

**Agua Antártica Intermedia,  
Indicativo del Cambio Climático  
(2017)**

**Antarctic Intermediate Water,  
Climatic Change indicative  
(2017)**

**SECRETARIA DE MARINA**  
Instituto Oceanografico de Veracruz

**ALBERTO MARIANO VÁZQUEZ DE LA CERDA**

RESUMEN  
**Agua Antártica Intermedia,  
Indicativo del Cambio Climático  
(2017)**

Es de notar que los valores más bajos en el Agua Antártica Intermedia en el oeste del Golfo de México, corresponden a un mayor hundimiento de agua en la Antártida, y esto es debido al *calentamiento global o cambio climático*.

Hace más de cuatro décadas, el Gobierno Mexicano investigó el suroeste del Golfo de México sistemáticamente con el *B/O URIBE* en ocho cruceros desde octubre de 1970 hasta noviembre de 1971. Los datos de estos cruceros formaban la base de la descripción actualizada y detallada de la circulación y masas de agua del oeste del Golfo. Los cruceros de mayo-junio y noviembre de 1971 fueron analizados en detalle por el método de análisis isenostérico. Todos los cruceros fueron discutidos a través del uso de la topografía de la superficie de 15°C, la cual se aproxima al patrón de flujo geostrofico. Los resultados confirmaron el dominio de la circulación anticiclónica en el oeste del Golfo. La circulación en su lado oeste tiene una velocidad geostrofica algo mayor, su promedio de volumen en transporte geostrofico es  $10 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (10Sv), aproximadamente

Una región ciclónica encontrada en la parte central u oeste de la Bahía de Campeche es una figura permanente. Algunas veces es fuerte y completa. Otra región ciclónica en el noreste de la Laguna de Tamiahua es una figura recurrente. Una intrusión hacia el sur de una cordillera en geopotencial fue encontrada al oeste del Banco de Campeche, algunas veces está conectado con el Anticiclón. Esta es también una figura permanente.

ABSTRACT  
**Antarctic Intermediate Water,  
Climatic Change indicative  
(2017)**

It is noteworthy that the lowest values in the Antarctic Intermediate Water in the western Gulf of Mexico, correspond to a greater sinking of water in the Antarctic due to the *global warming or climate change*.

Around four decades ago, the Mexican Government surveyed the southwestern Gulf of Mexico systematically from the *R/V URIBE* in eight cruises made from October 1970 to November 1971. Data from these cruises formed the basis of this new and more detailed description of the circulation and water masses of the western Gulf. The May-June and November 1971 cruises were analyzed in detail by the method of isenosteric analysis. All cruises were discussed using the 15°C isothermal surface topography, which approximates the geostrophic flow pattern. The results confirmed the dominance of the anticyclonic circulation in the western Gulf. The circulation of its west side has somewhat higher geostrophic velocity. Its average geostrophic volume transport is approximately  $10 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (10Sv).

A cyclonic region found in the central or western Bay of Campeche is a permanent feature. At times, it is strong and closed. Another cyclonic region in the northeast of Tamiahua Lagoon it is a recurring feature. A southward intrusion of a ridge in geopotential was found west of the Campeche Bank and is sometimes connected with the Anticyclone. It is a permanent feature also.

## AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer a muchas personas e instituciones por haberme ayudado para realizar el presente trabajo, pero debido a la dificultad para ponerlos por orden de importancia, he decidido hacerlo por orden cronológico.

Desde el principio de mis estudios, para esas bellísimas personas que me dieron la vida, mis PADRES, **Rafael y Margarita**; ellos me apoyaron siempre con mucho entusiasmo en mi carrera naval. A mis hermanos Rafael, Crysthal, Francisco, Luis Gregorio y Edith.

Al Tte. Nav. **Mario G. Laine** en la Heroica Escuela Naval militar; al Cap. Frag. **Álvaro Arzamendi**, Comandante del B-03, cuando fui oficial de navegación; al Almirante **Antonio Vázquez del Mercado** por permitirme realizar mis estudios como Ingeniero Mecánico Naval; otra vez los Capitanes de Fragata **Mario G. Laine** y **Gilberto López Lira** por ayudarme a efectuar mis estudios en la NASA, Houston; al Dr. **George L. Huebner** por iniciarme en el fascinante mundo de los *sensores remotos* y por su ejemplo invaluable de dedicación y trabajo; a los Contralmirantes **Gilberto López Lira** y **Doroteo Silva López**, Ellos me ayudaron en mis estudios y trabajos de Oceanografía; *al Dr. Ingvar Emilsson por iniciarme en la oceanografía física, por su gran dedicación y esfuerzo que sin él, no habría sido posible hacer el presente trabajo y por su ejemplo como un gran científico.*

También estoy muy agradecido al Capitán de Fragata **Gustavo Orozco Peralta**, Comandante del B/O *URIBE*, en su ayuda durante los cruceros COSMA de 1971 a 1973.

*Yo agradezco al Dr. Robert O. Reid como un excelente académico, por su paciencia y su percepción clara;* otra vez, al Dr. **George L. Huebner** por apoyarme durante mis estudios en Texas A&M University; al Alm. **Luis M. Bravo**, Alm. **Miguel Ángel Gómez Ortega**, Alm. **Mauricio Scheleske Sánchez**, alm **Luis C. Ruano** y al Alm. **Gilberto López Lira** por permitirme continuar mis estudios de postgrado.

Finalmente a mi esposa **Olga**, a mis hijos **Alberto** y **Olga** por su ayuda y comprensión y sobre todo a mis cinco nietos.

## ACKNOWLEDGMENTS

I would like to thank many people and institutions for help given me and, due to the difficulty of putting them in order of importance; I have chosen to recognize them in chronological order.

From the beginning of my studies, these wonderful persons, my PARENTS, **Rafael and Margarita**; they help me always in my navy career; to my brothers Rafael, Crysthal, Francisco, Luis Gregorio y Edith.

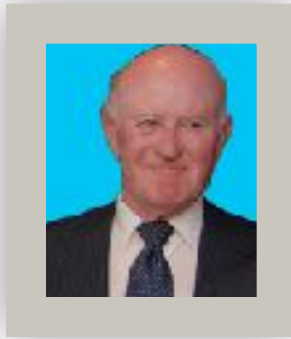
From the Heroic Naval Academy to Lt. **Mario G. LAINE** for his guidance while I was cadet; to the Commander **Alvaro Arzamendi**, skipper of B-03, during my time as navigator officer; to Admiral **Antonio Vázquez del Mercado** for allowing me to conduct studies as naval mechanical engineer; again Commanders **Mario G. Laine** and **Gilberto Lopez Lira** for their help to accomplish my studies at NASA, Houston; to Dr. **George L. Huebner** for initiating me into the fascinating world of *remote sensing* and for the valuable example he set of dedication and work; to Rear-admirals **Gilberto Lopez Lira** and **Doroteo Silva Lopez**, who in the past had given me help in my work and oceanographic studies; *to Dr. Ingvar Emilsson who introduced me to physical oceanography, for his great dedication and effort, without HIM this work would have been impossible, and for his example as a great scientist.*

I am also grateful to Commander **Gustavo Orozco Peralta**, skipper of the R/V *URIBE* for his help during the cruises COSMA, from 1971 to 1973.

*My acknowledge Dr. Robert O. Reid as an excellent professor, for his patience and insight;* Again to Dr. **George L. Huebner** for support and great help he has given me during my studies at Texas A&M University; to Admiral **Luis M. Bravo** Adm. **Miguel Ángel Gómez Ortega**, Adm. **Mauricio Scheleske Sánchez**, adm **Luis C. Ruano** and Adm. **Gilberto López Lira** or allowing me to continue my graduate studies.

Finally, I would like to thank my wife **Olga**, and my son **Alberto** and daughter **Olga** for their help and comprehension, and special mention to my five Grandkids.

## IN MEMORIAM



Dr. INGVAR EMILSSON  
(1926-2016)

**Vikingos en México**

En el siglo X, probablemente el personaje **Quetzalcoatl**, que fue el Quinto soberano Tolteca, reinó 22 años; dejó muchas enseñanzas positivas, y sobre todo, prohibió los sacrificios humanos. Este personaje, tal vez era uno de los vikingos que llegó a América en esa época.

En 1970, el Dr. Ingvar Emilsson llegó a México como experto de la UNESCO, Islandia, descendiente de vikingos. A México le agradece mucho haber desarrollado realmente la oceanografía en todos sus aspectos, como un Gran Guía y Forjador de varias generaciones.

Las contribuciones de Emilsson han sido con la Secretaría de Marina, La Universidad Nacional Autónoma de México, La Comisión Federal de Electricidad y el Centro de Investigaciones de Estudios Superiores de Ensenada.

In the 10th century, supposedly a personality, named QUETZALCOATL (plumed serpent) was the 5th King of the Toltecs and ruled per 22 years. He gave many polite customs and overall prohibited human sacrifices. Maybe he was a Viking that arrived to *Meso - American* lands at that time.

At 1970, Dr. INGVAR EMILSSON arrived in MEXICO as expert of UNESCO from Iceland, descendent of the Vikings. MEXICO has a debt in recognizing him as a developer of Mexican oceanography in all aspects. A very great guy, great guide and supported and mentor of many generations. Contributions of EMILSSON were very important, in the National Autonomous University of Mexico, in the Federal Electric Company, in the Oceanographic Research Institute of Ensenada as well in the Mexican Navy Ministry.

## CONTENIDO

## TABLE OF CONTENTS

	Página-Page	
Resumen. ....	ii.	Abstract
Agradecimientos. ....	iii.	Acknowledgments
Dedicación. ....	iv	Dedication
Contenido. ....	v.	Table of Contents
<b>Introducción. ....</b>	<b>1.</b>	<b>Introduction</b>
A. Naturaleza del Problema. ....	1.	Nature of the Problem
B. Descripción, Agua Antártica Intermedia (AAI). . . . .	1.	Description of Antarctic Intermediate Water (AIW)
C. Trabajos previos en el Golfo de México. ....	2.	Previous works in the Gulf of Mexico
D. Diagrama T-S-V del Golfo de México. ....	4.	Diagram T-S-V of the Gulf of Mexico
<b>Observaciones y Resultados. ....</b>	<b>5.</b>	<b>Observations and Results</b>
<b>A. Mayo-Junio de 1971. ....</b>	<b>6.</b>	<b>May-June 1971</b>
<b>B. Noviembre de 1971. ....</b>	<b>9.</b>	<b>November 1971</b>
C. Las Series. ....	9.	The Series
D. Cruceros, oeste del GdM, abril de 1978. ....	11.	Cruises in the western GoM, April 1978
E. Cruceros en la Bahía de Campeche. ....		Cruises in the Bay of Campeche.
E1) Enero de 1991, CIRCAM 1. ....	13.	E1) January 1991, CIRCAM 1
E2) Julio de 1991, CIRCAM 2. ....	14.	E2) July 1991, CIRCAM 2
F. Remolino Ciclónico, Bahía de Campeche . . . . .	16.	Bay of Campeche Cyclone
G. Crucero, parte central GdM. abril-mayo, 1998. . . . .	19.	Cruise April-May, 1998, central part of the GoM
<b>Resumen y Discusión. ....</b>	<b>21</b>	<b>Summary and Discussion</b>
Referencias. ....	23.	References
Vitae. ....	24.	Vita

## INTRODUCCION

### A. Naturaleza del problema

Conocer los valores de las masas de agua que arriban al Golfo de México en general, así como los patrones de circulación en el oeste del Golfo de México no era muy bien comprendido. Este estudio dio a través de nuevos y más detallados datos, la descripción la fisonomía del oeste del Golfo.

### B. Descripción del Agua Antártica Intermedia (AAI)

Cerca del Continente Antártico la temperatura de la superficie del mar fluctúa entre 1.0 y 1.5°C bajo cero, razón por lo que el agua continua siendo líquida es su salinidad, pero al alejarse a mayor distancia de la costa, la temperatura aumenta ligeramente hasta llegar a una región donde se incrementa en dos o tres grados Celsius en un espacio relativamente corto. La Fig. 1 marca la región donde el AAI se hunde con valores de temperatura de 2 a 3°C y una salinidad de 34.2‰.



**Figura 1.** Región donde se forma el Agua Antártica Intermedia. Antarctic Intermediate Water region formation. (Wüst, 1935, 1957; VC04).

Esta región, con un incremento repentino de temperatura, es llamada *Frente polar (FP)* o *Convergencia Antártica*; es el lugar donde el agua se hunde, y fue establecida de 1932 a 1933 por las investigaciones realizadas a bordo del *Discovery (Deacon, 1937)*. Al continuar en dirección hacia el norte, la temperatura superficial del agua continua aumentando levemente, hasta encontrar una segunda región con un incremento rápido, llamado *Convergencia Subtropical (CS)* cerca de la latitud 40°S, alrededor del hemisferio sur; la frontera de la convergencia Subtropical es en forma continua, excepto en la parte este del océano Pacífico sur donde no está bien determinada. El área que se extiende desde el Continente Antártico hasta FP, se conoce como *Zona Antártica (ZAA)*, y el área entre los frentes recibe el nombre de la *Región Sub-Antártica* o *Zona Sub-Antártica (ZSA)*.

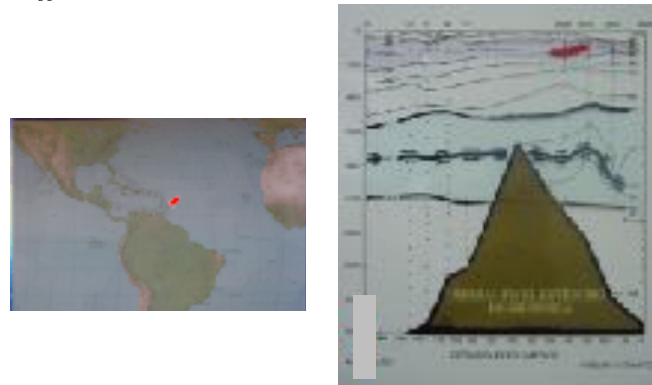
## INTRODUCTION

### Nature of the problem

Learn about the values of the water masses arriving in the Gulf of Mexico in general, as well as circulation patterns in the western of the Gulf of Mexico were not very well understood. This study gave through the addition of new, more detailed data, description of the circulation features of the western Gulf.

### Description of Antarctic Intermediate Water (AIW)

Near the Antarctic continent the sea surface temperature fluctuates between 1.0 and 1.5°C below zero, the reason to be liquid water is its salinity; however, move further away from the coast, the temperature rises slightly to a region where is incremented by two or three degrees Celsius in a relatively short space. The Fig.1 shows the region where the Antarctic Intermediate Water (AIW) sinks, it has temperatures of 2 to 3°C and a salinity of 34.2‰.



**Figura 2.** Paso del Océano Atlántico al Mar Caribe de las masas de agua. (Morrison & Nowlin 1982).

Passage of the water masses from the Atlantic Ocean to the Caribbean Sea. (Morrison & Nowlin, 1982).

This region, with a sudden increase in temperature, is called the *polar front (PF)* or *Antarctic convergence*; the place is where the water sinks, established in 1932 to 1933 by investigations on board the *R/V Discovery (Deacon 1937)*. Continue in direction towards the North, sea surface temperature continuous increasing slightly, but to move further away from the coast, the temperature rises slightly to a region where is incremented by two or three degrees Celsius in a relatively short space to find a second region with an increase fast, called *Subtropical* (near the latitude 40°S, around the South hemisphere; *Subtropical convergence* is a continuous border, except in the eastern part of the South Pacific Ocean where it is not well determined. The area extending from the Antarctic continent to FP, is known as the *Antarctic zone (AAZ)*, and the area between the fronts receives the name of the *sub-Antarctic Region* or *sub-Antarctic zone (SAZ)*.



Sobre la base de este cruceo y en secciones en el oeste del Golfo, *Nowlin y McLellan* (1967) establecieron la existencia de una región semipermanente de corrientes, en la cual no había sido establecida la topografía dinámica de la superficie del mar, ello mostró una anomalía de alto geopotencial en el oeste del Golfo, como una gran parte de una celda alargada, extendiéndose desde la parte norte de la Corriente de Lazo.

*Nowlin, et al.* (1968) notaron que las observaciones detalladas tomadas en junio de 1967 indicaban que el remolino anticiclónico estuvo adyacente a la Corriente de Lazo, pero separado claramente por una angosta región de bajo geopotencial. Ellos lo explicaban como un remolino desprendido del la Corriente de lazo.

*Nowlin* (1972) describe el AAI en el Golfo de México y localiza sus profundidades, valores de salinidad 34.88‰ y temperatura de 6.1°C (Fig. 5).

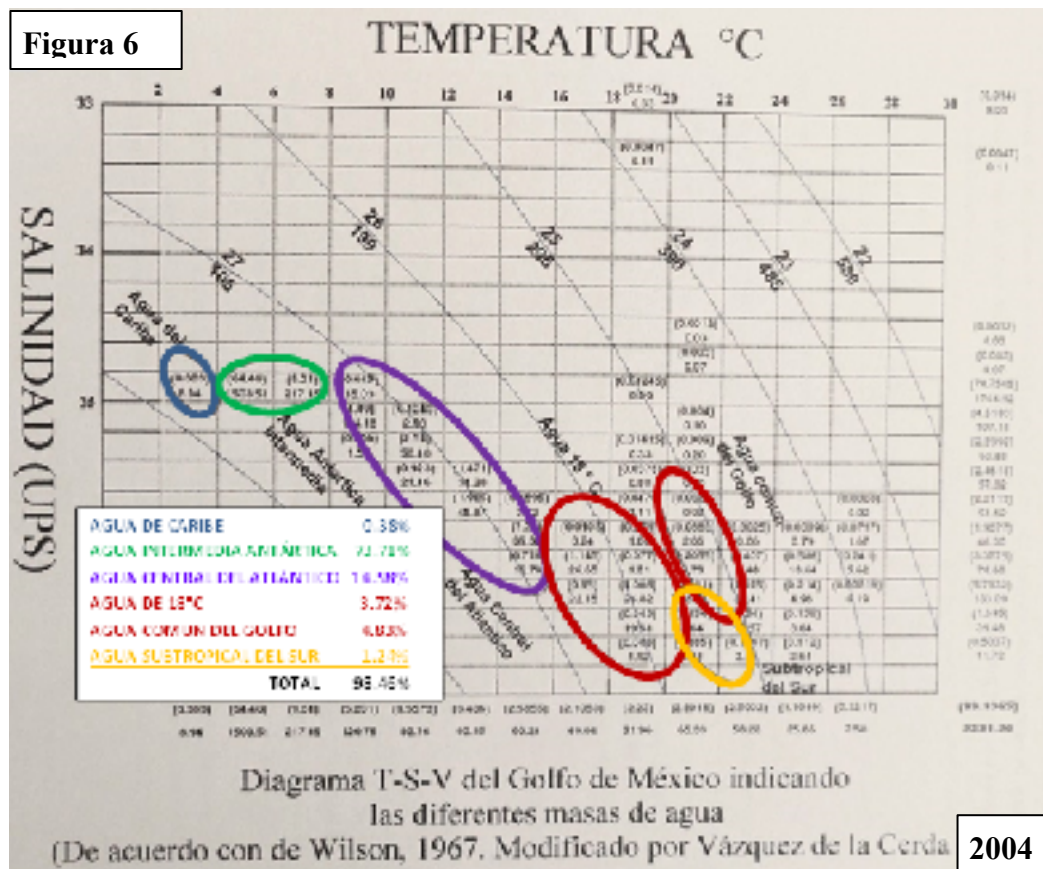
Por otro lado, el paso de Grenada entre el mar Caribe y el océano Atlántico (Fig.2) muestra las diferentes masas de agua: entre 50 y 250 m, el Agua Subtropical del Sur (ASS); entre 550 y 1000 m el AAI. (Morrison & Nowlin, 1982; VC88).

Based on this cruise and sections in the western Gulf, *Nowlin and McLellan* (1967) stated that the existence of semi permanent currents in the region had not been established. The dynamic topography of the sea surface showed a high geopotential anomaly in the western Gulf as a part of a large, elongated cell extending west from the northern part of the Loop Current.

*Nowlin, et al.* (1968) noted that detailed observations taken in June 1967 indicated that an anticyclonic eddy was adjacent to the Loop but clearly separated from it by a narrow region of lower geopotential. They explained it as an eddy detached from the Loop.

*Nowlin* (1972) describes the AIW in the Gulf of Mexico and locates it depths, salinities with 34.88‰ and temperatures of 6.1°C (Fig. 5).

On the other hand, the Grenada passage between the Caribbean Sea and the Atlantic Ocean (fig. 2) shows the different water masses: between 50 and 250 m, the Subtropical Southern Water (ASS); between 550 and 1000 m the Antarctic Intermediate Water (AIW). (Morrison & Nowlin, 1982; VC88).



**Figura 6.** Diagrama Temperatura-Salinidad-Volumen (T-S-V) del Golfo de México, Indica diferentes masas de Agua proveniente del Océano Atlántico. Las elipses indican las masas de agua específica. *Wilson, 1967; VC04*



#### D.- Diagrama T-S-V del Golfo de México

En la Fig. 6 están las masas de agua en el diagrama T-S-V. (Temperatura-Salinidad-Volumen) del Golfo de México para febrero-marzo de 1962; de temperatura potencial vs. Salinidad (Wilson, 1967). En investigaciones de las décadas de los 70's y los 80's, las masas de agua se comportaron con una distribución similar.

Los números en el cuerpo del diagrama se multiplican por 1,000 km<sup>3</sup> y representan el volumen de cada masa de agua en la clase de 2°Cx0.2 ‰. La suma en la parte inferior es la distribución de temperatura potencial y al lado derecho es la salinidad; los números en paréntesis indican el porcentaje del total. Números al margen izquierdo representan la salinidad de 33 hasta 37. El diagrama T-S-V, además muestra las curvas de igual densidad con valores en del nivel  $\sigma_t$  (kg. m<sup>-3</sup>) en la parte superior, y sobre la mismas líneas en la parte inferior, la Anomalia de Volumen Especifico,  $\delta$  (10<sup>-8</sup> m<sup>3</sup> kg<sup>-1</sup>). Así mismo, hay seis elipses que considero delimitan de una manera aproximada las diferentes masas de agua. El margen vertical es salinidad ‰. Los números en el margen superior son temperaturas en grados Celsius.

#### Diagram T-S-V of the Gulf of Mexico

Figure 6 are the water masses of in the T-S-V (Temperature-Salinity-Volume) diagram of the Gulf of Mexico for February-March 1962; potential temperature vs. Salinity (Wilson, 1967). Research of decades from 70's to 80's, the water mass of behaved with a similar distribution.

Numbers into the diagram are multiplied by 1,000 km<sup>3</sup> and represent the volume of each body of water in the class of 2°Cx0.2‰. The sum at the bottom is the distribution of potential temperature and on the right side is the salinity; the numbers in parentheses indicate the percentage of the total. Margin numbers of the left represent the salinity of 33 to 37. The diagram T-S-V, also shows the curves of equal density values in the level (or (kg m<sup>-3</sup>) on the top, and on the same lines at the bottom, the specific volume anomaly, ((10<sup>-8</sup> m<sup>3</sup> kg<sup>-1</sup>)). Also, there are six ellipses that I delimited in an approximate manner the different water masses. Vertical margin is salinity ‰. The numbers on the top margin are temperatures in Celsius degrees.

## OBSERVACIONES y RESULTADOS

El AAI aumenta su salinidad durante su viaje hacia el norte en el océano Atlántico (Fig. 3), debido a la mezcla y difusión con las aguas adyacentes. Los valores de salinidad mínima aumentan a lo largo de su viaje; *Wüst* (1964), considera que menos del 5% del Agua Antártica Intermedia llega al Golfo de México. Los datos climáticos de varias décadas y distintos cruceros confirman lo anterior. Sólo pequeñas trazas de AAI salen del Golfo de México por el Estrecho de Florida hacia el Atlántico del Norte por el fondo de la Corriente del Golfo.

Desde 1970, el Gobierno Mexicano, a través de la Armada de México y algunas Instituciones de Investigación, ha investigado el suroeste del Golfo sistemáticamente con el Buque Oceanográfico *VIRGLIO URIBE* (B/O URIBE), (*Vázquez de la Cerda*, 1975, [VC75]). Los datos obtenidos durante los cruceros oceanográficos físicos (COSMA 70-12, 71-10, 71-16, 71-22; 1972 y 1973) fueron procesados en el Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México y en la Dirección General de Oceanografía. Estos cruceros cubrieron la parte suroeste del Golfo de México en un periodo promedio de dos semanas. Los cruceros son referidos con el nombre de cruceros Marina-Geofísica.

Los equipos utilizados durante los cruceros Marina-Geofísica fueron los clásicos instrumentos de mediados del siglo XX. Además, se hicieron mediciones de corrientes superficiales con el Electro-Kinetógrafo Geomagnético (GEK) (*Bravo*, 1972).

En octubre-noviembre de 1970, El Departamento de Oceanografía de Texas A&M University utilizando el R/V *ALAMINOS*, hizo un crucero oceanográfico, el cual cubrió la parte central del Golfo (EGMEX III). Sus estaciones junto con las del crucero de noviembre de 1970 del crucero de Marina-Geofísica proveen en una cobertura relativamente completa del Golfo desde el oeste de la Corriente de Lazo.

La serie de cruceros dieron la oportunidad de contribuir con la descripción de las diferentes fisonomías de circulación principal al oeste del Golfo, particularmente las que se encuentran en el suroeste, y de las fisonomías en las masas de agua asociadas.

Como era de esperarse, las fisonomías confirman el dominio de una circulación anticiclónica en el oeste del Golfo (*Nowlin*, 1972). Los cruceros hacen posible la identificación y valoración de otras fisonomías importantes. Debido a que los cruceros cubrieron la región rápidamente, más bien, con estaciones espaciadas muy cerca, se encontraron algunas fisonomías no conocidas anteriormente, ahora ellas pueden ser descritas.

Los cruceros de mayo-junio y de noviembre de 1971 fueron discutidos con más detalle, ellos cubrieron el oeste del Golfo con estaciones que alcanzaron, donde fue posible, los 1500 metros. Ellos fueron examinados usando el análisis isenostérico (igual anomalía termostérica), centilitros por tonelada ( $\text{cl t}^{-1}$ , equivalente a la Anomalía de Volumen Específico,  $\delta [10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}]$ ). La superficie de  $80 \text{ cl t}^{-1}$  está en la parte superior, cerca del mínimo de salinidad del Agua Antártica Intermedia (AAI).

## OBSERVATIONS and RESULTS

The AIW increases its salinity during its travel to the northern in the Atlantic Ocean (Fig. 3), due to it mix and diffuse with adjacent waters. Values of salinity that are found along its travel increase in average; *Wüst* (1964), considered that less than the 5% of the AIW arrives to the Gulf of Mexico. Climate data for several decades and different cruises confirm the above. Only minimum traces of AIW leave the Gulf of Mexico through the Florida straits toward the North Atlantic by the bottom of the Gulf Stream.

Since 1970, the Mexican Government, through the Mexican Navy and several research institutions, had surveyed the southwestern Gulf systematically from the Mexican Naval research vessel *URIBE*, *Vázquez de la Cerda*, (1975, [VC75]). Data obtained during several physical oceanographic cruises (COSMA 70-12, 71-10, 71-16, 71-22; 1971, 1972 and 1973) were processed in the Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México (Geophysical Institute, National University Autonomous of Mexico) and in the Dirección General de Oceanografía, Secretaría de Marina (General Direction of Oceanography, Navy Minister). These cruises covered the southwestern portion of the Gulf of Mexico in an average period of two weeks. They are referred as Navy-Geophysical cruises.

The equipment used during the Navy-Geophysical cruises was the classic instruments used al middle of XX century. In addition, Geomagnetic Electro Kinetograph (GEK) measurements of surface currents were made (*Bravo*, 1972).

In October-November 1970, Texas A&M, Depart. of Oceanography R/V *ALAMINOS*, made an oceanographic cruise, which covered the central Gulf (EGMEX III). Its stations and those of the Navy-Geophysical November 1970 cruise provide a relatively complete coverage of the Gulf from the western Loop Current.

The series of cruises provided the opportunity to describe the main circulation features of the western Gulf, particularly those of the southwest, and the waters associated with these features.

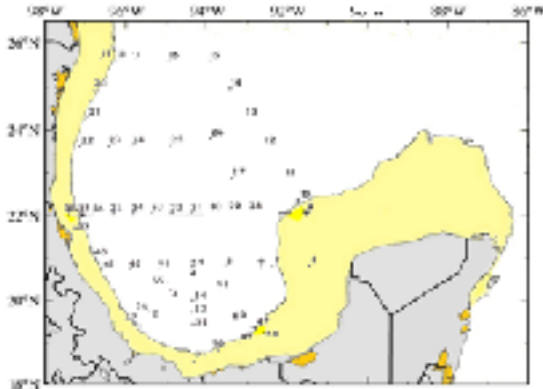
As might expect, they confirm the dominance of the western Gulf by an anticyclone circulation (*Nowlin*, 1972). They make possible the identification and assessment of other important features. Since all the cruises covered that region quickly with rather closely spaced observations, some hitherto unresolved features can now be described.

The cruises of May-June and November 1971 were described with more detail, covered much of the western Gulf with stations reaching 1500 meters where possible. They are discussed below using isenosteric analysis, the surface of  $80 \text{ cl t}^{-1}$ , (centiliters per ton, equivalent to the specific volume anomaly,  $[10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}]$ .) the surface of  $80 \text{ cl t}^{-1}$  is the upper part, near the salinity minimum of the Antarctic Intermediate Water (AIW).

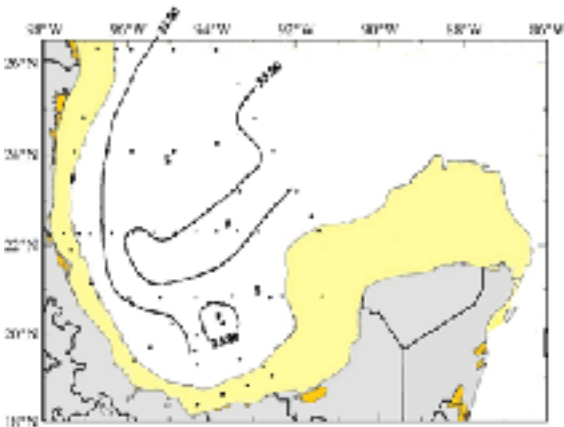
### A. Mayo-Junio de 1971

La localización de las estaciones y la localización de los transectos verticales son presentadas en la Fig. 7 y 9. La topografía de superficie isenostérica de  $80 \text{ cl t}^{-1}$ , salinidad y concentración del oxígeno disuelto (designados como a, b, y c respectivamente en las figuras) para las superficies isenostéricas de  $80 \text{ cl t}^{-1}$  son trazados de la Fig. 8a hasta la Fig. 8c, respectivamente.

En la superficie isenostérica de  $\delta_t = 80 \text{ cl t}^{-1}$ , entre  $\sim 500$  y  $600$  metros, está a una profundidad que corresponde a la parte superior del AAI aproximadamente.



**Figura 7.** Localización de las estaciones. Mayo-Junio 1971 (COSMA71-10).  
Location of stations. May-June 1971 (COSMA 71-10) (VC75).



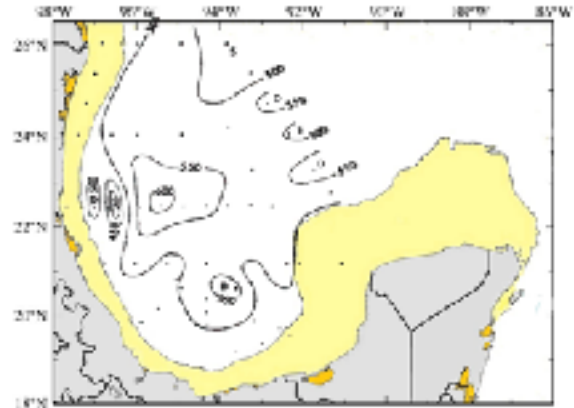
**Figura 8b.** Salinidad ( $\text{‰}$ ) sobre la superficie isenostérica, donde se encuentra  $\delta_t = 80 \text{ cl t}^{-1}$ . Mayo-Junio 1971 (COSMA 71-10).  
Salinity ( $\text{‰}$ ) on the isenosteric surface, where it's found  $\delta_t = 80 \text{ cl t}^{-1}$ . May-June 1971 (COSMA 71-10). (VC75).

La parte central del oeste del Golfo se marca una zona con menor salinidad en forma de gancho, es el extremo final del AAI (Fig.8b). De la misma forma en la Fig. 8c, en la parte central del oeste del Golfo está indicada una región de mínimo oxígeno disuelto ( $\text{ml L}^{-1}$ ).

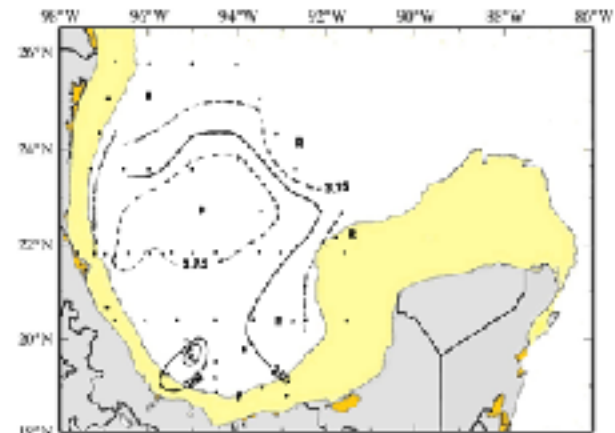
### May-June 1971

Location of stations and vertical transects location are presented in Fig. 7 and 9. The topography of isenosteric surface of  $80 \text{ cl t}^{-1}$ , salinity and oxygen concentration (designated as a, b and c respectively in the figures) for the isenosteric surface of  $80 \text{ cl t}^{-1}$  are mapped in Figs. 8a through 8c, respectively.

Isenosteric Surface of  $\delta_t = 80 \text{ cl t}^{-1}$ , 500 to 600 meters, the depth corresponds approximately the top of the AIW.

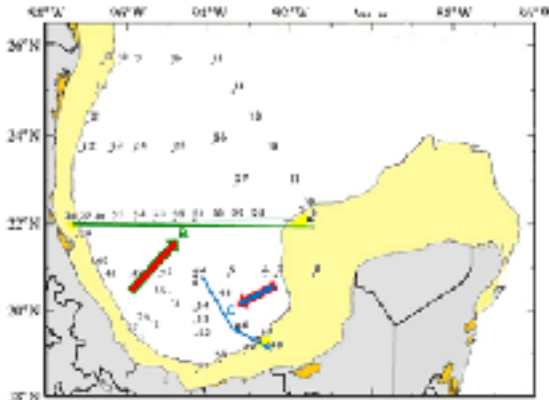


**Figura 8a.** Topografía (metros) de la superficie isenostérica, donde se encuentra  $\delta_t = 80 \text{ cl t}^{-1}$ . Mayo-Junio 1971 (COSMA 71-10).  
Topography (meters) of the isenosteric surface, where it's found  $\delta_t = 80 \text{ cl t}^{-1}$ . May-June 1971 (COSMA 71-10). (VC75).

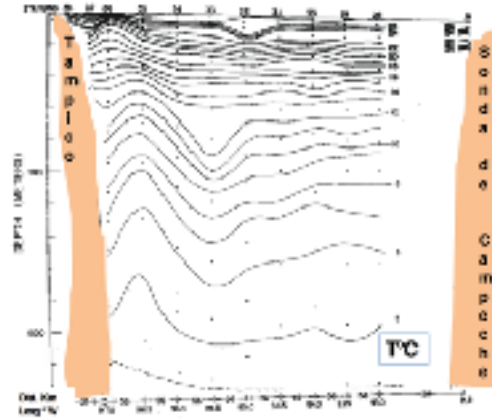


**Figura 8c.** Oxígeno disuelto (mililitros por litro,  $\text{ml L}^{-1}$ ) sobre la superficie isenostérica, donde se encuentra  $\delta_t = 80 \text{ cl t}^{-1}$ . Mayo-Junio 1971 (COSMA 71-10).  
Dissolved oxygen (milliliters per liter,  $\text{ml L}^{-1}$ ) on the isenosteric surface, where it's found  $\delta_t = 80 \text{ cl t}^{-1}$ . May-June 1971 (COSMA 71-10). (VC75).

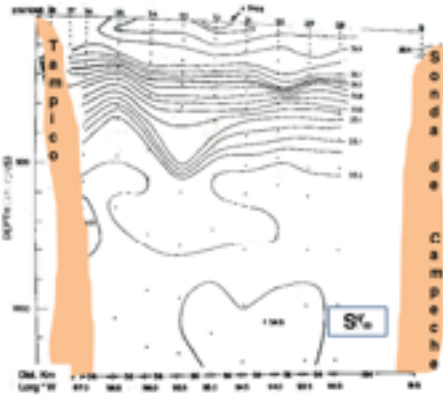
The central part of the western Gulf is marked by a zone with lower salinity in form of hook; it is the end of the AIW (Fig.8b). In the same way in the Fig. 8c, the central part of the western Gulf is indicated by a region of minimum dissolved oxygen ( $\text{ml L}^{-1}$ ).



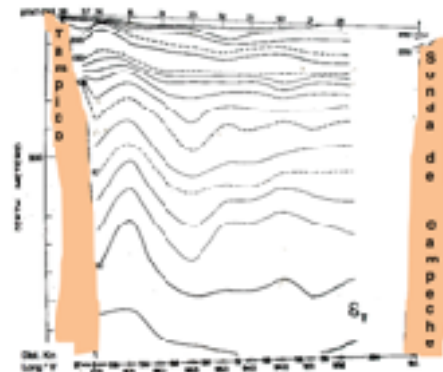
**Figura 9.** Localización de las estaciones. Mayo-Junio 1971 (COSMA 71-10). Las líneas indican los transectos verticales discutidos en el texto. Location of stations. May-June 1971 (COSMA 71-10). Lines indicate vertical transects discussed in text. (VC75).



**Figura 10a.** Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) sección a lo largo del **transecto B**. Mayo-Junio 1971 (COSMA 71-10). Exageración vertical 500:1. Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) section along the **transect B**. May-June 1971. Vertical exaggeration 500:1. (VC75).



**Figura 10b.** Salinidad ( $\text{‰}$ ) sección a lo largo del **transecto B**. Mayo-Junio 1971 (COSMA 71-10). Exageración vertical 500:1. Salinity ( $\text{‰}$ ) section along the **transect B**. May-June 1971 (COSMA 71-10). Vertical Exaggeration 500:1. (VC75).



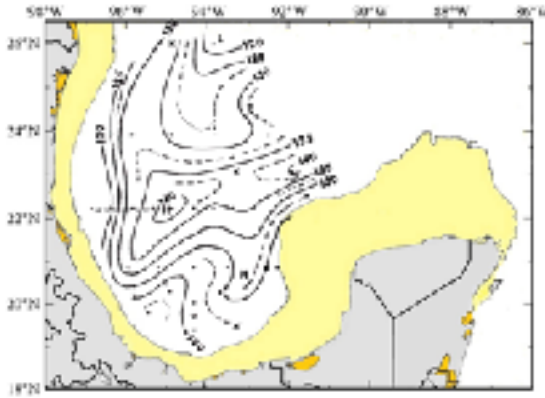
**Figura 10c.**  $\delta_t$  ( $\text{cl t}^{-1}$ ) sección a lo largo del **transecto B**. Mayo-Junio 1971 (COSMA 71-10). Exageración vertical 500:1.  $\delta_t$  (centiliters per ton) section along the **transect B**. May-June 1971. (COSMA 71-10). Vertical exaggeration 500:1 (VC75).

El **transecto B** (Fig.9) mostrado en las figs. 10a, 10b y 10c muestran la temperatura, salinidad y la anomalía termostérica  $\delta_t$  ( $\text{cl t}^{-1}$ ). El centro del remolino anticiclónico se encontraba cerca de la estación 33, como se muestra en las tres figuras. La  $\delta_t$  de  $80 \text{ cl t}^{-1}$  se encontraba en la parte superior de la AAI, justo donde hace un hongo invertido el centro de remolino anticiclónico; la parte inferior del AAI formaba aparentemente un elipsoide entre 900 y un poco más 1200 m. **Esta fue la región donde encontré los valores de  $34.82\text{‰}$** , valor de 6 a 7 centésimas menor a los reportados por *Nowlin y McLellan* (1967).

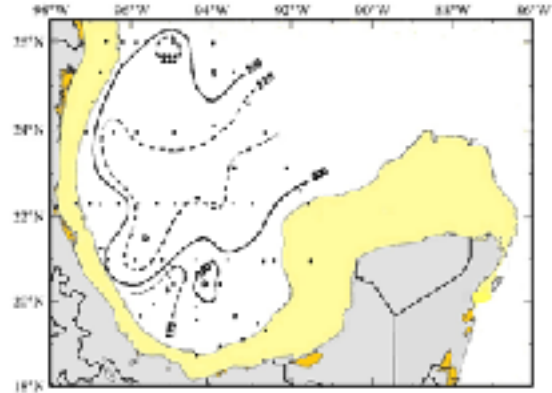
También se muestra el geopotencial en la superficie del mar y la topografía isotérmica de  $15^{\circ}\text{C}$  en las Fig. 11 y 12 respectivamente.

The **transect B** (Fig.9) shown in figs. 10a, 10b and 10c show temperature, salinity and thermosteric anomaly  $\delta_t$  ( $\text{cl t}^{-1}$ ). Center of anticyclonic Eddy was near at station 33, as shown in the three figures. It  $\delta_t$  of  $80 \text{ cl t}^{-1}$  was in the upper part of AIW, just where made a fungus invested in the center of anticyclonic eddy; its lower part of AIW was apparently a ellipsoid between 900 and slightly more 1200 m. **This was the region where I found the values of  $34.82\text{‰}$** , value of 6 to 7 hundredth less than those reported by *Nowlin and McLellan* (1967).

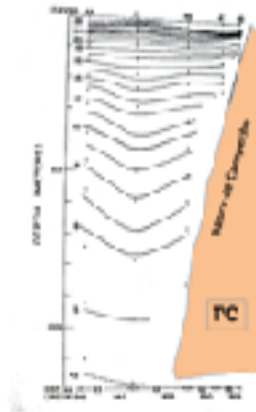
Also shown are the sea surface geopotential and the  $15^{\circ}\text{C}$  isothermal topography in Fig. 11 and 12 respectively.



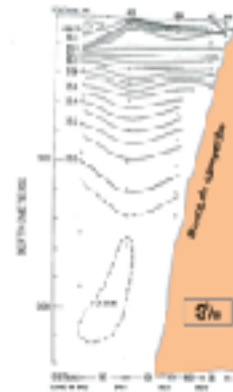
**11.** Anomalia del geopotencial (en centímetros dinámicos) de la superficie de la mar relativa a 1200 decibares. Mayo-Junio 1971 (COSMA 71-10). X indica algunas extrapolaciones. El transporte del volumen geostrófico entre las estaciones conectadas con una línea discontinua (---) ha sido determinada. Geostrophic volume transport between the stations connected has been determined. (VC75).



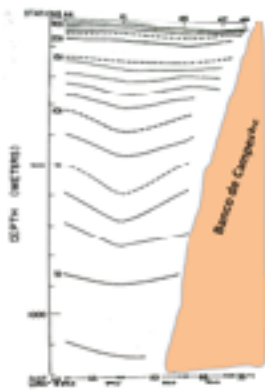
**Figura 12.** Topografía (metros) de la superficie isotérmica de 15°C. Mayo-Junio 1971 (COSMA 71-10). Topography (meters) of the 15°C isothermal surface. May-June 1971 (COSMA 71-10). (VC75).



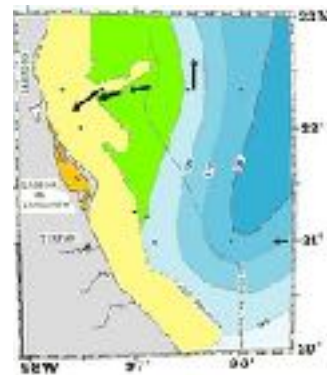
**Figura 13a.** Temperatura (C°) sección a lo largo del **transecto C**. Mayo-Junio 1971 (COSMA 71-10). Exageración vertical 500:1. Temperature (C°) section along the **transect C**. May-June 1971. Vertical exaggeration 500:1. (VC75).



**Figura 13b.** Salinidad (‰) sección a lo largo del **transecto C**. Mayo-Junio 1971 (COSMA 71-10). Exageración vertical 500:1. Salinity (‰) section along the **transect C**. May-June 1971 (COSMA 71-10). Vertical Exaggeration 500:1. (VC75).



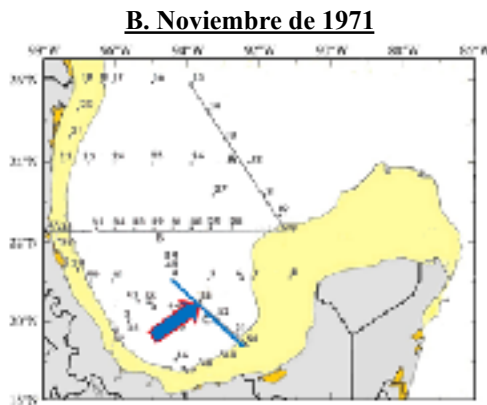
**Figura 13c.**  $\delta_t$  ( $cl\ t^{-1}$ ) sección a lo largo del **transecto C**. Mayo-Junio 1971 (COSMA 71-10). Exageración vertical 500:1.  $\delta_t$  ( $cl\ t^{-1}$ ) section along the **transect C**. May-June 1971. (COSMA 71-10) Vertical exaggeration 500:1. (VC75).



**Figura 14.** Proximidades a la Laguna de Tamiahua. La anomalia de geopotencial (centímetros dinámicos) de la superficie de la mar relativa a 1200 db. Las flechas significan los vectores medidos, resultados del GEK. Mayo-Junio 1971 (COSMA 71-10). (Bravo, 1972; VC75). Proximities of Tamiahua Lagoon. Geopotential anomaly (dynamic centimeters) of the sea surface relative to 1200 db. Arrows mean GEK resultant vector measurements. May-June 1971 (COSMA 71-10). (Bravo, 1972; VC75).

El **transecto C** mostrado en las Figs. 13a, 13b y 13c muestran parte este del remolino ciclónico en la Bahía de Campeche. La Fig. (13b) señala el remanente del AAI.

La circulación ciclónica indicada en el **transecto B**, al noreste de la laguna de Tamiahua, entre las estaciones 35 y 37, es consistente con las aguas poco profundas de la topografía de 15°C en las cercanías a la laguna. Información posterior acerca de esta forma estuvo provista por los datos del GEK, tomados durante el crucero (*Bravo*, 1972). Estos son mostrados en la Fig. 14, junto con el geopotencial. El flujo hacia el oeste, representaba la parte norte de la región ciclónica. El transporte geostrofico calculado entre las estaciones 32 y la 36 (Fig. 9 y 11) la cual da el mayor máximo disponible a través del anticiclón principal, es de  $8.7 \times 10^6 \text{ m}^3$ .



**Figura 15.** Localización de estaciones. Noviembre de 1971 (COSMA 71-22). Las líneas indican los transectos verticales. Location of stations. November 1971 (COSMA 71-22). Lines indicate vertical transects discussed in text. (VC75).

Cinco meses después, Noviembre 1971, en el crucero COSMA 71-22 se realizaron las mismas estaciones, encontrando nuevamente los bajos valores en salinidad en el **transecto C**. Su valor mínimo fue de  $34.87\text{‰}$ .

### C. Las Series

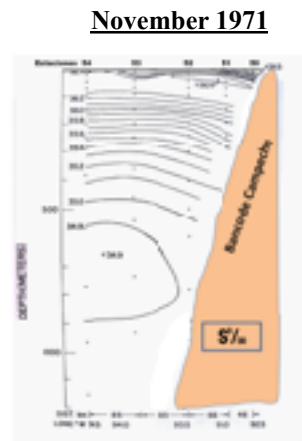
Ahora, en base al entendimiento de la estructura de las diferentes formas, se procedió a una discusión en una serie de cruceros. La topografía de 15°C es presentada para el crucero COSMA 70-12.

Octubre-Noviembre de 1970 (ALAMINOS 70-A-12, URIBE COSMA 70-12). Una imagen muy completa del Golfo desde la parte oeste de la Corriente de Lazo es proporcionada por la topografía de 15°C, basada en el crucero del *ALAMINOS* del 21 de octubre al 3 de noviembre de 1970 y del crucero del *URIBE* del 31 de octubre hasta el 13 de noviembre de 1970 (Fig. 17). El lado oeste de la Corriente de Lazo se muestra claramente en la topografía; es la fisonomía más intensa.

El flujo hacia el norte, en la parte oeste del anticiclón principal, estaba alejado de la costa de México respecto al de mayo-junio de 1971. La velocidad principal de la corriente en su eje no pudo determinarse de manera exacta con los datos disponibles, pero puede ser cerca del mismo que en mayo-junio de 1971.

The **transect C** shown in figs. C. 13a; 13b and 13c are the eastern part of the cyclonic Eddy in the Bay of Campeche. Salinity (13b) points out the remnants of AAI.

The cyclonic circulation in the **transect B**, northeast of the Tamiahua lagoon, between 35 and 37 stations, is consistent with the shallow waters of the topography of 15°C in the nearby lagoon. Further information on this form was provided by the data of the GEK, taken during the cruise (*Bravo*, 1972). These are shown in Fig. 14, along with the geopotential. Westward flow represented the northern part of the cyclonic region. Transport Geostrophic calculated between stations 32 and 36 (Fig. 9 y 11) which gives the greatest maximum available through the main anticyclone, is of  $8.7 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .



**Figura 16.** Salinidad (‰) sección a lo largo del **transecto C**. Noviembre 1971 (COSMA 71-22). Exageración vertical 500:1. Salinity (‰) section along the transect C. November 1971 (COSMA 71-22). Vertical Exaggeration 500:1. (VC75).

Five months later, November 1971, COSMA 71-22 cruise were the same stations, again finding the low values in salinity in the **transect C**. Its minimum value was  $34.87\text{‰}$ .

### The Series

Now, on basis for understanding the structure of the main features had been given in the proceeding discussion, the 15°C topography is presented in cruise COSMA 70-12.

October-November 1970 (ALAMINOS 70-A-12, URIBE COSMA 70-12). A rather complete picture of the Gulf from the Loop Current west is provided by the 15°C topography based on the *ALAMINOS* cruise of 21 October to 3 November 1970 and the *URIBE* cruise of 31 October to 13 November 1970 (Fig. 17). The west side of the Loop Current is clearly shown in the topography. It is by far the most intense feature.

The northward flow on the west side of the main anticyclone was centered farther off the coast of Mexico than in May-June or November 1971. The speed at the current core in the west cannot be determined very accurately from the available data but may be about the same as in May-June 1971.

Así como en mayo-junio y noviembre de 1971, había irregularidades en la periferia del anticiclón. En el sur, el anticiclón formaba extensiones a lo largo de los lados oeste y norte del banco de Campeche. Estas extensiones hacia el este y hacia el sur del anticiclón principal formaban una simple extensión sin romperse. La extensión a lo largo del lado oeste en el banco de Campeche estuvo definitivamente en mayo-junio y noviembre de 1971, lo que nombré como **Corriente de Intrusión**.

En el noreste de la laguna de Tamiahua, había otra región de poca profundidad que estuvo también presente en mayo-junio de 1971. La topografía de 15°C mostraba el remolino ciclónico en esa región.

La parte menos profunda de la topografía de 15°C sobre la plataforma continental de Texas sugirió una región de bajo geopotencial; esto es, una región ciclónica. Como era el caso en mayo-junio y noviembre de 1971, bastante amorfo.

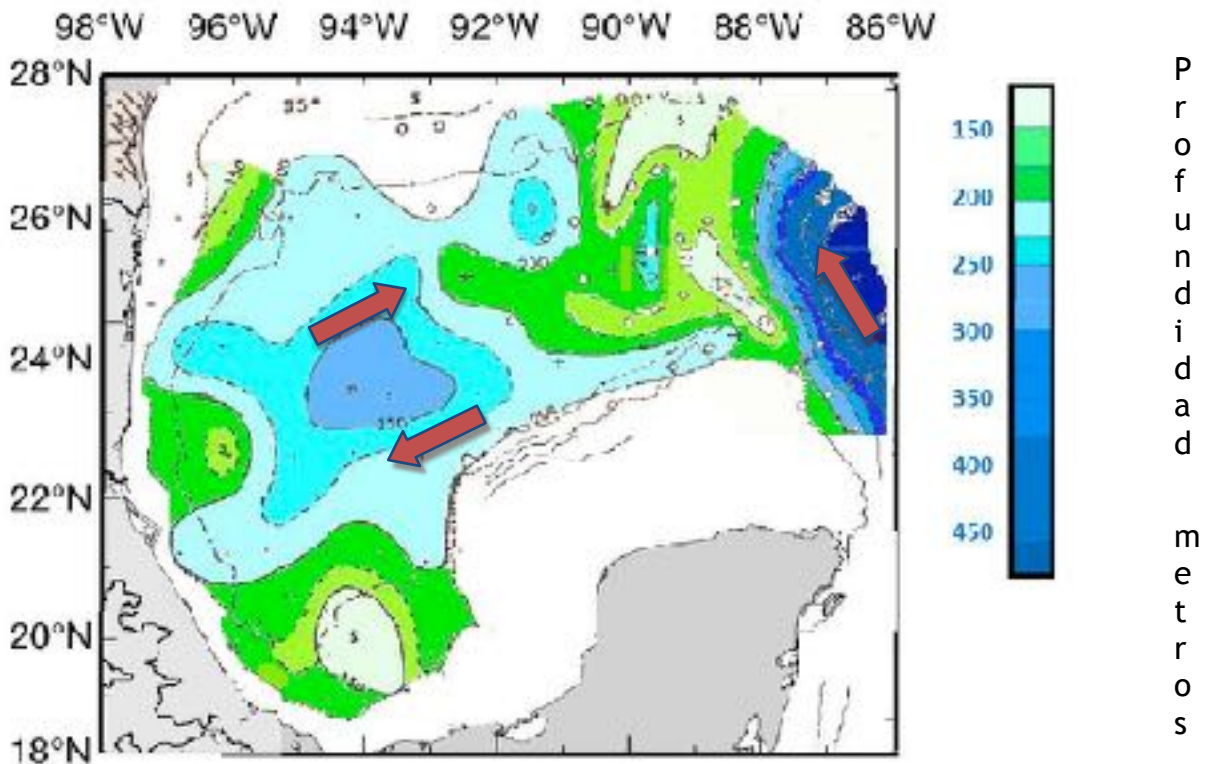
En el suroeste del Golfo se marcó perfectamente el remolino ciclónico en la Bahía de Campeche.

As in May-June and November 1971, there were irregularities in the periphery of the anticyclone. In the south, the anticyclone formed extensions along the west and north sides of the Campeche Bank. These eastward and southward extensions of the main anticyclone apparently formed a single unbroken figure. The extension along the west side of the Campeche Bank was definitely present in May-June and November 1971; I defined as **Intrusion Current**.

Northeast of Tamiahua Lagoon, there was another shallow region that was also present in May-June 1971. The 15°C topography showed a cyclonic eddy in that region.

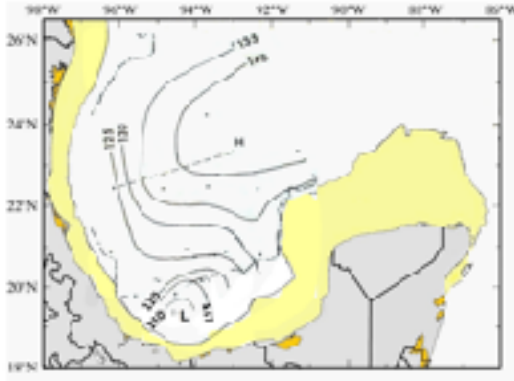
The shallowness of the 15°C topography off the Texas Shelf suggested a region of low geopotential; that was, a cyclonic region. It was, as in May-June and November 1971, rather amorphous.

In the southwestern Gulf was perfectly marked the cyclonic eddy in the Bay of Campeche.

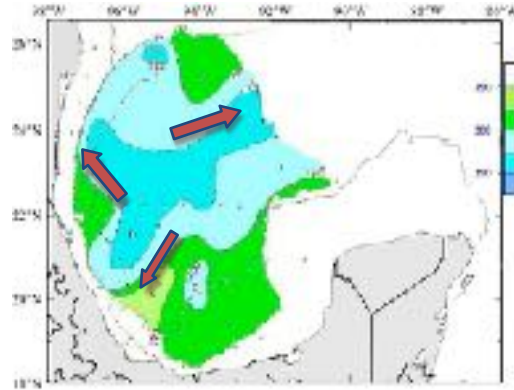


**Figura 17.** Topografía (metros) de la superficie isotérmica de 15°C. Correspondía a los cruceros de Octubre-Noviembre de 1970 (COSMA 70-12) y del 70-A-14; (+) indican uso de botellas Nansen y (o) STD usados en el crucero del *ALAMINOS* (21 de octubre al 3 de noviembre 1970) y (.) indicaban uso de botellas Nansen en el *URIBE* (31 Octubre al 13 de Noviembre 1970). (VC75).

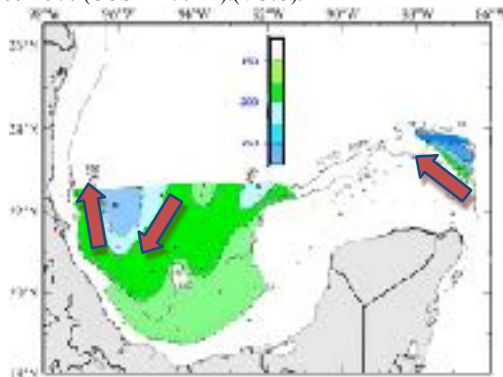
Topography (meters) of 15°C isothermal surface. October-November 1970 (COSMA 70-12) and 70-A-14 cruises; (+) indicated Nansen bottle cast and (o) indicates an STD taken on the *ALAMINOS* cruise (21 October to 3 November 1970) and (.) indicated, as elsewhere, a Nansen bottle cast taken on *URIBE* cruise (31 October to 13 November 1970). (VC75).



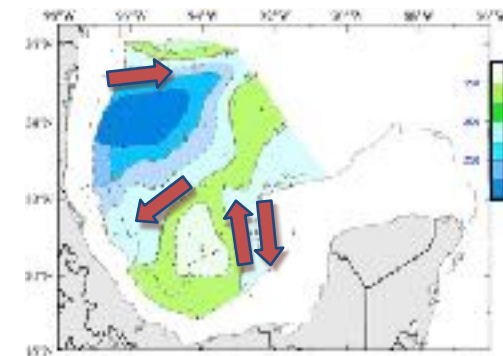
**Figura 18.** Anomalia del geopotencial (en cm-dinámicos) de la superficie relativa a 1200 db. Noviembre 1970 (COSMA 70-12). El transporte del volumen geostrófico fue calculado en la línea interrumpida. Geopotential Anomaly (dyn-cm) of the sea surface relative to 1200 db. November 1970 (COSMA 70-12).(VC75).



**Figura 19** Topografía (metros) de la superficie isotérmica de 15°C Mayo-Junio 1971 (COSMA 71-10). Topography (meters) of the isothermal surface, May-June 1971 (COSMA 71-10).(VC75).



**Figura 20** Topografía (metros) de la superficie isotérmica de 15°C Agosto 1971 (COSMA 71-16). August 1971(COSMA 71-16). (VC75).



**Figura 21** Topografía (metros) de la superficie isotérmica 15°C Noviembre 1971 (COSMA 71-22). Topography (meters) of the isothermal surface, November 1971(COSMA 71-22). (VC75).

#### **D. CRUCEROS EN EL OESTE DEL GOLFO DE MÉXICO, ABRIL DE 1978**

En el oeste del Golfo de México, los contornos de la superficie isotérmica de 15°C fueron comparados en dos periodos de observación<sup>1</sup>: del 1 al 12 de abril (*Gyre*) (Fig. 22) y del 12 al 26 de abril (*Gran Remolino*) (Fig.23) de 1978, (MV83). Una circulación ciclónica y una circulación anticiclónica fueron encontradas en ambos cruceros, los cuales parecen intensificarse y debilitarse respectivamente. La comparación del patrón de los dos mapas permite estimar los cambios a nivel mesoescala de las corrientes. (MM81), estimaron el transporte de agua en 29.7 millones de metros cúbicos por segundo ( $10^6 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) entre la circulación ciclónica y la circulación anticiclónica, aproximadamente en la latitud de 24.5°N, hacia el *Este*. Un valor comparable a la Corriente de Lazo.

#### **CRUISES IN THE WESTERN GULF OF MEXICO, APRIL 1978**

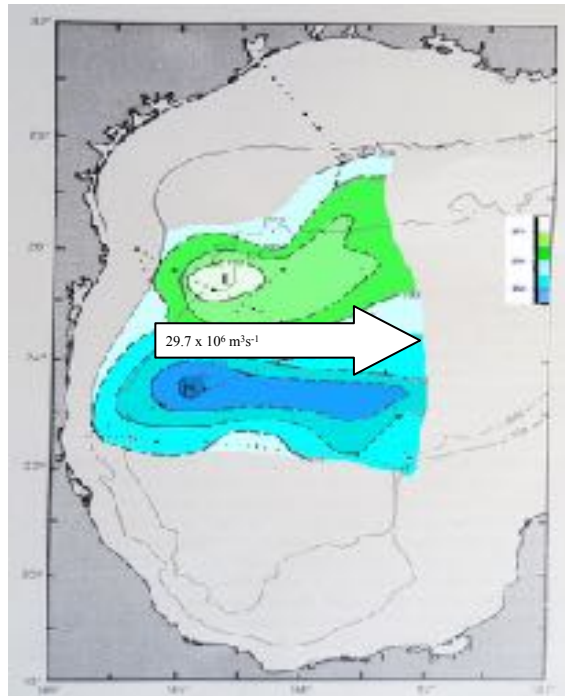
In the western Gulf of Mexico, contours of the isothermal surface of 15°C were compared in two observation periods<sup>2</sup>: from 1-12 April (*Gyre*) (Fig.22) and from 12-26 April (*Gran Remolino*) (Fig.23) 1978, (MV83). A cyclonic circulation and anticyclonic circulation were found in both cruises, which seem to intensify and weaken respectively. The comparison of the pattern of the two maps allows estimating changes Mesoscale flows. (MM81), estimated 29.7 million cubic meters per second of water transport ( $10^6\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ) between the circulation of cyclonic and anticyclonic circulation, approximately at the latitude of 24.5°N, eastward to the East. It is a comparable with respect of Loop Current value.

<sup>1</sup> Los jefes de científicos, William J. Merrell Jr. (*Gyre*), y el Suscrito (*Gran remolino*), sin proponérslo, hicimos los cruceros consecutivos en tiempo, lo cual dio excelentes resultados.

<sup>2</sup> Chief Scientists without purpose, William Merrell Jr. (*Gyre*), and I (*Gran Remolino*), we realized these consecutive cruises in time, they gave excellent results.



Un mecanismo alternativo fue la disipación de energía asociada con la llegada del remolino anticiclónico oceánico en la frontera del Golfo de México. Estos remolinos anticiclónicos pueden ser considerados como el arribo de **ondas Rossby**. Al alcanzar la frontera oeste, se pueden disipar en ondas más cortas, las cuales se propagan al norte y al sur a lo largo de la costa y alimentan de energía a las estructuras de los remolinos ciclónicos.

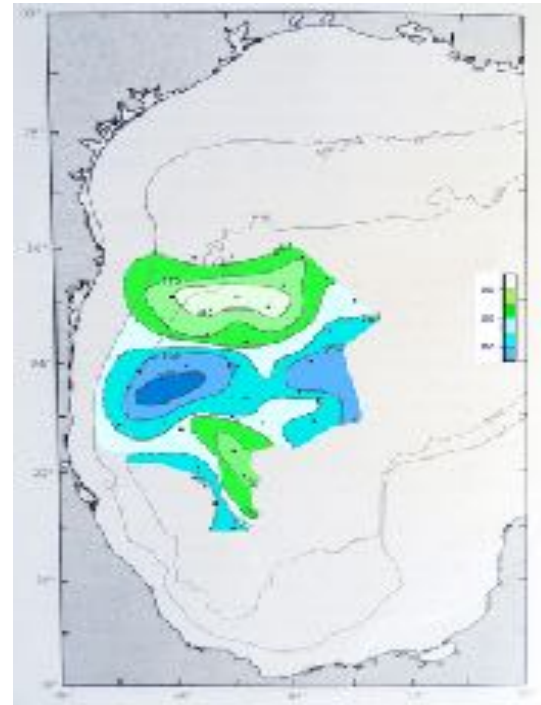


**Figura. 22.** Crucero del R/V *Gyre* del 1 al 12 de abril de 1978. Contornos de la profundidad de la isotérmica de 15°C. La región anticiclónica y ciclónica están marcadas con H y L respectivamente. (MV83).

Cruise of the R/V *Gyre* from 1 to 12 April 1978. Outlines of the depth of the isothermal of 15°C, the anticyclonic and cyclonic region are marked with H and L respectively. (MV83).

Los cambios registrados aquí pueden ser debido a la respuesta del océano al forzamiento de viento intenso. Fuertes vientos del norte ocurrieron en la zona el 11 y 12 de abril 1978. De hecho, durante el último día del crucero *Gyre*, las muestras hidrográficas y los XBTs incluso habían concluido debido a las condiciones de viento y mar. *John Klinck* (comunicación personal, 1982) ha señalado que tal *norte* imparte un esfuerzo de viento ciclónico en la parte occidental del Golfo de México como los vientos detrás del frente frío son del noreste y los vientos por delante del frente frío van hacia el sur. Además, este flujo hacia el sur aumenta normalmente con la aproximación de un frente. Uno puede prever un frente va a través del Golfo occidental del noroeste al sureste, produciendo una fuerte distribución ciclónica de *esfuerzo de viento* en la región del frente. Si las escalas espaciales eran compatibles, este esfuerzo de viento ciclónico podría debilitar el anticiclón y fortalecer los ciclones.

An alternate mechanism is the dissipation of energy associated with the arrival of an anticyclone at the western boundary of the Gulf of Mexico. These anticyclones might be considered as incoming **Rossby waves**. Upon reaching the western boundary, they would dissipate into shorter waves which might propagate north or south along the coast and feed energy into the cyclonic features.



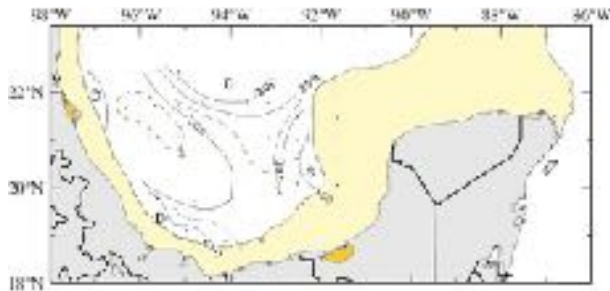
**Figura. 23.** Crucero *Gran Remolino*, en el B/O H-02 del 12 al 26 de abril de 1978. Contornos de la profundidad de la isotérmica de 15°C. (MV83).

Cruise *Gran Remolino*, B/O H-02, From 12 to 26 April 1978. Contours of the depth of 15°C isothermal. (MV83).

The changes reported here may be due to the ocean's response to intense wind forcing. A severe norther occurred in the area on April 11 and 12, 1978. Indeed, during the final day of the *Gyre* cruise, all hydrographic sampling and even XBTs had to be terminated due to wind and sea conditions. *John Klinck* (personal communication, 1982) has pointed out that such a *norther* would impart a cyclonic wind stress on the western Gulf of Mexico as the winds behind the cold front are from the northeast while the winds ahead of the cold front are southerly. Moreover, this southerly flow normally increases with the approach of a front. One can envision a *front* going across the western Gulf from the northwest to the southeast, producing a strong cyclonic distribution of wind stress in the region of the front. If the spatial scales were compatible, this cyclonic wind stress could weaken the anticyclone and strengthen the cyclones.

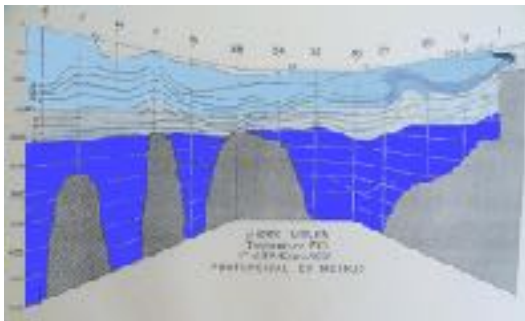
**E. Cruceros en la Bahía de Campeche.**  
**E1) Enero de 1991, CIRCAM 1**

Dos cruceros se realizaron en la Bahía de Campeche para confirmar la circulación ciclónica en el suroeste del Golfo de México, para complementar la información de la circulación y masas de agua en ese lugar. El primero fue CIRCAM 1, del 17 al 31 de enero de 1991.

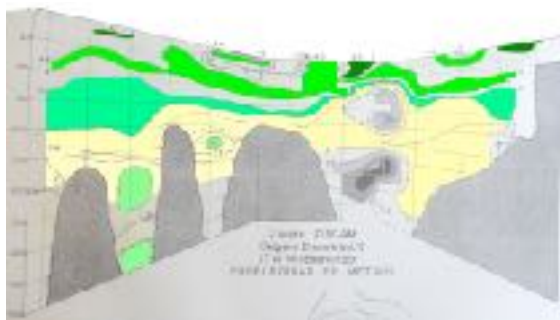


**Figura 24.** Contornos de profundidad (m) de la superficie isotérmica de 15°C, del crucero del B/O J. SIERRA, CIRCAM 1, del 17 al 31 de enero de 1991. (VC93).  
 Surface depth (m) contours of the isothermal of 15°C, cruise of the B/O J. SIERRA, CIRCAM 1, from the 17 to the 31 of January of 1991.

En las **figs. 24 y 25** muestran al norte de la Bahía de Campeche donde estaba localizado el extremo sur de un remolino anticiclónico, asimismo frente la costa oriental de México, se encontraba el remolino ciclónico; también se encontraba la formación de la *corriente de Intrusión* sobre la parte este de la Bahía (VC93).



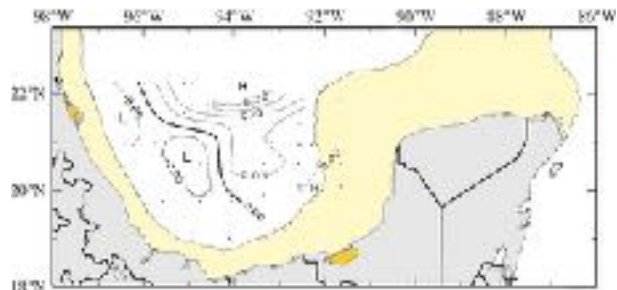
**Figura 26.** Transectos de Temperatura en °C, alrededor del suroeste del Golfo de México. Vista desde el norte hacia el sur.  
 Transects of temperature in °C, around the southwestern Gulf of Mexico, view from the North to the South. (VAGR91).



**Figura 28.** Transectos de Oxígeno Disuelto (ml L<sup>-1</sup>) alrededor del suroeste del Golfo de México. Vista desde el norte hacia el sur.  
 Transects of Dissolved Oxygen (ml L<sup>-1</sup>) around the southwestern Gulf of Mexico, view from the North to the South. (VAGR91).

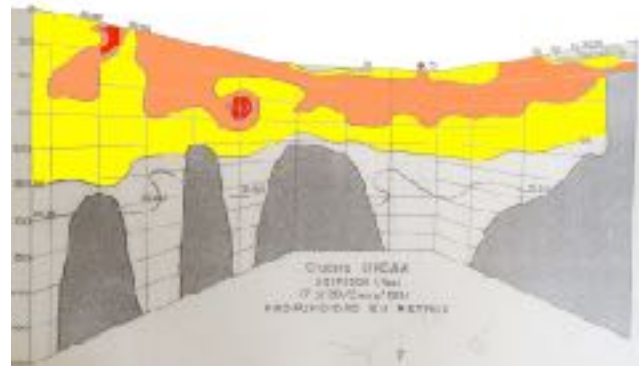
**Cruises in the Bay of Campeche.**  
**E1) January 1991, CIRCAM 1**

Two cruises were carried out in the Bay of Campeche to confirm the cyclonic circulation in the southwestern Gulf of Mexico, to complement the information of the circulation and water masses in that place. The first one was CIRCAM 1, from 17 to 31 of January, 1991.



**Figura 25.** Los contornos del modo 1 EOF de la altura dinámica (m-din) de la superficie del mar relativo a 425 db., del crucero del B/O J. SIERRA, CIRCAM 1, del 17 al 31 de enero de 1991. (VC93).  
 Dynamic height mode 1 contours EOF (dyn- m) of the sea surface relative to 425 db, B/O J. SIERRA Cruise, CIRCAM 1, from 17 to 31 January 1991.

In the **Figs. 24 and 25** show in the Northern part of Bay of Campeche where was located the southern part of an anticyclonic Eddy, also offshore of the East coast of Mexico, was an cyclonic Eddy; There was also the formation of the *Intrusion Current* on the eastern part of the Bay (VC93).



**Figura 27.** Transectos de Salinidad ‰, alrededor del suroeste Del Golfo de México. Vista desde el norte hacia el sur.  
 Transects of salinity ‰ around the southwestern Gulf of Mexico, View from the North to the South. (VAGR91).

Fig. 26 muestra la estructura térmica, la capa de mezcla definida perfectamente arriba de los 20°C. Entre las estaciones 20 y 29 se nota el efecto de los vientos del norte al provocar esa onda interna de más de 50 m, también en la estación 1 se marca el flujo de agua más fría hacia el sur.

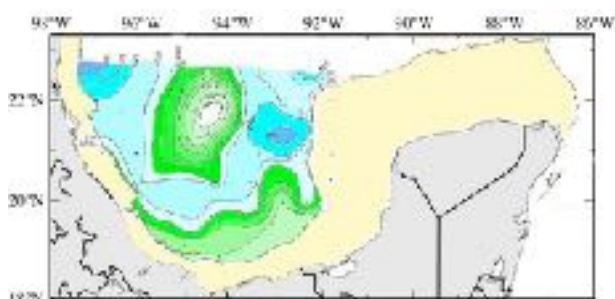
Fig. 26 show the thermal structure, the mix layer perfectly defined above the 20°C. Between stations 20 and 29 the effect is noted due to the norther winds; therefore the formation of a internal wave, more than 50 m height, also station 1 was marked due to the cold water flow southward.

La **Fig.27** se muestra la salinidad, donde los valores máximos se encuentran desde la superficie hasta una profundidad que va desde 200 a 250 m, ellos corresponden al Agua Subtropical del Sur (ASS) proveniente del océano Atlántico Sur, y un poco más profunda el Agua de 18°C proveniente del océano Atlántico Norte. La alta salinidad entre las estaciones H y E parece que se forma agua en la superficie, debido a los altos valores de oxígeno disuelto en el área (**Fig. 28**).

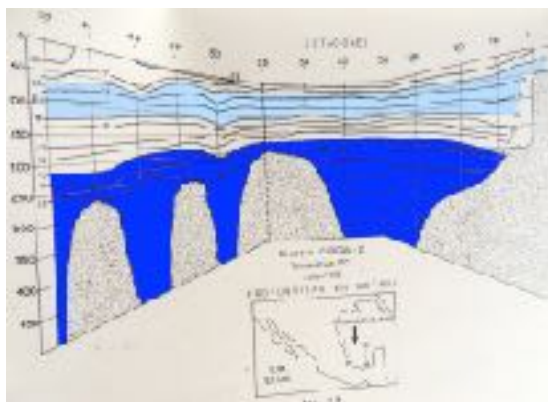
Es muy notorio que en las estaciones 35, 36 y 29, entre las profundidades de 300 a 400 m de profundidad, se encontraron los valores de Oxígeno Disuelto ( $\text{ml L}^{-1}$ ) muy bajos, no antes registrados en la Bahía de Campeche; Nowlin and McLellan (1967) en el crucero R/V *HIDALGO*, 62-H-3 sugirió esta situación y argumentó que las aguas llevaban mucho tiempo sin removerse, en el crucero CIRCAM 1, los valores fueron aún más bajos.

### **E2) Julio de 1991, CIRCAM 2**

El segundo crucero fue CIRCAM 2, del 12 al 24 de julio de 1991.



**Figure 29** Contornos de profundidad (m) de la superficie isotérmica de 15°C. Crucero del B/O J. SIERRA, CIRCAM 2, del 12 al 24 de julio de 1991. Depth contours (m) of 15°C isothermal surface. Cruise of the B/O J. SIERRA, CIRCAM 2, from 12 to 24 July 1991. (VC93).



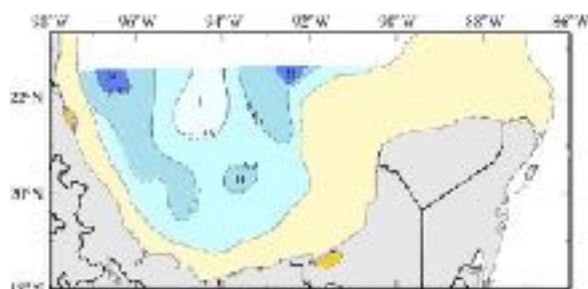
**Figura 31.** Transectos de Temperatura en °C, alrededor del suroeste del Golfo de México. Vista desde el norte hacia el sur. Transects of temperature in °C, around the southwestern Gulf of Mexico, view from the North to the South. (VAGR91).

The **Fig.27** shows salinity where maximum values are from the sea surface to 250 m depth, they correspond to the Subtropical Southern Water (SSW) coming from the South Atlantic Ocean, and deeper 18°C Water from the North Atlantic Ocean. High salinity between H and E stations it seems that water is formed on the surface, due to the high values of dissolved oxygen in the area (**Fig. 28**).

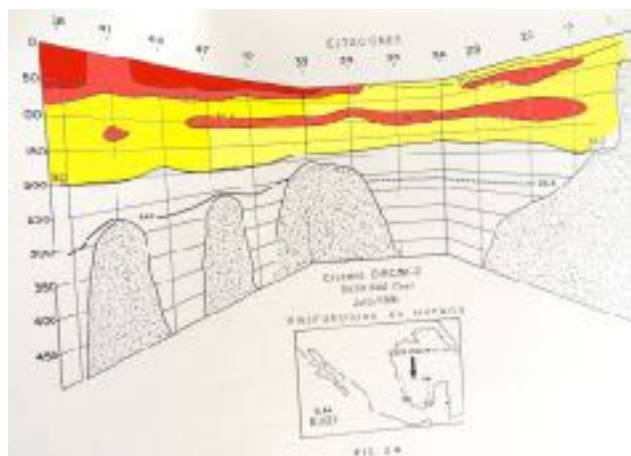
Very conspicuously encountered stations 35, 36 and 29, between depths of 300 to 400 m, dissolved oxygen values ( $\text{ml L}^{-1}$ ) very low were founded, not previously reported in the Bay of Campeche; Nowlin and McLellan (1967) on the cruise R/V *HIDALGO* 62-H-3, suggested this situation and argument that waters had long time without removing it, in the cruise CIRCAM 1, values were still lower.

### **E2) July 1991, CIRCAM 2**

The second cruise was CIRCAM 2, from 12 to 24 July 1991.



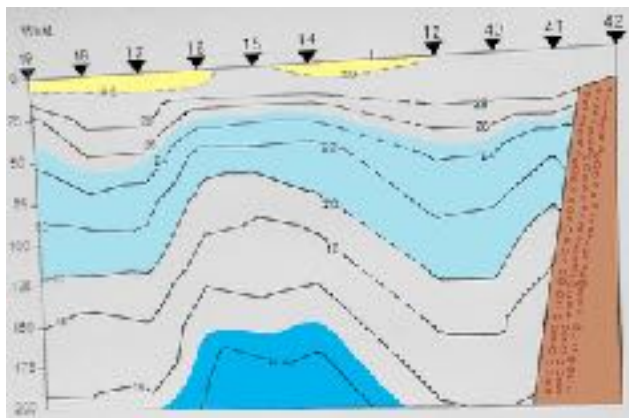
**Figura 30.** Contornos de la superficie de la altura dinámica en metros-dinámicos, relativo a la superficie de presión de 250 decibares y la columna tradicional estándar para el crucero CIRCAM 2 del 12 al 24 de julio de 1991 J. SIERRA. Contours of dynamic height (dyn- m) of the 425 db on sea surface. Cruise of the B/O J. SIERRA, CIRCAM 2, from 12 to 24 July 1991. (VC93).



**Figura 32.** Transectos de Salinidad ‰, alrededor del suroeste Del Golfo de México. Vista desde el norte hacia el sur. Transects of salinity ‰ around the southwestern Gulf of Mexico, View from the North to the South. (VAGR91).

En el **Fig. 31** se muestra la temperatura en grados Celsius, en este conjunto de transectos se puede apreciar el inicio de la termoclina se encontraba un poco arriba de 19°C. Asimismo, existe una diferencia de casi 4°C con la superficie del mar, la cual en enero era aproximadamente de 25°C.

La alta salinidad en el lado oeste de la Bahía de Campeche, **Fig. 32**, corresponde en parte a la formación de agua sobre la extensa plataforma Continental de Campeche (lado izquierdo del dibujo). A una profundidad de 100 m aproximadamente se encontraban los remanentes del ASS y del 18°C, procedentes del Atlántico Sur y del Atlántico Norte respectivamente.



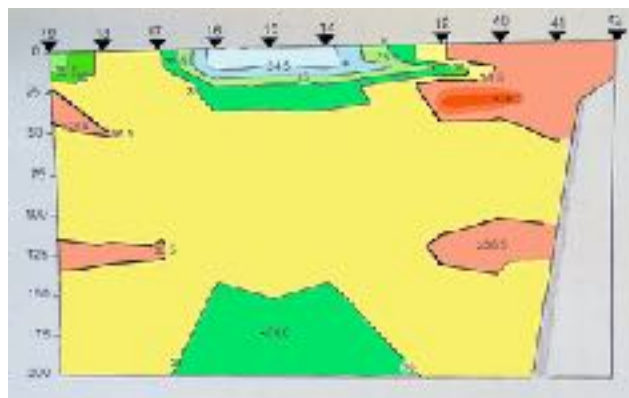
**Figura 33.** Transecto de temperatura (°C) sobre la Latitud 21°45'N, de la superficie del mar hasta 200 m de profundidad.  
Temperature (°C) transect on latitude 21°45'N, from the sea surface to 200 m in depth. (VC93).

El transecto a través de la Lat. 21°45'N, mostró atravesar muy cerca el remolino ciclónico en la Bahía de Campeche, **Fig. 33.**, desde la superficie del mar hasta 200 m de profundidad; cerca de la superficie, la isoterma de 29°C mostró una surgencia<sup>3</sup> en la estación No. 15, consistente con el centro del remolino ciclónico, como marcaban todas las isotermas, como si fuera un domo. De la estación 12 hasta la 17, lado derecho de la figura, marcaba la *Corriente de Intrusión*, provocada en parte por la topografía del Cañón de Campeche.

En la **Fig. 34** del mismo transecto, mostraba la salinidad (‰), donde marcaba los bajos valores en el centro del remolino ciclónico, entre las estaciones. 12 a la 17, así como la alta salinidad que proviene del la plataforma continental de Campeche (lado derecho del dibujo). Los altos valores de salinidad entre 110 y 130 m de profundidad, corresponden al remanente del ASS y de la 18°C, provenientes del Atlántico Sur y del Atlántico Norte respectivamente.

**Fig. 31** shows the temperature in Celsius degrees, in this set of transects seen the beginning of the thermocline was located just above 19°C. In addition, there was a difference of almost 4°C with the sea surface which in January was approximately 25°C.

The highest salinity over the west side of Campeche Bay, **Fig. 32**, corresponds in part at the formation of water mass on the extensive Continental Shelf of Campeche (left side of the drawing). Near of the depth of 100 m were the remnants of SSA and 18°C, from the South Atlantic and North Atlantic respectively.



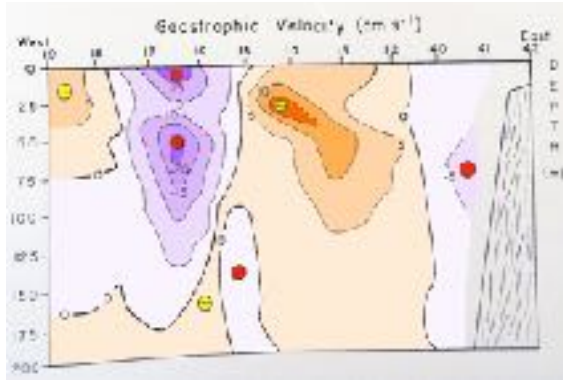
**Figura 34.** Transecto de salinidad (‰) sobre la Latitud 21°45'N, de la superficie del mar hasta 200 m de profundidad.  
Salinity (‰) transect on latitude 21°45'N, from the sea surface to 200 m in depth. (VC93).

Transect through the Lat. 21°45'N, showed very close through the cyclonic Eddy in the Bay of Campeche, **Fig. 33.**, from the surface of the sea up to 200 m in depth; near the surface, the isotherm of 29°C showed an upwelling<sup>4</sup> in the station No 15, consistent with the center of the cyclonic eddy, as marked all the isotherms, as if outside a dome. From station 12 to 17, sides right of the figure, marked the *Intrusion Current*, caused partly by the Campeche Canon topography.

In the **Fig. 34** of the same transect, showed the salinity (‰), where marked them low values in the center of the cyclonic eddy, between the stations. 12 to 17, as well as the high salinity coming from the continental shelf of Campeche Bank (right side of the drawing). The high salinity values, between 110 and 130 m depth, correspond to the remnants of SSA and 18°C, from the South Atlantic and North Atlantic respectively.

<sup>3</sup> Esta surgencia se encontró en varios cruceros durante las investigaciones. En esta estación siempre se encontraron tiburones por lo que se denominó **Estación Tiburón**.

<sup>4</sup>This upwelling is found in various cruises during investigations. In this station always was found sharks by what is called **shark station**.



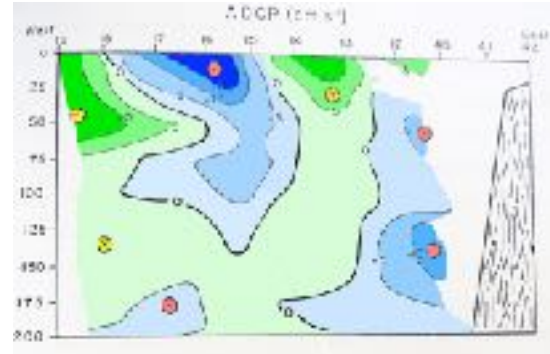
**Figura 35.** Contornos de la velocidad de la corriente hacia el norte  $\otimes$  y hacia el sur  $\bullet$  en  $\text{cm s}^{-1}$ , a lo largo del transecto de latitud  $21^{\circ}45'N$  como fue estimado por los cálculos geostroficados para el crucero CIRCAM 2 en el J. SIERRA durante julio de 1991. Contours of current speed ( $\text{cm s}^{-1}$ ) along transect at  $21^{\circ}45'N$  latitude as estimated by geostrophic calculation. (VC93).

Otra forma de comprobar el remolino ciclónico en la Bahía de Campeche fue con las mediciones de corrientes por el método de velocidades geostroficadas e independiente las mediciones de corrientes por el Perfilador Acústico de Corrientes Doppler (ADCP, siglas en ingles). En la Fig. 35 se muestran los valores de velocidades geostroficadas, de color morado y con un punto rojo se marca la corriente oeste del remolino ciclónico; de color anaranjado con una cruz amarilla se marca el lado este del remolino ciclónico. En el lado oeste existía una corriente hacia el norte, cruz amarilla, y en el lado este una corriente hacia el sur, la *Corriente de Intrusión*. La Fig. 36 se muestran los valores del ADCP, los cuales tienen una estructura muy semejante a la de estimada por cálculos dinámicos.

#### F. REMOLINO CICLONICO EN LA BAHÍA DE CAMPECHE

En la Bahía de Campeche se encuentra un giro ciclónico semipermanente. Esto contrasta con el oeste del Golfo de México, al norte de los  $22^{\circ}$  de latitud, siendo ésta región dominada por los remolinos anticiclónicos que se desprenden de la Corriente de Lazo al este del Golfo. La escala horizontal del giro ciclónico (del orden de 100 a 200 km) es más pequeña respecto a los remolinos anticiclónicos en el noroeste del Golfo, éste remolino generalmente es menos energético.

Las características del remolino ciclónico, han sido investigadas por actividades oceanográficas sistemáticas en el suroeste del Golfo de México, realizadas por el Gobierno Mexicano durante las últimas cuatro décadas (comenzando en 1970), completadas por estudios previos de Texas A&M University y por el U.S. Fish and Wild Service. El volumen promedio de transporte del remolino en la Bahía de Campeche es aproximadamente de  $3.3 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , basado sobre estimaciones de trece cruceros realizados en años diferentes, pero cubriendo las cuatro estaciones del año. También hay una evidencia del ciclo anual de transporte el cual tiene intervalo comparable con el promedio anual. (VC93).



**Figura 36.** Contornos de la velocidad de la corriente hacia el norte  $\otimes$  y hacia el sur  $\bullet$  en  $\text{cm s}^{-1}$ , a lo largo del transecto de latitud  $21^{\circ}45'N$ , como fue estimado por el Perfilador Doppler Acústico para el crucero CIRCAM 2 en el J. SIERRA durante julio de 1991. Contours of current speed ( $\text{cm s}^{-1}$ ) along transect at  $21^{\circ}45'N$  latitude as estimated by ADCP. (VC93).

Another way to check the cyclonic Eddy in the Bay of Campeche was with the measurements of currents by method of geostrophic speed and independent measurements of currents Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP). Fig. 35 shows the values of Geostrophic, purple color, the speeds and with a red dot is marked the western Cyclonic Eddy current; of color orange with a yellow cross is mark the side this of the eddy cyclone. In the western side, there was a current northward, cross yellow, and in the east side, southward current, the *Intrusion Current*. Fig. 36 show values of the ADCP, which have a very similar structure with respect the estimated by dynamic calculations.

#### BAY OF CAMPECHE CYCLONE

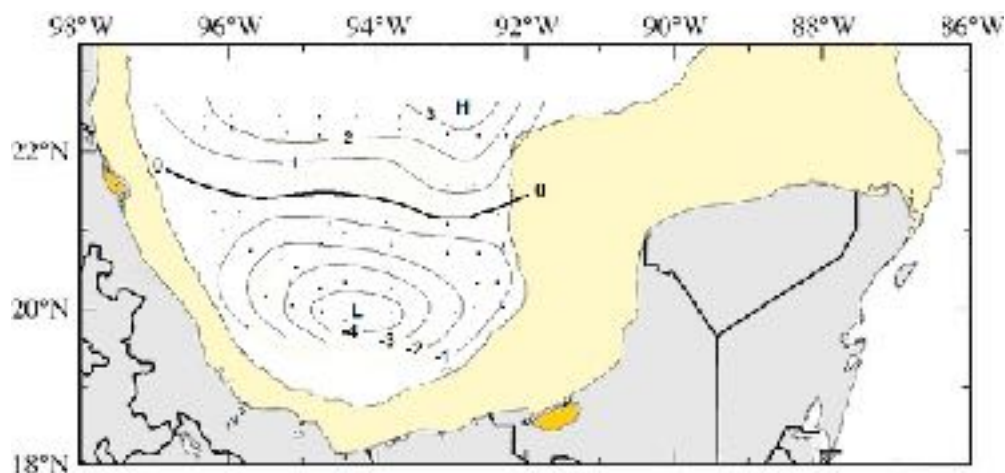
The Bay of Campeche is found to contain a semi-permanent cyclonic gyre. This contrast with the western Gulf of Mexico north of  $22^{\circ}$  N latitude, which is dominated by transient anticyclonic eddies, spawned from the Loop Current in the eastern Gulf. The gyre's horizontal scale (of order 100 to 200 km) is smaller than that of the anticyclonic eddies in the northwestern Gulf and generally less energetic.

Characteristics of the cyclone have been documented from systematic oceanographic surveys in the southwestern Gulf of Mexico carried out by the Mexican Government during the last four decades (commencing in 1970), supplemented by prior studies of Texas A&M University and U.S. Fish and Wildlife Service. The average volume transport in the Bay of Campeche cyclonic gyre is about  $3.3 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , based on estimates from thirteen cruises conducted in different years but covering all four seasons. There is also evidence of yearly cycle in transport which has a range comparable to the yearly average. (VC93).

**Tabla 2.** Cruceros en la Bahía de Campeche (BdC) desde 1958 hasta 1991 que fueron usados en VC93 para estimar el promedio de la topografía de las Funciones Empíricas Ortogonales. (VC93).

**Table 2.** Bay of Campeche (BOC) oceanographic cruises from 1958 through 1991 that are used in the VC93 estimate of the mean surface topography field. (VC93).

Buque Vessel	Nombre del crucero Cruise Name	Duración en BdC Duration in BOC	Total de estaciones en BdC Total stations in BOC
<i>Hidalgo</i>	58-H-1	03/23/58 - 04/03/58	6
<i>Hidalgo</i>	62-H-3	03/11/62 - 03/24/62	17
<i>Geronimo</i>	67-G-12	02/23/67 - 03/13/67	21
<i>Geronimo</i>	67-G-16	08/19/67 - 09/19/67	19
<i>Uribe</i>	COSMA 70-12	10/31/70 - 11/13/70	22
<i>Uribe</i>	COSMA 71-10	05/24/71 - 06/09/71	23
<i>Uribe</i>	COSMA 71-16	08/04/71 - 09/03/71	29
<i>Uribe</i>	COSMA 71-22	10/27/71 - 11/10/71	23
<i>Uribe</i>	COSMA 72-10	04/25/72 - 05/18/72	20
<i>Uribe</i>	COSMA 73-10	05/23/73 - 06/04/73	9
<i>Altair</i>	Alt-M-87	05/08/87 - 05/27/87	15
<i>J. Sierra</i>	CIRCAM 1	01/17/91 - 01/31/91	29
<i>J. Sierra</i>	CIRCAM 2	07/12/91 - 07/24/91	14
<b>Total</b>			<b>247</b>



**Figura 37.** Contornos del campo promedio del modo 1 de EOF de la altura dinámica (cm-din) de la superficie del mar relativo a 425 db basado en 247 estaciones de 13 cruceros cubriendo todas las estaciones del año (pero de diferentes años). (VC93).

Contours of the average field of EOF mode 1 dynamic height (dyn cm) of the sea surface relative to 425 db based on 247 stations from 13 cruises covering all seasons (but of differing years). (VC93).

La información que se tiene de *esfuerzo del viento climatológico*, para el suroeste del Golfo de México, sugiere que el remolino ciclónico de la Bahía de Campeche, es forzado por el *giro del esfuerzo del viento*, el cual, tiene un pronunciado ciclo anual.

*Climatological wind stress* information for the southwestern Gulf of Mexico suggests that the Bay of Campeche cyclonic gyre is forced by cyclonic *wind stress curl*, which has a very pronounced seasonal cycle.

**Tabla 3** Resumen del transporte ciclónico por temporadas en la Bahía de Campeche, estimados por los datos oceanográficos y el giro del esfuerzo de viento (por la relación Sverdrup). (VC93).

**Table 3** Summary of cyclonic transports by seasons in the Bay of Campeche as estimated from oceanographic data and wind stress curl (via the Sverdrup relation).(VC93).

	Transporte geostrófico ( $10^6\text{m}^3\text{s}^{-1}$ )	Transporte Sverdrup ( $10^6\text{m}^3\text{s}^{-1}$ )
Primavera - Spring	2.8	3.9
Verano - Summer	3.8	0.2
Otoño - Fall	4.4	5.3
Invierno – Winter	6.3	8.1
Promedio anual – Yearly average	<b>4.3</b>	<b>4.4</b>
Fluctuación anual – Yearly range	3.5	7.9

**G. CRUCERO EN LA PARTE CENTRAL DEL GOLFO DE MÉXICO. ABRIL-MAYO DE 1998**

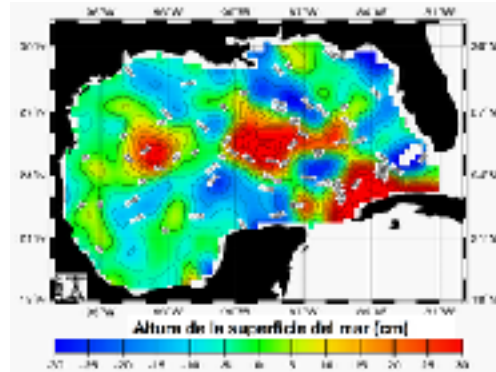
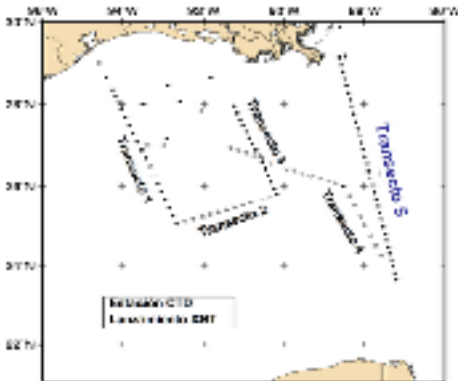
**CRUISE APRIL-MAY, 1998, IN THE CENTRAL PART OF THE GULF OF MEXICO**

El crucero 98-G-4 del R/V *Gyre* se realizó del 19 de abril al 3 de mayo de 1998. Texas A&M University (TAMU), la Ohio State University (OSU) por parte de EUA; la Secretaria de Marina (SEMAR), así como la Universidad Veracruzana (UV), por parte de México.

Cruiser 98-G-4 of the R/V *Gyre* was made from April 19 to May 3, 1998. Texas A & M University (TAMU), the Ohio State University (OSU) from USA; Secretaria de Marina (SEMAR), as well as the Universidad Veracruzana (UV), from Mexico.

Durante el crucero se obtuvieron perfiles verticales de las propiedades de las masas de agua, así como la medición de velocidades de las corrientes; se navegó sobre las proyecciones en la superficie del mar de las trayectorias de los satélites **TOPEX-POSEIDON** y **ERS**, logrando así la calibración de ellos con mediciones *in-situ*. Correspondió el paso de los satélites, en un término de tres minutos aproximadamente, con tres días de navegación del *Gyre*, al atravesar casi a la mitad del los remolinos **D** "El Dorado" y el **F** "Fourchon", siendo excelente para la calibración de los satélites. También fue una oportunidad única para obtener mediciones de precisión vertical del Sistema Global de Posicionamiento (GPS). (GVK98).

During the cruise were obtained vertical profiles of water masses properties, as well as measurement of current velocities; it was sailed over projections in the sea surface of the satellites paths **TOPEX-POSEIDON** and **ERS**, achieving thus the calibration of them with measurements *in-situ*. It corresponded approximately, the passage of the satellites, within a period of three minutes with three days of *Gyre* navigation, crossing nearly at the half of the eddies "El Dorado" **D** and **F** "Fourchon", being satellite calibration excellent. Also, it was a great opportunity to get measurements of vertical precision for Global Positioning System (GPS). (GVK98).

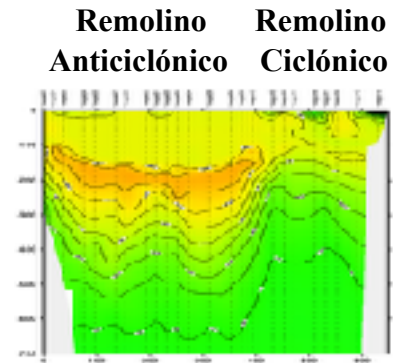
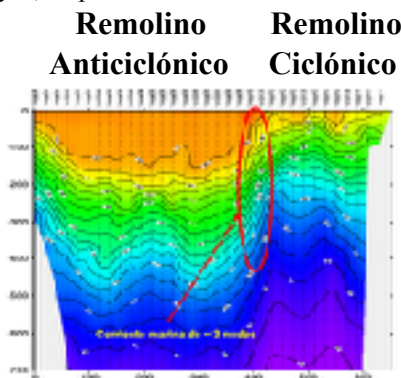


**Figura 38.** Transectos durante el crucero realizado en Golfo de México en abril-mayo de 1998.  
Transects during the cruise carried out in Gulf of Mexico in April-May of 1998. (GVK98).

**Figura 39.** Alturas de la superficie del mar en el Golfo de México, obtenidas con el satélite TOPEX-ERS-2  
Height of the sea surface in the Gulf of Mexico, obtained with satellite TOPEX-ERS-2. (GVK98).

Las **Figs. 38 y 39** muestran la posición de las trayectorias de los satélites y la posición geográfica de los remolinos **D** y **F**, respectivamente.

**Figs. 38 and 39** show the satellites trajectories position and geographic position of **D** and **F** eddies, respectively.



**Figura 40. Transecto 5.** Temperatura °C desde la superficie del mar, hasta 700 m de profundidad. Distancia horizontal en km.  
Transect 5. Temperature °C from the sea surface of the sea, up to 700 m of depth. Distance horizontal in km. (GVK98).

**Figura 41. Transecto 5.** Salinidad (‰), desde la superficie del mar hasta 700 m de profundidad. Distancia horizontal en km.  
Transect 5. Salinity (‰), from the sea surface up to 700 m in depth. Distance horizontal in km. (GVK98).



Por otro lado, la **Fig. 40** muestra en el **Transecto 5** el perfil de la temperatura que marca claramente la corriente marina de más de  $1.5 \text{ m s}^{-1}$  (tres nudos) en el remolino **F**. La **Fig. 41** Muestra el perfil de salinidad ( $^{\circ}/_{00}$ ), del mismo **Transecto 5** a través del remolino anticiclónico **F**, en el se marca claramente la zona de alta salinidad a una profundidad de 100 a 250 m, masas de agua provenientes del Atlántico del Norte, *Agua de  $18^{\circ}\text{C}$* , y en menor proporción, agua del Sur del Atlántico, *Agua Subtropical del Sur (ASS)*.

On the other hand, **fig. 40** shows transect 5, the temperature profile, is clearly marked more than  $1.5 \text{ m s}^{-1}$  (three knots) in the **F** Eddy sea surface current. **Fig. 41** shows the profile of salinity ( $^{\circ}/_{00}$ ) of the same transect 5 through the anticyclonic Eddy **F**, in the clearly mark the area of high salinity at 100 to 250 m depth, from water masses of North Atlantic, *18°C Water*, and to a lesser extent, water of the South Atlantic, *Subtropical Southern Water (SSW)*.

## RESUMEN Y DISCUSIÓN

Los resultados de los cruceros confirmaron el dominio de la circulación anticiclónica en el oeste del GdM. Ellos sugirieron que el centro de la circulación en el lado oeste era normalmente anticiclónico; posiblemente el flujo está de alguna manera cubierto por las corrientes provocadas por el viento. En ninguno de los cruceros, el anticiclón principal abarcó todo el oeste del Golfo. El estuvo rodeado por regiones ciclónicas, lo que da una periférica irregular. Sobre la base de datos discutida e información de otros cruceros, usualmente existen otros anticiclones entre el principal en el oeste y uno formando el centro del la Corriente de Lazo en el este. La circulación en la parte central y al oeste es siempre más débil que la Corriente de Lazo, un segmento del Sistema de la Corriente del Golfo, el cual pasa a través del este del Golfo.

Las características generales del Anticiclón para cada uno de los cruceros, descrito en detalle en **Observaciones y Resultados**, dependiendo de su ubicación, presentaba extensiones en diferentes direcciones; una de estas extensiones estaba hacia el sur al oeste del Banco de Campeche, *Corriente de Intrusión*. El Anticiclón también tenía un flujo muy fuerte hacia norte en su lado oeste. El promedio del volumen de transporte geostrófico es aproximadamente de  $10 \times 10^6 \text{m}^3 \text{s}^{-1}$ . Este valor puede compararse con el transporte de 40 a  $50 \times 10^6 \text{m}^3 \text{s}^{-1}$  entre el centro de la Corriente de Lazo y del centro del ciclón en su parte oeste. El transporte de Anticiclón es cerca de una 1/3 del volumen promedio de transporte de la Corriente de Lazo.

La intrusión hacia el sur, en el geopotencial al oeste del Banco de Campeche, está presente en cada uno de los cruceros. *La Intrusión* implica un flujo hacia el sur a lo largo del extremo oeste del Banco de Campeche, lo cual la corriente se guía por la topografía del fondo del Cañón de Campeche.

La temperatura al noreste de la laguna de Tamiahua observada en noviembre de 1970 indicó un giro ciclónico en la región. En mayo-junio de 1971, fue observada otra vez en la temperatura y la salinidad. Mediciones del GEK también indicaron un giro ciclónico. Esta componente posiblemente era parte de un ciclón, es decir una circulación cerrada. No obstante en el resto de 1971, el anticiclón principal estaba muy cerca de la costa y la región ciclónica estaba ausente, ella es una característica recurrente. También, este remolino ciclónico fue reportado por Vidal *et al*, 1992.

Los cruceros de 1978 mostraron un cambio a nivel mesoescala en el oeste del GdM. Dos razones para ello, la disipación de energía asociada con la llegada del remolino anticiclónico oceánico en la costa occidental del Golfo de México, considerado como el arribo de **ondas Rossby**. Al alcanzar la frontera oeste, se pueden disipar en ondas más cortas, las cuales se propagan al norte y al sur a lo largo de la costa y alimentan de energía a las estructuras de los remolinos ciclónicos. También, aquí puede ser debido a la respuesta del océano al intenso forzamiento del viento.

## SUMMARY AND DISCUSSION

Results of the cruises confirmed the dominance of the anticyclonic circulation in the western of GOM. They suggested that the core of the circulation on the west side is anticyclone; possibly the flow is somewhat masked by wind drift. In none of the cruises did the main anticyclone fill the western part of the Gulf. It was surrounded by fairly distinct cyclonic regions, which give its periphery an irregular form. On the basis of the data discussed and information from other cruises, there are usually other anticyclones between the main one in the west and one forming the center of the Loop Current System in the east.

The circulation in the central and western Gulf is always weaker than that of the Loop Current, the segment of the Gulf Stream System, which passes through the eastern Gulf.

The general characteristics of the Anticyclone for each of the cruises, as described in detail in **Observations and Results**, Depending on its location, it presented extensions in different directions; one of these extensions was the southward extension west of the Campeche Bank, *the Intrusion Current*. The Anticyclone also had strong northward flow on its western side. The average geostrophic volume transport is  $10 \times 10^6 \text{m}^3 \text{s}^{-1}$  approximately. This value may be compared with a transport of 40 to  $50 \times 10^6 \text{m}^3 \text{s}^{-1}$  between the Loop Center and the center of the cyclone to its west. The transport in the Anticyclone is about 1/3 of the average volume transport of the Loop Current.

The southward intrusion, in geopotential west of Campeche Bank, is present in every cruise discussed. *The Intrusion* implies a southward flow along the western edge of the Campeche Bank, which the current is guided by the bottom topography of the Campeche Canon.

The temperature northeast of Tamiahua Lagoon observed in November 1970 indicated a Cyclonic Eddy turn in that region. In May-June 1971, it was observed again in both temperature and salinity. GEK measurements also indicated a cyclonic turn. Possible the feature was part of cyclone, that is, a closed circulation. Although the rest of 1971, the main anticyclone was close to shore and the cyclonic region apparently absent, it is a recurring feature. Also, this Cyclonic Eddy was reported by Vidal *et al*, 1992.

The cruises from 1978 showed the change to level Mesoscale in the West of the GOM. Two reasons for this, the dissipation of energy due to the **Rossby waves** arriving as anticyclonic eddies at the coast, it may dissipate in short waves and propagate to the south and north along the coast and feed of energy to the structures of those cyclonic eddies. Also, the transfer of energy of anticyclonic eddies to the cyclonic eddies due to the intense effort of the wind.

En la Bahía de Campeche, una región ciclónica estuvo en la parte central y al oeste durante todos los cruceros. El centro de la región ciclónica en la superficie del mar, siempre tiene valores bajos de salinidad y altos valores en la concentración de oxígeno disuelto.

El mecanismo de forzamiento físicamente lógico en la Bdc para mantener la circulación ciclónica permanente y su intensificación occidental, es observado por el bombeo *Ekman* relacionado con el estrés de giro del viento. El promedio de la tensión del giro del viento en el Bdc del estudio GW96 es consistente con la de *Elliott* (1979). Estos indican un volumen cíclico del transporte ciclónico de aproximadamente  $4 \times 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ; su valor es 0.7 mayor al reportado por VC93, indicado por los datos hidrográficos. (VRDJ05).

Durante el crucero en 1998 se obtuvieron perfiles verticales de las propiedades de las masas de agua, así como la medición de velocidades de las corrientes; se navegó sobre las proyecciones en la superficie del mar de las trayectorias de los satélites **TOPEX-POSEIDON** y **ERS**. También fue una oportunidad única para obtener mediciones de precisión vertical del Sistema Global de Posicionamiento (GPS).

Pérez-Brunius, P., *et al* (2012) analizaron la capa superior de la bahía de Campeche en periodo de tres años (2007-2010), con datos registrados por boyas de superficie, medidor de corrientes con anclaje y altimetría satelital. Las mediciones mostraron que la circulación ciclónica media observada por los autores anteriores se extiende aún más por debajo de 1000 m, y que su tamaño y ubicación es delimitada por la topografía particular de la región: una cuenca profunda al oeste y menos profundo en el centro y al este el Cañón de Campeche.

Probablemente, lo más impresionante fueron **los valores más bajos en el Agua Antártica Intermedia** en el oeste del Golfo de México, los cuales corresponden al *cambio climático o calentamiento global*.

In the Bay of Campeche, a cyclonic region was in the central and western part during all the cruises. The cyclonic region center at sea surface, always has relative low salinity and high values of dissolved oxygen concentration.

The physically logical forcing mechanism over the BOC trying to maintain the permanent cyclonic circulation and its observed western intensification is *Ekman* pumping associated with wind stress curl. The mean wind stress curl over the BOC from the GW96 study is consistent with that of *Elliott* (1979). These indicate a cyclonic cyclical volume transport of about  $4 \times 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , its value is 0.7 higher than indicated by VC93 in the hydrographic data. (VRDJ05).

During the cruise in 1998 were obtained vertical profiles of water masses properties, as well as measurement of current velocities; it was sailed over projections in the sea surface of the satellites paths **TOPEX-POSEIDON** and **ERS**. Also, it was a great opportunity to get measurements of vertical precision for Global Positioning System (GPS).

Pérez-Brunius, P., *et al* (2012) analyzed the upper layer in the Bay of Campeche within three years (2007-2010), data recorded by surface drifters, current meter moorings, and satellite altimetry. The measurements showed that the mean cyclonic circulation observed by previous authors extends below 1000 m, and that its size and locations are delimited by the particular topography of the region: a deep basin to the west, and a shallower in the center, and in the east, the Campeche Canyon.

Probably the most impressive were the **lowest salinity values of the AIW** in the Western Gulf of Mexico, *which correspond to climate change or global warming*.

## REFERENCIAS

- Bravo, C. J. L., 1972.** Observaciones de las corrientes mediante el electrocinetógrafo geomagnético "GEK". Tesis Profesional, Universidad Nacional Autónoma de México; 112 pp.
- Deacon G. E.R., 1937.** "The hydrology of the Southern Ocean". *Discovery Reports*, 15, 1-124.
- Elliot, B. A., 1979.** Anticyclonic rings and the energetic of the circulation of the Gulf of Mexico, Ph.D. Dissertation, 188 pp, Department of Oceanography, Texas A&M University. College Station, Texas.
- Guinasso. N., Vázquez De la Cerda A. M. y Kelly. F. J. 1998.** (GVK98). Desarrollo del remolino *Fourchon* (1998) en el Golfo de México. V Congreso Nacional de Ciencias y Tecnologías del Mar. SEP. Boca del Río, Veracruz.
- Gutiérrez de Velasco, G., and Winant., 1996.** (GW96). Seasonal patterns of wind stress and wind stress curl over the Gulf of Mexico, *J. Geophys. Res.*, 101, 18, 18,127-18,140.
- Merrell, W. J., Jr., and J. M. Morrison., 1981.** (MM81) "On the circulation of the western Gulf of Mexico with observations from April 1978". *Journal Geophysical Research*, 86: 4181-4185.
- Merrell, W. J. Jr., and A. M. Vázquez., 1983.** (MV83) "Observations of changing mesoscale circulation patterns in the western Gulf of Mexico". *Journal Geophysical Research* 88 (C12): 7721-7723.
- Morrison, J. M., and W.D. Nowlin, Jr., 1982.** General distribution of water masses within the eastern Caribbean Sea during the winter of 1972 and fall of 1973". *J. Geophysics*. 1982.
- Nowlin, W. D., Jr., and McLellan, H. J., 1967.** A Characterization of the Gulf of Mexico Waters in winter. *J. Marine Res.*, 25(1); 29-59 pp.
- Nowlin, W. D., Jr., Hubertz, J. M., and Reid, R.O., 1967.** A detached Eddy in the Gulf of Mexico. *J. Marine Res.*, 26 (2); 185-186.
- Nowlin, W. D., Jr., 1972.** Winter Circulation Patterns and Property Distributions. Contributions on the Physical Oceanography of the Gulf of Mexico. Texas A&M University Oceanographic Studies; 3-51pp.
- Pérez-Brunius, P., P. Garcia-Carrillo, J. Dubranna, J. Sheinbaum y J. Candela., 2012.** Direct observations of the upper layer circulation in the southern Gulf of Mexico. *Deep-Sea Res. II*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dsr2.2012.07.020>
- Schlitz, R. J., 1973.** Net total transport and net transport by water mass categories for Yucatan Channel, based on data for April 1970. Ph.D. Dissertation, Texas A&M University; 107 pp.

## REFERENCES

- Sievers, H.A. and W.D. Nowlin, Jr., 1984.** (SN84). "The Stratification and Water Masses at Drake Passage". *Journal Geophysical Research* 89:C11.
- Vázquez de la Cerda, A. M., 1975.** (VC75) "Currents and Waters of the Upper 1200m of the Southwestern Gulf of Mexico". Master's Thesis, *Texas A&M University*, 108 pp.
- Vázquez de la Cerda, A. M., 1988.** (VC88) "Some oceanographic results in the western Equatorial Atlantic Ocean and their consequences in the Gulf of Mexico". Oceanography Seminar, October 24 –October 28, 1988. *Texas A&M University*, 18 pp.
- Vázquez de la Cerda, A. M., J.S. Arrieta, O. Guido y J. Rivera, 1991.** (VAGR91) Reportes técnicos de CIRCAM 1 y CIRCAM 2 de los cruceros abordo del B/O Justo Sierra de la UNAM. SEMAR, DIGONAV. 84 pp.
- Vázquez de la Cerda, A. M., 1993.** (VC93) "Bay of Campeche Cyclone", Doctoral Dissertation *Texas A&M University*, 91 pp.
- Vázquez de la Cerda, A. M., 2004.** (VC04). Análisis descriptivo de las masas de agua oceánica que arriban al Golfo de México. *Diagnóstico Ambiental del Golfo de México*. Caso, M., Pisanty I., y Ezcurra, E. (Compiladores). Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Inst. Nal. Ecología, Inst. Ecología A.C. y Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies. Pp 69-102.
- Vázquez, A., R.O. Reid, S.F. DiMarco, A.E. Jochens., 2005.** (VRDJ05). Bay of Campeche Circulation: an Update. Circulation in the Gulf of Mexico: Observations and Models. Geophysical Monograph Series 161; 279-293 pp.
- Vidal, V.M., F.V. Vidal and J.M. Pérez-Molero, 1992.** (VVP92) Collision of Loop Current anticyclonic ring against the continental slope of the western Gulf of Mexico. *J. Geophys. Res.*, 97, 2155-2172.
- Wilson, R. J., 1967.** "Amount and Distribution of Water Masses in February and March 1962 in the Gulf of Mexico." *Master's Thesis, Texas A&M University*, 54 pp.
- Wüst, G., 1935** "Die Stratosphäre des Atlantischen Ozeans, in Wissenschaftliche Ergebnisse der Deutschen Atlantischen Expedition, "Meteor" 1925-1927". *Alter de Gruyter, Berlin* vol 6 part 1, pp.109-228,.
- Wüst, G., 1957.** "Stromgeschwindigkeiten und Strommgen in der Tiefen des Atlantischen Ozeans. Wissenschaftliche Ergebnisse des Deutscher Atlantischer Expedition auf dem Meteor". Bd. VI, *Zweiter Teil*, 261-420 pp.
- Wüst, G., 1964.** "Stratification and Circulation in the Antilles-Caribbean Basins." *Columbia Univ. Press, Ny*, 201 pp.



## **Alberto Mariano Vázquez de la Cerda**

México

Comisionado como oficial de la Armada de México, el Tte. Vázquez recibió entrenamiento en percepción remota en la NASA en 1968. Como Capitán de Corbeta Vázquez fue el Comandante del buque oceanográfico H-02 (1976-1979); sirvió como jefe científico en la operación FGGE, (1979) en el experimento Atlántico Ecuatorial, donde coordinó los buques soviéticos, alemán y brasileño.

El Dr. Vázquez se convirtió en el primer Director del Instituto Oceanográfico en Veracruz por la Armada de México de 1979 a 1986. Durante ese tiempo fue también profesor de la Heroica Escuela Naval Militar y del Instituto de Ingeniería, Universidad Veracruzana.

Tras su ascenso a Contralmirante en 1992 el Dr. Vázquez se convirtió en Director de General de Oceanografía en la Secretaría de Marina. Dos logros importantes son: el Parque Marino del Sistema Arrecifal Veracruzano, y la Reserva de la Biosfera en el Archipiélago de Revillagigedo en el Océano Pacífico.

Cuando el huracán Roxanne amenazaba la costa de México en 1995, el Dr. Vázquez fue capaz de predecir la trayectoria del huracán.

El Dr. Vázquez y sus alumnos de la Universidad Veracruzana participaron en cruceros oceanográficos en el Golfo de México y mar Caribe en 1998 y 1999 en cooperación con Grupo de Geoquímica Ambiental Texas A & M University de investigación para el estudio de la transferencia de los remolinos oceánicos y para ayudar a calibrar los satélites TOPEX y ERS.

En 2002, el Dr. Vázquez, representó a la Armada de México y la Universidad Veracruzana, colaboró con Texas A & M - Corpus en el estudio del Sistema Arrecifal de Veracruzano, el cual implicó el uso de mini-submarinos canadienses. Además, se inició como miembro del Consejo Consultivo para el Harte Research Institute para estudios del Golfo de México con sede en Texas A & M University-Corpus Christi, (2002-2011). En 2003, el Dr. Vázquez recibió el premio por ser el egresado internacional excepcional de Texas A & M University 2003.

Vicealmirante(Ret) Vázquez de la Cerda fue Presidente del Grupo Colegiado de Almirantes Retirados en Veracruz en el período 2011-2013.

Commissioned as an officer of the Mexican Navy, Lt. Vázquez received training in remote sensing at NASA in 1968. As Lt. Commander Vázquez commanded the H-02 Oceanographic Ship from 1976 to 1979; He served as Chief Scientist on operation FGGE, (1979) in equatorial Atlantic experiment, which involved coordination of Soviet, German and Brazilian ships.

Dr. Vázquez became the first Director of the Oceanographic Institute in Veracruz for the Mexican Navy and held that office from 1979 to 1986. During that time he was also professor at the Heroica Escuela Naval Militar (Mexican Navy Academy) and Institute of Engineering, Universidad Veracruzana. Following his promotion to Rear Admiral in 1992 Dr. Vázquez became the Mexican Navy's General Director of Oceanography. Two major achievements during this tour duty are: Marine Park in Veracruz Coral Reef System, and the Biosphere Reservation in the Archipelago of Revillagigedo in the Pacific Ocean.

When hurricane Roxanne threatened the coast of Mexico in 1995, Dr. Vázquez was able to predict the trajectory of the hurricane.

Dr. Vázquez and his students from Universidad Veracruzana participated in oceanographic cruises in the Gulf of Mexico and the Caribbean Sea in 1998 and 1999 in cooperation with Texas A&M's Geochemical Environmental Research Group, to study the transfer of the oceanic eddies and to help calibrate the satellites TOPEX and ERS.

In 2002, Dr. Vazquez, representing the Mexican Navy and the Universidad Veracruzana, collaborated with Texas A&M-Corpus Christi in the study of the Veracruz Reef System, which involved the use of Canadian mini-submarines. In addition, He initiated as member of the Advisory Council for the Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies based in Texas A&M University-Corpus Christi, (2002-2011) In 2003, Dr. Vázquez received the Texas A&M's 2003 Outstanding International Alumnus.

Vice admiral (Ret) Vazquez de la Cerda was President of Group College of Retired Admirals in Veracruz from the period 2011-2013.