metros. Al aflorar la surgencia la temperatura es de 26°C en la costa, con salinidades bajas (34.5). En la parte química de la surgencia el oxígeno, presenta concentraciones de entre 2 a 4.5 mL/L. Por la parte de nitritos más nitratos se observan las menores concentraciones en esa zona ($< 6 \mu\text{M}$), esto último debido a la profundidad de la cual procede el agua de la surgencia. La concentración de NO_x es máxima en la zona de la surgencia esto posiblemente a las concentraciones altas de oxígeno presentes.

En la surgencia del transecto II, esta es somera, igual que en el caso anterior. En este caso en las gráficas (Fig. 6a y 6b) se observan las isolas ascendiendo desde los 50 metros. Las temperaturas en la zona de surgencia son menores a los 24°C, que aunque son temperaturas templadas para una surgencia, son correctas por la profundidad de la que provienen. La salinidad se encuentra entre los 34.5-34.7 ups. Lo notorio es la existencia de un núcleo de alta concentración salina (>34.9 ups), ubicado debajo de las aguas de surgencia pero alejado de la costa, que por las características de salinidad y temperatura que posee debe ser AGC, que en este caso se encontraría saliendo del Golfo.

En la gráfica de oxígeno, para el transecto II no se logra observar la surgencia que se ha reportado antes, esto se puede atribuir a la distribución de las muestras, ya que se tomaron tan solo para superficie y 50 metros, lo cual deja un espacio sin datos, considerando que la surgencia proviene de una profundidad de entre 20 a 40 metros profundidad. Un comportamiento similar se observa en la gráfica de nitritos más nitratos (Fig. 7b), donde los valores mínimos se dan en la superficie, pero sin que se observe claramente la surgencia ($< 5\mu\text{M}$).

Los resultados de NO_x se encontraron entre los 110 a los 600 $\mu\text{m/kg}$. Si se compara con los resultados de Broecker (1974), el obtiene valores que van desde 200 a 600 $\mu\text{m/kg}$., para el Océano Atlántico. Se puede considerar que los valores obtenidos se encuentran dentro de un intervalo muy similar al obtenido Broecker. Los resultados menores de 200 $\mu\text{m/Kg}$., son atribuibles a aguas superficiales, ya que Broecker tan solo trabajó con aguas intermedias y profundas y en cambio este trabajo abarca toda la columna de agua.

El NO_x para las aguas más superficiales se tiene valores promedio de 200 a 300 $\mu\text{m/kg}$. y para las de mayor profundidad, van de 400 a 600 $\mu\text{m/kg}$. Es un caso especial que el ASE presenta valores promedio de 400 $\mu\text{m/kg}$., ya que como se mencionó anteriormente las masas que presentan estas concentraciones son normalmente profundas. Esta concentración se puede atribuir a concentraciones altas de oxígeno, al encontrarse en superficie y poder equilibrar constantemente la pérdida o ganancia de este con la atmósfera. Las variaciones en concentración son atribuibles a que al tener pocos datos, y estos tener una alta dispersión, los resultados estadísticos son fácilmente afectables.

En el transecto I, la prueba anova (Anexo II), demostró que si existían diferencias entre las masas pero con la prueba *a postiori* se observó que no se podían formar mas de dos grupos, que tuvieran concentraciones significativamente diferentes, esto debido tal vez a la escasez de estaciones, o posible mezcla entre masas de agua.

En el segundo transecto, al tener más muestras fue posible tener un diagrama T-S, más definido y con mayor precisión, por lo que la separación de masas por NOx fue más sencilla y clara, y obtuvieron cinco masas con diferentes concentraciones de NOx, las cuales estadísticamente son significativamente diferentes (Anexo II). Tan solo se tuvieron algunas estaciones que se ubicaron fuera de los rango de NOx para cada masa de agua, y que presentaban valores extremos, las cuales no se consideraron al no poder ubicarlas dentro de las patrones característicos de cada masa de agua.

Los valores de NOx obtenidos, para las masas presentes en la boca del Golfo de California se consideran representativos para esta zona. Se compararon estos valores con los obtenidos a partir de los datos de nutrientes y oxígeno reportados en las estaciones 20 y 91, del trabajo de Alvarez-Borrego *et al.*, (1978) en base a los rangos de profundidad promedio de cada masa de agua. Constatando que no existía una variación extrema entre los datos de 1978 con los de 1995, aun existiendo una gran separación entre las fechas de muestreo y en la época del año.

La separación de masas de agua por el método propuesto por Broecker fue positivo. Para el caso de la boca del Golfo de California se logran separar por la concentración de NOx las masa de agua presentes en la zona en agosto de 1995. Además, al contrastar los resultados con los de otros investigadores se tiene que la

variación en este método es mínima y si es aplicable como método semi-conservativo de trazado de masas de agua.

Este método da otra alternativa para la identificación de masas de agua, en la cual no solo se obtiene el tipo de agua, sino que se puede asociar a productividad y distribuciones de nutrientes y todo lo que estos involucran. Por otra parte es aplicable a bancos de datos en los cuales, se posean datos de nutrientes y oxígeno pero no se conozca la procedencia de las aguas muestreadas.

CONCLUSIONES

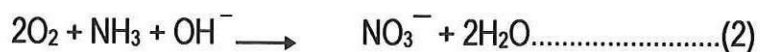
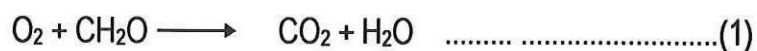
Las masas de agua presentes en la boca del Golfo de California durante agosto de 1995 son Agua del Golfo de California, Agua de la Corriente de California, Agua Superficial Ecuatorial, Agua Subsuperficial Subtropical, Agua Intermedia del Pacífico, y Agua Profunda del Pacífico.

Si es posible diferenciar las masas de agua, que existen en la boca del Golfo de California por sus concentraciones de NO_x . Al caracterizar las masas de agua se obtuvo que las concentraciones promedio para cada masa de agua son: ASE con $419 \mu\text{M/Kg.}$ y una variación de $65 \mu\text{M/Kg.}$; ASsSt con $298 \mu\text{M/kg.}$, y una variación de $90 \mu\text{M/Kg.}$; el AIP posee $345 \mu\text{M/kg.}$ y varía $90 \mu\text{M/Kg.}$; y APP presentando $505 \mu\text{M/kg.}$, con una variación de $90 \mu\text{M/Kg.}$

Es necesario un estudio a largo plazo en el cual se describa a las masas de agua en la Boca del Golfo de California por sus características de nutrientes, para tener una mejor descripción y por ende un conocimiento mas amplio de la distribución estacional de nutrientes, y los posibles flujos que pueden existir de estos en el Golfo. Con los conocimientos anteriores será mas sencillo entender los procesos y distribución de la productividad asociada a los nutrientes.

ANEXO I

La oxidación de la materia orgánica en el agua de mar se puede describir en forma sencilla, con las siguientes ecuaciones:



El cambio que sufre el oxígeno esta dado por

$$\Delta\text{O}_2 = - (2 \Delta\text{NO}_3^- + \Delta\text{CO}_2) \dots\dots\dots(3)$$

La proporción entre el ion nitrato y el bióxido de carbono puede ser calculado por la relación de Redfield (1934) :

$$\Delta\text{NO}_3^- / \Delta\text{CO}_2 = 16 / 106 \dots\dots\dots(4)$$

Substituyendo lo anterior en la ecuación (3) tenemos que:

$$\begin{aligned} -\Delta\text{O}_2 &= (2 + 105/16) \Delta\text{NO}_3^- \\ -\Delta\text{O}_2 &\cong 9 \Delta\text{NO}_3^- \dots\dots\dots(5) \end{aligned}$$

por cada mol de O_2 consumido, aproximadamente 1/9 de los enlaces de nitrógeno pasan a ion nitrato.

Usando la ecuación (5) la concentración de nitrato preformado será:

$$[\text{NO}_3^-]_{\text{preformado}} = [\text{NO}_3^-]_{\text{medido}} - 1/9 ([\text{O}_2]_{\text{esperado}} - [\text{O}_2]_{\text{medido}}) \dots\dots\dots(6)$$

o

$$[\text{NO}_3^-]_{\text{medido}} = [\text{NO}_3^-]_{\text{preformado}} + 1/9 ([\text{O}_2]_{\text{esperado}} - [\text{O}_2]_{\text{medido}}) \dots\dots\dots(7)$$

Substituyendo estos términos en la definición de NO_x (9NO₃ + O₂), se tiene que:

$$\text{NO}_x = 9[\text{NO}_3^-]_{\text{preformado}} + [\text{O}_2]_{\text{esperado}} \dots\dots\dots(8)$$

La UAO es igual a: $\text{UAO} = [\text{O}_2]_{\text{esperado}} - [\text{O}_2]_{\text{medido}} \dots\dots\dots(9)$

Reacomodando la ecuación (8) y con ayuda de las ecuaciones (7) y (9), se logra una ecuación de NO_x que es fácilmente aplicable y que proporcionara un índice semiconservativo.

$$\text{NO}_x = 9[\text{NO}_3^-]_{\text{medido}} + [\text{O}_2]_{\text{medido}} \dots\dots\dots(10)$$

ANEXO II

Para poder establecer con bases estadísticas, la existencia de diferencias entre las concentraciones de NOx en cada masa de agua existente en el Golfo de California para agosto de 1995, las cuales previamente se habían separado por el criterio establecido por Torres-Orozco (1993). Se realizó un Anova no paramétrica de Kruskal-Wallis, en la cual se planteaba como hipótesis de trabajo la no existencia de diferencias significativas y como hipótesis alternativa, la existencia de estas. Para este trabajo fue necesario que se rechazara la hipótesis para poder confirmar que si se podían diferenciar las masas de agua por la concentración de NOx .

En los dos casos esta fue rechazada la hipótesis de no diferencia, por lo que se aceptaba que existían diferencias significativas, al realizar la prueba *a posteriori* se encontró que en el caso del transecto I, las estaciones se dividen en dos grupos que son diferentes entre si. El transecto II mostró que si existía diferencia entre grupos o masas, sin encontrar similitud entre ninguna de ellas, por lo que hacia un total un total de cinco grupos.

A continuación se muestran las tablas de resultados dadas por el paquete estadístico, y los resultados de la prueba *a posteori*.

Para el transecto I . ver tablas II y III, y el transecto II, tablas IV y V.

Tabla II. Resultados de Anova No Paramétrica. Transecto I.

Kruskal-Wallis ANOVA by Ranks (ya2.sta) Independent (grouping) variable: VAR1			
Kruskal-Wallis test: H (4, N= 47) = 20.54443 p =.0004			
Depend. : VAR2	Code	Valid N1	Sum of Ranks
Group 1	1	9	276.0000
Group 2	2	6	161.0000
Group 3	3	14	191.0000
Group 4	4	10	192.0000
Group 5	5	8	308.0000

Tabla III. Análisis a posteroi para el transecto I.

Tabla III. Analisis a posteriori para el tra nsecto I				
grupos	Comparación ni	Ri	Múltiple Ri2/ni	No Para métrica
a			1	4
b				
c			2	133.33
d			3	481.33
e			5	86
f			4	52
totales	1		17	2066.6
comp	dif	es	q	q 0.05,6 Ho conclusión
f-a		3	4.077	8.338 4.03F=A R
f-b		4	4.623	9.084 4.03F=B R
f-c		2	4.077	6.376 4.03F=C R
f-d			4.077	1.962 4.03F=D A
f-e		-	4.077	-1.226 4.03F=E A
e-a		3	4.358	8.947 4.03E=A R
e-b		4	4.873	9.644 4.03E=B R
e-c		3	4.358	7.111 4.03E=C R
e-d		1	4.358	2.982 4.03E=D A
d-a		2	4.358	5.964 4.03D=A R
d-b		3	4.358	6.976 4.03D=B R
d-c		1	4.358	4.129 4.03D=C R
c-a			4.358	1.835 4.03C=A A
c-b		1	4.873	3.283 4.03C=B A
b-a		-	4.873	-1.641 4.03B=A A

Tabla IV Anova no Paramétrica transecto II.

Kruskal-Wallis ANOVA by Ranks (ya lista) Independent(grouping) variable: VARI				Kruskal-Wallis test: H (5, N= 18) = 15.51462 p = .0084
Depend. : Var2	Code	Valid	N	Sum of Ranks
Group 1	1	3		12.00000
Group 2	2	2		4.00000
Group 3	3			
Group 4	4	3		20.00000
Group 5	5	3		38.00000
Group 6	6	3		51.00000
		4		46.00000

Tabla V. Análisis a posteriori para el transecto II.

Tabla V. Análisis a posteriori para el transecto II						
grupos	Comparación	Múltiple	No	Para	métrica	
	ni	Ri	Ri2/ni			
a			27	8587.11		
b			16	437		
c	1	19	2605.78			
d	1	18	3572.			
e			30	1185		
totales	4		112	30996.99		
comp	dif	es	q	q 0.05,6	Ho	conclusión
e-a		3	6.662	4.502	3.85	E=A R
e-b		14	7.404	19.716	3.85	E=B R
e-c		11	6.076	19.253	3.85	E=C R
e-d		11	6.503	18.296	3.85	E=D R
d-a		-8	6.299	-14.127	3.85	D=A R
d-b		2	7.080	3.813	3.85	D=B R
d-c		-	5.677	-0.352	3.85	D=C A
c-a		-8	5.858	-14.851	3.85	C=A R
c-b		2	6.690	4.334	3.85	C=B R
b-a		-11	7.226	-16.052	3.85	B=A R

REFERENCIAS

- Alvarez-Borrego S., J.A. Rivera, G. Gaxiola-Castro, M.J. Acosta-Ruiz, y R.A. Schwartzlose (1978). Nutrientes en el Golfo de California. *Ciencias Marinas* 5(2), 53-71.
- Alvarez-Borrego S., y R.A. Schwartzlose (1979). Masas de agua del Golfo de California. *Ciencias Marinas* 6, 43-63.
- Alvarez-Borrego, S. y J.R. Lara-Lara (1991). "The Physical Environment and Primary Productivity of the Gulf of California". En : B.R.T. Simonett & J.P. Dauphin (Eds.), *The Gulf and Peninsular Province of California*, Am. Assoc. Petr. Geol. Memoir. 47 pp.
- Alvarez-Sánchez L.G., M.R. Stevenson, y B. Wyatt (1978). Circulación y masas de agua en la región de la boca del Golfo de California en la primavera de 1970. *Ciencias Marinas* 5(1), 57-69.
- Bailly Du Bois P. (1996). Mapping of water masses in the North Sea using radioactive tracers. *Endeavour* (Cambridge), 20 (1) 2 - 7.
- Bergsten H., Nordberg K., Malmgren B. (1996). Recent benthic foraminifera as tracers of water masses along a transect in the Skagerrak, north-eastern North Sea. *Journal of Sea Research* 35 (13) 111-121.
- Blanco-Betancourt R., S.I. Larios-Castillo, E. Gil-Silva, A. Mascarenhas, R. Durazo-Arvizu, y C. Collins (1996). Datos Hidrograficos del Crucero PESCAR7, Agosto 11-21, 1995. Instituto de Investigaciones Oceanológicas, Universidad Autónoma de Baja California, México .81 pp .

- Blanco-Betancourt J.R. (1996). Masas de Agua y Circulación en la Capa Superior en la Entrada del Golfo de California, durante Octubre - Noviembre 1994. Tesis Maestría. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B.C., México. 140 pp.
- Broecker W.S. (1974). "NO" , A conservative water-mass tracer. *Earth and Planetary Science Letters* 23, 100-107.
- Bray N.A. (1988a) Thermohaline circulation in the Gulf of California. *Journal of Geophysical Research* 93(C5) 4993-5020.
- Bray N.A. (1988b) Water mass formation in the Gulf of California. *Journal of Geophysical Research* 93(C8) 9223-9240.
- Bustos-Serrano H., R. Millán-Núñez, y R. Cajal-Medrano (1996). Efecto de la marea en la productividad orgánica primaria en una laguna costera del Canal de Ballenas, Golfo de California. *Ciencias Marinas* 22(2), 215-233.
- Cacho-Lopez L. (1992). Variación Estacional de Nutrientes al Noroeste de Bahía de Todos Santos (1989-1990) .Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B.C., México
- Castro R., M.F. Lavin y P.Ripa (1994). Seasonal heat balance in the Gulf of California. *Journal of Geophysical Research* 99(C2), 3249-3261.
- Collins C.A., N. Garfield, A.S. Mascarenhas Jr., M.G. Spearman, y T.A. Rago. (1997) .Ocean currents across the entrance to the Gulf of California. *Journal of Geophysical Research* 102 (C9) 20927-20936.

- Dahlgaard H. (1995). Transfer of European coastal pollution to the Arctic: Radioactive tracers. *Marine Pollution Bulletin* 31 (13) 3-7.
- Dugdale R.C. (1976). Nutrient Cycles. En Cushing y Walsh (Ed.) "The Ecology of the Sea" . Blackwell, Londres. 141-172 pp.
- Fogg G.E. (1968). Photosynthesis. English Universities Press, London. 116pp.
- Gilbert, J.Y. y W.E. Allen (1943). The phytoplankton of the Gulf of California obtained by the *E.W.Scripps* in 1939 and 1940. *Journal of Marine Research*. 5, 89-110
- Gilmartin, M. y N. Revelante (1978). The phytoplankton characteristics of the barrier island lagoon of the Gulf of California. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. 7 29-47
- Griffiths R.C. (1968). Physical, chemical and biological oceanography of the entrance to the Gulf of California, spring of 1960. Spec. Sci. Rep. Fish. 573. U.S. Fish and Wildlife Serv., Washington D.C. 47 pp.
- Helland-Hansen B. y F. Nansen (1916). Temperatur-schwankungen des nordatlantischen Ozeans und in Atmosphäre; einleitende Studien über die Ursachen der klimatologischen Schwankungen. Videnskapsselskapets skrifter. I. Mat.-naturv. Klasse, 1916 no.9
- Jonhson K.S., R.L. Petty, y J. Thomsen (1985). Flow-Injection Analysis for Seawater Micronutrients. En : Zirino A. (Ed.) *Advances in Chemistry Series 209*, "Mapping Strategies In Chemical Oceanography", American Chemical Society, Washington D.C. 7-30 pp.

- Kin'dyushev V.I. (1968). Seasonal variations of water masses in the California Region of the Ocean Pacific. *Oceanology* 10, 456-464.
- Lavin M.F., y S. Organista (1988). Surface heat flux in the northern Gulf of California. *Journal of Geophysical Research* 93 (C11), 14033-14038
- Lewis M.R. y T. Platt (1982). Scales of Variability in Estuarine Ecosystems. En: V.S. Kennedy (Ed.) "Estuarine Comparisons". Academic Press, New York.
- Libes M.S. (1992). An Introduction to Marine Biogeochemistry. John Wiley & Sons Inc.
- Loomis W.E. (1960). Historical Introduction (photosynthesis). *Encycl. Plant Physiol.*, Vol 5, 85-114
- McGill D.A., y A. Rodríguez-de-León (1983). Applications of the concept of "NO" and "PO" -- proposed conservative water mass tracers -- within the Alboran Sea. *RAPP.-P.-V.-REUN.-CIESM.* 28, (2), 131.
- Montgomery, R.B. (1958). Water characteristics of Atlantic Ocean. *Deep Sea Research* 5, 134-148.
- Neshyba S. (1987). *Oceanography: Perspectives on a Fluid Earth*. John Wiley & Sons Inc.
- Nixon S.W. (1981). Remineralization and Nutrient Cycling in Coastal Marine Ecosystems. En: B.J. Neilson y L.E. Croning (Eds.) "Estuaries and Nutrients". Humana Press, Clifton N.J.
- Paden C.A., C.D. Winant y M.R. Abbott. (1991) Tidal and atmospheric forcing of the upper ocean in the Gulf of California, 2, Surface heat flux. *Journal of Geophysical Research* 96 (C10) 18337-18359.

- Redfield A.C. (1934). On the proportions of organic derivatives in sea water and their relation to the composition of plankton. James Johnstone Memorial Volume. Liverpool .176-192.
- Redfield A.C., B.H. Ketchum, y F.A. Richards. (1963) . The Influence of Organisms on the Composition of Sea-Water. En : Hill M.N.(Ed) "The Sea." Vol. 2. Interscience Publishers.
- Robles J. M. y S.G. Marinone (1987) Seasonal and interannual termohaline variability in the Guaymas Basin of the Gulf of California. Continental Shelf Research 7, 715-133
- Roden, G.I. (1958). Oceanographic and meteorological aspects of the Gulf of California. Pacific Science, 12 (1) 21-45.
- Roden G.I. y G.W. Groves. (1959). Recent oceanographic Investigations in the Gulf of California. Journal of Marine Research 18 (1) 10-35.
- Ruiz-Loya E. R. (1994). Flujos de Calor, Agua y Sal en la Boca del Golfo de California Durante Invierno y Verano de 1992. Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, BC, México. 49 pp.
- Smith, W.H. Jr. y D.W. Hood. (1964). pH measurements in the ocean: a seawater secondary buffer system. En: Miyake Y. y T. Koyama (eds.), Recent Research in the Fields of Hydrosphere, Atmosphere and Nuclear Geochemistry. Maruzen, Tokyo.pp185-202
- Strickland J.H.D. y T.R. Parsons (1972). A Practical Handbook of Seawater Analysis. Bulletin 167. Fisheries Research Board of Canada. Ottawa Canada. 310 pp.

- Torres-Orozco E. (1993). Análisis Volumétrico de las Masas de Agua del Golfo de California. Tesis Maestria. Centro de Investigacion Científica y Estudios Superiores de Ensenada. Ensenada, B.C., México
- Valdez-Holguin J.E. y J.R. Lara-Lara (1987). Productividad primaria en el Golfo de California: efectos del evento "El Niño" 1982-1983. Ciencias Marinas, 13 (2). 34-50.
- Warsh C.E. y K.L. Warsh (1971). Water exchange at the mouth of the Gulf of California. Journal of Geophysical Research. 76(33) 8098-8106.
- Warsh C.E., K.L. Warsh, y R.C. Staley .(1973). Nutrients and water masses at the mouth of the Gulf of California. Deep-Sea Research. 20 561-570.
- Wyrski K.,(1967). Circulation and water masses in the eastern equatorial Pacific Ocean. International Journal of Oceanology and Limnology 1(2) 114-147.
- Zar J. H. (1974). Biostatistical Analysis. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, N.J. Estados Unidos de América. 620pp
- Zeitzchel B., (1969). Primary productivity in the Gulf of California. Marine Biology. 3, 114-147.