

03064

1  
2ej



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES**

**Unidad Académica de los Ciclos Profesional y de Posgrado**

**Proyecto Académico Especialización, Maestría y Doctorado en  
Ciencias del Mar**

**Instituto de Ciencias del Mar y Limnología.**

**HIDROGRAFIA Y ANALISIS FRONTOGENETICO EN EL  
SUR DE LA BAHIA DE CAMPECHE**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE**

**Maestro en Ciencias del Mar  
( Oceanografía Física )**

**P R E S E N T A**

**BERNARDO SHIRASAGO GERMAN**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**1991**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

UNAM



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## CONTENIDO

	Página
RESUMEN	1
CAPITULO I. INTRODUCCION	3
AREA DE ESTUDIO	5
ANTECEDENTES	8
CAPITULO II. METODOLOGIA.	19
II.1. METODOLOGIA EN CAMPO.	19
II.1.1. INSTRUMENTACION.	19
II.1.1.A. NAVEGADOR ELECTRONICO	
TRANSIT/NNSS.	21
II.1.1.B. TERMOSALINOMETRO O. D. E.	22
II.1.1.C. PERFILADOR C T D.	22
II.1.1.D. COMPUTADORA MINC PDP-11.	24
II.1.2. TRABAJOS A BORDO DEL BUQUE	25
II.2. METODOLOGIA DE LABORATORIO	26
CAPITULO III. TEORIA DE FRENTE.	29
III.1. GENERALIDADES	29
III.2. FRENTE DE PLUMA DE RIO.	33
III.2.1. MODELOS DE ENERGIA POTENCIAL.	36

	Pagina
CAPITULO IV. RESULTADOS.	41
IV.1. DESCARGAS DE RIO.	43
IV.2. CRUCERO OGMEX-1	47
IV.2.1. PERFILES CONCENTRADOS.	47
IV.2.2. PERFILES VERTICALES.	49
IV.2.3. SECCIONES TRANSVERSALES (TRANSECTOS).	53
IV.2.4. DISTRIBUCIONES HORIZONTALES (PLANOS HORIZONTALES).	61
IV.2.5. ANOMALIA DE ENERGIA POTENCIAL (PARAMETRO DE ESTRATIFICACION).	68
IV.3. CRUCERO OGMEX-2 ,	70
IV.3.1. PERFILES CONCENTRADOS.	70
IV.3.2. PERFILES VERTICALES.	72
IV.3.3. SECCIONES TRANSVERSALES (TRANSECTOS).	80
IV.3.4. DISTRIBUCIONES HORIZONTALES (PLANOS HORIZONTALES).	90
IV.3.5. ANOMALIA DE ENERGIA POTENCIAL (PARAMETRO DE ESTRATIFICACION).	97
IV.4. CRUCERO OGMEX-3.	99
IV.4.1. PERFILES CONCENTRADOS.	99

	Página
IV.4.2. PERFILES VERTICALES.	101
IV.4.3. SECCIONES TRANSVERSALES (TRANSECTOS).	107
IV.4.4. DISTRIBUCIONES HORIZONTALES (PLANOS HORIZONTALES).	115
IV.4.5. ANOMALIA DE ENERGIA POTENCIAL (PARAMETRO DE ESTRATIFICACION).	120
CAPITULO V. DISCUSION Y CONCLUSIONES	122
BIBLIOGRAFIA.	130

## RESUMEN

A partir de datos hidrográficos de CTD obtenidos durante las campañas oceanográficas OGMEX-1, 2 y 3, llevadas a cabo en la Bahía de Campeche, en las épocas de verano, otoño e invierno respectivamente y de datos de volumen de agua de río medidos por la C. F. E., para el año de 1987, se estudiaron las variaciones espacio-temporales de los principales parámetros hidrográficos, así como la influencia de los ríos en la formación de frentes halinos y su estratificación asociada, en el ambiente marino.

Mediante el análisis del volumen promedio mensual de agua de río; de los perfiles concentrados, perfiles verticales, distribuciones en secciones transversales y distribuciones horizontales de los principales parámetros hidrográficos, y de la anomalía de energía potencial, se observa un comportamiento similar en la distribución de dichos parámetros entre la época de otoño y la de invierno y una marcada diferencia con respecto al verano.

Se aprecia que la circulación costera de la Bahía, en las épocas de muestreo del OGMEX-2 y 3 (julio 27-agosto 5 y noviembre 28-diciembre 4, respectivamente) presentan una circulación de este a oeste mientras que para el OGMEX-3 (febrero 25-marzo 9) esta circulación se presenta de oeste a este, observándose también un

frente permanente en la zona contigua a la desembocadura del sistema Grijalva-Usumacinta. En las zonas circundantes a las desembocaduras de los rios Coatzacoalcos y Papaloapan, el frente se detectó estacionalmente.

## I. INTRODUCCION

La Bahía de Campeche tiene un papel importante tanto desde el punto de vista científico como económico, ya que en esta región ocurren una serie de fenómenos que ocupa a las diversas áreas de la oceanografía, además de ser una de las zonas pesqueras y de transportación marítima más importantes y la de mayor explotación de hidrocarburos de México.

Los estudios oceanográficos en la Bahía se iniciaron recientemente con la participación de diversas instituciones como son el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), la Secretaría de Marina y la UNAM, entre otras. Dentro del área física se tiene como objetivo estudiar las variaciones espacio-temporales de los principales parámetros físicos, como son la temperatura, la salinidad, la densidad relativa ( $\sigma-t$ ) y el oxígeno disuelto, todo con el fin de analizar los fenómenos que en ella ocurren.

Uno de los fenómenos costeros importantes de esta región es el de la formación de frentes, los cuales son originados principalmente por la descarga de agua dulce de los ríos que desembocan en ella. Los frentes son la frontera entre dos masas de agua de diferentes características. Durante muchos años se ha visto que una gran productividad primaria y concentración de otros organismos se lleva a cabo cerca de las zonas frontales. Además



recientemente se ha observado que las manchas contaminantes en el mar se ven seriamente afectadas por este tipo de estructuras.

Dado que en la literatura se menciona que cada uno de los ríos que desembocan en la Bahía de Campeche aportan diferentes descargas, se pretende analizar la existencia y persistencia de los frentes asociados a las plumas de río.

Asimismo se pretende mostrar que la dinámica costera se ve influenciada por procesos que ocurren a mayor escala e inclusive en otras partes del Golfo de México.

Para lograr lo anterior, se estudiarán las variaciones espacio-temporales de los principales parámetros físicos en el sur de la Bahía de Campeche, en las épocas en las que se llevaron a cabo los tres primeros cruceros OGMEX (invierno, verano y primavera). Lo anterior teniendo en cuenta la influencia que ejercen los ríos y fenómenos de mayor escala sobre la dinámica costera.

## AREA DE ESTUDIO

La Bahía de Campeche se encuentra situada en la región suroeste del Golfo de México, entre los  $18^{\circ}06'$  y los  $21^{\circ}30'$  de latitud norte y los  $90^{\circ}26'$  y los  $97^{\circ}20'$  de longitud oeste (fig. I.1.), teniendo profundidades que sobrepasan los 2500 m (Monreal Gómez y Salas de León, 1990).

Las estaciones oceanográficas de los tres primeros cruceros OGMEX (1987), se muestran en la figura I.2. Siendo el OGMEX-1 (fig. 1.2A), en época de invierno, OGMEX-2 (fig. 1.2B), en verano y el OGMEX-3 (fig. 1.2C), en otoño. Como se puede observar, la posición de las estaciones son muy similares en los tres cruceros ya que se trató de que fueran las mismas. Las variaciones ligeras o la falta de algunas estaciones se debió a las condiciones meteorológicas imperantes en esa época.

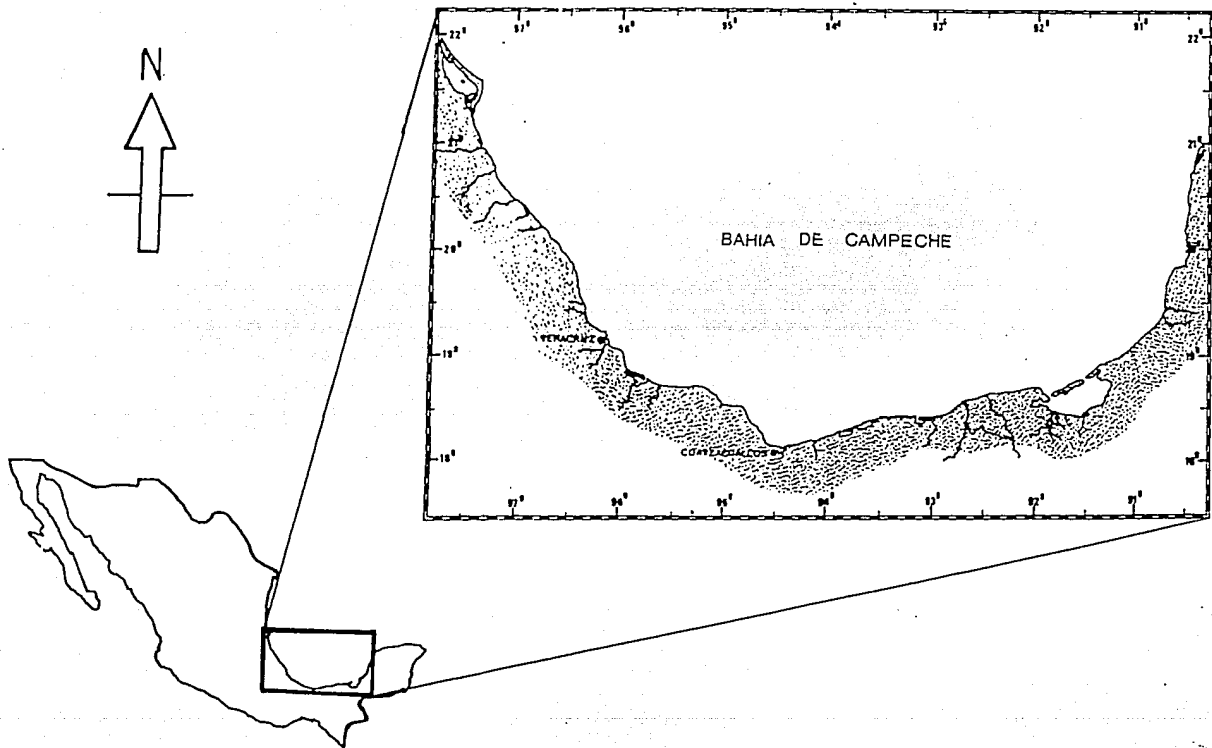


FIGURA I.1. ZONA DE ESTUDIO.

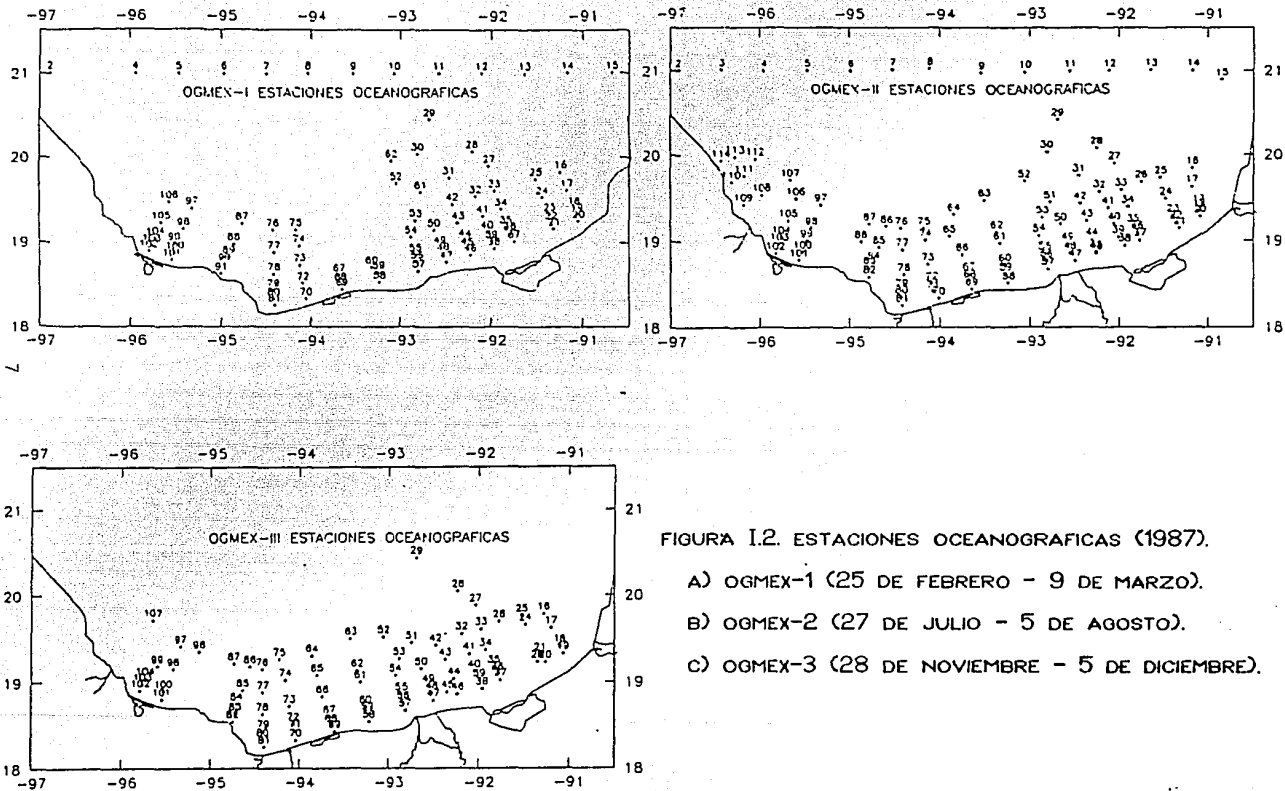


FIGURA 1.2. ESTACIONES OCEANOGRAFICAS (1987).

A) OGMEX-1 (25 DE FEBRERO - 9 DE MARZO).

B) OGMEX-2 (27 DE JULIO - 5 DE AGOSTO).

C) OGMEX-3 (28 DE NOVIEMBRE - 5 DE DICIEMBRE).

## ANTECEDENTES

La dinámica de la Bahía de Campeche se encuentra influenciada por fenómenos que ocurren a mayor escala o en otras regiones del Golfo de México, por lo que a continuación se hará una breve remembranza del inicio de las investigaciones y de los principales fenómenos que ocurren en el Golfo de México.

Las expediciones en el Golfo se iniciaron desde finales del siglo XV, pero fueron dirigidas principalmente con fines de exploración, colonización y conquista. Posteriormente fué hasta el siglo XIX cuando empezaron las primeras expediciones científicas las cuales han continuado hasta nuestros días.

Bencker en 1930, resumió todas las expediciones oceanográficas realizadas en todo el mundo entre los años de 1800 y 1930, mencionando 133 expediciones a regiones Árticas, 36 Antárticas, 10 al Índico, 10 alrededor del mundo y sólo tres fueron en el Golfo de México.

La hidrografía del Golfo de México fué estudiada por primera vez por Parr (1935), basándose especialmente en datos recogidos por las expediciones del "Mabel Taylor", realizada en 1932, y la del "Atlantis", en 1934. En ese trabajo se discutieron mediante

diagramas T-S las relaciones entre las distribuciones de las masas de agua en el Golfo y las del Canal de Yucatán y del Estrecho de Florida.

El primer intento por recopilar los conocimientos oceanográficos obtenidos del Golfo de México fueron realizados por Galtsof en 1954, bajo el "Boletín No. 89" del Bureau of de Commercial Fisheries, USA.

La investigación científica en el Golfo de México no ha tenido el énfasis dado a otras áreas comparables a las de esta zona, sin embargo en las tres últimas décadas se han realizado la mayor parte de los estudios, tanto observacionales como teóricos, para tratar de explicar sus características y dinámica.

En los estudios realizados del Golfo de México se han tratado de identificar las capas que componen la estructura vertical de sus aguas y el patrón de circulación con sus variaciones estacionales. Otros estudios importantes en la zona se han enfocado en el análisis de los frentes marinos y las mareas, así como los fenómenos meteorológicos que la afectan, entre los que se pueden mencionar los frentes fríos o "nortes", los huracanes y los surestes.

## ESTRUCTURA VERTICAL DE LAS MASAS DE AGUA DEL GOLFO

Las capas que constituyen la estructura vertical de las aguas del Golfo de México fueron discutidas por Wüst (1964), Mc Lellan y Nowlin (1963 y 1967) y Nowlin (1971), mencionando que es posible distinguir e identificar 6 tipos principalmente: la capa superficial mezclada, aguas subtropicales, aguas de oxígeno mínimo, aguas antárticas intermedias, aguas norteamericanas profundas y aguas de la cuenca del Golfo.

La capa superficial mezclada, con un espesor promedio de 100 m, es la que experimenta los cambios estacionales más importantes. Franceschini (1961), fué el primero en realizar un balance hidrológico del Golfo de México mostrando a través de observaciones meteorológicas y descargas de río, que la evaporación excede a la precipitación. Lo anterior con sus variaciones estacionales, ya que en invierno el Golfo experimenta una considerable adición de agua dulce y disminución en la temperatura, mientras que en el verano se experimenta un incremento en la salinidad y en la temperatura.

Otra capa distintiva en la estructura vertical del Golfo es la correspondiente a la de salinidad máxima, misma que es subsuperficial, entre los 100 y 300 m de profundidad. Wüst (mencionado por Nowlin y McLellan, 1967), menciona que los orígenes de estas aguas se ubica en la superficie del Atlántico tropical.

Los valores aproximados de salinidad de esta capa son de 36.75.

La capa de oxígeno mínimo aparece en promedio entre los 300 y 900 m de profundidad y aparentemente es causada por la actividad biológica. Los valores extremos de oxígeno disuelto en esta capa son de 2.5 ml/l.

Las aguas antárticas intermedias son originadas en la Convergencia Antártica, siendo esta una zona frontal localizada en el Atlántico, entre los 45° y 50° S. En el Golfo estas aguas se encuentran localizadas entre los 900 y 1100 m de profundidad y son caracterizadas por su baja salinidad (34.70' aprox.).

Las aguas norteamericanas profundas se localizan entre los 1100 y 1500 m, y se caracterizan por sus ligeros descensos de temperatura y altos ascensos de oxígeno a medida que aumenta la profundidad, esto es de 3.60 hasta 4.85 ml/l.

Finalmente, las aguas de la cuenca del Golfo se encuentran localizadas entre los 1500 m y el fondo, mismas que se caracterizan por su homogeneidad en temperatura y salinidad ( de 4.00°C y 34.60 aprox.), y un máximo en el oxígeno disuelto (4.90 ml/l).

#### PATRONES DE CIRCULACION

La circulación en el Golfo de México se encuentra influenciada



Principalmente por las variaciones espacio-temporales que ocurren en el sistema de corrientes al este, mismo que forma parte de la Corriente del Golfo (Gulf Stream), constituido por la Corriente de Yucatán, la Corriente de Lazo y la Corriente de Florida, y por los giros anticiclónicos que se desprenden de la Corriente de Lazo y que se desplazan de este a oeste.

#### Sistema de Corrientes de Yucatán, de Lazo y de Florida.

La Corriente de Yucatán se extiende desde la parte noroeste del Mar de Caimán hasta el Canal de Yucatán con un flujo hacia el nor-noroeste. Cochrane (1962, 1963, 1966), encontró una relación muy marcada entre la topografía del canal y el flujo del mismo, con un control topográfico sobre la corriente especialmente en el mes de mayo. Molinari et al. (1978), mencionan que el flujo de la Corriente de Yucatán varía temporalmente teniendo valores máximos en el mes de agosto y mínimos durante noviembre, con incrementos entre marzo y mayo y decrementos en junio y noviembre.

La Corriente de Lazo es una continuación de la Corriente de Yucatán, y de las tres corrientes, es la que sufre mayores variaciones en el plano horizontal. En ciertas épocas del año esta corriente aumenta su trayectoria, internándose en el Golfo y formando meandros, los cuales posteriormente se desprenden de la corriente y forman grandes giros anticiclónicos que viajan hacia la parte oeste del Golfo. Cochrane (1963) fue el primero en proponer

que la trayectoria de la Corriente de Lazo variaba cíclicamente en el transcurso del año.

Leipper (1970), concluye que los cambios en la trayectoria de la corriente son estacionales. Con su concepto "intrusión de primavera", indica cuando la corriente penetra en el Golfo y "otoño de dispersión" se refiere al movimiento de la corriente hacia el oeste o al desprendimiento de un giro. El autor dedujo que la corriente alcanza una máxima penetración en agosto, y posiblemente se desprende un giro en esa época del año (Molinari, 1977).

Cabe aclarar que las penetraciones de la Corriente de Lazo dentro del Golfo de México se han registrado hasta los 28<sup>o</sup> N, con una primera intrusión de aguas cálidas entre los meses de febrero a julio, desprendiéndose los giros anticiclónicos entre julio y agosto, y con una segunda intrusión en los meses de diciembre y enero (Behringer et al., 1977).

La Corriente de Florida aparece como la continuación de la Corriente de Lazo, misma que sale por el Estrecho de Florida para unirse al sistema "Gulf Stream". El flujo de esta corriente se presenta con mínimos en los meses de febrero y noviembre y un máximo en el mes de mayo, manteniendo un flujo considerable entre los meses de marzo-abril y junio-agosto (Molinari et al., 1978).

## Giros Anticiclónicos y Ciclónicos.

Una de las causas más importantes en la formación de los giros anticiclónicos es la intrusión de la Corriente de Lazo en el Golfo de México. Nowlin y Hubertz (1972), entre otros, demostraron que el origen de estos grandes giros es el resultado del desprendimiento del meandro formado por la intrusión de la Corriente de Lazo, estrangulándose al reducirse la corriente.

El valor del transporte geostrofico de este tipo de giros ha sido estimado por Sturges y Blaha (1976), en cerca de  $10^7$  m<sup>3</sup>/s, mostrando una velocidad de 70 cm/s (Nowlin; 1972), y existiendo evidencias de que el giro se desplaza hacia el oeste persistiendo a lo largo del año.

Hellermann (1977 y 1978), Sturges y Blaha (1976) y Blaha y Sturges (1978), mencionan que el giro centrado entre los 23.5°N y 95.0°W se debió principalmente al balance del rotacional del esfuerzo del viento con la vorticidad planetaria. Elliott (1979) documentó un giro anticiclónico moviéndose hacia el oeste después de separarse de la Corriente de Lazo, demostrando que el giro juega un papel muy importante en el balance de sal y calor de la parte oeste del Golfo, además de que el rotacional del esfuerzo del viento era siempre positivo y no negativo como lo suponían Sturges y Blaha.

Hulburt y Thompson (1980) mediante una simulación numérica demostraron la migración de los giros anticiclónicos hacia el oeste así como una formación de giros ciclónicos apareados con los anticiclónicos en la parte oeste del Golfo de México.

Por lo que corresponde a los giros ciclónicos estos se presentan principalmente en la Plataforma de Texas-Loussiana, en la de Florida y en la Bahía de Campeche. La Bahía se ve fuertemente influenciada por la Corriente de Lazo, ya que una parte del flujo que penetra en el Golfo de México a través del canal de Yucatán se desvía hacia el oeste y entra a la Bahía (Monreal y Salas de León, 1990), presentando una circulación predominantemente ciclónica (Cochrane, 1969; Nowlin, 1972; Molinari et al., 1978; Merrell y Morrison, 1981).

Existen varias hipótesis para explicar la existencia de estos giros ciclónicos, entre las que se pueden mencionar la de Cochrane (1969), en la que comenta la existencia de una corriente generada por una surgencia en la costa norte de la Península de Yucatán y propone que este proceso de surgencia, al formar un "domo" de agua fría sobre el Banco de Campeche, genera la circulación ciclónica observada. Nowlin (1972) pone en evidencia el carácter ciclónico de la circulación en la Bahía para el mes de agosto. Merrell y Morrison (1981) atribuyen el mencionado carácter ciclónico de la circulación al esfuerzo del viento.

## MAREAS

Las hipótesis del comportamiento de las mareas diurnas en el Golfo de México son bastante controvertidas, y una teoría emitida por Zetler y Hansen, 1972, menciona que éstas se presentan en una forma co-oscilatoria con las correspondientes a la zonas contiguas en el Océano Atlántico, con puntos anfidrómicos en el Estrecho de Florida, cerca de Miami, y en el Canal de Yucatán. Las constantes armónicas para la altura y la corriente de marea principal diurna constituyen un argumento que refuerza la teoría co-oscilatoria de la marea.

Si se presume que la corriente de marea diurna en el Canal de Yucatán concuerda en amplitud y fase con la del Estrecho de Florida, entonces el valor de la amplitud de la componente  $K_1$  adentro del Golfo es del orden de 15 cm.

Las hipótesis de las mareas semidiurnas aparecen menos controvertidas, Endrös (1908) atribuye un punto anfidrómico en la parte central del Golfo, a la mitad entre el delta del Mississippi y la Península de Yucatán. La amplitud promedio para la componente  $M_2$  es de 10 cm (Grace, 1932). Recientemente se han realizado simulaciones numéricas de la componente  $M_2$  de la onda de marea por Salas de León (1986), reportando amplitudes entre 6 y 16 cm para la Bahía de Campeche.

## CARACTERISTICAS METEOROLOGICAS.

El Golfo de Mexico se encuentra influenciado por el intercambio de masas de aire frio y seco provenientes del continente (Estados Unidos y Canada), con masas de aire propias del Golfo, de origen maritimo y caracteristicas tropicales (Panofsky, 1956). Este intercambio de masas de aire con caracteristicas diferentes provoca en ocasiones una fuerte frontogénesis, principalmente entre los meses de octubre a abril. No obstante, durante el verano, las caracteristicas del Golfo se hacen más tropicales con la influencia del regimen de los vientos alisios.

Los vientos prevalectes en el Golfo son de procedencia NE, con una velocidad media de 8 nudos (14.8 km/h). La procedencia N cubre el 36% del tiempo anual, principalmente entre los meses de noviembre a marzo, con una velocidad media de 11 nudos (20.4 km/h). Cabe mencionar que los vientos del norte tiene gran influencia sobre la capa mezclada de la Bahía de Campeche, provocando un enfriamiento y una mezcla considerable (Alatorre et. al., 1987).

En los meses de abril y mayo los vientos se presentan del SE, con una velocidad de 8 nudos (14.8km/h). Desde junio hasta agosto los vientos provienen del E, con una velocidad media de 6 nudos (11 km/h), mientras que en los meses de septiembre-octubre los vientos son del NE, con una velocidad media de 9 nudos (16.47 km/h).

De lo anterior se puede observar que el período de mayor efecto producido por los vientos es durante los meses de octubre a abril, en la temporada anual de frentes fríos o "Nortes". Finalmente la temporada de ciclones comienza en la segunda decena de mayo y se extiende hasta finales de noviembre (Tápanes y Gonzalez-Coya, 1980).

## FRENTE

Los frentes se presentan como la frontera entre dos masas de agua con diferentes propiedades, registrándose intensos gradientes horizontales de diferentes parámetros ya sean físicos, químicos o biológicos. Existen dos tipos de frentes estudiados en el Golfo de México, uno de ellos presente en el límite entre un giro ciclónico y un anticiclónico (Salas de León y Monreal Gómez, 1986), y el otro producido por la descarga de ríos, como el documentado por Wright y Coleman (1971), en el cual se presentó una descarga fuerte del río Mississippi, o el estudiado por Czitrom et al. (1986), en el sistema Grijalva-Usumacinta, durante diferentes épocas del año.

En el capítulo III de esta tesis se presentan las características más importantes, los diferentes tipos y algunos modelos de frentes.

## II METODOLOGIA

### II.1. METODOLOGIA DE CAMPO

Los trabajos en campo fueron desarrollados a bordo del Buque Oceanográfico "JUSTO SIERRA" de la UNAM, en el año de 1987, durante los cruceros OGMEX I, II y III, en las siguientes fechas y estaciones:

OGMEX I	Del 25 de febrero al 9 de marzo ( Invierno )
OGMEX II	Del 27 de julio al 5 de agosto ( Verano )
OGMEX III	Del 28 de noviembre al 5 de diciembre ( Otoño )

Este tipo de muestreo fue muy útil para observar las variaciones espacio-temporales de los diferentes parámetros físico-químicos de las aguas de la Bahía de Campeche, y poder detectar los principales fenómenos de índole oceanográfico que en ella ocurren.

### II.1.1. INSTRUMENTACION

El posicionamiento en cada una de las estaciones oceanográficas fue realizado mediante un navegador electrónico TRANSIT/NNSS, el cual se auxilia de señales de satélites ubicados en órbitas denominadas bajas (entre 900 y 2700 km).



Las mediciones superficiales de los parámetros físicos fueron obtenidos mediante un termosalinómetro eléctrico O. D. E de medición superficial de tipo analógico, conectado a la computadora del buque mediante un módulo analógico/digital, obteniéndose una medición por minuto.

Los datos obtenidos en las mediciones de los parámetros físicos en la columna de agua, se registraron mediante un perfilador CTD ( Medidor de Conductividad, Temperatura y Profundidad ) Neil Brown Mark-IIIB, el cual registra 32 ciclos de mediciones de parámetros físicos por segundo. Del conjunto de mediciones anteriores se registran por programa únicamente 2 por segundo. Si se toma en cuenta el número de mediciones por segundo registradas por programa y la velocidad de descenso del CTD, que es de un metro por segundo, se puede concluir que se obtuvo un ciclo completo de lecturas cada medio metro aproximadamente.

La captura automatizada de los datos oceanográficos se realizó en la computadora marca Digital, modelo Minc PDP 11 del buque, mediante los programas de computadora PERHOR (perfiles horizontales) y PERVER (perfiles verticales) elaborados por el Departamento de Sistemas Digitales (DSD) del Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas (IIMAS), de la UNAM.

## II.1.1.A. NAVEGADOR ELECTRONICO TRANSIT/NNSS

Como se mencionó anteriormente, este sistema de navegación electrónico utiliza información proporcionada por satélites que se desplazan en órbitas polares, permaneciendo en un área de servicio durante 19 minutos aproximadamente. Durante este lapso de tiempo el equipo toma una sola lectura de toda la información enviada por el satélite en su desplazamiento por el área de servicio. Los satélites no se presentan en un horario fijo, por lo que pueden pasar de 2 a 9 horas para que se pueda detectar nuevamente uno de ellos.

El navegador calcula la posición mediante las señales recibidas de los satélites y la medición del efecto Doppler, o sea por el corrimiento de la frecuencia de la señal emitida por el satélite respecto a la captada por el navegador en el barco (Satellite Navigation System Manual, 1980). Con el buque estático en puerto el error del sistema Transit/NNSS en el cálculo de la posición varía entre 100 y 500 m (Szimonsky, 1980).

Cuando no hay ningún satélite en el área, la posición se calcula mediante una estimación usando los datos de la corredera y la brújula giroscópica. Esta estimación es de utilidad pero no muy exacta ya que no se considera la velocidad transversal del barco ni el error introducido por la corredera (speed log) del mismo. El error de la corredera se debe a que al pasar de los veinte metros

de profundidad, este instrumento deja de tomar como referencia el fondo al calcular la velocidad del buque, tomando como nueva referencia las masas de agua en movimiento que se encuentran a 5 o 6 m abajo del transductor del equipo (NL Doppler Speed Log Operator's Manual, 1979).

#### II.11.B. TERMOSALINOMETRO O.D.E.

El termosalinómetro O. D. E. consta de tres sensores, dos para medir temperatura y uno para conductividad. Un termistor se encuentra localizado al inicio de la tubería sumergida que conduce agua de la proa del barco al laboratorio de química y el otro, junto con el conductímetro, en el citado laboratorio. Basada en los registros de estos sensores, que son de -0.5 a 7 volts de corriente directa, la computadora calcula cada minuto la temperatura y salinidad del agua superficial del mar mediante programa. Cabe mencionarse que este tipo de muestreo no es muy preciso ya que las mediciones no se realizan estrictamente simultáneas ni corresponden exactamente a la misma profundidad (Temperature/Conductivity sensor electronics TSG-102).

#### II.11.C. PERFILADOR CTD

El perfilador CTD está formado por una Unidad Sumergible y un "deck" terminal denominado Unidad de Superficie, conectados entre sí por un cable unifilar con alma de acero. La Unidad Sumergible suministra un muestreo de conductividad, temperatura y presión 32

veces cada segundo a medida de que el CTD se baja en el mar en un formato de teletipo, modulando la señal en frecuencia de llaveo (frequency shift key) con una frecuencia de 5 y 10 kHz. Esta señal de "audio", además de ser enviada a la unidad de superficie, también es almacenada en una grabadora de carrete libre. La Unidad de Superficie decodifica la información, suministrándola en forma digital, tanto en transmisión serie como paralelo, para enviarla a la computadora que la procesa y la registra en discos flexibles de ocho pulgadas.

La presión es sensada por un transductor de presión marca Paine protegido en un ambiente de aceite y con un rango de operación de 1 a 6500 decibares.

La temperatura es registrada mediante una combinación electrónica de salidas de un termistor de alta velocidad (30 milisegundos de respuesta) y un termómetro de resistencia de platino (material resistente al ataque del medio ambiente marino), dando con esto una rápida respuesta térmica debida al termistor y buena estabilidad y linealidad a través del tiempo debido al platino.

La salinidad es medida a partir del muestreo de presión, temperatura y conductividad eléctrica, siendo esta última registrada mediante una celda de cuatro electrodos de cerámica en miniatura.

## ESPECIFICACIONES DEL CTD

	RANGO	PRECISION	RESOLUCION	ESTABILIDAD
CONDUCTIVIDAD	5-65 mmhos	0.005 mmhos	0.001 mmhos	0.003 mmhos/ mes
TEMPERATURA	-32 a 32°C	0.005°C	0.005°C	0.001°C/mes
PRESION	0-320db	0.5db	0.005db	0.1%/mes
	0-650db	1.0db	0.01db	0.1%/mes
	0-1600db	1.6db	0.025db	0.1%/mes

(Neil Brown Operation and Maintenance Manual, 1987)

Cabe mencionar que la última calibración del CTD antes de realizar estos muestreos fue en el año de 1985.

### II.1.1.D. COMPUTADORA MINC PDP-11

Como se mencionó anteriormente la computadora que se utilizó para la captura de datos oceanográficos fue de marca Digital, modelo Minc PDP-11 de ocho bits, con un tamaño de palabra de 16 bits y una memoria principal de 64 kb. La memoria secundaria es una unidad dual de discos flexibles de ocho pulgadas con una capacidad total de 1 Mb.

La computadora cuenta entre otras con las siguientes unidades de entrada/salida:

a) Interfase serie RS232 con cuatro puertos, expandible a ocho, que se utiliza para conectar a la computadora con el monitor, la impresora, el navegador por satélite, el navegador omega, el CTD, la ecosonda y la terminal gráfica.

b) Interfase GPIB (General Purpose Interfase Bus), es una interfase en paralelo con la cual la computadora puede controlar hasta quince instrumentos.

c) Módulos analógico-digitales, se utilizan para traducir señales de voltaje, corriente o resistencia a señales digitales. Algunos de los instrumentos conectados a estos módulos son: el termosalinómetro, XBT's y el radiómetro.

Además, la computadora cuenta con otros dispositivos de entrada/salida como son: los módulos digital/analógicos, de salida digital, reloj, preamplificadores y graficadores (Alatorre, 1986).

## II.12. TRABAJOS A BORDO DEL BUQUE

En el buque se llevaron a cabo dos tipos de muestreos, uno continuo de la superficie del mar entre estaciones previamente seleccionadas, y otro de la columna de agua en tales estaciones. Para el monitoreo continuo de datos superficiales entre estaciones

realizado por el Termosalinómetro ODE, el Departamento de Sistemas Digitales (DSD) del IIMAS, elaboró el programa PERHOR ( Perfil Horizontal ), el cual registra cada minuto valores de tiempo (GMT), profundidad, posición, el intervalo de tiempo entre el paso de satélites, temperatura y salinidad entre los más importantes.

Para capturar los datos provenientes de CTD en los muestreos de columna de agua, el DSD realizó también el programa PERVER, obteniéndose registros de profundidad, temperatura, salinidad y el cálculo de la densidad. En cada estación oceanográfica el CTD se bajó a un máximo de mil metros, según la zona, tomándose datos cada 45 centímetros aproximadamente.

Adicionalmente a la captura de datos en la computadora, se llevó a cabo un registro de éstos directamente del CTD a una grabadora analógica marca Sony de carrete libre, con el objeto de tener un respaldo de todos los datos muestreados por el CTD.

## II.2. METODOLOGIA DE LABORATORIO

Los trabajos de laboratorio consistieron entre otros, en el manejo y depuración de datos oceanográficos de los cruceros OGMEX I, II y III registrados por la computadora del barco en discos de ocho pulgadas. El manejo consistió en la transferencia de datos de la computadora no compatible Minc PDF-11, a una compatible como es el caso de las computadoras personales para poder utilizar todo el software disponible en la actualidad para estas computadoras. La

transferencia se llevó a cabo mediante la interconexión de una Minc y una PC Printaform vía puerto serial, que se encuentran en el Laboratorio de Oceanografía Física del ICMYL, utilizando el programa VTERM.

La depuración de los datos se realizó mediante un programa de computadora en lenguaje BASIC, que eliminó tanto los datos erróneos de temperatura y salinidad registrados por el CTD antes de entrar al agua, como los de densidad relativa calculados con los datos anteriores. Así mismo se realizó una pequeña corrección de la profundidad en los casos necesarios. Finalmente se corrigieron algunos datos de la columna de agua que en ciertos momentos se dispararon por fallas en la transmisión de los registros del CTD.

Otros trabajos de laboratorio consistieron en la elaboración de programas de computadora en lenguaje BASIC para obtener todos los gráficos necesarios de los tres cruceros OGMEX. Uno de ellos fue usado para realizar los diagramas acumulativos de temperatura, salinidad y densidad hasta una profundidad de 200 m.

Otro programa fue usado para obtener los diagramas que muestran la distribución vertical de temperatura, salinidad y densidad (perfiles verticales).

Las secciones transversales (transectos) de temperatura, salinidad y densidad, se hicieron parcialmente en la computadora Minc del laboratorio de Oceanografía Física, con el programa



P057V9.EXE elaborado por los M. en C. Francisco Ruiz y Miguel Angel Alatorre. Posteriormente se trazaron las isolinneas con un intervalo de contorno de 0.5 y se dibujaron los transectos hasta una profundidad de 30 m.

Se obtuvieron valores de temperatura, salinidad y densidad a profundidades de 2, 10 y 30 m por programa, para realizar mediante un paquete de computadora las respectivas distribuciones horizontales (planos horizontales), con un intervalo de contorno de 0.25 y hasta una profundidad de 50 m. Las mencionadas profundidades fueron seleccionadas por considerarse que a dos metros corresponde el muestreo superficial sin perturbaciones de oleaje. A diez metros aun se registra los limites de la influencia de los ríos y a treinta metros se presenta ya urla mayor homogeneidad.

Para la elaboracion de los diagramas T-S (temperatura-salinidad), se hicieron programas que permitiera obtener estos parametros de los archivos del CTD y posteriormente graficarlos.

Las gráficas de las descargas de los principales ríos que desembocan en la Bahía de Campeche se realizaron con los datos suministrados por la Comision Federal de Electricidad de sus estaciones de aforo, para el año de 1987.

### III. TEORIA DE FRENTES

#### III.1. GENERALIDADES

Una definición concisa y universal de lo que es un frente ha sido difícil de establecer para los estudiosos de este tipo de fenómenos. Antiguamente los pescadores los reconocían como bandas estrechas o líneas sobre la superficie del mar con una peculiar forma de olas o de ondulaciones, asociadas con espuma y desperdicios flotantes.

Uno de los pioneros en el estudio de frentes, Michitaka Uda (1938, 1959), realizó estudios descriptivos y dinámicos de los frentes que circundan las islas japonesas, llamándolos SIOME, observando una congregación de peces alrededor de estas zonas. Así mismo, Simpson et al., (1973), reportan concentraciones de medusas, pastos marinos y desechos a lo largo de los frentes que se presentan en el Reino Unido. Otros autores como Murray (1975) y Klemas (1980), han observado que el tamaño y la distribución de los derrames de petróleo y otros contaminantes se ven seriamente afectados por la presencia de frentes.

Según Bowman y Wayne (1978), los frentes representan la frontera entre dos masas de agua yuxtapuestas y de diferentes propiedades con intensos gradientes de temperatura, salinidad, densidad, velocidad clorofilas, etc., además de ser regiones de

convergencia y de movimientos verticales relativamente fuertes.

Simpson y James (1986), mencionan que una definición suficientemente precisa y que describa todas las fronteras de probada o sospechada existencia de un frente en el océano es difícil de expresar, pero que estos se pueden describir como una región estrecha y extendida de gradientes horizontales intensificados de parámetros físicos, químicos o biológicos mismos que se presentan en todos los mares del mundo.

Debido a sus características físicas, los frentes representan un rasgo fundamental en el estudio de la turbulencia geofísica y además juegan un importante papel en la dinámica de los océanos. Los frentes son encontrados en capas superficiales, a profundidades medias y en los fondos marinos (frentes bentónicos).

En la actualidad se han identificado los procesos básicos responsables de la generación de numerosos tipos de frentes, mismos que ocurren en todas las escalas espaciales, desde una escala pequeña hasta los frentes a gran escala, pudiendo ser clasificados según Bowman y Wayne (1978) en seis categorías:

#### 1) FRENTES DE AGUAS SOMERAS

Los frentes de aguas someras son aquellos que se generan dentro de un estuario, alrededor de islas, bancos, cabos, bajos, etc. Estos son comúnmente localizados en fronteras entre aguas cercanas a la costa mezcladas por el viento y las mareas, y aguas

más profundas bien estratificadas. Ejemplos de este tipo de frentes son los generados en los estuarios Saiont, Dulas y Conwy, localizados en North Wales, Inglaterra, estudiados entre otros por Pelegrí (1988).

## 2) FRENTES DE PLUMA DE RIO

Los frentes de pluma de río son encontrados en la frontera de las masas de agua salobre producto de la descarga de los ríos sobre las aguas saladas de la costa. Una pluma de río es definida como una capa superficial de baja salinidad que fluye hacia afuera de un estuario, dispersándose en una amplia superficie de la plataforma continental. Se pueden mencionar algunos estudios sobre este tipo de frentes como los realizados por Wright y Coleman (1971), en el Río Mississippi, Garvine (1974) y Garvine y Monk (1974), en el Río Connecticut, Czitrom et al. (1986) en el sistema Grijalva-Usumacinta.

## 3) FRENTES DEBIDO A SURGENCIAS

Este tipo de frente se debe esencialmente a la manifestación superficial de una piconclina inclinada comúnmente formada durante una surgencia costera, como resultado de un transporte de Ekman superficial hacia afuera de la costa asociado con un esfuerzo de viento a lo largo de la costa. Un ejemplo de este tipo de frentes es el descrito por Wooster (1969), entre Perú y las Islas Galápagos.

#### 4) FRENTE EN EL BORDE DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL

Este tipo de frentes se generan en la frontera entre las aguas de la plataforma y el talud continental. Como este tipo de frentes se puede mencionar el formado en la transición de las aguas costeras sobre la plataforma continental del noreste de Estados Unidos y Canadá y las aguas oceánicas más densas. Este frente se encuentra localizado a lo largo de los límites de la plataforma continental, aproximadamente entre las isobatas de 100 y 200 m (Voorhis et al., 1976).

#### 5) FRENTE DE CORRIENTES MAYORES

Estos frentes representan los límites de las fronteras de las corrientes mayores del oeste. Estos frentes están asociados con la intrusión de aguas saladas y calientes de origen tropical hacia altas latitudes. Ejemplos de estos son los formados en los bordes de la Corriente del Kuroshio y de la Corriente del Golfo (Gulf Stream).

#### 6) FRENTE A GRAN ESCALA

Estos frentes son a nivel macroescala, representando los más grandes que se pueden formar en el planeta. Estos se forman en regiones de convergencia de vientos en una escala planetaria y tienen un importante efecto sobre el clima mundial.

Los frentes que se analizan en el presente trabajo de tesis son los frentes de pluma de río, los cuales se generan por la descarga de los ríos que desembocan en la Bahía de Campeche.

### III.2. FRENTE DE PLUMA DE RIO

Como se mencionó anteriormente los frentes de pluma de río son los que se forman debido a la descarga de ríos en la frontera de las masas salobres de la pluma de río. Una de las características distintivas de los frentes que bordean este tipo de plumas es la diferencia en densidades entre las aguas de los dos lados de este. Otra característica muchas veces presente es la detección visual de este tipo de fenómenos debido a la diferencia de colores entre las dos masas de agua ya que en un lado hay una mayor concentración de fitoplancton o partículas suspendidas, que en el otro. Además, como ya se mencionó, el frente se encuentra marcado por una línea de espuma y desperdicios flotantes (Bowden, 1983).

Los indicadores de los frentes antes mencionados no siempre coinciden exactamente, pudiendo estar separados (fig. 3.1).

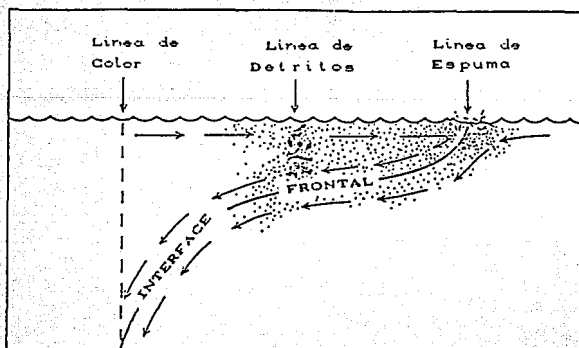


FIGURA 3.1. Sección transversal de un frente costero.

Tomado de Bowman e Iverson (1978).

La línea de espuma es localizada en una zona superficial de convergencia, la zona de detritos en donde objetos flotantes son atrapados por corrientes moviéndose en direcciones opuestas en la superficie del mar, se localiza cerca de la interfase. La línea de cambio de color se localiza en la región de cambios abruptos de las isopichnas. Estas tres líneas pueden estar separadas varias decenas de metros. El cambio de color, el cambio de rugosidad de la superficie del mar y por lo tanto de la reflectividad óptica, o por la diferencia de temperatura de las masas de agua en contacto, permiten detectar un frente por fotografía aérea, por sensores infrarrojos aéreos o por sensores remotos de satélites.

Uno de los mejores ejemplos documentados de los frentes de pluma de río es el reportado por Garvine y Monk (1974), en momentos de un incremento del flujo del río Connecticut y un retorno de marea (ebb tide). La pluma generada por este río tuvo dos metros de espesor y sus fronteras estaban caracterizadas por un fuerte gradiente de salinidad, con obvios cambios de coloración y acumulaciones de material flotante. Se encontraron fuertes movimientos de convergencia en la superficie a ambos lados del frente con velocidades entre 20 y 50 cm/s, asociados a vigorosos hundimientos de las aguas. Este movimiento vertical produce una mezcla importante de las aguas de la pluma y del mar provocando la erradicación de la estructura frontal en un período de horas.

Un caso extremo de plumas de río es el que se genera en el Río

Amazonas (Gibbs, 1970), en el que mediante un estudio preliminar de las aguas de este río, durante descargas pequeñas y grandes, se observó que en ambos casos no existía ninguna intrusión de aguas marinas (mayores de 35 %.), que entraran al estuario. La zona de isoclinas casi verticales en el océano, cerca de la boca del río, representa una área de mezcla turbulenta. A medida que se aleja de la boca, dicha mezcla decrece desarrollándose una estratificación a unos 60 km aproximadamente hacia mar abierto, persistiendo unos 185 km, durante descargas pequeñas. Durante grandes descargas la estratificación se genera a unos 80 km de la boca y persiste 230 km, aproximadamente.

Simpson y Hunter, 1974 y Simpson et al., 1977, demostraron en campañas oceanográficas específicas, que los frentes ocupan una posición casi definida en las aguas marinas continentales. En fechas más recientes, imágenes de satélites han servido para ilustrar esta propiedad de los frentes claramente. A pesar de la interferencia provocada por las nubes, se han recolectado una serie de imágenes que muestran una continuidad espacial y persistencia de los frentes (Simpson, 1981).

Así mismo, con imágenes de satélite se han podido estudiar los pequeños desplazamientos de los frentes con respecto a su posición media, los cuales pueden deberse a simple advección por mareas o a ajustes debidos a mezcla o calentamiento de las aguas (Simpson y Bowers 1979, 1981).



### III.2.1. MODELOS DE ENERGIA POTENCIAL

Uno de los más connotados investigadores que se han dedicado al estudio de frentes es el Profesor John S. Simpson y su labor ha sido enfocada, junto con otros estudiosos del tema, al entendimiento de la estratificación en las aguas de plataforma alrededor de las islas británicas. Durante los meses del verano, aparecen frentes en las fronteras entre aguas térmicamente estratificadas y verticalmente homogéneas, marcadas por un fuerte gradiente térmico superficial. Aparte de los frentes térmicos formados en verano, Simpson et al., (1977) reportaron observaciones de estratificación termohalina en la Bahía de Liverpool en el invierno, cuando en la mayoría de las aguas de plataforma del Reino Unido se encontraban verticalmente mezcladas.

Simpson, junto con otros investigadores, desarrollaron modelos para tratar de describir el comportamiento de la estratificación térmica en las aguas de plataforma de las islas británicas, y a pesar de que no es el caso de los orígenes de los frentes referidos en el presente trabajo, algunas aportaciones son de importancia para este estudio.

La relativa consistencia de la posición de los frentes observada por Simpson y Hunter (1974), les sugirió que la transición entre los regímenes de estratificación y no estratificación eran esencialmente controladas por el nivel de mezcla por corrientes de marea. Por lo tanto en este primer modelo

que Simpson y Hunter desarrollaron, únicamente consideraron el efecto de las mareas como elemento de mezcla vertical.

Suponiendo que una cantidad  $q$  de calor entra por la superficie de una columna de agua de profundidad  $h$  y una densidad inicial  $\rho$ , esta entrada de calor produce un cambio en la densidad ' $\Delta\rho$ ' en una capa delgada de la columna de agua  $\Delta h$ . Para mezclar la columna verticalmente a una densidad  $\rho'$  en una profundidad  $h'$  y considerando a  $P$  como la presión atmosférica, la energía potencial deberá ser incrementada en una cantidad de  $V_2 - V_1$ , donde:

$$V_1 = 1/2 \rho g h^2 - \Delta\rho \Delta h g h + P h \quad (\text{energía potencial antes de la mezcla})$$

$$V_2 = 1/2 \rho' g h'^2 + P h' \quad (\text{energía potencial después de la mezcla})$$

Suponiendo que la densidad es una función lineal de la temperatura y eliminando a la salinidad como una fuente de flotabilidad, se puede demostrar que  $h = h'$ , y que:

$$V_2 - V_1 = \alpha q g h / 2 c$$

Donde  $\alpha$  es el coeficiente de expansión lineal y  $c$  es el calor específico. Para una entrada de calor  $\dot{Q}$ , la demanda de energía potencial para mantener el estado de mezcla deberá ser:

$$\left(\frac{dE}{dt}\right)_{\text{por mezcla de mareas}} = \alpha \dot{Q} g h / 2 c$$

La energía es perdida debido al movimiento de las mareas a una tasa promedio de:

$$dE/dt = \overline{\tau_b} \overline{u_b} = k \rho | \overline{u_b^3} | = (4 k / 3 \pi) \rho u_0^3$$

Donde  $\overline{u_b}$  y  $\overline{\tau_b}$  son la velocidad y el esfuerzo cortante cerca del fondo, respectivamente, y  $u_0$  es la amplitud de  $u_b$ ;  $k$  es un coeficiente constante utilizado en la ley cuadrática de fricción. Una fracción  $\epsilon$  de esta energía cinética se considera disponible para incrementar la energía potencial de la columna de agua, por lo tanto en la transición de energías existe un balance definido por:

$$h / u_0^3 = 8 c \rho k \epsilon / 3 \pi \alpha g Q$$

Si el área y el tiempo de interés son limitados,  $Q$  puede ser visto como una constante. Dado que  $\epsilon$  y  $k$  son también constantes, la localización del frente puede estar comprendida en valores críticos de  $h / u_0^3$ . Suponiendo que  $u_0$  es proporcional a la amplitud de la velocidad superficial de la marea  $u_s$ ;  $h / u_s$  puede ser interpretado como el parámetro que controla la formación de un frente.

Simpson et al. (1978), amplían el modelo anterior incluyendo los efectos del viento para inducir la mezcla vertical y usan la energía potencial relativa al estado de mezcla como un índice de estratificación, definida como:

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

Para aguas mezcladas  $V = 0$ , y para una estratificación estable en aumento,  $V$  viene a ser negativo. La potencia disponible para estos cambios  $P_A$  es considerada como una fracción fija de las tasas de trabajo de los esfuerzos de las dos fronteras del frente y puede ser escrita como:

$$P_A = \epsilon k_b \rho_w (u_b^3) + \delta k_s \rho_a (w_s^3)$$

Donde  $\rho_w$  y  $\rho_a$  son las densidades del agua y del aire respectivamente,  $u_b$  la velocidad de la corriente cerca del fondo,  $w_s$  es la velocidad del viento cerca de la superficie del mar,  $k_b$  y  $k_s$  son los coeficientes de arrastre,  $\epsilon$  y  $\delta$  son las eficiencias de mezcla debido a la marea y al viento, respectivamente. Dado que el calentamiento superficial produce incrementos negativos en  $V$ , se puede escribir el balance de energía potencial como:

$$dV/dt = -\alpha g h / 2c + \epsilon k_b \rho_w (u_b^3) + \delta k_s \rho_a (w_s^3)$$

El modelo de Simpson-Allen-Morris (1978), fue mejorado por Simpson y Bowers (1981), mediante un modelo con retroalimentación permitiendo que los coeficientes de eficiencia de mezcla variaran de acuerdo a la estratificación existente, quedando la demanda de energía potencial para mantener el estado de mezcla como sigue:

$$dV/dt = -\alpha g \Delta h / 2c + f \left( \frac{4}{3\pi} \epsilon_0 k_b \rho \left( \frac{V_b^a}{h} \right) + \delta_0 k_s \rho \left( \frac{V_s^a}{h} \right) \right)$$

$$\text{Donde } f = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} = \left( \frac{V_0 - V}{V_0} \right)^{1/2}$$

Donde  $\epsilon_0$  es el valor efectivo del coeficiente de eficiencia de mezcla de mareas en el punto de transición y  $V_0$  es una constante (Simpson y Bowers, 1978).

Posteriormente Czitrom (1982), se basa el modelo de Simpson-Allen-Morris (1978), para adicionar los efectos de las lluvias y las descargas de río en la Bahía de Liverpool.

De las ecuaciones anteriores se puede tomar la correspondiente a la energía potencial relativa al estado de mezcla, la cual dividiendola entre  $h$  se obtiene la anomalía de la energía potencial o parámetro de estratificación ( $\phi$ ), representada como:

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

Definida como la cantidad de trabajo por unidad de volumen requerido para mezclar una columna de agua estratificada, sus unidades son joules/m<sup>3</sup>. El cálculo de este parámetro será útil en este trabajo como indicador de la estratificación vertical de la columna de agua y por lo tanto de la persistencia de los frentes en las épocas de verano, otoño e invierno de 1987.

#### IV. RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos del análisis de los datos recopilados en los cruceros OGMEX 1, 2 y 3, mostrándose las gráficas de las descargas de los principales ríos que desembocan en la Bahía de Campeche, los perfiles concentrados, perfiles verticales, distribución en secciones transversales (transectos) y distribuciones horizontales (planos horizontales), de los parámetros físicos más importantes como son la temperatura, salinidad y la densidad relativa ( $\sigma-t$ ), así como un plano horizontal de la anomalía de energía potencial o parámetro de estratificación  $\Phi$ , para cada crucero.

En las gráficas de los registros de volumen de agua de ríos se podrán observar las variaciones mensuales de algunos afluentes de los ríos Papaloapan, Grijalva y Usumacinta, y de un afluente del río Coatzacoalcos. El flujo de agua fué medido diariamente por estaciones fluviales de la Comisión Federal de Electricidad (C.F.E.), obteniéndose mensualmente el flujo y el volumen promedio. La suma o el promedio de las magnitudes del volumen descargado por los afluentes de los ríos observadas en la gráfica, no representa el volumen total de agua dulce al mar, ya que como se ha hecho énfasis, son únicamente algunos afluentes, y cuyas estaciones en algunos casos se encuentran alejados de la costa. No obstante, se aprecian claramente las variaciones estacionales ocurridas en cada estación fluvial.

En los perfiles concentrados se podrán observar las variaciones temporales de los parámetros físicos en su conjunto mismos que se muestran hasta 200 m. En lo correspondiente a las distribuciones en secciones transversales (transectos), se seleccionaron cinco de ellas en las cuales se puede observar claramente la influencia de la descarga de los ríos en el ambiente marino, así como las fluctuaciones térmicas temporales hasta los 50 m de profundidad.

En los perfiles verticales se detalla la distribución de los parámetros físicos y su comportamiento respecto a la profundidad, hasta la máxima muestreada en cada estación. En cada crucero y de cada uno de los cinco transectos seleccionados se tomaron la estación costera y la que se encuentra fuera de la plataforma continental, para analizar la influencia de los ríos en las aguas marinas, la profundidad de la capa de mezcla y su calentamiento.

En los planos horizontales se observará la variación espacio-temporal y en consecuencia los efectos de las descargas de los ríos y las tendencias de la circulación superficial en cada época, a 2, 10 y 30 m de profundidad.

Finalmente, en el plano horizontal de la anomalía de energía potencial se observará en que lugares se localizan sus valores máximos y la estratificación asociada a los frentes. La profundidad máxima usada en el cálculo de este parámetro fué de 30 m. Esta anomalía es interpretada como la cantidad de trabajo por  $m^3$  que es requerido para mezclar una capa verticalmente estratificada.

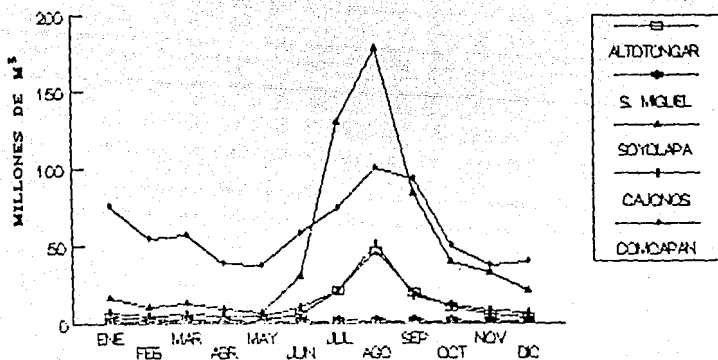
#### IV.1. DESCARGAS DE RIO.

El volumen de agua de los afluentes del río Papaloapan (fig.4.1A), se observa bastante reducido durante los meses de enero a mayo, a pesar de que en el ramal Comopan presenta valores mayores que los demás. Dentro del grupo de afluentes con menor volumen entre enero y mayo (Altotongar, San Miguel, Cajonos y Soyolapa), el Soyolapa presentó mayor volumen que fué de  $16'426,000 m^3$ . A partir del mes de mayo se inicia el incremento del volumen promedio, teniendo todos los afluentes un valor máximo en el mes de agosto, destacando el correspondiente al Soyolapa con  $178'886,000 m^3$ . Posteriormente se inicia un descenso continuo en el volumen de todos los afluentes hasta valores mínimos en el mes de diciembre.

Por lo que corresponde al río Coatzacoalcos, se obtuvo únicamente la información de uno de los afluentes (fig. 4.1B), en el cual se aprecia un decremento del volumen promedio entre los meses de enero a mayo. En los meses de junio y julio este volumen se incrementa abruptamente, observándose una ligera disminución en

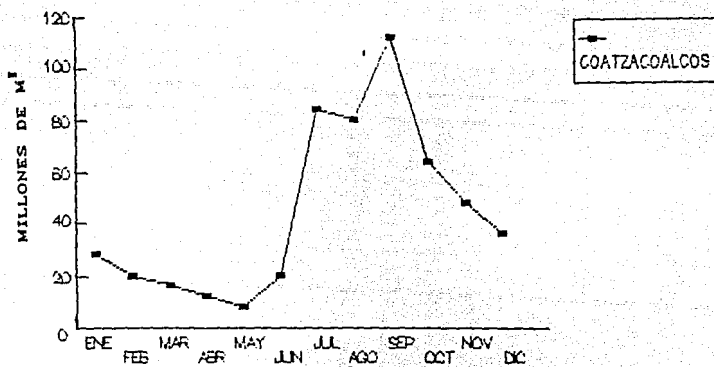


### RIO PAPALOAPAN



( A )

### RIO COATZACOALCOS



( B )

FIGURA 4.1. PROMEDIO MENSUAL DEL VOLUMEN DE AGUA DE RIOS MUESTREADOS POR C.F.E. PARA 1987.

A) AFLUENTES DEL RIO PAPALOAPAN.

B) AFLUENTE DEL RIO COATZACOALCOS.

el mes de agosto, para llegar al máximo en el mes de septiembre, con un valor de 118'000,000 m<sup>3</sup>, desde donde se inicia el descenso hasta el mes de diciembre.

En la figura 4.2A se muestra el volumen de algunos afluentes del río Grijalva, presentándose dos de ellos, el San Pedro y el Tulija con pocas variaciones, éste último con un ligero máximo en el mes de septiembre. Por lo que corresponde al Tacotalpa, se observan valores mínimos en los meses de febrero a abril con un ligero incremento en el mes de mayo, a partir del cual se origina un gran incremento con un valor de 238'940,000 m<sup>3</sup>. Posteriormente se presenta un ligero decremento entre los meses de junio a agosto, ocurriendo otro incremento considerable con un máximo de 331'315,000 m<sup>3</sup> entre los meses de septiembre y octubre. A partir de octubre se presenta un importante descenso en el volumen, mismo que continúa, pero menos pronunciado, entre los meses de noviembre y diciembre.

Para el río Usumacinta (fig. 4.2B), en todos los afluentes se observa valores mínimos entre enero y mayo, incrementándose el volumen a partir de este mes en la mayoría de los afluentes. El ramal principal (Usumacinta) presenta un máximo de 8,343'000,000 m<sup>3</sup> en el mes de agosto. Finalmente, entre los meses de septiembre y octubre se inicia el descenso del volumen, manteniéndose aproximadamente constante a partir de este último mes.

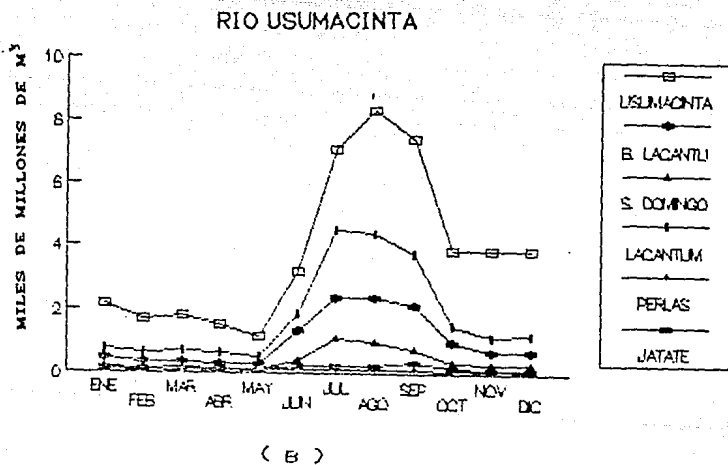
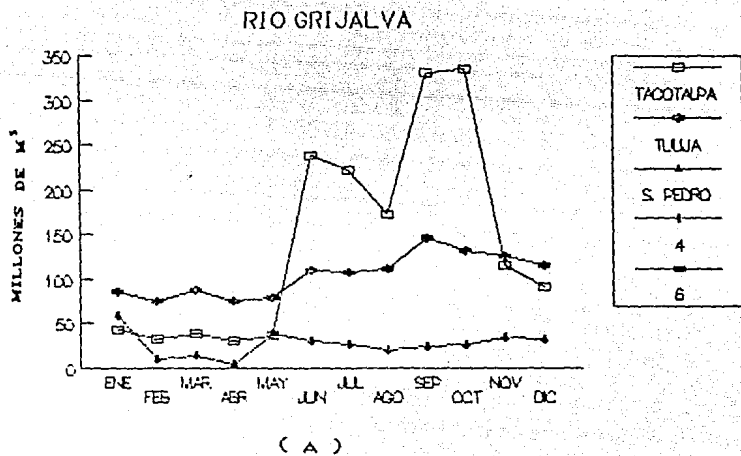


FIGURA 4.2. PROMEDIO MENSUAL DEL VOLUMEN DE AGUA DE RIOS MUESTREADOS POR C.F.E. PARA 1987.

A) AFLUENTES DEL RIO GRIJALVA.

B) AFLUENTES DEL RIO USUMACINTA.

## IV.2. CRUCERO OGMEX-1.

### IV.2.1. PERFILES CONCENTRADOS

En la figura 4.3 se distinguen los perfiles de temperatura, salinidad y sigma-t de cada una de las estaciones del crucero. El rango de temperatura en los primeros cien metros de profundidad se presenta entre 22.30 y 25.00°C. Dentro de esta variación se observan dos tipos de aguas, uno muy homogéneo formado por aguas costeras y de plataforma ubicadas entre los 93.5 y 96.0° W, y de oceánicas, y otro menos homogéneo formado por aguas ubicadas principalmente en zonas poco profundas de alta evaporación, entre los 91 y 93.5°W. Abajo de los 100 metros la temperatura del agua desciende en grupo hasta valores entre 14.00 y 18.00°C, a 200 m (fig 4.3A). En esta época se presenta una termoclina fuertemente erosionada.

El perfil concentrado de salinidad (fig 4.3B), se aprecia muy homogéneo, con una gran cantidad de estaciones que presentan salinidades alrededor de 36.00, desde la superficie hasta los 200 m. Son aguas costeras y de plataforma ubicadas entre los meridianos 94.0 y 96.0°W. Así mismo se puede observar una zona donde las estaciones revelaron salinidades menores de 35.50, influenciadas fundamentalmente por la descarga de los principales ríos que desembocan en la bahía. Se aprecia otra zona con aguas más salinas,

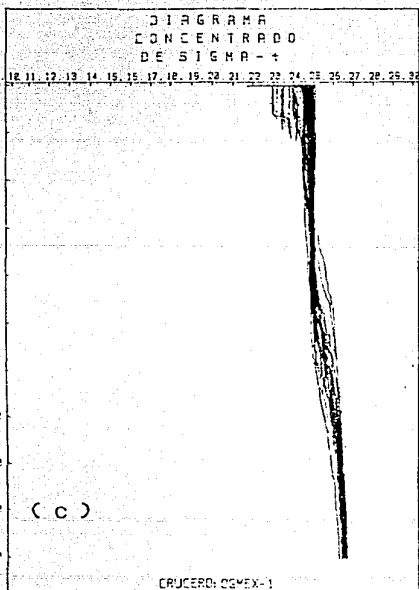
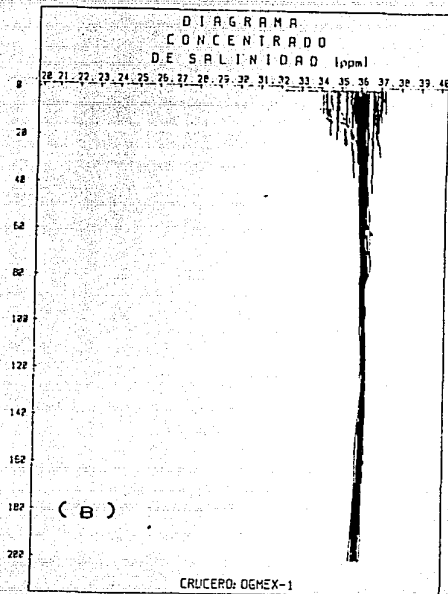
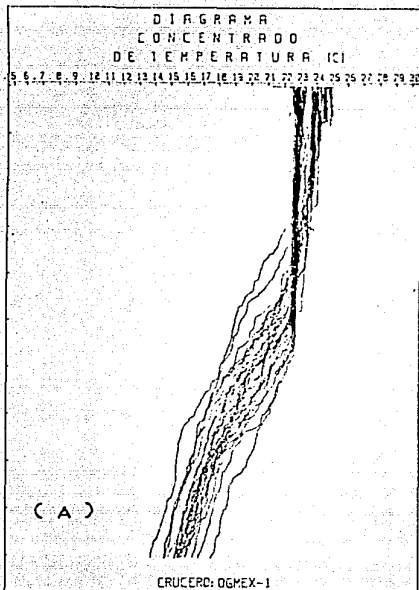


FIGURA 4.3. DIAGRAMAS  
CONCENTRADOS DEL CRUCERO

OGMEX-1.

A) TEMPERATURA.

B) SALINIDAD.

C) SIGMA-T.

que se originan en las zonas de alta evaporación de la plataforma de Campeche. Ambas zonas minoritarias son principalmente costeras y de poca profundidad.

El perfil de  $\sigma_t$  (fig 4.3C) presenta un rango entre 22.80 y 26.80 y se aprecia relativamente homogéneo en la vertical. La sigma-t varia alrededor de 24.70 con un cierto grupo de baja densidad influenciado por la desembocadura de los ríos.

#### IV.2.2. PERFILES VERTICALES

La figura 4.4A muestra los perfiles de la estación 42, en los cuales se puede advertir una capa homogénea hasta una profundidad de 45 m aproximadamente, con valores de temperatura, salinidad y  $\sigma_t$  alrededor de 23.90°C, 36.20 y 24.60, respectivamente. La temperatura va disminuyendo y la salinidad y  $\sigma_t$  van aumentando paulatinamente hasta la máxima profundidad muestreada que fue de 100 m, donde se registraron valores de 21.63°C, 36.36 y 25.36.

Los perfiles de la estación costera 46 (fig.4.4B), presentan una capa bien mezclada con valores cercanos a 24.50°C de temperatura, 34.90 de salinidad y 23.45 de  $\sigma_t$ .

En la figura 4.4C se aprecian los perfiles de la estación 52 en la cual se observa una capa homogénea hasta 30 m de profundidad con valores de temperatura, salinidad y  $\sigma_t$  de 23.83°C, 36.17 y

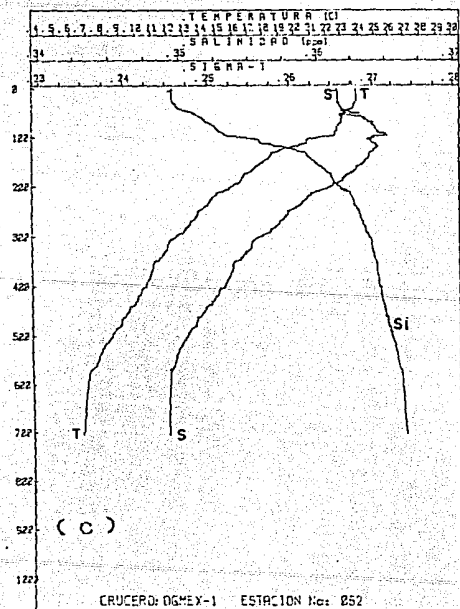
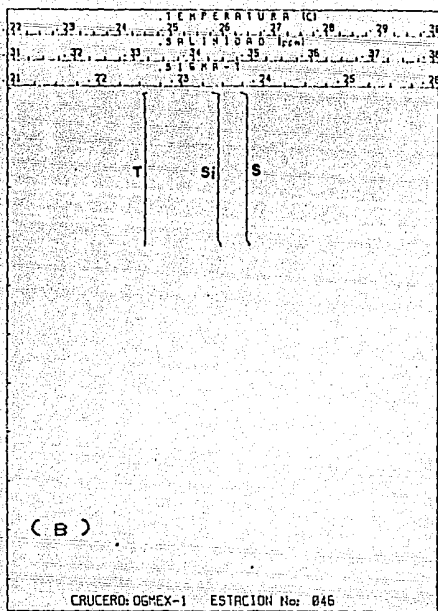
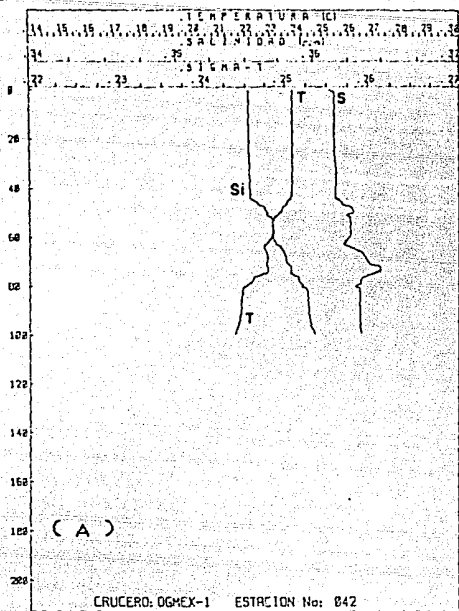


FIGURA 4.4. PERFILES VERTICALES DE TEMPERATURA, SALINIDAD Y SIGMA-T. CRUCERO OGMEX-1.

- A) ESTACION 42.
- B) ESTACION 46.
- C) ESTACION 52.

24.60, respectivamente. Se distinguen decrementos en la temperatura e incrementos en la densidad hasta 100 m, profundidad aproximada en la cual se presentan la termoclina, la pycnoclina y un máximo de salinidad de 36.56. La temperatura salinidad y densidad decrecen hasta valores de 6.74°C, 34.93 y 27.42, a 700 metros de profundidad.

En la figura 4.5A se observan los perfiles de la estación 57, la cual se encuentra localizada frente a la desembocadura del sistema Grijalva-Usumacinta. En esta gráfica se aprecia una mezcla total con valores de temperatura, salinidad y sigma-t alrededor de 23.35°C, 34.21 y 23.25.

Los perfiles de la estación costera número 69 (fig. 4.5B), ubicada frente a las lagunas del Carmen y Machona, presentan ciertas fluctuaciones de los parámetros hidrográficos hasta una profundidad de 11 m., con valores iniciales de 22.45°C, 34.70 y 23.85. Posteriormente se percibe una marcada homogeneidad con valores alrededor de 22.65°C, 35.23 y 24.22 para la temperatura, salinidad y densidad, respectivamente.

En la figura 4.5C se exponen los perfiles de la estación 76, en los que se pueden apreciar una capa superficial mezclada con un espesor de 90 metros, con valores de 23.56°C, 36.27 y 24.75. Posteriormente, se distinguen la haloclina y la pycnoclina sin presentarse una termoclina bien definida, observándose un máximo de



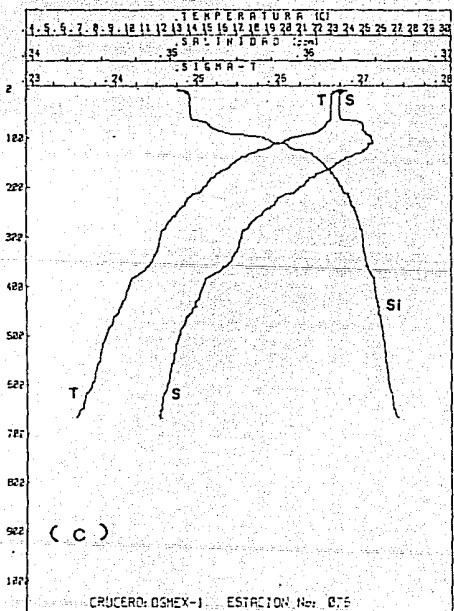
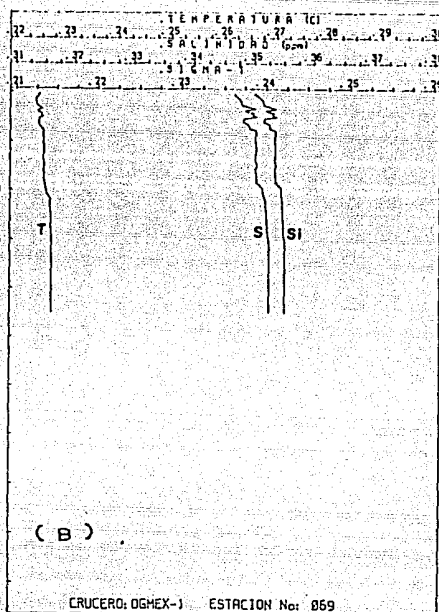
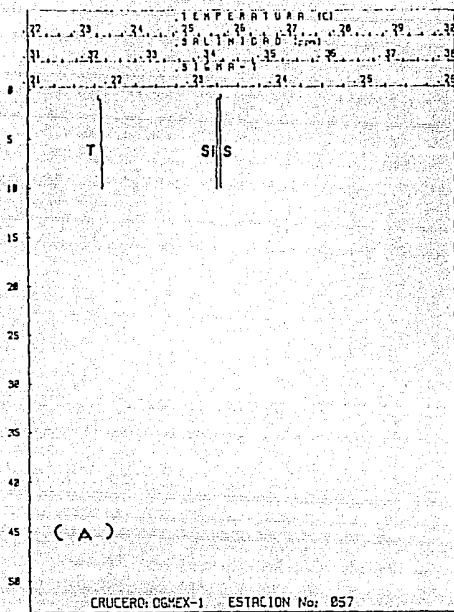


FIGURA 4.5. PERFILES VERTICALES DE TEMPERATURA, SALINIDAD Y SIGMA-T. CRUCERO OGMEX-1.

- A) ESTACION 57.
- B) ESTACION 69.
- C) ESTACION 76.

salinidad de 36.47 a 100 m aproximadamente. A mayor profundidad la temperatura y la salinidad van en descenso y la  $\sigma_t$  en ascenso hasta los 660 m de profundidad, donde los valores son de 6.70°C, 34.94 y 27.44, respectivamente.

Los perfiles de la estación 81, ubicada frente a la desembocadura del río Coatzacoalcos, muestran la columna de agua muy mezclada con valores alrededor de 22.65°C, 35.93 y 24.76 (fig. 4.6A).

En la figura 4.6B se pueden apreciar los perfiles de la estación 102, la cual está ubicada cerca de la desembocadura del río Papaloapan, observándose una capa superficial mezclada con valores de 22.52°C, 35.86 y 24.75. A partir de los 10 m de profundidad la temperatura desciende y la salinidad y la  $\sigma_t$  aumentan hasta valores de 22.32°C, 36.20 y 25.05 a una profundidad de 14 m.

#### IV.2.3. SECCIONES TRANSVERSALES (TRANSECTOS)

En la figura 4.7A se distingue la estructura térmica del transecto 1, mismo que se presenta muy homogéneo con valores alrededor de 22.50°C. La distribución halina del mismo transecto presenta una situación de homogeneidad similar, con valores alrededor de 36.00 (fig. 4.7B), existiendo un pequeño núcleo de salinidades menores a 35.5, de 2 m de profundidad, en la estación

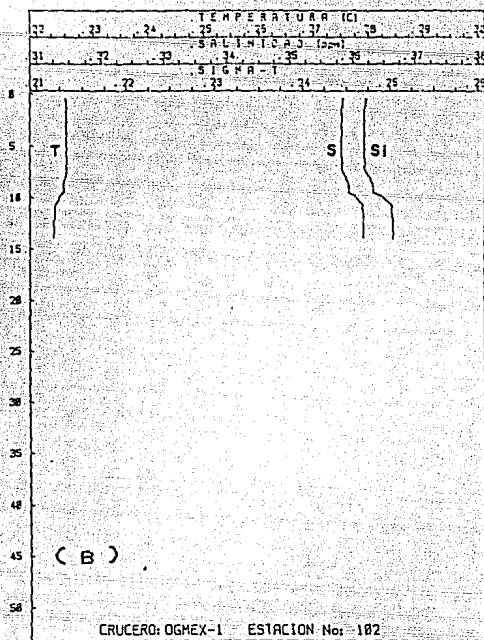
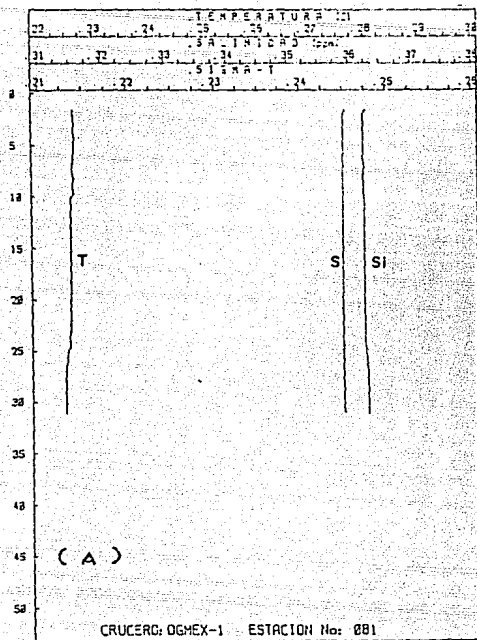


FIGURA 4.6. PERFILES VERTICALES  
DE TEMPERATURA, SALINIDAD Y  
SIGMA-T. CRUCERO OGMEX-1.

- A) ESTACION 81.
- B) ESTACION 102.

En la figura 4.7C se aprecia la distribución de  $\sigma_t$  a lo largo del transecto 1, presentándose fuertemente homogéneo con valores alrededor de 25.00.

En la figura 4.8A se observa la estructura térmica del transecto 2, mostrando una fuerte homogeneidad con valores de temperatura alrededor de los 23.00°C.

La figura (4.8B) muestra la estructura halina del transecto 2, también bastante homogéneo, con valores alrededor de 36.00. Cabe mencionarse que no se aprecia ninguna influencia del río Coatzacoalcos, registrándose valores mínimos de 35.95 en la superficie de las estación más cercana a este río.

Como resultado de las dos distribuciones anteriores, la  $\sigma_t$  se presenta casi totalmente homogénea con variaciones muy pequeñas alrededor de 24.80 (fig.4.8C).

La estructura térmica del transecto 3, con tres únicas estaciones, se presenta también muy homogénea con pequeñas variaciones alrededor de los 22.50°C (fig.4.9A).

La estructura halina del transecto 3 muestra un pequeño gradiente horizontal en la zona costera. Por lo demás se presenta

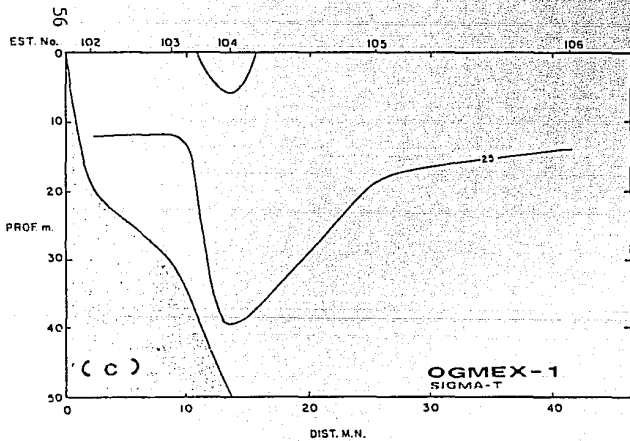
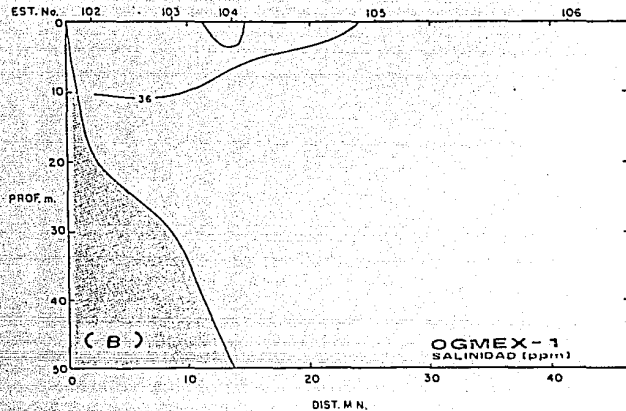
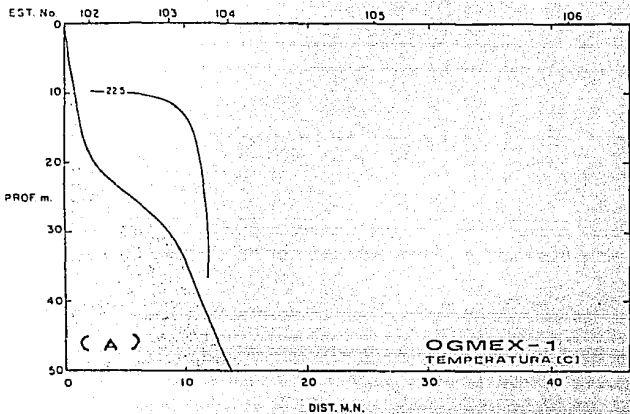


FIGURA 4.7. TRANSECTO 1. CRUCERO OGMEX-1.  
DISTRIBUCIONES DE:

- A) TEMPERATURA.
- B) SALINIDAD.
- C) SIGMA-T.

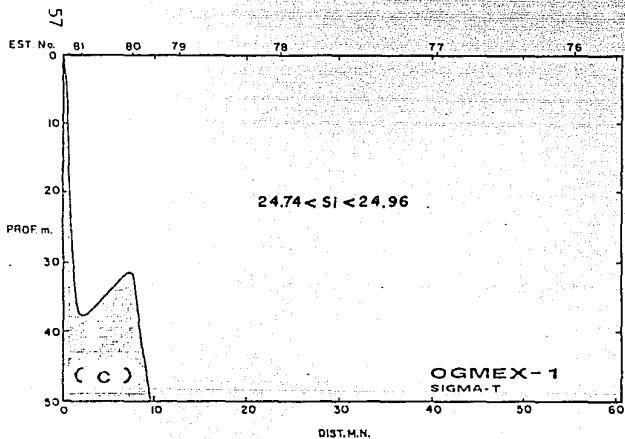
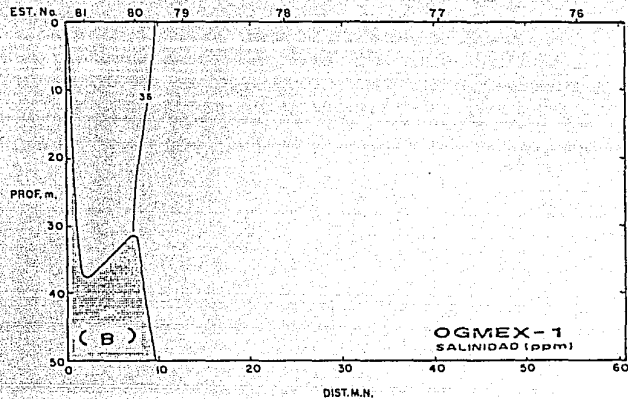
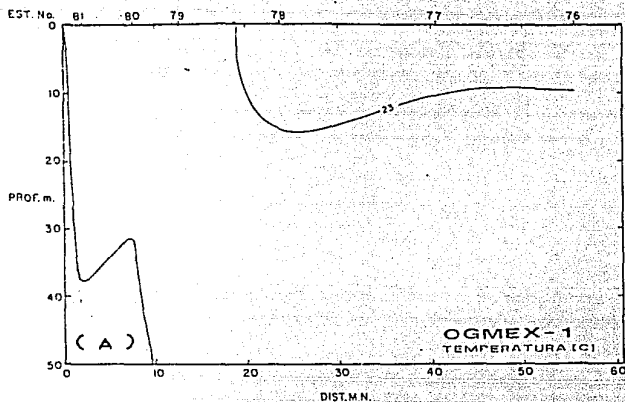


FIGURA 4.8. TRANSECTO 2. CRUCERO OGMEX-1.

DISTRIBUCIONES DE:

- A) TEMPERATURA.
- B) SALINIDAD.
- C) SIGMA-T.

una mezcla muy marcada. Los valores cercanos a la costa fueron de 34.81 y los más alejados de ella de 36.00 (fig. 4.9B).

En la figura 4.9C se observa la distribución de  $\sigma_t$  de dicho transecto, misma que se presenta como resultado de la figura anterior, con un débil gradiente horizontal en la costa con valores de densidad alrededor de 23.97. Los valores más alejados a la costa fueron de 24.8, mostrando bastante homogeneidad.

La estructura térmica del transecto 4 presenta una capa superficial homogénea con valores alrededor de 23.50°C. A partir de los 30 m de profundidad se observa un pequeño gradiente vertical (fig.4.10A).

En la estructura halina del transecto 4 se aprecia la influencia de los ríos Grijalva-Usumacinta, con isohalinas casi verticales cerca de la costa, mismas que se van inclinando y ondulando más allá de la estación 53. Los valores más cerca de la costa son de 34.20 y los más alejados de ella son de 36.29 (fig. 4.10B).

La distribución de  $\sigma_t$  a lo largo del transecto 4 refleja la influencia de la estructura halina mostrada anteriormente. Los valores mínimos fueron registrados cerca de la costa siendo de 23.24 y los máximos en la estación 52, de 24.84 (fig.4.10C).

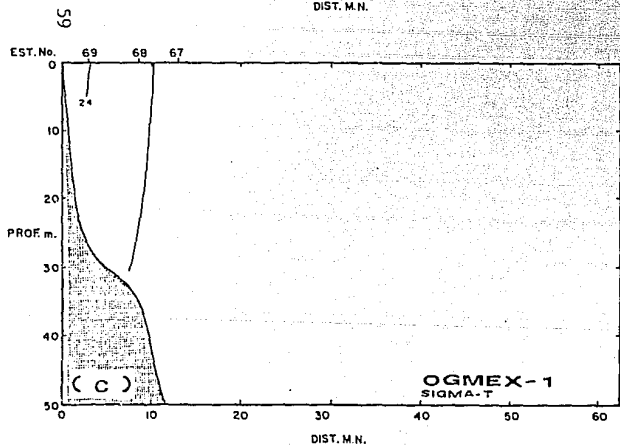
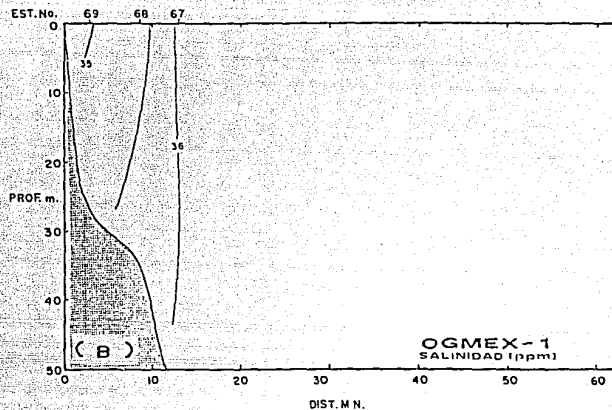
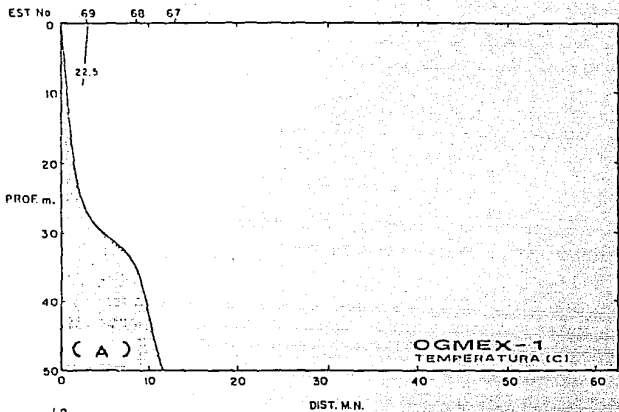


FIGURA 4.9. TRANSECTO 3. CRUCERO OGMEX-1.

DISTRIBUCIONES DE:

- A) TEMPERATURA.
- B) SALINIDAD.
- C) SIGMA-T.



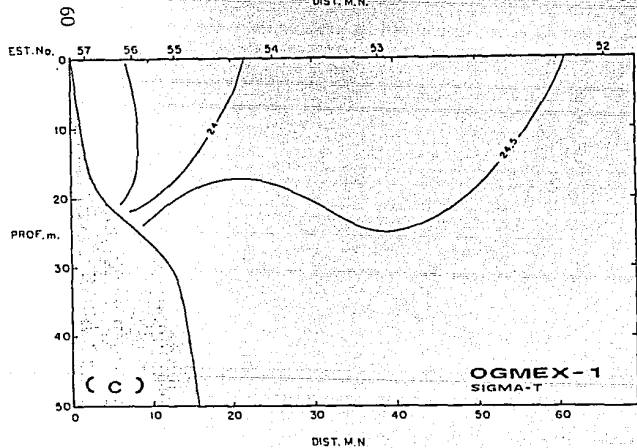
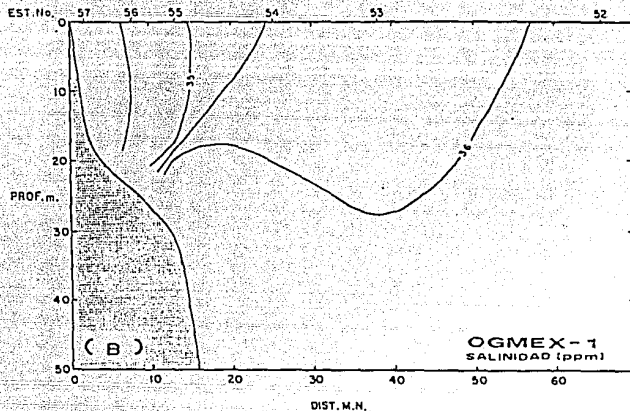
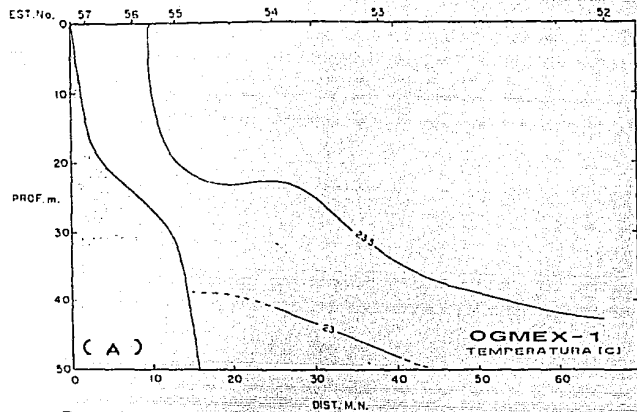


FIGURA 4.10. TRANSECTO 4. CRUCERO OGMEX-1.

DISTRIBUCIONES DE:

A) TEMPERATURA.

B) SALINIDAD.

C) SIGMA-T.

En la figura 4.11A se aprecia la estructura térmica a lo largo del transecto 5, la cual es bastante homogénea existiendo valores cercanos a la costa de 24.50°C y lejanos a ésta de 24.00°C.

La distribución de salinidad del transecto 5 muestra un pequeño gradiente horizontal entre las estaciones 44 y 46, variando la salinidad en 1.00 a lo largo del transecto. En la parte más lejana de la costa se observa una mezcla muy marcada (fig. 4.11B)

En la distribución de  $\sigma_t$  del transecto mencionado, se observa una forma muy semejante a la de la figura anterior, con una distribución de las isopichas casi vertical y con un ligero gradiente horizontal entre las estaciones 43 y 46. Los valores cercanos a la costa son de 23.50 y los más alejados de ella de 24.50 (fig. 4.11C).

#### IV.2.4. DISTRIBUCIONES HORIZONTALES (PLANOS HORIZONTALES)

En la figura 4.12A se observa la distribución horizontal de temperaturas a 2 m de profundidad, en la cual se observan dos zonas. Una al oeste con una temperatura uniforme de 22.75 °C, y la otra al este caracterizada por la existencia de un cierto gradiente de temperatura cuyas variaciones se encuentran entre 23.00 y 25.00°C. En la zona contigua a la desembocadura de los ríos Grijalva-Usumacinta y San Pedro-San Pablo las isotermas se presentan casi paralelas a la costa con temperaturas entre 23.25 y

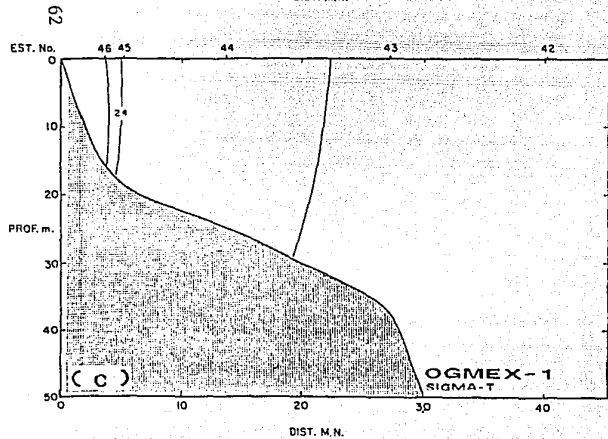
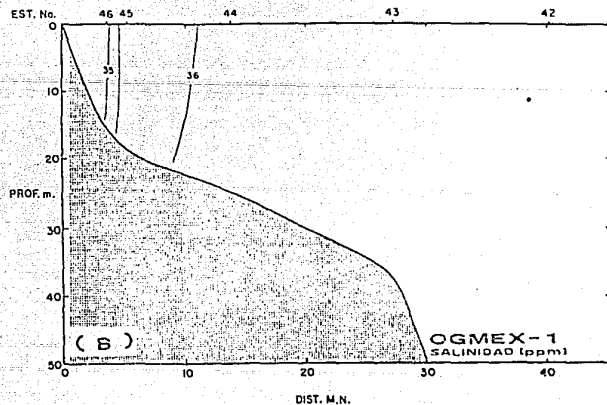
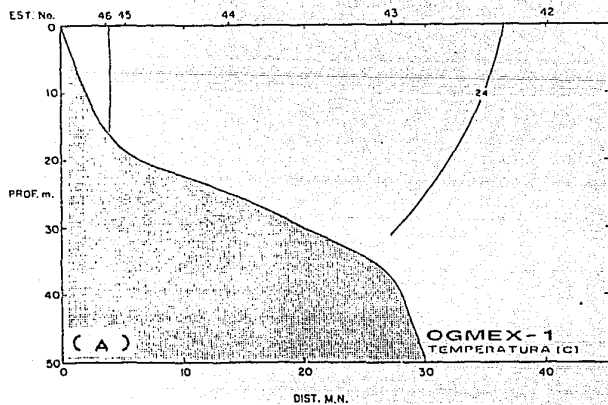


FIGURA 4.11. TRANSECTO 5. CRUCERO OGMEX-1.

DISTRIBUCIONES DE:

A) TEMPERATURA.

B) SALINIDAD.

C) SIGMA-T.

24.00 °C. En la zona frente a la Laguna de Términos las isotermas se presentan semicirculares con valores entre 24.25 y 25.00 °C, decreciendo de la costa hacia mar abierto.

La distribución horizontal de salinidad a 2 m (fig 4.12B), muestra una zona relativamente homogénea al oeste de la Bahía, con salinidades alrededor de los 35.50 y una zona este con un fuerte gradiente horizontal variando entre 34.20 y 37.40. Las isohalinas frente a las desembocaduras del sistema Grijalva-Usumacinta y San Pedro-San pablo se presentan casi paralelas a la costa mismas que se dispersan en una amplia zona, variando entre los 34.25 y 36.00. Esta distribución de salinidad frente a los ríos seguramente es causada por su descarga de agua dulce hacia el mar. Frente a la Laguna de Términos las isohalinas van tendiendo a hacerse perpendiculares a la costa registrandose altos valores de salinidad (37.40) al este de la laguna citada.

La figura (4.12C) presenta la distribución de  $\sigma_t$  a 2 m de profundidad, con una clara influencia de la descarga de los ríos en la estructura halina. Los valores en la zona homogénea se encuentran alrededor de 24.75. Frente a los ríos Grijalva-Usumacinta se tienen valores de 23.00 a 24.50, con un máximo de densidad de 25.22, al este de la Laguna de Términos.

Cabe mencionarse que tanto la distribución de salinidad como la de sigma-t presentan una cierta forma simétrica frente a la zona

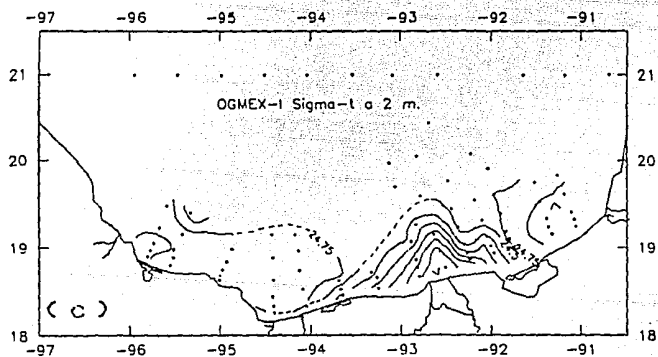
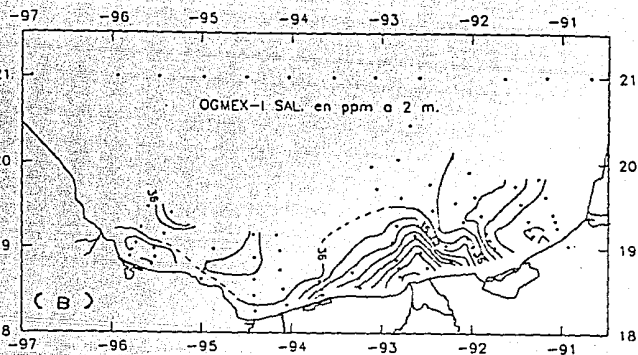
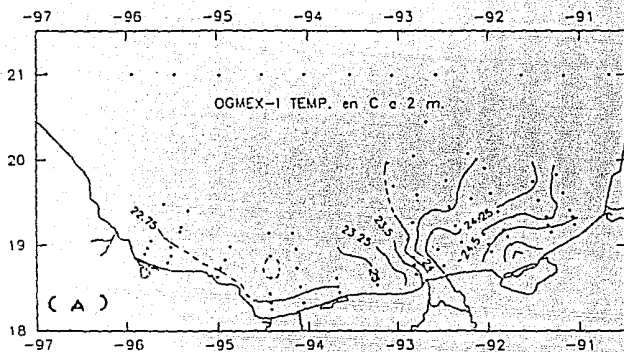


FIGURA 4.12. PLANOS HORIZONTALES A 2 METROS DE PROFUNDIDAD. CRUCERO OGMEX-1.

- A) TEMPERATURA.
- B) SALINIDAD.
- C) SIGMA-T.

de la desembocadura del sistema Grijalva-Usumacinta y la de los ríos San Pedro-San Pablo, observándose que el eje de simetría se encuentra ligeramente desplazado hacia la derecha respecto a la desembocadura de los ríos, lo cual sugiere que las corrientes de la bahía van de oeste a este, en el invierno.

Las figuras 4.13A, B, C muestran la distribución horizontal de temperatura, salinidad y  $\sigma_t$ , a 10 m de profundidad, observándose en todos los casos una marcada similitud con sus correspondientes a 2 m, tanto en forma como en valores. A esta profundidad persiste la influencia de la descarga de los ríos, observándose también el desplazamiento del eje de simetría de los campos de salinidad y  $\sigma_t$ , con respecto a las desembocaduras, hacia el este de la Bahía.

En la figura 4.14A se muestra la distribución horizontal de la temperatura a 30 m de profundidad, en la cual se puede observar una cierta homogeneidad en toda la zona, principalmente al oeste con una temperatura de  $22.75^{\circ}\text{C}$ . En la porción este se presentan unas cuantas isotermas perpendiculares a las costa con valores entre los  $23.00$  y  $24.00^{\circ}\text{C}$ .

Respecto a la salinidad y la  $\sigma_t$  a 30 metros de profundidad (figs. 4.14B y C), también se observa una cierta homogeneidad. La salinidad varía entre los  $36.00$  y  $36.5$  y la densidad entre  $24.75$  y  $25.00$ . En este nivel ya no se aprecia la

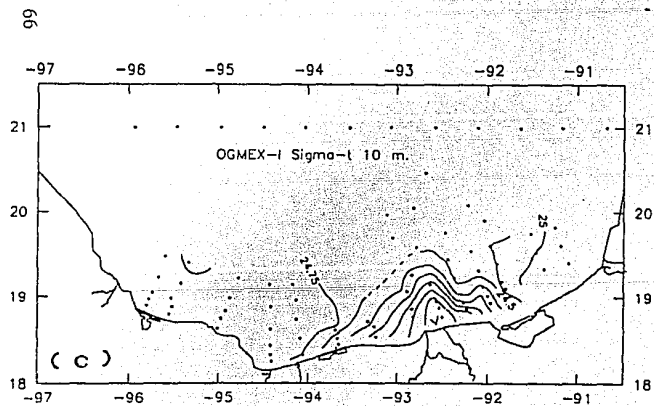
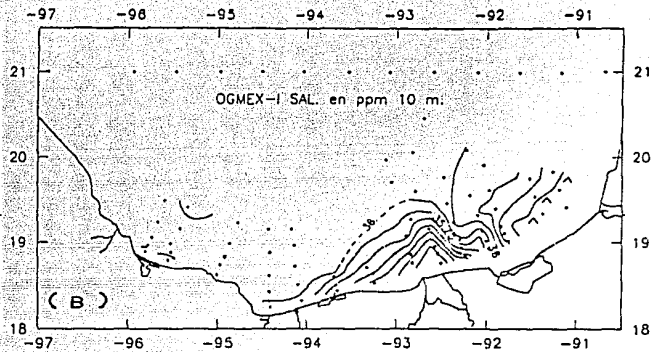
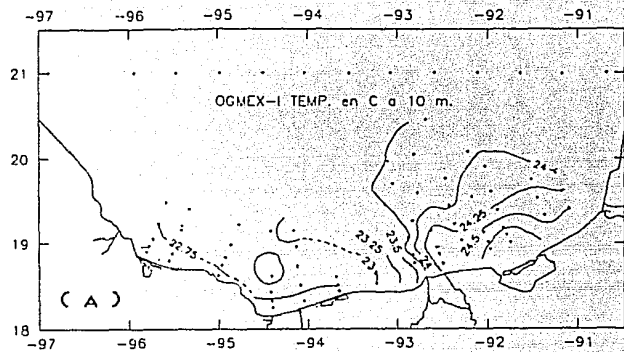


FIGURA 4.13. PLANOS HORIZONTALES A 10 METROS DE PROFUNDIDAD. CRUCERO OGMEX-1.

- A) TEMPERATURA.
- B) SALINIDAD.
- C) SIGMA-T.

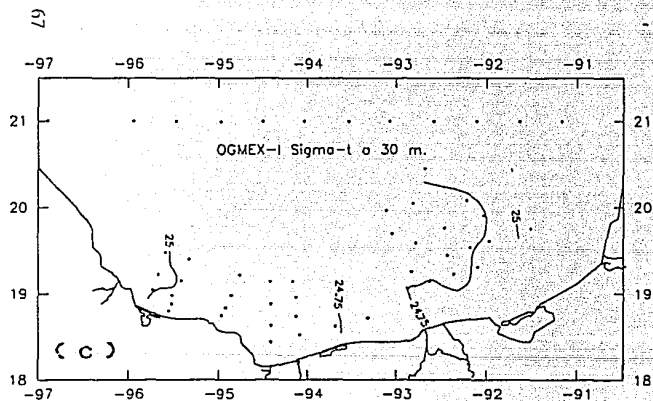
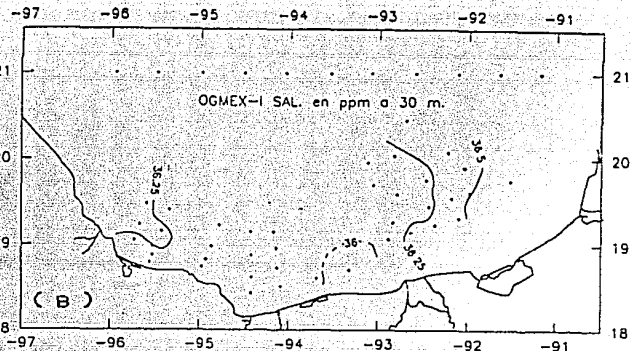
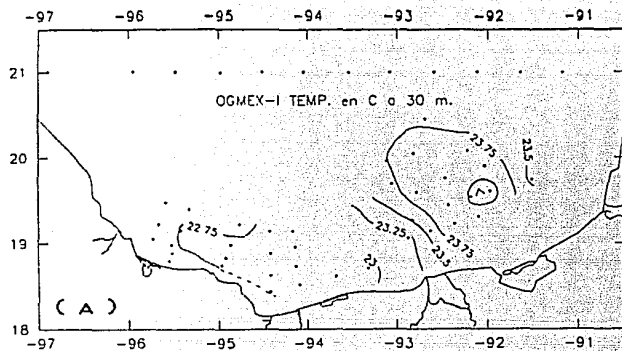


FIGURA 4.14. PLANOS HORIZONTALES A 30 METROS DE PROFUNDIDAD. CRUCERO OGMEX-1.

A) TEMPERATURA.

B) SALINIDAD.

C) SIGMA-T.



influencia de los rios en la zona costera.

#### IV.2.5 ANOMALIA DE ENERGIA POTENCIAL (PARAMETRO DE ESTRATIFICACION)

En la figura 4.15 se muestra el plano horizontal de la anomalia de energia potencial, en el cual se aprecia una zona de estratificacion frente al sistema Grijalva-Usumacinta, la cual se encuentra ligeramente desplazada hacia afuera de la costa y hacia el este de la desembocadura del sistema Grijalva-Usumacinta. Los valores máximos de este parametro fueron localizados en la estación 48 con un valor de  $96 \text{ joules/m}^3$ .

En las zonas frente al rio Papaloapan y la Laguna de Términos, se aprecia una ligera estratificación con valores de  $36 \text{ Joules/m}^3$ , en la estación 100 cerca del rio, y de  $30 \text{ Joules/m}^3$  frente a la laguna, respectivamente. No se detectan más zonas de estratificación en la región costera de la Bahía.

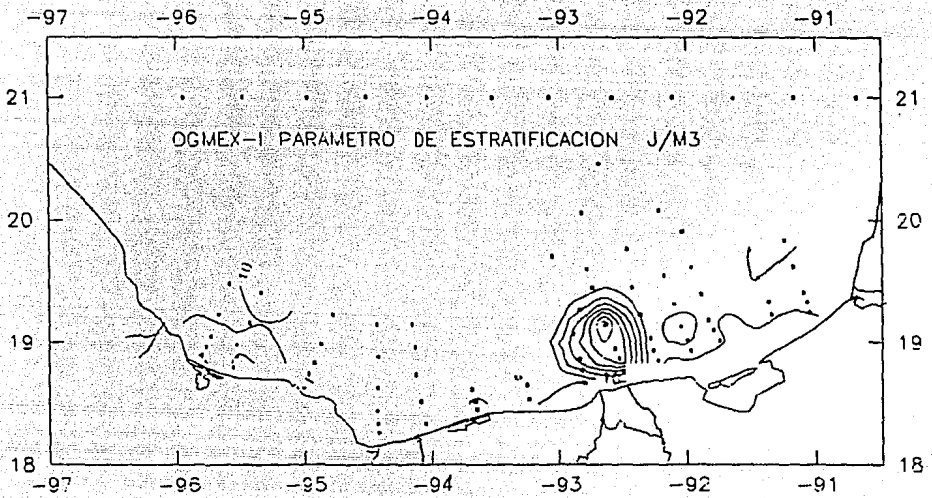


FIGURA 4.15. PLANO HORIZONTAL DE LA ANOMALIA DE ENERGIA POTENCIAL (PARAMETRO DE ESTRATIFICACION  $\phi'$ ). CRUCERO OGMEX-1.

### IV.3. CRUCERO OGMEX-2

#### IV.3.1. PERFILES CONCENTRADOS

En la figura 4.16A se muestran los perfiles concentrados de temperatura de todas las estaciones del crucero, en la cual se aprecia una fuerte heterogeneidad en los primeros 50 m de profundidad, con valores que van desde los 25.00 hasta los 28.90°C, observándose en la mayoría de los casos una marcada termoclina. A mayores profundidades se observa una menor heterogeneidad, disminuyendo la temperatura hasta valores entre 13.80 y 16.50°C, a 200 m.

El diagrama concentrado de perfiles de salinidad muestra una marcada heterogeneidad hasta los 15 m debido a las fuertes descargas de los ríos en esta época del año, con valores desde 14.00 hasta 36.50. Así mismo se observa que en un área las estaciones presentan salinidades en el rango de 36.00 a 36.50, mismas que corresponden a la zona de alta evaporación en la plataforma de Campeche y sus alrededores. A mayor profundidad se distingue una marcada homogeneidad con salinidades entre 36.00 y 36.50 hasta los 200 m de profundidad (fig. 4.16B).

En la figura 4.16C se aprecian los perfiles de  $\sigma_t$ , donde se observa también una marcada heterogeneidad hasta los 15 m de

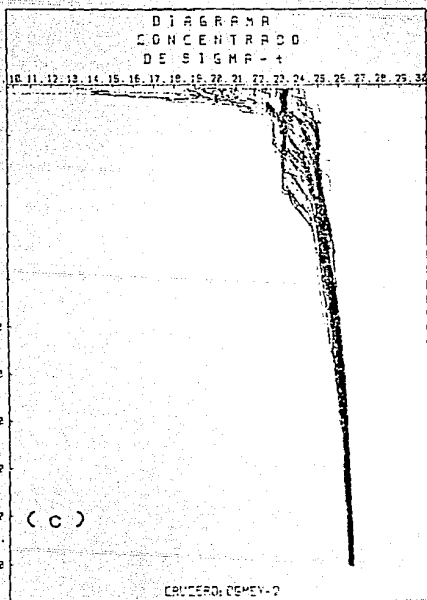
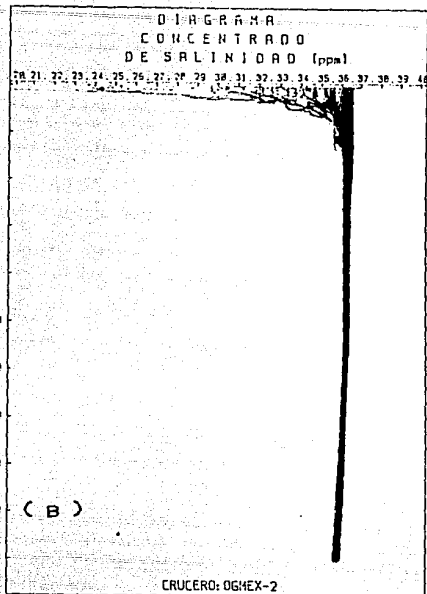
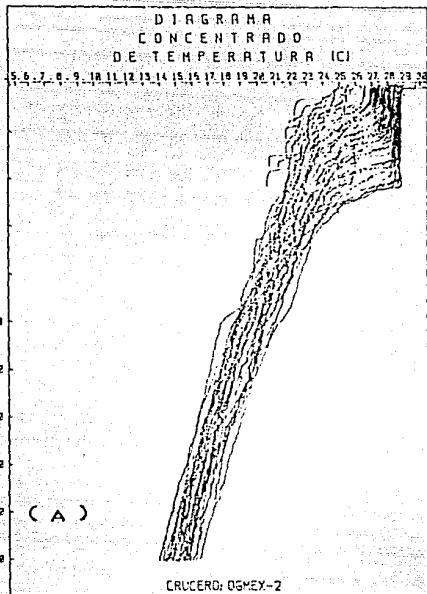


FIGURA 4.16. DIAGRAMAS  
CONCENTRADOS DEL CRUCERO  
OGMEX-2.

- A) TEMPERATURA.
- B) SALINIDAD.
- C) SIGMA-T.

profundidad, con valores entre 6.59 y 24.25. Bajo esta capa se ve una zona menos heterogénea que llega hasta los 48 m, con valores entre 22.5 y 25.25. Finalmente a mayor profundidad, las aguas se tornan bastante homogéneas con valores entre 26.25 y 26.60 a 200 m.

#### IV.3.3. PERFILES VERTICALES

En la figura 4.17A se pueden distinguir los perfiles de la estación 42, en la cual se aprecia una capa de mezcla con espesor de 38 m, donde se presentan valores de 28.00°C, 36.50 y 23.45. Posteriormente se observan la termoclina y la picroclina muy marcadas con pequeñas variaciones en la salinidad alrededor de 36.45. A mayor profundidad la temperatura disminuye hasta 19.50°C y  $\sigma_t$  aumenta a 26.00, manteniéndose la salinidad alrededor de 36.50 en la máxima profundidad muestreada que fué de 100 m.

Los perfiles de la estación costera 46 presentan una capa superficial muy mezclada hasta una profundidad de 12 metros, con valores de 27.30°C, 36.36 y 23.67. Posteriormente aparecen, como en el caso anterior, una termoclina y picroclina muy marcadas cercanas al fondo, manteniéndose constante la salinidad. Finalmente se aprecia una capa delgada y homogénea pegada al fondo con valores de 23.25°C, 36.45 y 24.98 (fig. 4.17B).

En la figura 14.17C se aprecian los perfiles de la estación 52, en la que se puede ver la capa de mezcla con un espesor de 35

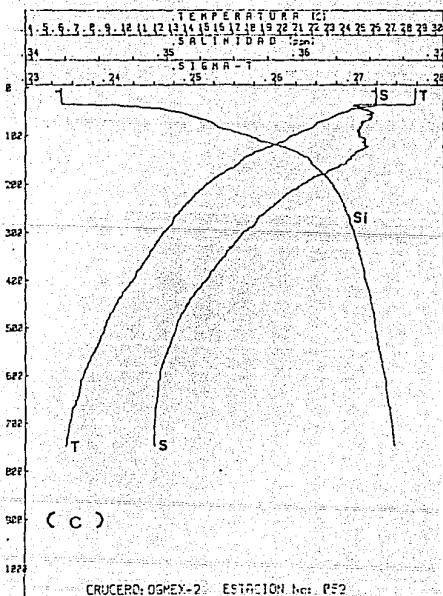
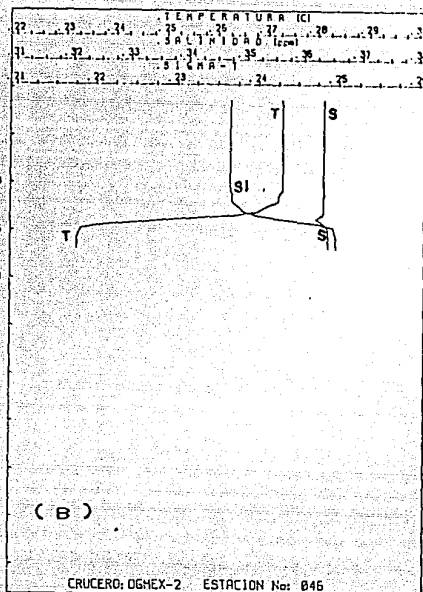
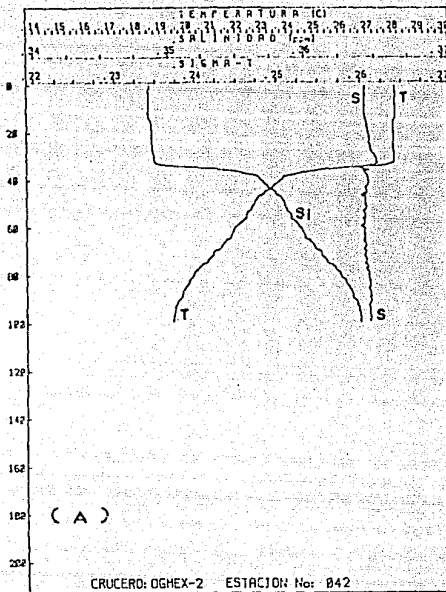


FIGURA 4.17. PERFILES VERTICALES DE TEMPERATURA, SALINIDAD Y SIGMA-T. CRUCERO OGMEX-2.

- A) ESTACION 42.
- B) ESTACION 46.
- C) ESTACION 52.

m, y valores de  $28.6^{\circ}\text{C}$ , 36.55 y 23.38. Posteriormente se observan la termoclina y la picroclina muy intensas con una haloclina no muy bien definida. A profundidades mayores, tanto la temperatura como la salinidad disminuyen y  $\sigma_t$  aumenta hasta valores de  $6.22^{\circ}\text{C}$  34.90 y 27.47, respectivamente.

Los perfiles de la estación costera 57 (fig 4.18A), la cual se ubica cerca de la desembocadura de los ríos Grijalva-Usumacinta, muestran la influencia de estos ríos en la temporada de mayor descarga. Los valores registrados en la superficie fueron de  $25.41^{\circ}\text{C}$ , 28.76 y 18.54. Se advierte la haloclina y la picroclina muy marcadas y una fuerte termoclina. Una capa homogénea se manifiesta a partir de los 6 m llegando hasta la profundidad máxima muestreada de 15.4 m, con valores de  $22.33^{\circ}\text{C}$ , 36.44 y 25.24, para temperatura, salinidad y sigma-t, repectivamente.

En los perfiles de la estación 64, se observa aún la influencia de los ríos Coatzacoalcos y muy posiblemente del Grijalva-Usumacinta, al presentar una capa de baja salinidad y densidad con valores de  $28.28^{\circ}\text{C}$ , 35.99 y 23.00 (fig 4.18B). La haloclina y la picroclina se presentan muy marcadas, con un máximo de salinidad de 36.60 a 25 m. A mayor profundidad tanto la temperatura como la salinidad disminuyen, después de ciertas variaciones, y la densidad aumenta, hasta la profundidad muestreada de 600 m, con valores de  $7.32^{\circ}\text{C}$ , 34.93 y 27.34.

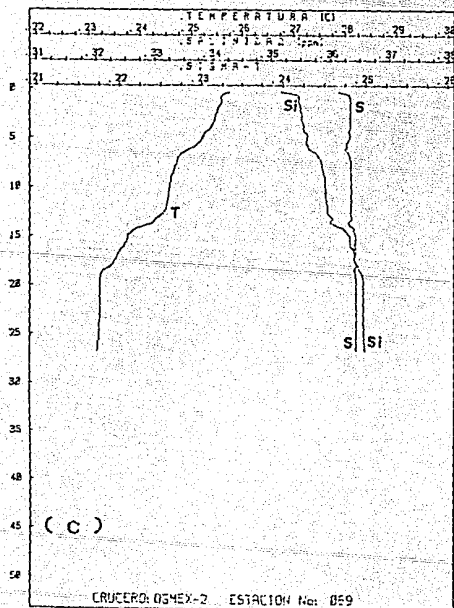
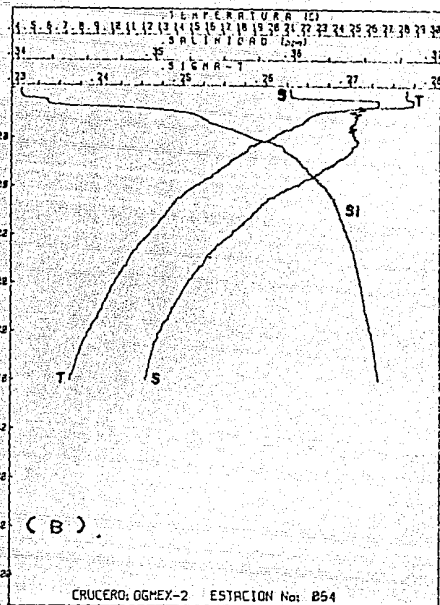
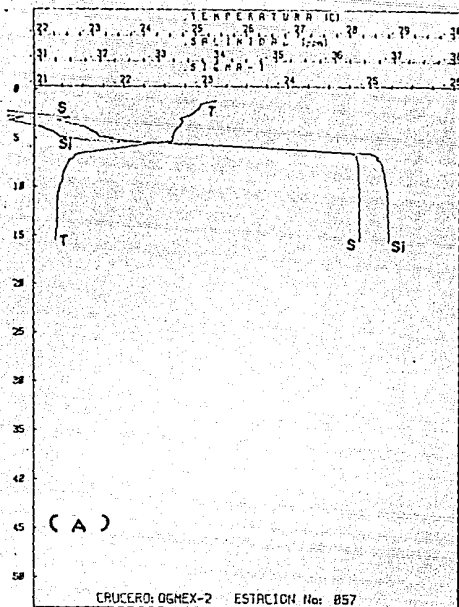


FIGURA 4.18. PERFILES VERTICALES DE TEMPERATURA, SALINIDAD Y SIGMA-T. CRUCERO OGMEX-2.

- A) ESTACION 57.
- B) ESTACION 64.
- C) ESTACION 69.



En la figura 4.18C se pueden distinguir los perfiles de la estación costera 69, frente a las lagunas del Carmen y Machona, apreciándose que la influencia de los ríos en este lugar es irrelevante, presentándose cambios paulatinos en la temperatura y densidad, cuyos valores en la superficie son de 25.80°C y 23.95 respectivamente. En el fondo se tienen valores de 23.15°C y 25.00. Por otra parte, la salinidad aparece con variaciones muy pequeñas alrededor de 36.30.

En los perfiles de la estación 76 (fig.4.19A), aun se observa la influencia del río Coatzacoalcos, al registrarse en la superficie valores de temperatura alrededor de 28.00°C, de salinidad de 32.95 y de sigma-t de 20.95. A profundidades mayores, la temperatura y la salinidad disminuyen y la sigma-t aumenta hasta la profundidad máxima muestreada de 885 m, registrándose en ese lugar los valores de 5.45°C, 34.91 y 27.60, para la temperatura, salinidad y densidad, respectivamente.

En la figura 4.19B se aprecian los perfiles de la estación costera 81 ubicada frente a la desembocadura del río Coatzacoalcos, en la cual se observa una influencia importante de la descarga de este río, con valores de salinidad y densidad superficiales de 24.28 y 14.35. Conforme aumenta la profundidad la salinidad y la sigma-t van disminuyendo rápidamente hasta una profundidad de 20 m, en donde se inicia un aumento lento hasta los 32 m de profundidad, donde se presenta una capa homogénea de 5 m de espesor con valores

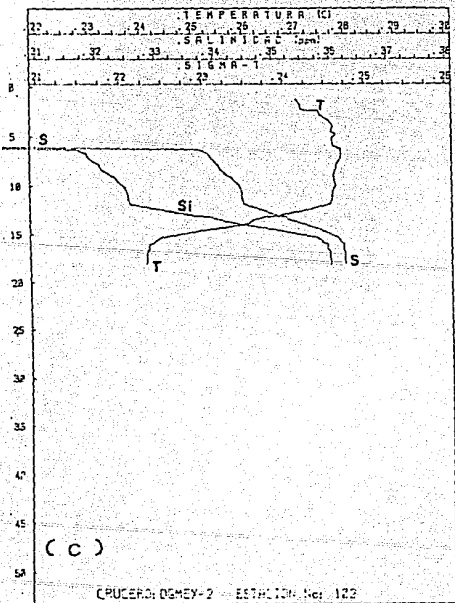
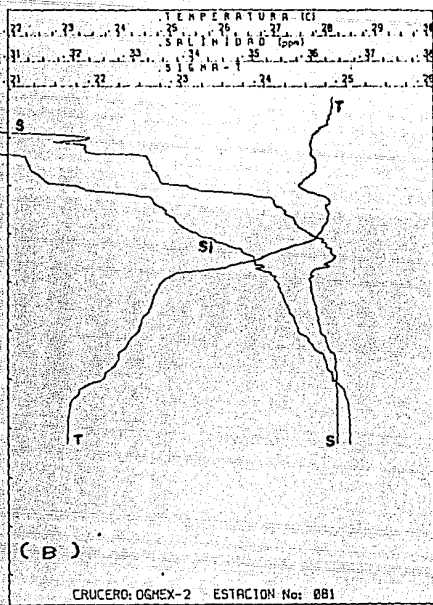
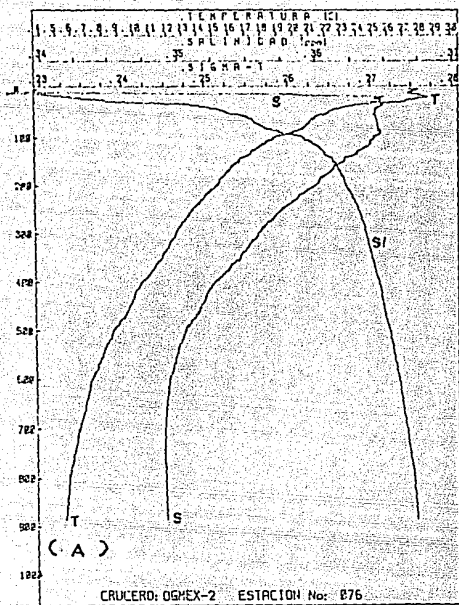


FIGURA 4.19. PERFILES VERTICALES DE TEMPERATURA, SALINIDAD Y SIGMA-T. CRUCERO OGMEX-2.

- A) ESTACION 76.
- B) ESTACION 81.
- C) ESTACION 102.

de 36.45 y 25.00. La temperatura se aprecia relativamente constante con pequeñas variaciones alrededor de 28.00°C hasta los 17 m, donde se empieza a presentar la termoclina, para continuar disminuyendo gradualmente hasta la profundidad de 32 m donde se hace constante con un valor de 23.00°C.

En los perfiles de la estación costera 102, ubicada frente a la desembocadura del río Papaloapan, se advierte la fuerte influencia de este río en el ambiente marino, principalmente en los tres primeros metros de profundidad con valores superficiales de salinidad y  $\sigma_t$  de 13.44 y 6.59, los valores más bajos registrados en todo el crucero. A los 12 m de profundidad se presentan la haloclina y la pycnoclina, para que a los 17 y hasta la máxima profundidad muestreada de 20 m se aprecie una capa bastante homogénea. Por lo que respecta a la temperatura, esta registra ligeras variaciones alrededor de 27.50°C desde la superficie hasta los 12 m de profundidad, donde se presenta la termoclina, para finalizar con una capa homogénea de 24.19°C y 3 m de espesor (fig 4.19C).

En la figura 4.20 se muestran los perfiles de la estación 106, observándose en la superficie los efectos del río Papaloapan, con valores superficiales de temperatura, salinidad y  $\sigma_t$  de 28.41°C, 35.39 y 22.57, respectivamente. Posteriormente se presentan la termoclina y la haloclina muy marcadas, aproximadamente a los 20 m de profundidad. Finalmente conforme la

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

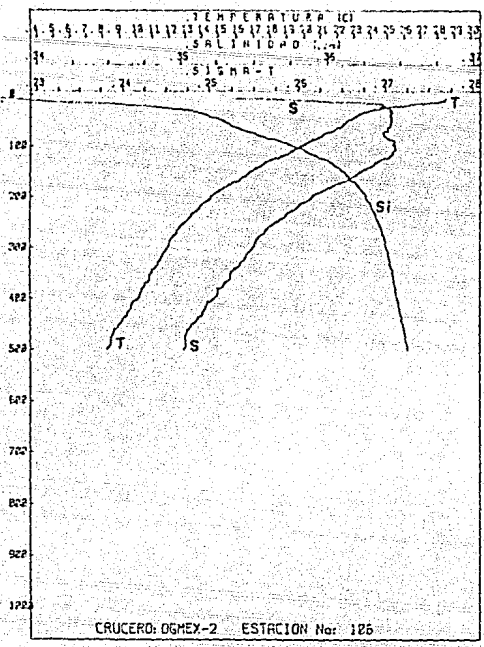


FIGURA 4.20. PERFIL VERTICAL DE TEMPERATURA, SALINIDAD Y SIGMA-T. CRUCERO OGMEX-2. ESTACION 106.

profundidad aumenta, la temperatura disminuye y  $\sigma_t$  aumenta, presentando valores de 8.27°C y 27.26 en la máxima profundidad muestreada de 500 m. Por lo que corresponde a la salinidad, entre los 15 y 130 m se mantiene relativamente constante alrededor de 36.35, para ir disminuyendo hasta un valor final de 35 a 500 m.

#### IV.3.3. SECCIONES TRANSVERSALES (TRANSECTOS)

En la figura 4.21A se muestra la estructura térmica del transecto 1, observándose un fuerte gradiente vertical principalmente entre los 12 y 25 m de profundidad, registrándose temperaturas de 24.5 a 28.00°C. Las temperaturas mínima y máxima registradas entre la superficie y los 50 m de profundidad en este transecto son de 22.00°C a 48 m en la estación 104 y de 28.61°C, en la superficie de la estación 105.

En la estructura halina del transecto 1 (fig 4.21B), se observa un intenso gradiente cercano a la costa producido por la descarga del río Papaloapan entre las estaciones 102 y 104, atenuándose sin dejar de ser importante entre las estaciones 104 y 105. La pluma de baja salinidad provocada por este río se extiende a unas 25 millas náuticas de la costa. En profundidad los efectos del río se aprecian intensamente hasta los 8 m, dejándose de percibir a una profundidad de 15 m. A mayor profundidad se observa bastante homogeneidad con valores de salinidad alrededor de 36.30.

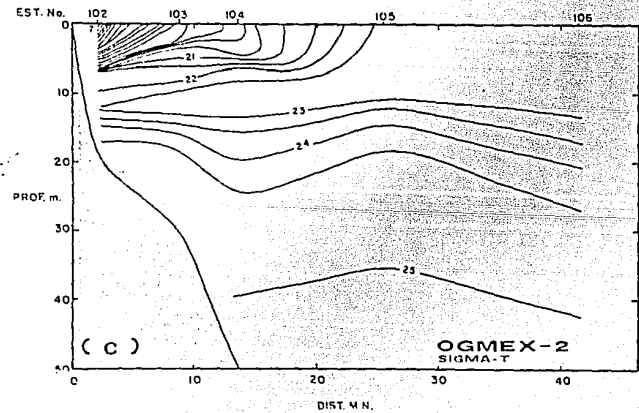
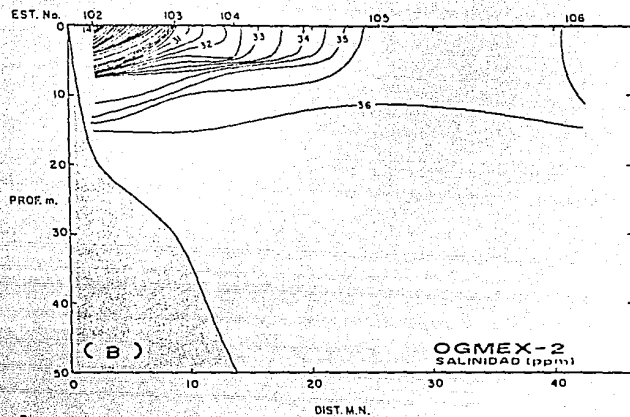
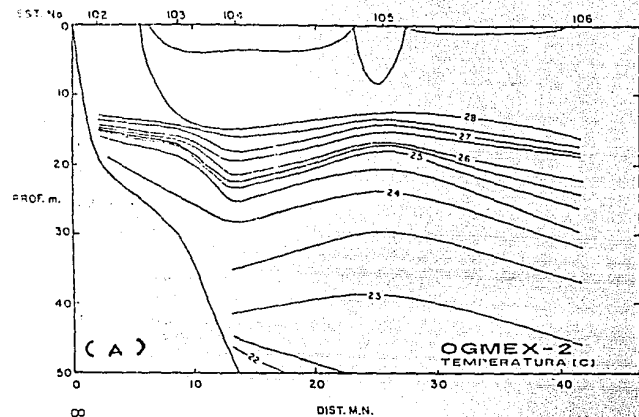


FIGURA 4.21. TRANSECTO 1. CRUCERO OGMEX-2.

DISTRIBUCIONES DE:

- A) TEMPERATURA.
- B) SALINIDAD.
- C) SIGMA-T.

En la figura 4.21C se aprecia la distribución de  $\sigma_t$  del transecto 1, la cual es el reflejo de la estructura termohalina de las dos figuras anteriores. Se observa una zona de intensa estratificación causada por la descarga del río entre las estaciones 102 y 105, con un valor mínimo cercano a la costa y superficial de 6.60 y un valor máximo de 21.00, a 8 m de profundidad. Se presenta otra zona de estratificación menos intensa entre los 12 y 25 m de profundidad, ocasionada por la estratificación térmica a esta profundidad. Los valores de  $\sigma_t$  para esta zona se encuentran entre 23.00 y 24.50.

La estructura térmica a lo largo del transecto 2 (fig. 4.22A), muestra una capa superficial bastante homogénea hasta 10 m de profundidad con una temperatura mayor a 28°C. A mayor profundidad se distingue una capa muy estratificada entre 10 y 25 m, con temperaturas que van de los 28.00 a los 24.00°C. Finalmente hay una capa menos estratificada a partir de los 30 m de profundidad, con valores entre 24.00 y 22.50°C.

En la figura 4.22B se muestra la estructura halina del transecto 2, en la cual se observa un fuerte gradiente vertical hasta los 12 m de profundidad, con un valor mínimo de salinidad en la superficie de la estación 102 de 24.50 y a 12 m de 35.50. La pluma de baja salinidad se extiende más allá de 60 millas náuticas de la costa. A partir de los 15 m de profundidad, se aprecia una

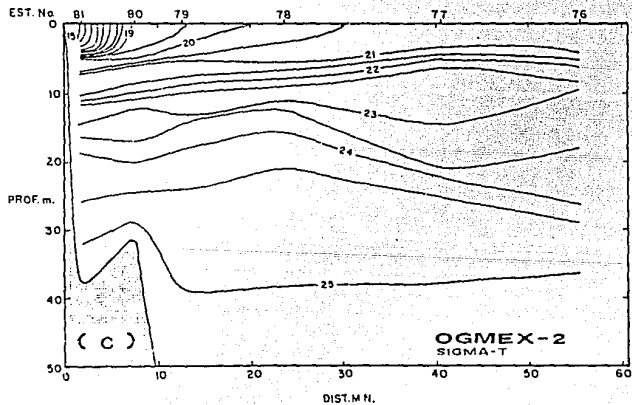
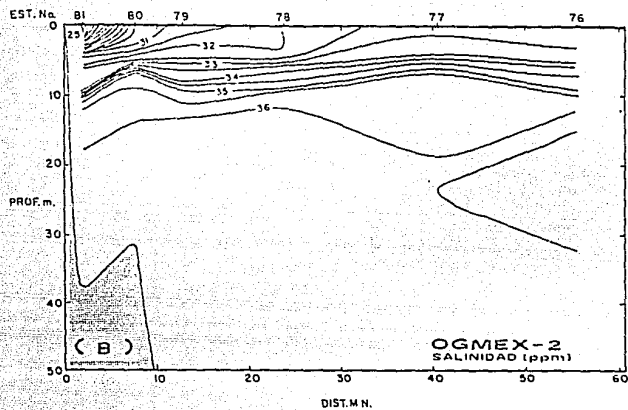
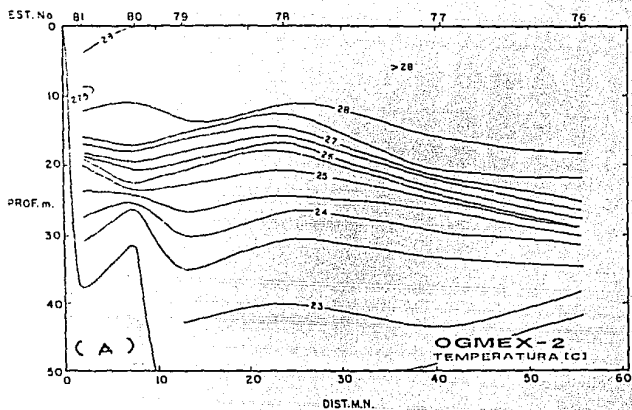


FIGURA 4.22. TRANSECTO 2. CRUCERO OGMEX-2.

DISTRIBUCIONES DE:

- A) TEMPERATURA.
- B) SALINIDAD.
- C) SIGMA-T.



marcada homogeneidad con una variación alrededor de 36.25.

La distribución de  $\sigma_t$  del transecto 2 refleja la influencia de la estructura termohalina mostradas en las dos figuras anteriores. Se presenta una zona de baja densidad y marcada estratificación en los primeros 12 m de profundidad, con valores entre 14.36 y 22.50, debido a la descarga del río Coatzacoalcos, y una zona de menor estratificación, entre 12 y 25 m de profundidad, debida a la estructura térmica a tal profundidad. Pasando los 25 m se manifiesta una marcada homogeneidad con valores alrededor de 24.75 (fig. 4.22C).

A lo largo del transecto 3, se aprecia que en las estaciones más alejadas de la costa las isotermas son casi verticales, y a menor distancia de esta, presentan una cierta inclinación (fig. 4.23A). Se registraron valores mínimos de 21.50°C a 50 m de profundidad en la estación 66, con una tendencia a la horizontalidad de su correspondiente isoterma. Así mismo, los valores máximos de 28.50°C fueron detectados en la estación 64, con su isoterma totalmente vertical. En la superficie la temperatura aumenta de la costa hacia mar adentro.

En La figura 4.23B se muestra la estructura halina del transecto 3, en la cual se puede apreciar un núcleo de baja salinidad entre las estaciones 64 y 67, desde la superficie hasta 12 m de profundidad, con un valor mínimo de 34.69. Este núcleo es

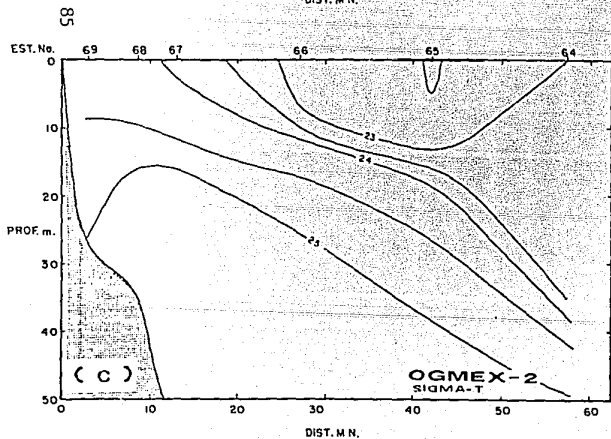
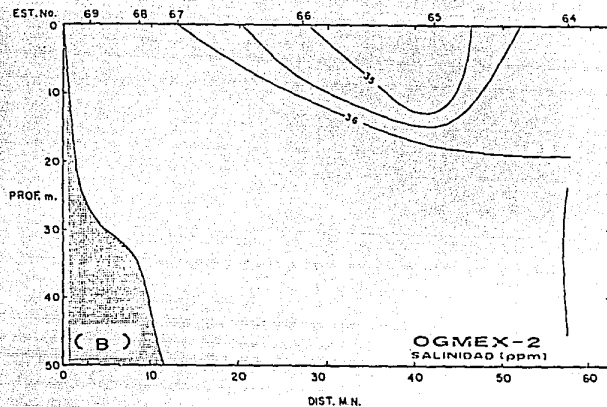
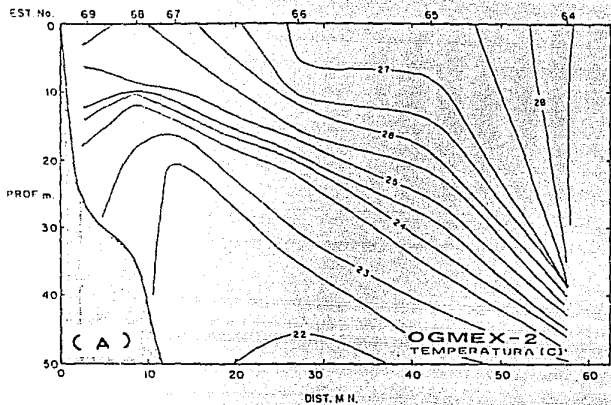


FIGURA 4.23. TRANSECTO 3. CRUCERO OGMEX-2.

DISTRIBUCIONES DE:

A) TEMPERATURA.

B) SALINIDAD.

C) SIGMA-T.

seguramente originado por la gran descarga de agua dulce de los ríos Grijalva-Usumacinta en esta época del año. Por lo demás, se presenta bastante homogénea la zona con valores alrededor de 36.40.

La distribución de  $\sigma_t$  a lo largo del transecto 3 (fig. 4.23C), presenta una débil estratificación vertical como resultado de la estructura termohalina de la zona. Las isopicnas entre 23.00 y 24.00 afloran en la superficie entre las estaciones 66 y 68. Los valores mínimos superficiales de  $\sigma_t$  de 22.49, cercanos a la estación 65, son causados por el núcleo de baja salinidad descrito en la figura anterior. Los valores máximos fueron registrados a 50 m de profundidad, siendo de 25.25.

La figura 4.24A muestra la estructura térmica del transecto 4, en donde las isotermas afloran hasta de profundidades de 80 m, en la estación 52, llegando a tocar superficie como es el caso de la isoterma de 25.00°C. Esta isoterma se encuentra a 45 m en la estación 52 y aflora hasta la superficie cerca de la costa. Otros ejemplos son como el de la isoterma de 22.00°C, que se encuentra a 80 m en la estación 52 y sube hasta 30 m en la estación 55, y la isoterma de 28.50°C la cual se presenta casi vertical cerca de la estación 52, registrándose hasta 38 metros de profundidad.

La estructura halina a lo largo del transecto 4 (fig. 4.24B), muestra un fuerte gradiente provocado por la descarga de los ríos Grijalva-Usumacinta, con valores mínimos de 28.76 en la superficie,

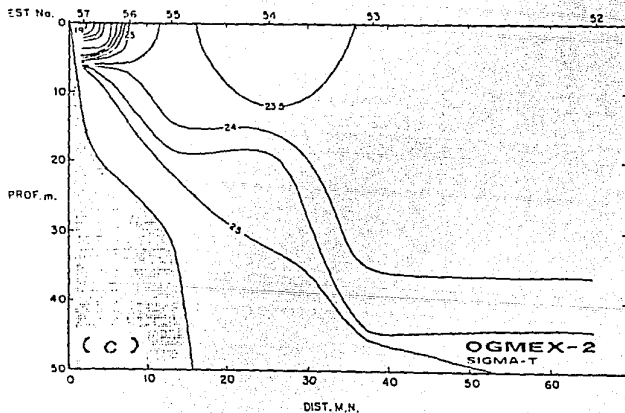
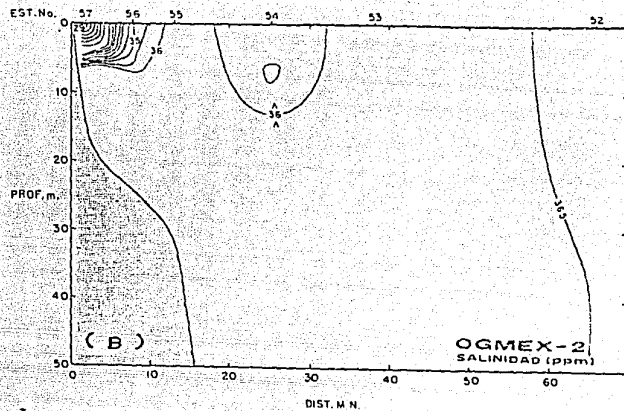
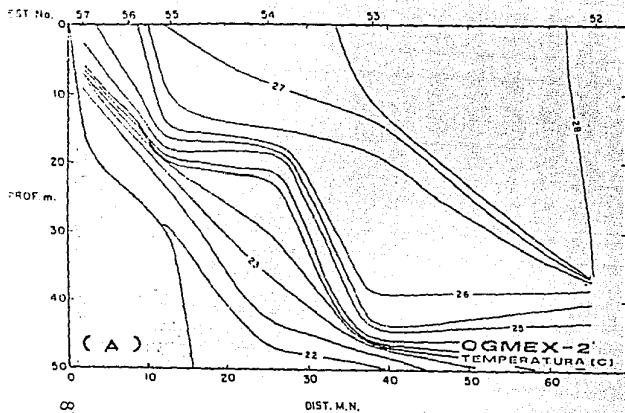


FIGURA 4.24. TRANSECTO 4. CRUCERO OGMEX-2.

DISTRIBUCIONES DE:

- A) TEMPERATURA.
- B) SALINIDAD.
- C) SIGMA-T.

cerca de la costa. La pluma de baja salinidad se extiende únicamente a 10 o 12 millas náuticas fuera de la costa. Se puede notar un núcleo de baja salinidad alrededor de la estación 54, entre la superficie y los 12 m de profundidad, con valores entre 35.50 y 36.00. Por lo demás se aprecia bastante uniformidad con valores aproximados a 36.40.

La distribución de  $\sigma_t$  del transecto 4 (fig. 4.24C), muestra la existencia de una estratificación causada por las bajas salinidades cerca de la costa, con valores de  $\sigma_t$  de 18.54 en la superficie, apreciándose también un núcleo de baja densidad alrededor de la estación 54, con valores entre 23.07 y 23.5. Así mismo se notan isopícnas que afloran debido a la estructura térmica, como es el caso de la isopícnas de 24, la cual se encuentra a 35 m en la estación 52 y emerge hasta llegar a los 8 m aproximadamente, cerca de la costa.

En la distribución de temperatura a lo largo del transecto 5, se observa un intenso gradiente vertical a partir de los 15 m de profundidad, registrándose valores mínimos de 22.11°C y máximos de 28.00°C. Entre las estaciones costeras 43 a 46, el gradiente se localiza sobre el fondo, y entre la 42 y 43 se unde paulatinamente. Las isotermas de 27.50 y 28.00°C emergen de una profundidad de 30 m en la estación 42, hasta la superficie, entre las estaciones 43 y 45.

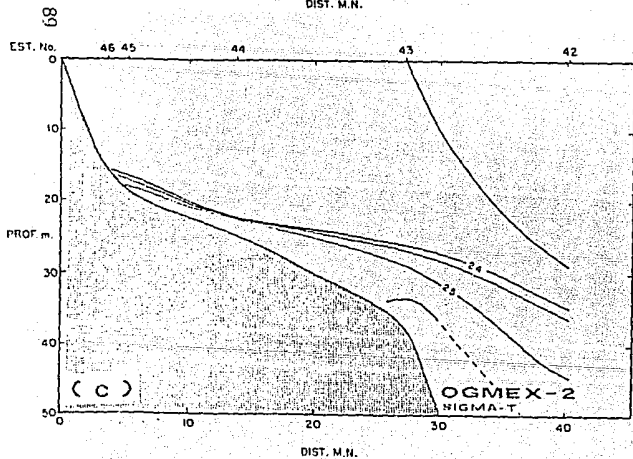
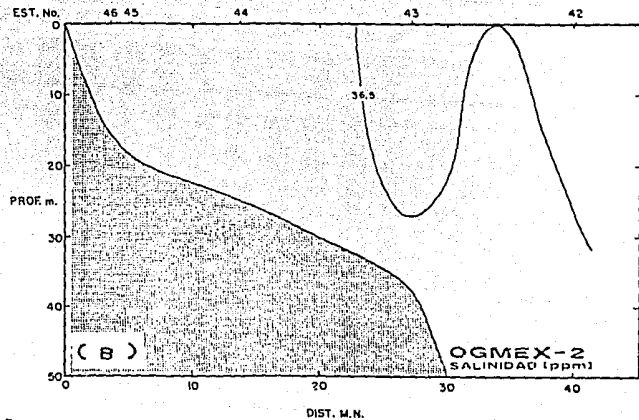
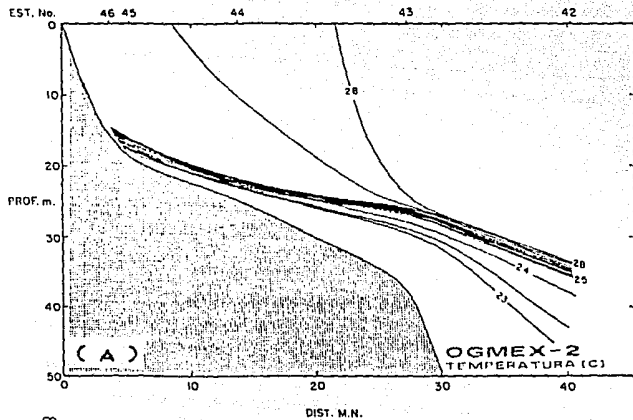


FIGURA 4.25. TRANSECTO 5. CRUCERO OGMEX-2.

DISTRIBUCIONES DE:

A) TEMPERATURA.

B) SALINIDAD.

C) SIGMA-T.

La estructura halina del mismo transecto (fig. 4.25B), se aprecia muy homogénea, registrándose valores alrededor de 36.30.

En la figura 4.25C se observa la distribución de  $\sigma_t$ , reflejando la influencia de la estructura térmica de la figura 4.25A. Se aprecia un gradiente entre los 15 y 30 m de profundidad, con valores de 24.00 a 25.50. La isopicha correspondiente a 23.50 aflora desde una profundidad de 28 m en la estación 42, hasta la superficie en la estación 43.

#### IV.3.4 DISTRIBUCIONES HORIZONTALES (PLANOS HORIZONTALES)

En la figura 4.26A se detalla la estructura térmica horizontal a 2 m de profundidad, observándose una amplia zona con fuertes gradientes de temperatura principalmente frente a la zona costera ubicada entre las lagunas del Carmen y Machona y el sistema Grijalva-Usumacinta. Las isotermas se presentan casi paralelas a la costa y van desde los 25.00°C hasta los 28.75°C, aumentando hacia mar abierto. Dichas isotermas tienden a hacerse perpendiculares a la costa frente a la desembocadura del río Coatzacoalcos. En la zona entre los ríos Coatzacoalcos y Papaloapan se detecta una zona de homogeneidad con un valor alrededor de 28.75°C y finalmente frente al río Papaloapan y a la Punta del Morro se observan gradientes de temperatura, con valores que van en ascenso de 27.17 a 28.50°C frente al río, y de 26.76 a 28.75°C frente a la punta.

A 2 m de profundidad se puede ver la distribución de salinidad dominada por intensos gradientes en las zonas de las desembocaduras de los ríos Grijalva-Usumacinta, Coatzacoalcos y Papaloapan, observándose una zona de salinidades mayores de 35.00 frente a las lagunas del Carmen y Machona, y una amplia zona homogénea frente a la Laguna de Terminos, con salinidades alrededor de 36.50 (fig. 4.26B). En la desembocadura de los ríos Grijalva-Usumacinta se registraron salinidades de 28.00, en el Coatzacoalcos de 24.10, en el Papaloapan de 14.00.

Así mismo, se puede observar un defasamiento de los núcleos de baja salinidad con respecto a la desembocadura de los ríos hacia el oeste, principalmente en la de los ríos Grijalva-Usumacinta, lo que puede sugerir en esta época una circulación costera de este a oeste en la región. Lo anterior se presenta en sentido contrario del observado en la campaña OGMEX-1.

En la figura 4.26C se expone estructura horizontal de  $\sigma_t$  a 2 m de profundidad, existiendo zonas de baja densidad frente a las desembocaduras de los ríos mencionados anteriormente, registrándose valores de  $\sigma_t$  de 19.80 en la correspondiente a los ríos Grijalva-Usumacinta, 14.24 en la del Coatzacoalcos y en la del Papaloapan de 8.16.

En la figura 4.27A se muestra la distribución de temperaturas a 10 m de profundidad, en la cual se puede observar una similitud



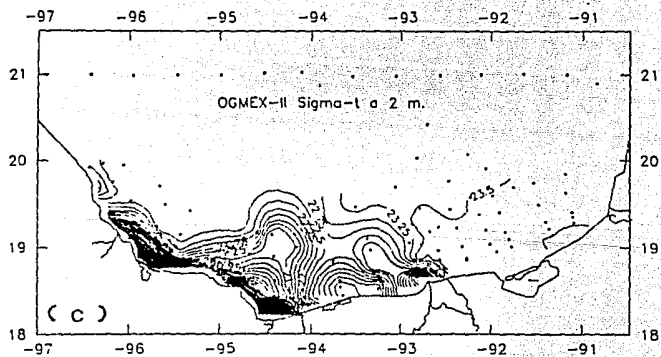
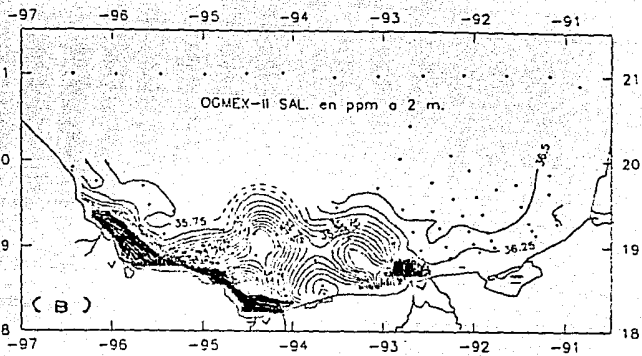
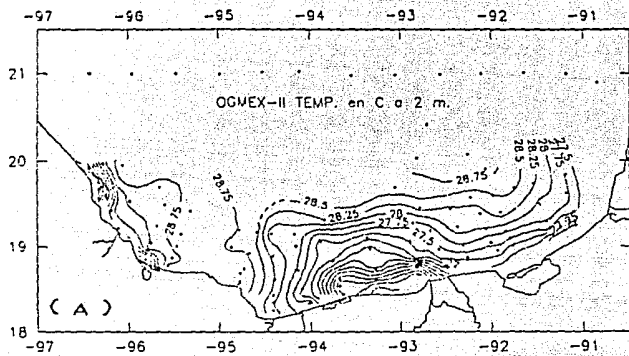


FIGURA 4.26. PLANOS HORIZONTALES A 2 METROS DE PROFUNDIDAD. CRUCERO OGMEX-2.

A) TEMPERATURA.

B) SALINIDAD.

C) SIGMA-T.

importante con la distribución de temperatura a 2 metros de profundidad, con la salvedad de que los gradientes de temperatura son más intensos, registrándose temperaturas menores en la costa y mayores hacia mar abierto.

En la figura 4.27B se observa un gran núcleo de salinidad menor de 36.00, frente a la zona comprendida entre los ríos Grijalva-Usumacinta y Coatzacoalcos, generado por la descarga de los primeros. Así mismo se observa otro núcleo, pero de menor tamaño, a la izquierda del antes descrito, como resultado de la descarga del río Coatzacoalcos. La posición de los núcleos mencionados puede sugerir una circulación en la Bahía hacia afuera de la costa y de este a oeste, en esta época.

A los lados de los núcleos de baja salinidad se presenta una zona homogénea importante, principalmente del lado de la Laguna de Términos, cuya salinidad predominante es de 36.50. Así mismo, a esta profundidad aún se puede observar la influencia de los ríos Coatzacoalcos y Papaloapan frente a sus desembocaduras, registrándose salinidades de 33.80 y 34.50, respectivamente.

En la gráfica 4.27C se muestra la distribución de  $\sigma_t$  a 10 m de profundidad, la cual se presenta como el resultado de la estructura termohalina a esta profundidad. Se registraron densidades relativamente altas, debido a la temperatura, entre Punta del Morro y el río Jamapa y frente a la desembocadura del

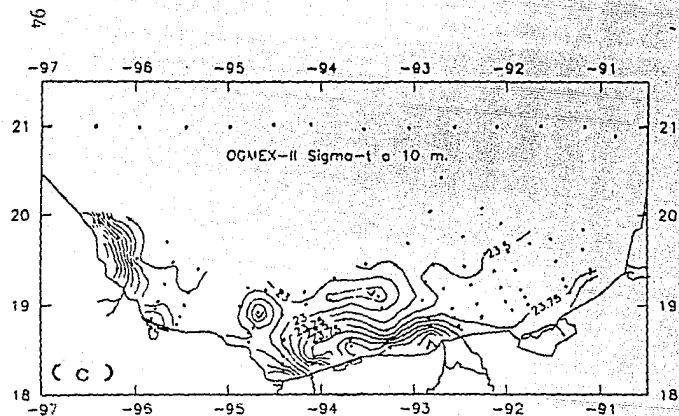
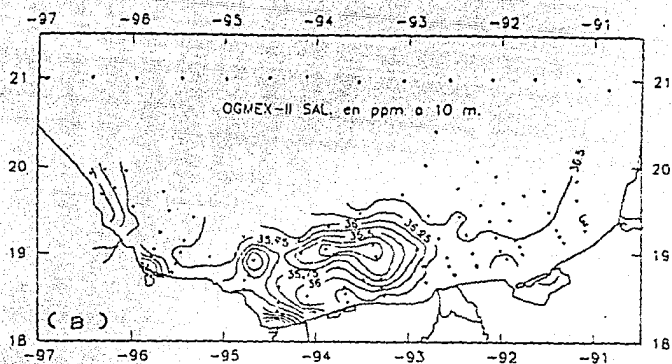
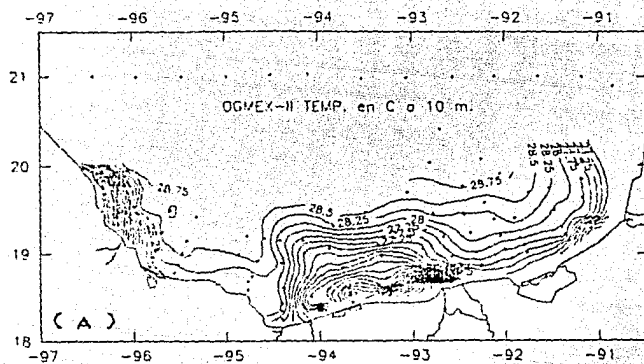


FIGURA 4.27. PLANOS HORIZONTALES A 10 METRO DE PROFUNDIDAD. CRUCERO OGMEX-2.

A) TEMPERATURA.

B) SALINIDAD.

C) SIGMA-T.

Grijalva-Usumacinta, con valores de  $\sigma_t$  alrededor de 24.81 y 25.21 respectivamente. Se observan mínimos de densidad relacionados principalmente con los núcleos de baja salinidad, con valores de  $\sigma_t$  de 22.50 en el núcleo grande y de 21.75 para el núcleo chico. Frente a la Laguna de Términos existe una extensa zona homogénea, con valores de  $\sigma_t$  alrededor de 23.75.

En la estructura térmica a 30 m de profundidad (fig. 4.28A), se observa una zona de intensos gradientes de temperatura entre las latitudes 19 y 20° N y longitudes 91.5 y 94° N. Los valores mínimos de temperatura son de 21.41°C, en la zona cercana a la costa, y los máximos de 28.00°C, lejos de la costa. De la estructura anterior se puede inferir una entrada de agua fría proveniente de la parte noreste de la Bahía de Campeche. En la zona frente a la Punta del Morro se aprecian fuertes gradientes, con valores de 22.10°C en la zona costera y 25.98°C en aguas profundas.

En la figura 4.28B se presenta la distribución de salinidad a 30 m de profundidad, la cual es sumamente homogénea, contrastando con la distribución de temperaturas a la misma profundidad. La salinidad de toda la zona varía alrededor de 36.50.

La densidad  $\sigma_t$  a 30 m de profundidad se presenta como un claro reflejo de la temperatura a esta profundidad (fig. 4.28C). En la zona donde se presentan los gradientes intensos de temperatura se registraron valores máximos de  $\sigma_t$  de 25.50, esto es cerca de la

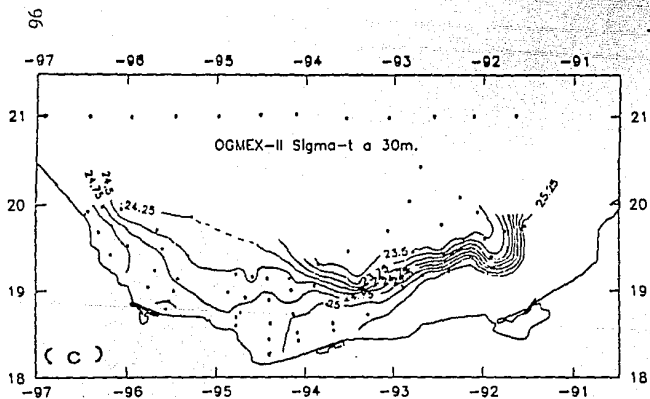
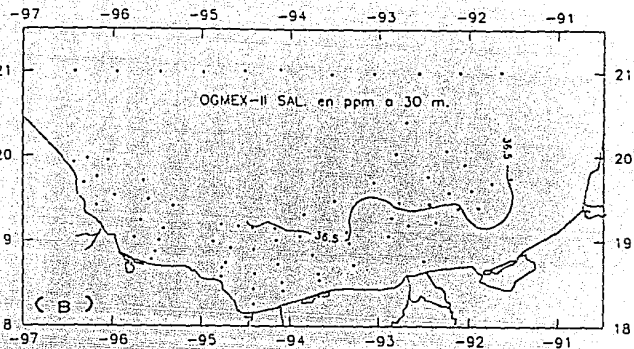
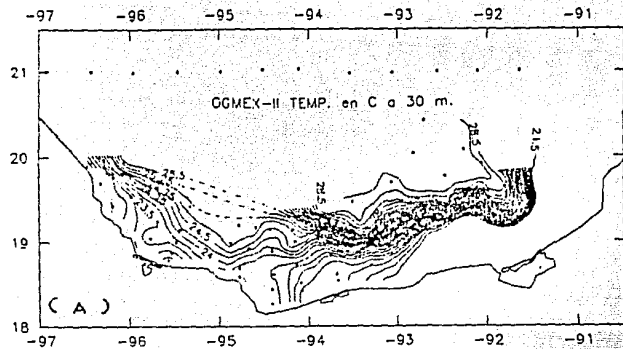


FIGURA 4.28. PLANOS HORIZONTALES A 30 METROS DE PROFUNDIDAD. CRUCERO OGMEX-2.

A) TEMPERATURA.

B) SALINIDAD.

C) SIGMA-T.

costa, y los valores mínimos de 23.50, fueron medidos lejos de ella. En la porción restante de la Bahía se observa una cierta homogeneidad, variando la  $\sigma_t$  alrededor de 24.75.

#### IV.3.5 ANOMALIA DE ENERGIA POTENCIAL (PARAMETRO DE ESTRATIFICACION)

En el plano horizontal de la anomalía de energía potencial (fig. 4.29), se observan intensos gradientes de este parámetro frente a las desembocaduras de los ríos. La zona que reportó la mayor estratificación fue la localizada frente a la desembocadura del río Coatzacoalcos, con un valor del parámetro de estratificación ( $\phi$ ) de 711.40 joules/m<sup>3</sup> (estación 81). En la zona frente a la desembocadura del Papaloapan se obtuvieron valores de este parámetro de 447 joules/m<sup>3</sup> (estación 102) y en la del sistema Grijalva-Usumacinta de 174 joules/m<sup>3</sup> (estación 57).

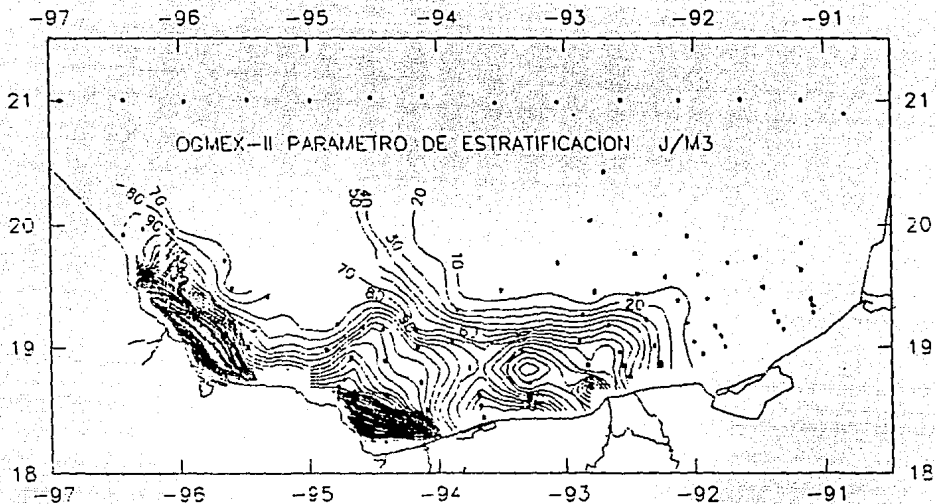


FIGURA 4.29. PLANO HORIZONTAL DE LA ANOMALIA DE ENERGIA POTENCIAL.  
 (PARAMETRO DE ESTRATIFICACION  $\phi$  ). CRUCERO OGMEX-2.

#### IV.4. CRUCERO OGMEX-3

##### IV.4.1. PERFILES CONCENTRADOS

En la figura 4.30A se puede distinguir el perfil concentrado de temperatura de cada una de las estaciones del crucero OGMEX-3 (otoño, 1987), el cual se observa bastante homogéneo en los primeros 50 m de profundidad con valores entre 24.90 y 26.00°C. Posteriormente la temperatura disminuye hasta valores entre 15.00 y 18.50°C en la profundidad máxima graficada de 200 m.

El perfil de salinidad de todo el crucero (fig. 4.30B), se aprecia heterogéneo en los primeros 15 m de profundidad debido a la influencia de los ríos Papaloapan y Grijalva-Usumacinta, con valores entre los 31.40 y 37.25. De los 15 a los 50 m se observa una menor heterogeneidad, con valores entre 35.70 y 36.80, apareciendo una marcada homogeneidad hasta los 140 m, con valores alrededor de 36.30. Finalmente se advierte una menor homogeneidad de los 140 a 200 m.

En el perfil de  $\sigma_t$  se observa una capa muy heterogénea en los primeros 15 m con valores entre 20.30 y 24.75 (fig. 4.30C), a mayor profundidad se distinguen tres capas, la primera de los 15 a 50 m con valores entre 23.60 y 24.30, la segunda de los 50 a los 95 m con valores entre 24.20 y 25.25 y finalmente la tercera, de los 95



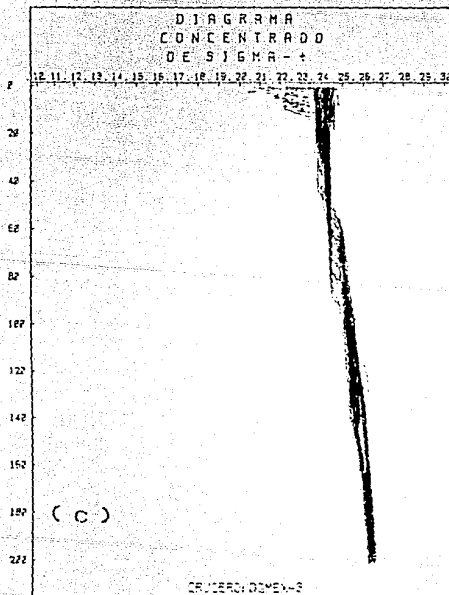
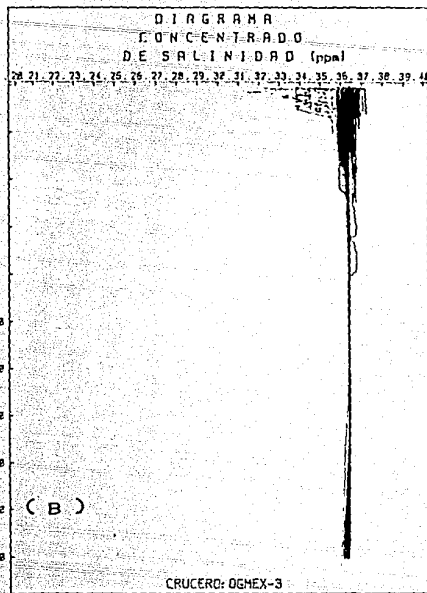
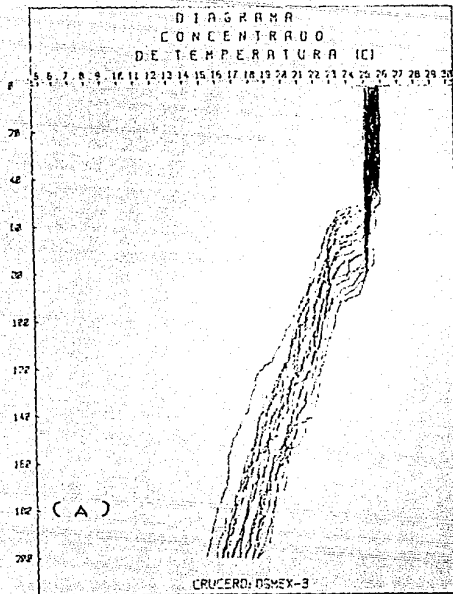


FIGURA 4.30. DIAGRAMAS  
CONCENTRADOS DEL CRUCERO  
OGMEX-3.

- A) TEMPERATURA.
- B) SALINIDAD.
- C) SIGMA-T.

a los 200 m con valores ascendentes entre los 24.75 y 26.60.

#### IV.4.2 PERFILES VERTICALES

En la figura 4.31A se pueden distinguir los perfiles de temperatura, salinidad y  $\sigma_t$  de la estación 42, en la que se aprecia una capa de mezclada hasta una profundidad de 38 m, con valores de 25.75°C, 36.13 y 23.97. Posteriormente se presenta un ligero aumento de salinidad y de  $\sigma_t$ , para terminar en otra capa bastante homogénea con valores de 25.31°C, 36.42 y 24.39.

Los perfiles de la estación costera 46 (fig. 4.31.B), muestran ciertas perturbaciones en la salinidad y  $\sigma_t$  en los primeros 7 m de profundidad. Posteriormente se presenta una capa muy homogénea hasta la máxima profundidad muestreada de 16.5 m. Los valores de esta capa son 25.55°C, 36.41 y 24.26.

En los perfiles de la estación 52 (fig. 31C), se puede ver una capa delgada muy mezclada hasta una profundidad de 25 m, con valores de 25.50°C, 35.95 y 23.89. A mayor profundidad se observa un abrupto incremento de la salinidad y  $\sigma_t$  hasta valores de 36.46 y 24.29 para mantenerse la salinidad igual hasta los 200 m de profundidad, de donde se inicia una disminución paulatina hasta valores de 34.91 en la máxima profundidad muestreada de 755 m. La  $\sigma_t$  crece paulatinamente desde los 25 m hasta los 100 m de profundidad, apareciendo la pycnoclina, para después llegar a una

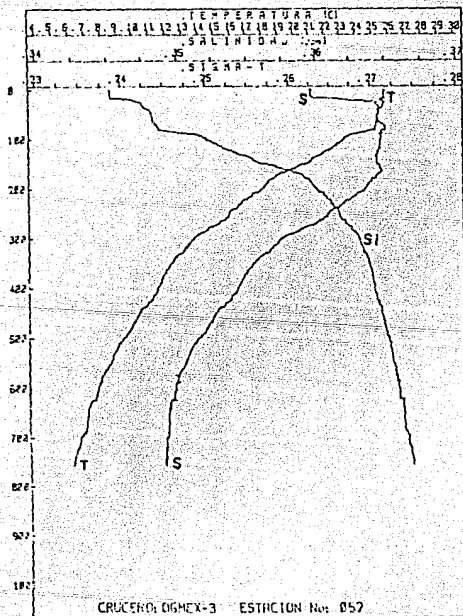
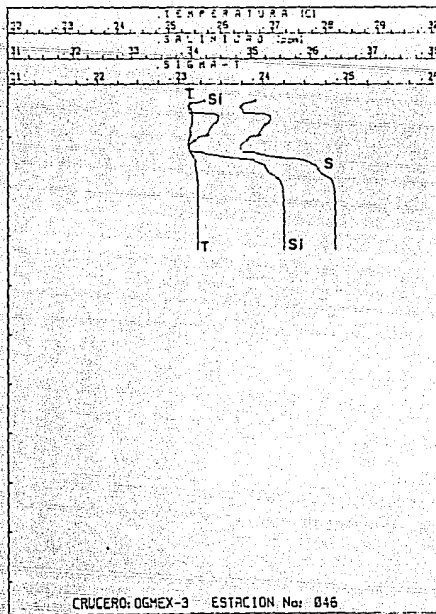
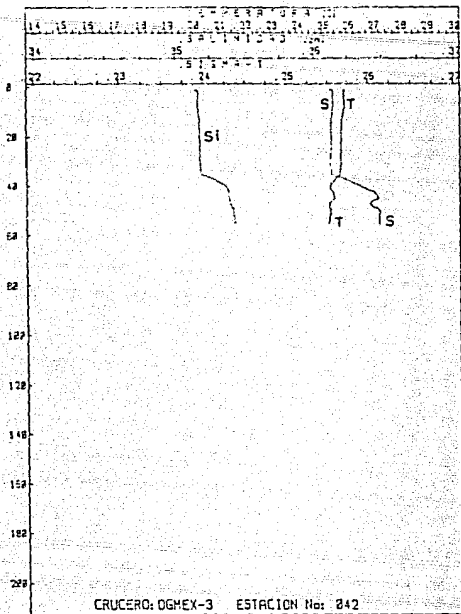


FIGURA 4.31. PERFILES VERTICALES DE TEMPERATURA, SALINIDAD Y SIGMA-T. CRUCERO OGMEX-3.

- A) ESTACION 42.
- B) ESTACION 46.
- C) ESTACION 52.

valor de 27.48, a los 755 m. La temperatura se mantiene relativamente constante hasta los 100 m, apareciendo a esa profundidad la termoclina, y posteriormente decrece lentamente hasta llegar a 6.18<sup>o</sup>C, a 755 m.

En la figura 4.32A se puede observar únicamente el perfil de temperatura de la estación 57; debido a que no fueron registrados adecuadamente los datos de salinidad y por lo tanto el cálculo de  $\sigma_t$  no fue posible realizarlo. La temperatura se aprecia bastante homogénea con un valor de 25.86<sup>o</sup>C.

Los perfiles de la estación 64 (fig. 4.32B), muestran una capa superficial muy delgada de aproximadamente 1 m de espesor con salinidad y  $\sigma_t$  bajas de 32.67 y 21.11 y una temperatura de 26.63<sup>o</sup>C. Posteriormente se observa una capa mezclada de 50 m de espesor y con valores de temperatura, salinidad y  $\sigma_t$  de 25.51<sup>o</sup>C, 36.38 y 24.24, respectivamente, presentándose a esta profundidad la termoclina y la picroclina. A mayor profundidad los valores de temperatura descienden y los de  $\sigma_t$  aumentan hasta llegar a 5.9<sup>o</sup> C y 27.49 en la máxima profundidad muestreada de 740 m. Por lo que corresponde a la salinidad esta, decrece paulatinamente de 36.45 a 140 metros hasta un valor de 34.89 a 740 m.

En la figura 4.32C se presentan los perfiles de la estación costera 69, en los que se puede observar la capa superficial de

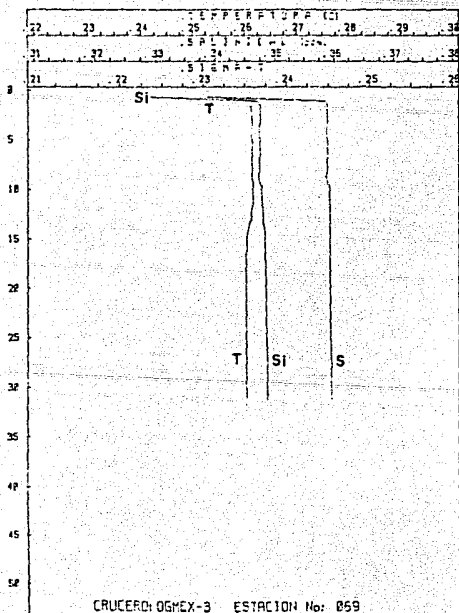
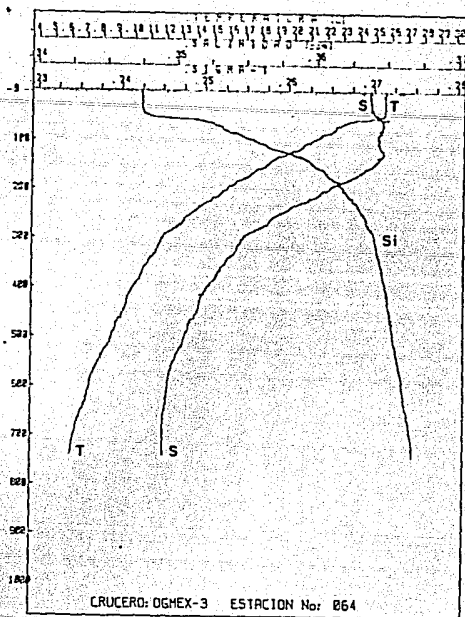
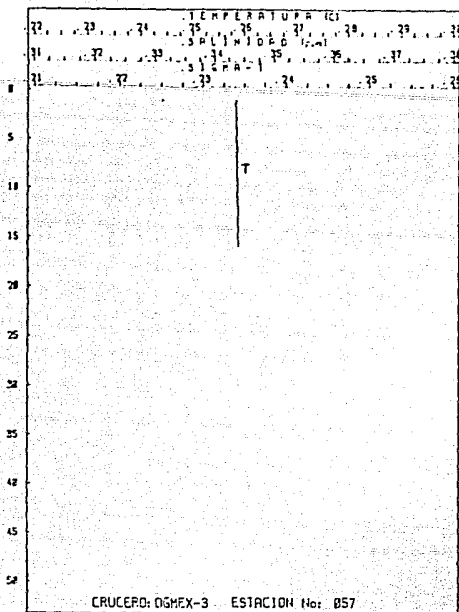


FIGURA 4.32. PERFILES VERTICALES DE TEMPERATURA, SALINIDAD Y SIGMA-T. CRUCERO OGMEX-3.

- A) ESTACION 57.
- B) ESTACION 64.
- C) ESTACION 69.

baja salinidad y  $\sigma_t$  mencionada en la figura anterior, con un espesor similar de 1 metro y valores de 33.80 y 22.33. A mayor profundidad se ve una uniformidad marcada con valores de temperatura, salinidad y  $\sigma_t$  de 26.1°C, 36.80 y 23.70, respectivamente.

En la estación 76 (fig. 4.33A), se aprecia una capa de mezcla hasta los 70 m de profundidad, con valores de 25.29°C, 36.50, 24.40. Posteriormente aparecen la termoclina y la pycnoclina, continuando el descenso de la temperatura y ascenso de  $\sigma_t$  hasta llegar a la máxima profundidad muestreada de 1000 m, con valores de 5.00°C, y 27.64. La salinidad varía relativamente poco entre los 70 y 160 m, para posteriormente disminuir lentamente hasta los setecientos m. A partir de esa profundidad la salinidad se mantiene constante con un valor de 34.89 hasta los 1000 m de profundidad.

En la figura 4.33B se pueden distinguir los perfiles de la estación costera 81, observándose el efecto de la desembocadura del río Coatzacoalcos, con valores de salinidad y  $\sigma_t$  superficiales de 31.90 y 20.78. Conforme se incrementa la profundidad estos valores aumentan hasta los 8 m, donde se aprecia una capa muy uniforme hasta la máxima profundidad muestreada de 30 m, con valores de 25.72°C, 36.00 y 23.91.

En los perfiles de la estación costera 102, no se aprecia ningún efecto por la descarga del río Papaloapan, observándose una

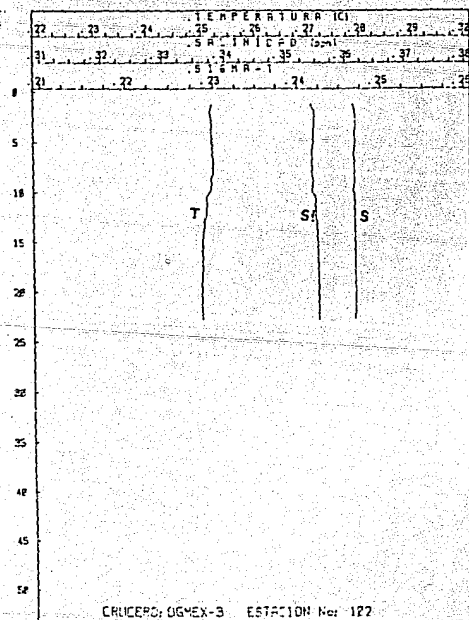
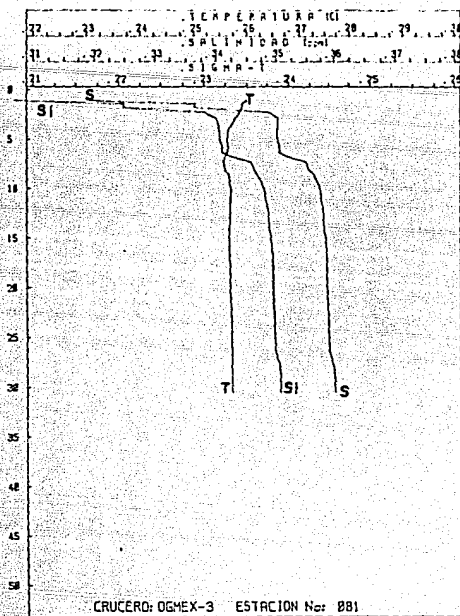
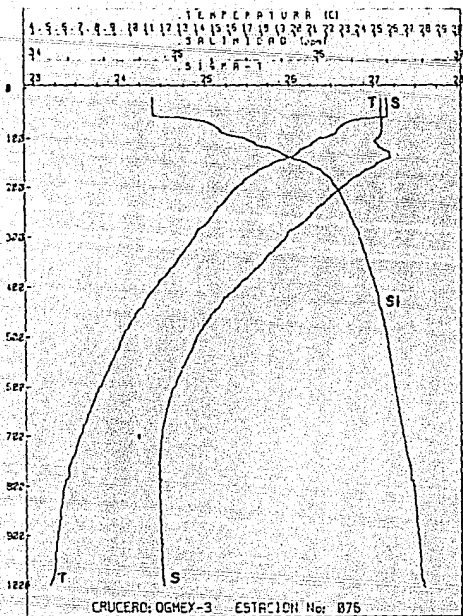


FIGURA 4.33. PERFILES VERTICALES DE TEMPERATURA, SALINIDAD Y SIGMA-T. CRUCERO OGMEX-3.

- A) ESTACION 76.
- B) ESTACION 81.
- C) ESTACION 102.

capa mezclada con valores de temperatura, salinidad y  $\sigma_t$  alrededor de  $25.1^{\circ}\text{C}$ , 36.17 y 24.19 (fig 4.33C).

#### IV.4.3 SECCIONES TRANSVERSALES (TRANSECTOS)

En la figura 4.34A se observa la estructura térmica del transecto 1, con tres estaciones, en la cual se puede apreciar una homogeneidad importante, con valores alrededor de  $25.00^{\circ}\text{C}$ .

La estructura halina del transecto 1, también muestra una homogeneidad casi total, con pequeñas fluctuaciones alrededor de 36.15 (fig. 4.34B).

Como resultado de las figuras anteriores, en la figura 4.34C se ve una homogeneidad muy marcada, con valores de  $\sigma_t$  alrededor de 24.25.

La estructura térmica del transecto 2 se ve muy homogénea con valores alrededor de  $25.50^{\circ}\text{C}$  (fig. 4.35A).

En la estructura halina del transecto 2 (4.35B), se puede notar una cierta estratificación provocada por el río entre las estaciones 80 y 81, registrándose valores en los primeros 8 m de profundidad entre 33.67 y 35.5. La pequeña pluma de baja salinidad se extiende hasta unas 8 millas náuticas de la costa. Por lo demás, se aprecia bastante homogénea la zona, con valores entre 36.00 y



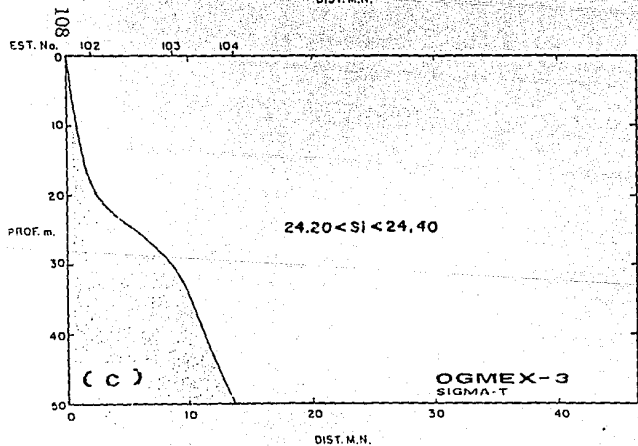
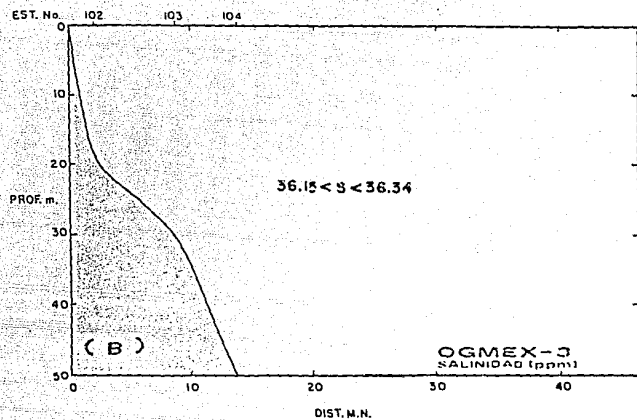
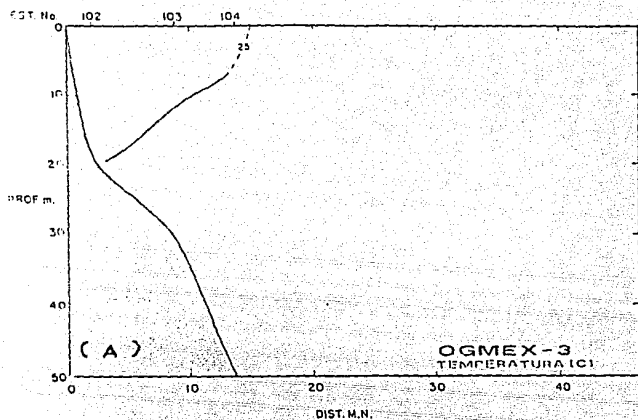


FIGURA 4.34. TRANSECTO 1. CRUCERO OGMEX-3.

DISTRIBUCIONES DE:

- A) TEMPERATURA.
- B) SALINIDAD.
- C) SIGMA-T.

36.50.

La figura 4.35C representa la distribución de  $\sigma_t$  del transecto 2, misma que resulta fuertemente influenciada por la estructura halina de la figura anterior, registrándose valores de  $\sigma_t$  en la pluma de baja salinidad entre 22.00 y 23.50. Por consiguiente el resto de la zona se observa homogéneo con valores alrededor de 24.40.

En la figura 4.36A se expone la estructura térmica del transecto 3, el cual se aprecia bastante homogéneo verticalmente con valores mínimos de 25.30°C en el centro del transecto. Así mismo se registraron valores máximos en los extremos del transecto, esto es, de 26.12°C cerca de la costa, y de 26.63°C en la superficie de la estación 64.

La estructura halina del transecto 3 se presenta homogéneo con valores alrededor de 36.20 (fig 4.36B).

En la figura 4.36C se observa la distribución de  $\sigma_t$ , también bastante homogéneo, con valores alrededor de 24.00.

La estructura térmica del transecto 4 (fig. 37A), muestra una marcada homogeneidad, con fluctuaciones muy pequeñas alrededor de los 25.60°C.

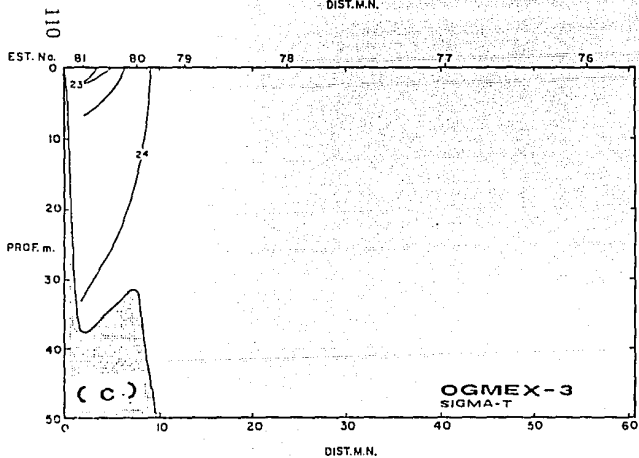
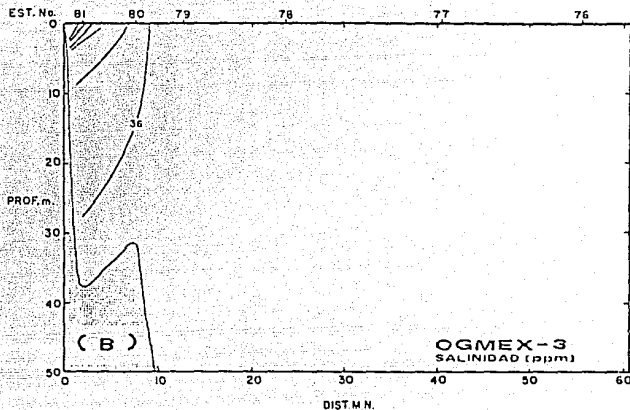
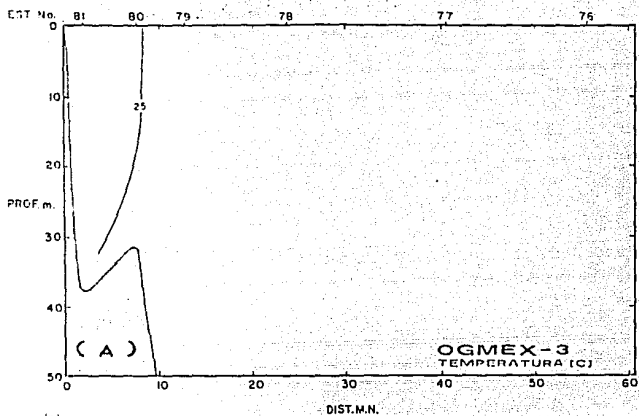


FIGURA 4.35. TRANSECTO 2. CRUCERO OGMEX-3.

DISTRIBUCIONES DE:

- A) TEMPERATURA.
- B) SALINIDAD.
- C) SIGMA-T.

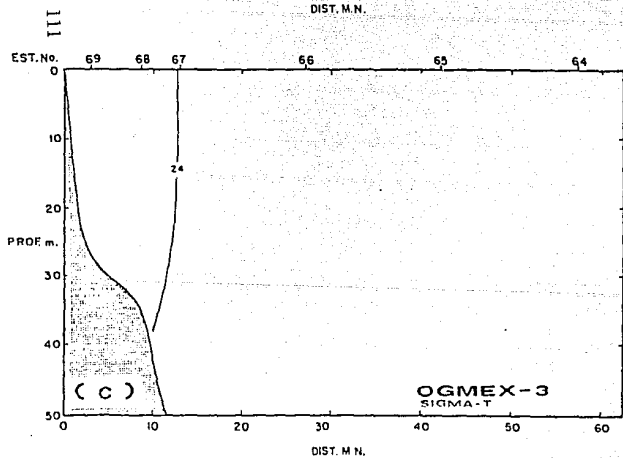
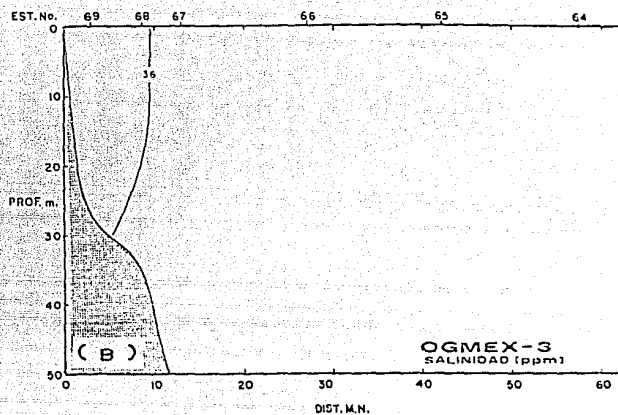
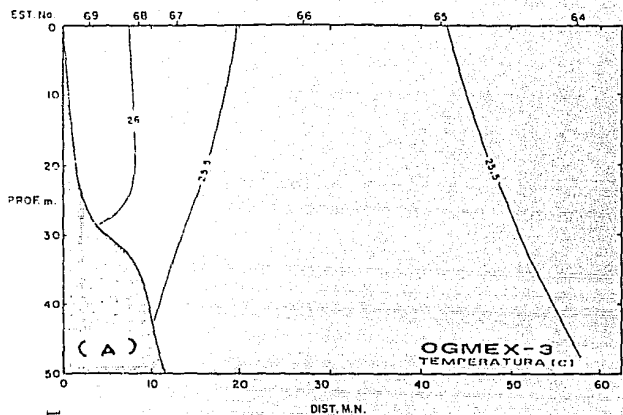


FIGURA 4.36. TRANSECTO 3. CRUCERO OGMEX-3.  
DISTRIBUCIONES DE:

- A) TEMPERATURA.
- B) SALINIDAD.
- C) SIGMA-T.

En la figura 4.37B se distingue la estructura halina del transecto 4, en el cual se aprecia una estratificación en la capa superficial de 12 m, entre las estaciones 54 y 57, provocada por los ríos Grijalva-Usumacinta. Los valores mínimos registrados en esta zona fueron costeros de 31.47 y a una profundidad de 3 m. Cabe mencionarse que la lengua de baja salinidad debida a la descarga de los ríos mencionados llega hasta 20 millas náuticas fuera de la costa. Por lo demás se aprecia bastante homogeneidad, con pequeñas fluctuaciones alrededor de 36.30.

La distribución de  $\sigma_t$  del transecto 4 (fig. 4.37C), refleja la influencia de la estructura halina en la zona, con valores mínimos de 20.50 cerca de la costa. Por lo demás se observa homogéneo el resto del transecto con valores alrededor de 24.25.

La figura 4.38A representa la distribución térmica del transecto 5, misma que aparece totalmente homogénea con valores alrededor de 25.50°C.

La distribución de salinidad muestra una cierta estratificación entre las estaciones 44 y 46, y entre la superficie y los 9 m de profundidad, con valores entre 34.10 y 36.00 (fig. 4.38B). El resto del transecto se encuentra bastante homogéneo con valores alrededor de 36.50.

La distribución de  $\sigma_t$  a lo largo del transecto 5 (fig. 4.38C),

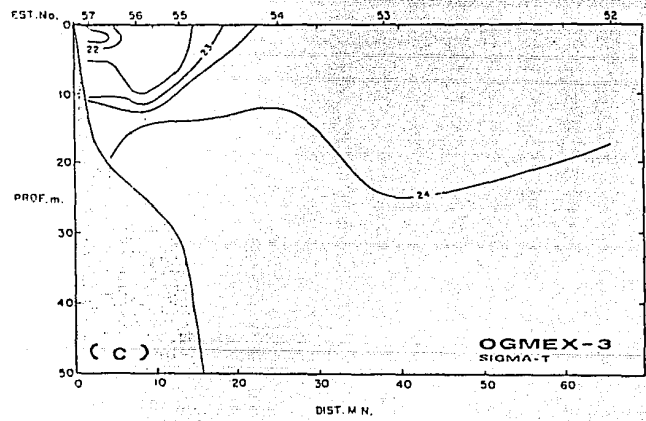
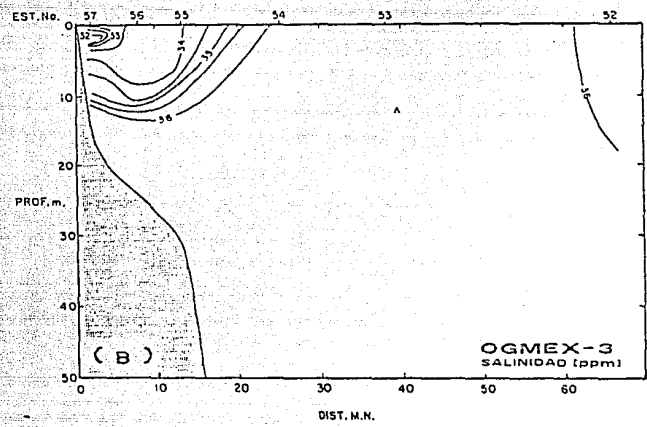
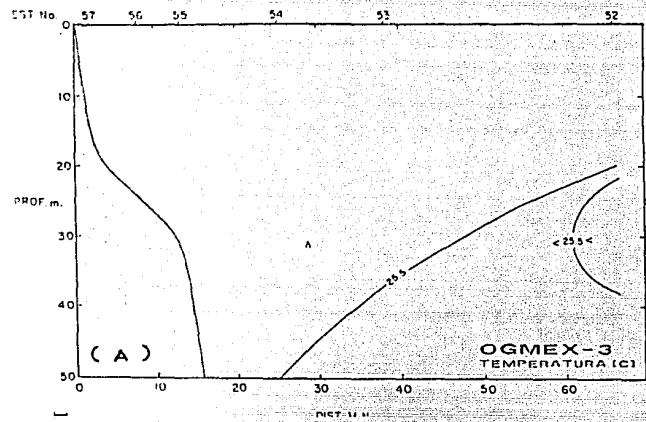


FIGURA 4.37. TRANSECTO 4. CRUCERO OGMEX-3.

DISTRIBUCIONES DE:

- A) TEMPERATURA.
- B) SALINIDAD.
- C) SIGMA-T.

113

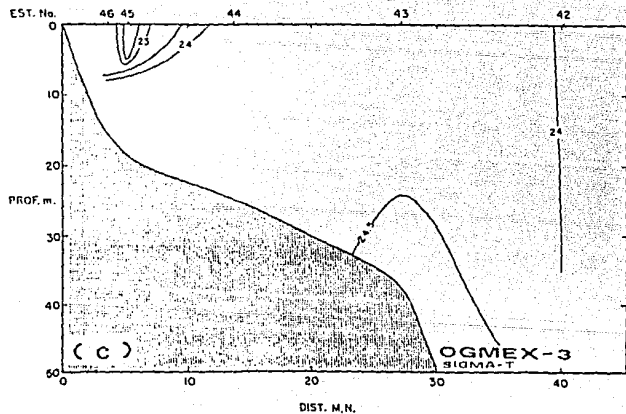
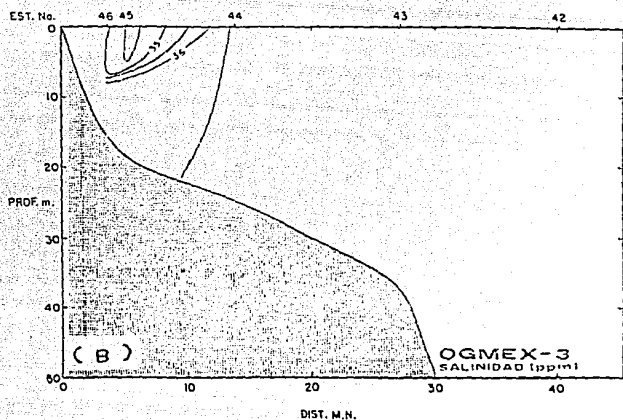
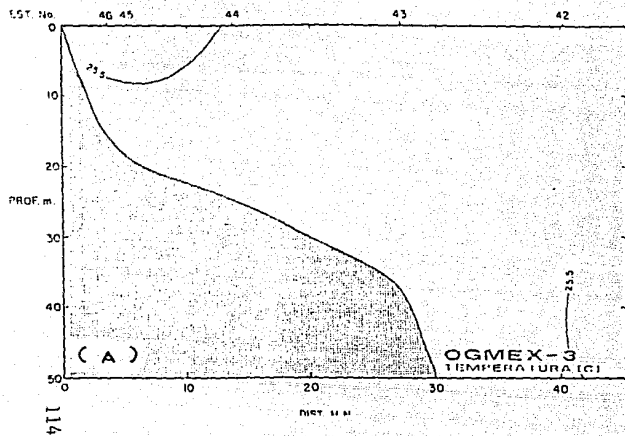


FIGURA 4.38. TRANSECTO 5. CRUCERO OGMEX-3.

DISTRIBUCIONES DE:

- A) TEMPERATURA.
- B) SALINIDAD.
- C) SIGMA-T.

es similar a la estructura halina anterior en la parte costera, con valores entre 22.50 y 24.00 en la zona de baja salinidad. El resto del transecto se encuentra bastante homogéneo con valores alrededor de 24.30.

#### IV.4.4 DISTRIBUCIONES HORIZONTALES (PLANOS HORIZONTALES)

La figura 4.39A muestra la estructura térmica a 2 m de profundidad, la cual presenta un rango de variación entre 25.25 y 25.75. La porción suroeste muy homogénea y caracterizada por una temperatura de 25.00<sup>o</sup>C.

En la figura 4.39B se aprecia un fuerte gradiente de salinidad frente a la desembocadura de los ríos Grijalva-Usumacinta, mismo que se extiende hasta la Laguna de Términos al este y casi toca la zona costera donde se encuentran las lagunas del Carmen y Machona al oeste. La salinidad registrada en la estación más cercana a la desembocadura de los ríos Grijalva-Usumacinta fué de 32.00. Así mismo, se detecta un cierto gradiente frente a la desembocadura del río Coatzacoalcos registrándose valores mínimos de 34.60. En el resto de la región se presenta homogéneo con valores de salinidad alrededor de 36.50, presentándose un máximo de 37.30 frente a la costa comprendida entre el río Champotón y la Laguna de Términos. Las isosalinas presentan una cierta simetría con respecto a un eje perpendicular a la costa, mismo que se encuentra defasado hacia el oeste con respecto a la desembocadura de los ríos



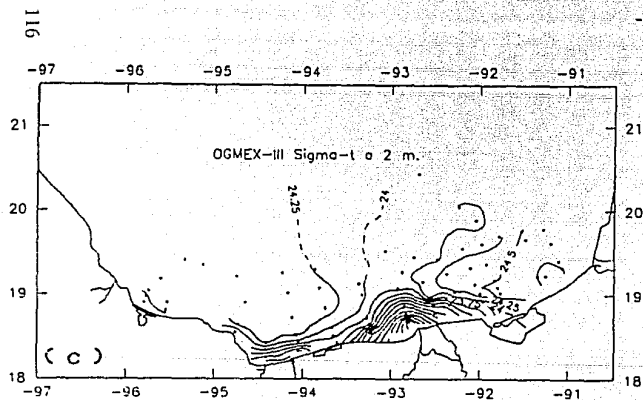
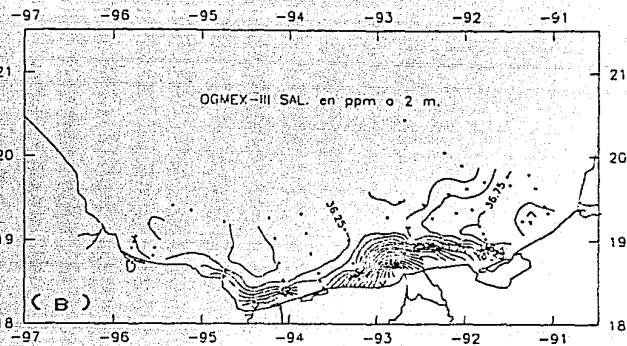
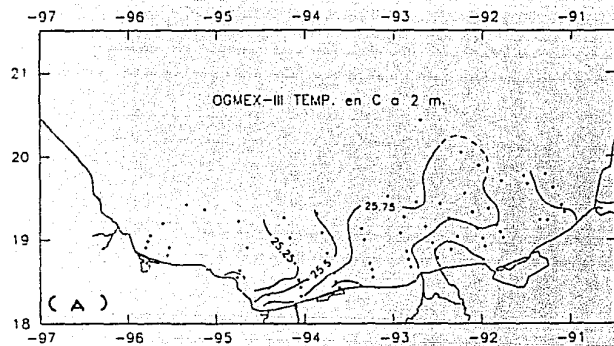


FIGURA 4.39. PLANOS HORIZONTALES A 2 METROS DE PROFUNDIDAD. CRUCERO OGMEX-3.

- A) TEMPERATURA.
- B) SALINIDAD.
- C) SIGMA-T.

Grijalva-Usumacinta, lo cual puede sugerir una circulación de las corrientes de la Bahía de este a oeste, pero menos intensas que en el verano (OGMEX 2).

La figura 4.39C se aprecia como un claro reflejo de la salinidad a esta profundidad, presentándose valores mínimos en  $\sigma_t$  de 20.85, frente a la desembocadura de los ríos Grijalva-Usumacinta, y de 23.00 frente a la del río Coatzacoalcos.

En la figura 4.40A se muestra la distribución de temperatura a 10 m de profundidad, la cual se presenta bastante uniforme con valores alrededor de los 25.50°C.

En la estructura halina a 10 m de profundidad (fig 4.40B), se observan dos zonas de baja salinidad, una frente a la desembocadura del sistema Grijalva-Usumacinta con valores mínimos de 34.19, y otra frente a la zona comprendida entre el río Coatzacoalcos y las lagunas del Carmen y Machona, con valores mínimos de 34.61. En la zona suroeste de la Bahía se ve cierta uniformidad con un valor de salinidad de 36.50. En la zona sureste se tienen valores alrededor de 37.50.

La figura 4.40C se muestra muy similar a la anterior registrándose valores de  $\sigma_t$  de 22.50 frente a la desembocadura del Grijalva-Usumacinta y de 22.86 frente a la zona comprendida entre el río Coatzacoalcos y las lagunas del Carmen y Machona.

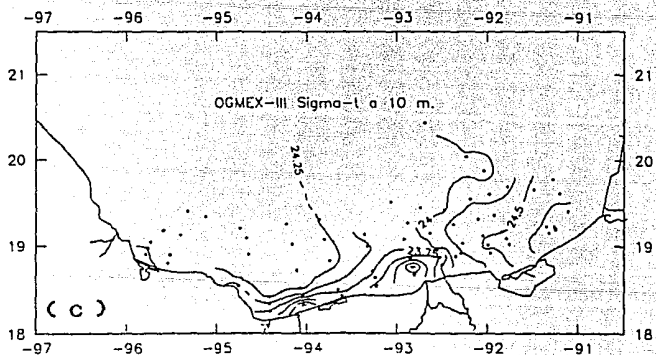
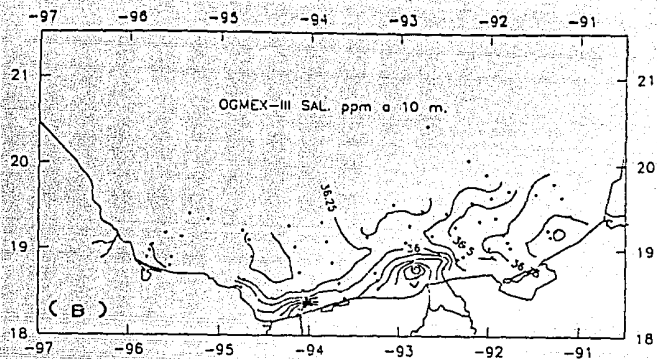
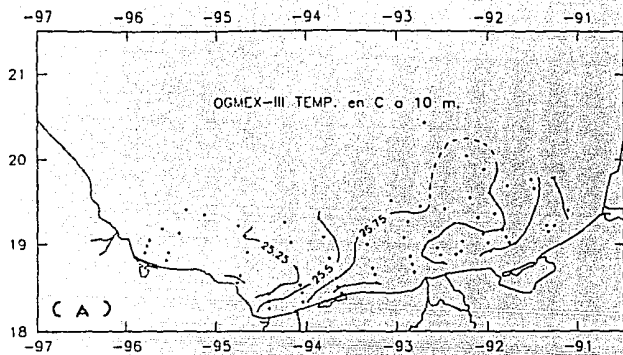


FIGURA 4.40. PLANOS HORIZONTALES A 10 METROS DE PROFUNDIDAD. CRUCERO OGMEX-3.

- A) TEMPERATURA.
- B) SALINIDAD.
- C) SIGMA-T.

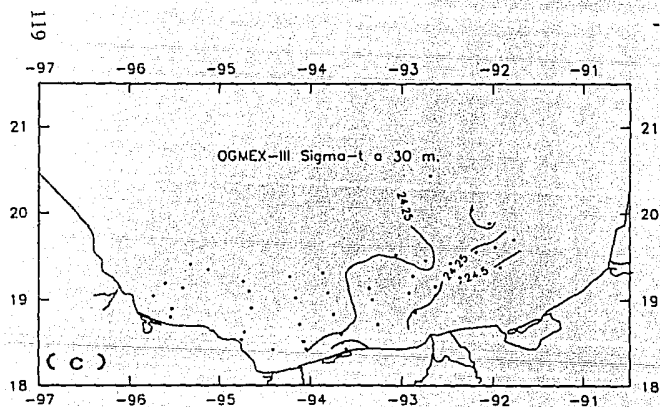
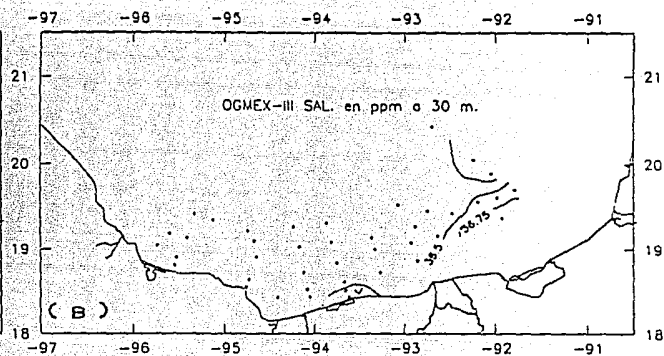
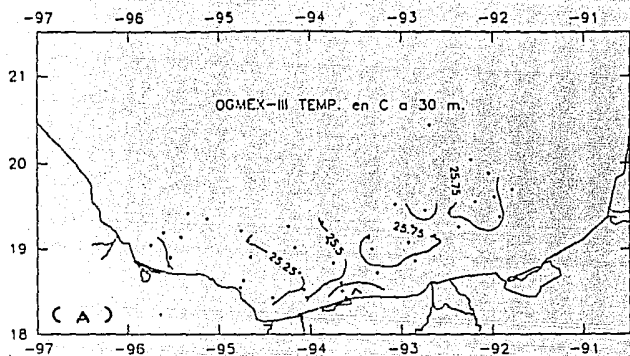


FIGURA 4.41. PLANOS HORIZONTALES A 30 METROS DE PROFUNDIDAD. CRUCERO OGMEX-3.

A) TEMPERATURA.

B) SALINIDAD.

C) SIGMA-T.

La estructura térmica a 30 m de profundidad se observa que es bastante uniforme con valores alrededor de  $25.50^{\circ}\text{C}$  (fig. 4.41A).

La figura 4.41B presenta la estructura halina la cual es muy homogénea con un valor representativo de 36.50.

En la figura 4.41C se representa la distribución de  $\sigma_t$ , que como resultado de las dos figuras anteriores también es bastante homogénea con fluctuaciones alrededor de 24.25.

#### IV.4.5 ANOMALIA DE ENERGIA POTENCIAL (PARAMETRO DE ESTRATIFICACION)

El plano horizontal de la anomalía de la energía potencial se observa un gradiente de este parámetro frente a la desembocadura del sistema Grigalva-Usumacinta (fig 4.42), con valores de la anomalía de  $101 \text{ joules/m}^3$ . En la zona frente al río Coatzacoalcos se aprecia un ligero gradiente con valores máximos de  $39 \text{ joules/m}^3$  (estacion 82). Frente a la desembocadura del río Papaloapan no se aprecia ninguna estructura frontal.

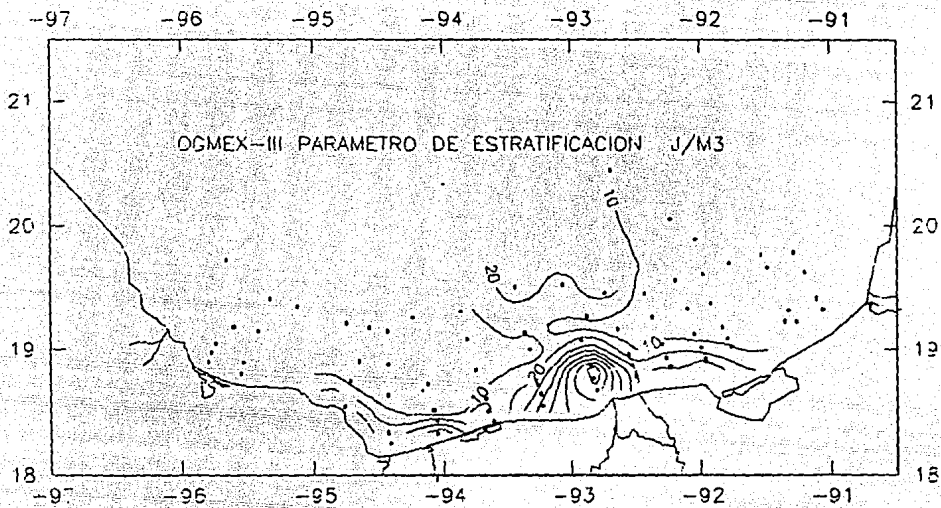


FIGURA 4.42 PLANO HORIZONTAL DE LA ANOMALIA DE ENERGIA POTENCIAL.  
 (PARAMETRO DE ESTRATIFICACION (  $\phi$  ) ). CRUCERO OGMEX-3.

## V. DISCUSION Y CONCLUSIONES.

De los resultados obtenidos en el capítulo IV se tienen evidencias de las variaciones espacio-temporales de los principales parámetros hidrográficos en la zona de estudio, durante los periodos de muestreo que como se ha mencionado, para el OGMEX-1 es el invierno, OGMEX-2 el verano y OGMEX-3 el otoño de 1987.

De los perfiles concentrados de temperatura se puede inferir los efectos de los "Nortes" en la época de invierno sobre la capa de mezcla, provocando una disminución de su temperatura y un aumento en el grosor, llegando este hasta 100 m en varias zonas.

En la época de verano la capa de mezcla se presenta más somera que en invierno, llegando a una profundidad de 50 m. En esta época se presenta la mayor temperatura superficial con valores superiores a  $28.50^{\circ}\text{C}$ , observándose un fuerte gradiente vertical y por consiguiente una termoclina muy marcada, la cual se debe principalmente al incremento de radiación solar propia de esta época del año y a una intrusión de agua fría. Esta intrusión se registró sobre el fondo de la plataforma del Banco de Campeche con valores menores de  $21.50^{\circ}\text{C}$ , siendo esta temperatura de fondo menor inclusive que en el invierno. La causa posibles de la citada intrusión pueden ser la presencia de surgencias estacionales detectadas por otros autores en dicho banco.

En el otoño la temperatura de la capa mezclada vuelve a sufrir una disminución, aumentando en grosor, sin llegar a tener la profundidad alcanzada en el invierno.

De los perfiles de salinidad y densidad se deduce que en el verano la zona sur de la bahía se ve fuertemente influenciada por la descarga de los principales ríos que desembocan en ella, llegando su influencia hasta una profundidad aproximada de 15 m. La estructura vertical halina en el otoño y en el invierno es muy similar.

La estructura vertical de la densidad relativa ( $\sigma_t$ ) es muy similar en otoño e invierno y diferente en el verano, esto último como resultado del aumento de temperatura y del incremento de la descarga de los ríos en esta época.

De las variaciones temporales del volumen de agua dulce registradas y de las secciones transversales (transectos), se infiere que la época de verano es la temporada de mayor influencia de los ríos. El efecto del Papaloapan se hace evidente hasta una profundidad máxima de 15 m y a una distancia de 25 mn de la costa. El Coatzacoalcos se manifestó a una profundidad similar, pero la pluma de este río se detectó más allá de las 60 mn. El sistema Grijalva-Usumacinta ejerció su influencia hasta una profundidad de 8 m y a una distancia de 15 mn.



En el otoño, el sistema Grijalva-Usumacinta continúa manifestando su influencia en el ambiente marino hasta una profundidad de 12 m de Profundidad y una distancia de 20 mn, mientras que el Coatzacoalcos presenta un débil gradiente y el Papaloapan no presenta ninguna influencia en la bahía.

En el invierno también se aprecia que el sistema Grijalva-Usumacinta ejerce sus efectos en el ambiente marino, manifestándose hasta una profundidad de 20 m y una distancia de 55 mn de la costa. En la zona contigua a la desembocadura de los ríos Papaloapan y Coatzacoalcos no se observa ninguna influencia en el mar, lo cual puede ser debido a la fuerte mezcla provocada por los "nortes" o que sus efectos estén confinados a la zona cercana a la desembocadura de los ríos, debiéndose esto a la disminución de sus descargas y a los vientos, en esta época del año.

En la distribución horizontal se observó una permanencia de la estructura halina frente al sistema Grijalva-Usumacinta. Para el río Coatzacoalcos la estructura se presentó en otoño y principalmente en el verano, siendo este río el que ejerce la mayor manifestación superficial de todos en la región, en esta época del año. En el Papaloapan únicamente se observa la estructura halina en verano.

Es importante mencionar que en el verano, el sistema Grijalva-Usumacinta presenta los valores más bajos en lo que

corresponde a la estratificación y gradiente horizontal halinos de todos los ríos, a pesar de que en el análisis de volumen de los afluentes de los ríos muestreados por C. F. E. y en la literatura se afirma que es el más caudaloso de México. Dichos valores pueden ser atribuibles al desplazamiento hacia el oeste, del agua del sistema, debido a la corriente propia de la bahía en esta época, la cual se supone que es intensa y de este a oeste. Lo anterior lo confirma la basta zona de baja salinidad observada al oeste de la desembocadura del sistema, en el plano horizontal a 10 m de profundidad, para el OGMEX-2 (ver fig. 4.27.B).

Otra contribución a la menor estratificación halina que se presenta en la región cercana al sistema Grijalva-Usumacinta en el verano, puede deberse a una disminución repentina en la descarga de dicho sistema, ya que hay evidencias de una disminución en el volumen del afluente Tacotalpa, del río Grijalva y en el del Coatzacoalcos (C. F. E.), para el mes de agosto.

En las distribuciones horizontales se puede observar el desplazamiento del eje de simetría con respecto a la boca de cada río, hacia el oeste, tanto de la estructura halina como de la correspondiente al parámetro de estratificación, durante las campañas de OGMEX-2 y 3 ( julio 27-agosto 5 y noviembre 23-diciembre 4, respectivamente). Por lo tanto se puede pensar que la corriente de la bahía, en estos dos periodos del año, tiene una circulación costera de este a oeste. Durante la campaña OGMEX-1

(febrero 25-marzo 9), el desplazamiento del eje de simetría respecto a las desembocaduras de los ríos es hacia el este, indicando que la corriente costera en esta época tiende a ser de oeste a este.

De igual manera se puede apreciar que existe una zona de alta salinidad sobre la Plataforma del banco de Campeche, frente a la región comprendida entre la Laguna de Términos y el río Champotón, con valores de salinidad arriba de 37.00 y durante las épocas de verano, otoño e invierno. Lo anterior confirma que esta zona es de alta evaporación, mismo que ha sido mencionado por Yañez y Sanchez (1983) y Padilla et al. (1986).

La frontogénesis en el sur de la Bahía de Campeche, es debida a las descargas de los principales ríos: el Papaloapan, Coatzacoalcos y el sistema Grijalva-Usumacinta. La intensidad del frente es consecuencia tanto del incremento en la descarga de los ríos como de las condiciones meteorológicas imperantes. Lo anterior se deduce de la evolución en las gráficas de las descargas de ríos muestreados por C.F.E., y de los resultados obtenidos considerando que durante las épocas de mayor volumen o descarga registrados se presentan frentes con mayor intensidad.

De la distribución de la anomalía de energía potencial se puede deducir que el frente halino y su estratificación asociada es permanente para el sistema Grijalva-Usumacinta, esto en virtud de

que ésta prevaleció aun en condiciones extremas como ocurre en el invierno, época en que se presentan la mínima descarga y la máxima mezcla vertical debida a los "mortes". Casos extraordinarios como la entrada de un huracán en la zona, tendrán que ser analizados en forma particular. Para los ríos Coatzacoalcos y Papaloapan no se pueda aseverar lo anterior ya que no se contó con un muestreo suficientemente cercano a la costa que permitiera analizar la existencia de estos frentes.

Por lo que corresponde a la presencia de agua fría subsuperficial en la zona de estudio durante el verano, se pueda mencionar que en esta época se registra el mayor transporte de la Corriente de Lazo en el Golfo de México (Molinari, 1977, 1978; Behringer et al., 1977). Lo anterior puede influir en la dinámica de la región produciendo surgencias topográficas frente a Cabo Catoche y sobre el Cañón de Campeche (Cochrane, 1969; Bulanienkov y García, 1975; Gomez, 1976), ocasionando la presencia de aguas frías en la zona. Lo anterior explicaría en parte los fuertes gradientes de temperatura observados en el verano.

## CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos se tienen las siguientes conclusiones:

- La presencia de "nortes" que afectan la dinámica de la región de estudio durante el invierno, producen una disminución de la temperatura y un aumento del espesor de la capa de mezcla.
- Existe una cierta similitud en la distribución de los parámetros hidrográficos en el otoño e invierno y una marcada diferencia de estos con respecto al verano. Las mayores descargas de río se presentan en verano produciendo fuertes estratificaciones y gradientes horizontales en las zonas cercanas a las desembocaduras de los ríos.
- La circulación propia de la Bahía de Campeche influencia la estructura frontal de la región, dado que existe un desplazamiento de los ejes de simetría, tanto de las isohalinas, como de la distribución de la anomalía de energía potencial.

- La influencia de la Corriente de Lazo se manifiesta mediante la generación de surgencias topográficas sobre el Banco de Campeche, las cuales pueden influir en el verano, con la presencia de aguas frías en la zona de estudio.
- La frontogénesis en el sur de la Bahía de Campeche es debida a la descarga de ríos.
- La estructura frontal contigua a la desembocadura del sistema Grijalva-Usumacinta es de carácter permanente, sin embargo, en otoño e invierno la disminución en la descarga y la presencia de "mortes" provocan una disminución en la intensidad de dicha estructura.
- Las estructuras frontales contiguas a los ríos Papaloapan y Coatzacoalcos no siempre se detectaron con la red de estaciones realizada. En el caso del Papaloapan el frente se detectó en verano y para el Coatzacoalcos en verano y otoño.

## BIBLIOGRAFIA

ALATORRE, M.A.. 1986: Sistema de información de la superficie del mar a bordo de los barcos oceanográficos de la UNAM. Tesis de Maestría en Ciencias de la Computación. UACFyF-CCH, IIMAS. UNAM.

ALATORRE, M.A., F. RUIZ y D.A. SALAS DE LEON, 1987: Efectos del paso de frentes fríos atmosféricos sobre la Bahía de Campeche. Memoria de la Reunión Anual, 1987. Unión Geofísica Mexicana A. C. 186-193 pp.

BEHRINGER, D. W., R. L. MOLINARI Y J. F. FESTA: The variability of anticyclonic current patterns in the Gulf of Mexico. Journal of Geophysical Research, Vol. 82, No. 34, 5469-5476.

BENCKER, H., 1930: The bathymetric soundings of the oceans (with chronological list of ocean expeditions from 1800-1930) Hydro. Rev.

BLAHA, J. P. y W. STURGES, 1978: Evidence for wind forced circulation in the Gulf of Mexico. Technical report, Dep Oceanogr., Fla. State Univ. Tallahassee, Fla.

- BOWDEN, K. F., 1983. Physical Oceanography of Coastal Waters. Department of Oceanography, University of Liverpool. Published by Ellis Horwood Ltd. 302 pp.
- BOWMAN, M. J. y R. L. IVERSON, 1978: Estuarine a plume fronts. In: oceanic fronts in coastal processes. Edited by M. J. Bowman and W. E. Esaias. N. Y. 87-104 p.
- BOWMAN, M. J. y E. E. WAYNE, 1978: Proceedings of the workshop, what is a front?. In: Oceanic fronts in coastal processes, 6-13 p. Proceedings of a workshop held at the Marine Sciences Research Center, May 25-27, 1977.
- BULANIENKOV, S. K. y C. GRACIA-DIAZ, 1975: Influencia de los procesos atmosféricos en el afloramiento del Banco de Campeche. Rev. Invest., INP, 1(2); 99-140 p.
- COCHRANE J.D., 1962: Investigation of the Yucatan Current. In Oceanography and Meteorology of the Gulf of Mexico. Texas A. and M. Dept. of Oceanography. Ref. 62-14A: 5-10.
- COCHRANE J.D., 1963: Yucatan Current. In Oceanography and Meteorology of the Gulf of Mexico. Texas A. and M. Dept. of Oceanography. Ref. 63-18A: 6-11.



COCHRANE J.D., 1968: The Yucatan Current. In Oceanography and Meteorology of the Gulf of Mexico. Texas A. and M. Dept. of Oceanography. Ref. 66-231: 14-32.

COCHRANE J.D., 1969: Water and circulation on Campeche Bank in may. Bull. Japan Soc. Fish Oceanogr. Special number (professor Uda's commemorative papers). 123-128.

CTD OPERATION AND MANTENIANCE MANUAL, 1987. Neil Brown Instruments Systems.

CZITROM, S. P. R., 1982: Density stratification and asociated front in Liverpool Bay. Ph. D. thesis. University of Wales. Bangor.

CZITROM, S. P. R., F. RUIZ, M. A. ALATORRE y A. R. PADILLA, 1986: Preliminary study of a front in the Bay of Campeche, Mexico. In: Jaques C. J. Nihoul (ed.), Marine Interfaces Ecohydrodynamics. Elsevier's Press, 295-300 pp.

ELLIOTT, B. A., 1979: Anticyclonic rings and the energetics of the circulation of the Gulf of Mexico. Ph. D. thesis, Dept. of Oceanography, Texas A and M University, 788 pp.

- ENDRUS, A., 1908: Vergleichende Zusammenstellung der hauptzeitperioden der bis jetzt untersuchten seen mit anwendung auf verwandte probleme. Petermanns mitt., 54. 86-88.
- FRANCESCHINI, G. A., 1961: Hidrologic balance of the Gulf of Mexico. Unpublished doctoral disertation. The Texas A and M. College of Texas, 58 pp.
- GALTSOFF, P., 1954: Gulf of Mexico-its origin, waters, and marine life. U. S. Dept. of interior, Fish and Wildlife Service, Fishery Bulletin 89 of Fish and Wildlife service vol. 55.
- GARVINE, R. W., 1974: Dynamics of small-scale oceanic fronts. Journal of Physical Oceanography. Vol. 4, 557-569 p.
- GARVINE, R. W. y J. D. Monk, 1974: Frontal structure of river plume. Journal of Geophysical Research, Vol. 79, 2251-2259 p.
- GIBBS, R. J., 1970: Circulation in the Amazon River Estuary and adjacent Atlantic Ocean. Journal of Marine Research. Vol. 28. 113-123 p.
- GÓMEZ, J. A., 1976: Corrientes y algunos aspectos del régimen hidrológico de la zona suroeste del Banco de Campeche. Rev. Invest., INP, 2(1): 66-84 p.

GRACE, S. F., 1932: The principal diurnal constituent of tidal motion in the Gulf of Mexico. Mont. Not. R. Astr. Soc. Geophys. Suppl., 3(2). 70-83.

HELLERMAN, S., 1977: An updated estimate of the wind stress on the world ocean. Monthly Weather Rev., 95, 607-626, 1977.

HELLERMAN, S., 1978: Correction (to) "An updated estimate of the wind stress on the world ocean". Monthly Weather Rev., 96, 63-64.

HULBERT, H. E. y J. D. THOMPSON, 1980: A numerical study of Loop Current intrusion and eddy shedding. Journal of Physical Oceanography. Vol. 10, 1611-1651, 1980.

KLEMAS, V., 1980: Remote sensing of coastal fronts and their effects on oil dispersion. International Journal of Remote Sensing. Vol. 1, No. 1, 11-28.

LEIPPER, D. F., 1970: A sequence of current patterns in the Gulf of Mexico. Journal of Geophysical Research, 75, 637-657.

MCLELLAN, H. J. y W. D. NOWLIN, 1963: Some features of the deep water in the Gulf of Mexico. Journal of Marine Research, Vol. 21 (3): 233-245.

MERRELL W. J. y J. M. MORRISON, 1981: On the circulation of the western Gulf of Mexico with observations from april 1978. Journal of Geophysical Research, Vol. 86. 4181-4185.

MOLINARI, R. L., 1977: Synoptic and mean monthly 20°C topographies in the eastern Gulf of Mexico. NOAA Tech. Memo. ER1. AOML-27, 33 pp., Atl. Oceanogr. and Meteorol. Lab., Miami. Fla.

MOLINARI, R. L., J. F. FESTA y D. W. BEHRINGER, 1978: The circulation of the Gulf of Mexico derived from estimated dynamic height fields. Journal of Physical Oceanography., 8, 987-996.

MONREAL GOMEZ, M.A. y D.A. Salas de León, 1990: Simulación de la Circulación en la Bahía de Campeche. Geofisica Internacional, Vol. 29, Num. 2, 101-111.

MURRAY, S. P., 1975: Wind and current effects on large scale oil slicks. Proceedings of the Seventh Annual Offshore Technology Conference. Houston, Texas. May 5-8, 1975. 523-533.

NL DOPPLER SPEED LOG OPERATION'S MANUAL, 1979. MODEL P 1110E, SINRAD.

NOWLIN W. D., 1971: Water masses and general circulation of the Gulf of Mexico. Contribution No. 452. Texas and M. University, College of Geosciences, College Station. 173-177.

NOWLIN W. D., 1972: Winter circulation patterns and property distribution. Texas A and M University Oceanogr. Stud., Vol. 2, L. R. A. Capurro and J. L. Reid, Eds., Gulf Publ. Co., Houston. 3-53.

NOWLIN W. D. y J. M. HUBERTZ, 1972: Contrasting circulation patterns for the eastern Gulf. In Contributions on the Physical Oceanography of the Gulf of Mexico. Texas A and M. Univ. Oceanogr. Stud. Vol. 2. Gulf Publishing, Houston, Texas. 119-137.

NOWLIN, W. D. y H. J. McLELLAN, 1967: A characterization of the Gulf of Mexico waters in winter. Journal of Marine Research, Vol. 25 (1): 29-59.

PADILLA, A. R., M.A. ALATORRE, F. RUIZ y S. R. P. CITROM, 1986: Observaciones recientes de la estructura termohalina en el sur del Golfo de Mexico. Memoria de la Reunion Anual, 1986. Unión Geofisica Mexicana A. C. 434-440 p.

- FANOFSKY, H., 1956: Climatología física. Centro intern. de adiestr. en aviac. civil. Mexico. 113 pp.
- PARR, A. E., 1935: Report of hydrographic observations in the Gulf of Mexico and the adjacent straits made during the Yale Oceanographic Expedition on the "Mabel Taylor", in 1932. Bull. Brigham Ocean. Collect. Vol. 5, Art. 1, pp. 1-93.
- PELEGRI, J. L., 1988: Tidal fronts in estuaries. Estuarine, Coastal and Shelf Science, Vol. 27, 45-60 p.
- SALAS DE LEON, D. A., 1986: Efectos de algunos parámetros sobre la propagación de la componente  $M_2$  de la marea del Golfo de México. Memoria de la Reunion Anual, 1986. Unión Geofísica Mexicana A. C., 427-433 pp.
- SALAS DE LEON, D. A. y M. A. MONREAL GOMEZ, 1986: The role of the Loop Current in the Gulf of Mexico fronts. In: Jaques C. J. Nihoul (ed.). Marine Interfaces Ecohydrodynamics. Elseviers Press, 295-300 pp.
- SATELLITE NAVIGATION SYSTEM MANUAL, 1980, Transit/NNSS, Magnavox 1107-RS.

SIMONSKY, M., 1980: Some notes on the accuracy of the Navy Navigation Satellite System. International Hydrographic Review, Monaco LVII (2), 67-76 pp.

SIMPSON, J. H., 1981: The shelf sea fronts, implications of their existence and behaviour. Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. A. Vol. 302. 531-546 p.

SIMPSON, J. H. y D. BOWERS, 1979: Shelf sea fronts adjustments revealed by satellite infrared imagery. Nature London. Vol. 280. 648-651 p.

SIMPSON, J. H. y D. BOWERS, 1981: Models of stratification and frontal movement in shelf seas. Deep Sea Research. Vol. 28. 727-738 p.

SIMPSON, J. H. y J. R. HUNTER, 1974: Fronts in the Irish Sea. Nature London. Vol 250. 404-406 p.

SIMPSON, J. H. y I. D. JAMES, 1986: Coastal and estuarine fronts. In: Baroclinic Processes on continental Shelves. Coastal and Estuarine Sciences 3. American Geophysical Union. 63-93 p.

SIMPSON, J. H., C. M. ALLEN y N. C. G. MORRIS, 1978: Fronts on the continental shelf. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 83, No. C9. 4607-4614.

SIMPSON, J. H., D. G. HUGHES y N. C. G. MORRIS, 1977: The relation of seasonal stratification to tidal mixing on the continental shelf. *Voyage of Discovery. Deep Sea Research Supplement*, 327-340 p.

STURGES, W. y J. P. BLAHA, 1976: A western boundary current in the Gulf of Mexico. *Science*, 192, 367-369.

TAPANES, J. J. y F. GONZALEZ-COYA, 1980: Hidrometeorología del Golfo de México y Banco de Campeche. *Geofísica Internacional*, vol. 19-4. 335-354 pp.

TEMPERATURE/CONDUCTIVITY SENSOR ELECTRONICS TSG-102. *Ocean Data Equipment*.

UDA, M., 1938: Researches on "siome" or current rip in the seas and oceans. *Geophys. Mag.*, 11, 307-372.

UDA, M., 1959: Seminar 2, Water mass boundaries-"siome" frontal theory in oceanography. Fisheries Res. Board Canada Manuscript Report Section 51 (unpublished).



VOORHIS, A. D., D. C. WEBB y R. C. MILLARD, 1976: Current structure and mixing in the shelf/slope water front south of New England. Journal of Geophysical Research. Vol. 81, No. 21. 3695-3708 p.

WOOSTER, W. S., 1969: Equatorial front between Peru and Galapagos. Deep Sea Research, Oceanographic Abstract Supplement. Vol. 16. 407-419 p.

WRIGHT, L. D. y J. M. COLEMAN, 1971: Effluent expansion and interfacial mixing in the presence of a salt wedge, Mississippi River Delta. Journal of Geophysical Research, Vol. 76, 8649-8661.

WUST, G., 1964: Stratification and circulation in the Antillean-Caribbean basins, Pt. I. Columbia Univ. Press, New York. 201 pp.

YANES-ARANCIBIA, A. y P. SANCHEZ-GIL, 1983; Environmental behavior of Campeche Sound ecological system, off Terminos Lagoon Mexico: Preliminary results. En Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Vol. 10(1). 117-176 p.

ZETLER B. D. Y D. V. HANSEN, 1972: Tides in the Gulf of Mexico. In Contributions on the Physical Oceanography of the Gulf of Mexico. Texas A and M. Univ. Oceanogr. Stud. Vol. 2. Gulf Publishing, Houston, Texas. 265-275.