



Ra Ximhai

ISSN: 1665-0441

[raximhai@uaim.edu.mx](mailto:raximhai@uaim.edu.mx)

Universidad Autónoma Indígena de

México

México

Palacios-Hernández, Emilio; Carrillo, Laura; Gamboa-Goñi, Rodrigo; Ávalos-Cueva, David  
HIDROGRAFÍA SUPERFICIAL DE LA REGIÓN NORTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA

MEDIDA POR UN TERMOSALINÓMETRO

Ra Ximhai, vol. 13, núm. 3, julio-diciembre, 2017, pp. 153-177

Universidad Autónoma Indígena de México

El Fuerte, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46154070010>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto



uais

## HIDROGRAFÍA SUPERFICIAL DE LA REGIÓN NORTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA MEDIDA POR UN TERMOSALINÓMETRO

### SURFACE HYDROGRAPHY IN THE NORTHERN GULF OF CALIFORNIA TAKEN BY A THERMOSALINOMETER

Emilio **Palacios-Hernández**<sup>1</sup>; Laura **Carrillo**<sup>2</sup>; Rodrigo **Gamboa-Goñi**<sup>3</sup> y David **Ávalos-Cueva**<sup>4,5</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Guadalajara, Depto. de Física; <sup>2</sup>El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Chetumal; <sup>3</sup> Queen Mary University of London; <sup>4</sup> Universidad de Guadalajara, Depto. de Ingeniería Civil y Topografía; <sup>5</sup> Instituto Tecnológico Superior de Arandas.

#### RESUMEN

Por medio de mediciones directas de temperatura, salinidad y densidad obtenidas por un termosalinómetro en la Región Norte del Golfo de California, se obtuvieron campos escalares superficiales para dichas variables en los periodos de enero, marzo, junio de 1995 y marzo de 1996.

Se comparan los campos obtenidos con los ya existentes tomados con CTD para las mismas regiones y periodos de tiempo, en donde se distingue una similitud evidente. Se observa la presencia de una anomalía interanual durante el periodo enero-marzo de 1995 que se manifiesta con el aumento de la temperatura promedio en la región, la formación en el Alto Golfo de un frente halino, así como de un frente de densidad en la misma zona.

**Palabras clave:** Golfo de California, Termosalinómetro, Observaciones, Hidrografía.

#### SUMMARY

Through direct measurements of temperature, salinity and density obtained by a thermosalinometer in the northern Gulf of California, superficial scalar fields were obtained for these variables in the periods of January, March, June 1995 and March 1996.

Fields obtained with existing taken with CTD for the same regions and periods are compared, where an obvious similarity is observed. The fields were analyzed and the presence of an intense interannual anomaly is noted during the period from January to March 1995 manifested with the increase in average temperature in the region, the formation in the Upper Gulf an haline front, as well as a density front in the same area.

**Key words:** Gulf of California, Thermosalinometer, Observations, Hydrography.

#### INTRODUCCIÓN

La Región Norte del Golfo de California (RNGC), es una zona en la que existen escasas mediciones directas, por lo que se llevó a cabo una campaña intensiva observacional, con la utilización de equipo oceanográfico tradicional, como CTD (Conductivity Temperature Depth), correntómetros, trazadores lagrangeanos, ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler), entre otros, además se utilizaron tecnologías recientes como un termosalinómetro, el cuál es la primera vez que se utiliza este equipo en la región, por lo que se muestra en este trabajo las mediciones obtenidas con este equipo.

#### Área de estudio

La Región Norte del Golfo de California está localizada desde los 29.0° a 31.5° de latitud N y de los 112.0° a 115.0° de longitud O; en la *Figura 1* se muestra la batimetría de la región, así como su localización respecto de la República Mexicana. Es una zona principalmente somera con presencia de algunas regiones relativamente profundas (cuencas), que van desde los 100 hasta los 800 metros de profundidad.

Las características climatológicas del Golfo de California (GC) son fuertemente estacionales, esto es debido a la influencia de sus principales agentes forzantes (en orden de importancia): el Océano Pacífico, el viento paralelo al golfo (del noroeste en invierno y del sureste en verano) y las pérdidas o ganancias superficiales de calor y humedad (Beier, 1997).

La Circulación en la RNGC es caracterizada por un giro ciclónico en verano y anticiclónico en invierno (Lavín, Beier y Badan, 1997; Lavín *et al.*, 1997b; Soto-Mardones, Marinone y Parés-Sierra, 1999; Carrillo, Lavín y Palacios-Hernández, 2002; Palacios-Hernández, 2001; Palacios-Hernández *et al.*, 2002; Palacios y Beier, 2015) generado por vientos estacionales y el Océano Pacífico, el cual genera en la boca del GC, una onda tipo Kelvin baroclínica de período anual, que se propaga en la costa e interactúa con la batimetría del GC (Ripa, 1990; Beier, 1997; Beier y Ripa, 1999, Palacios-Hernández, 2001; Palacios-Hernández *et al.*, 2002).

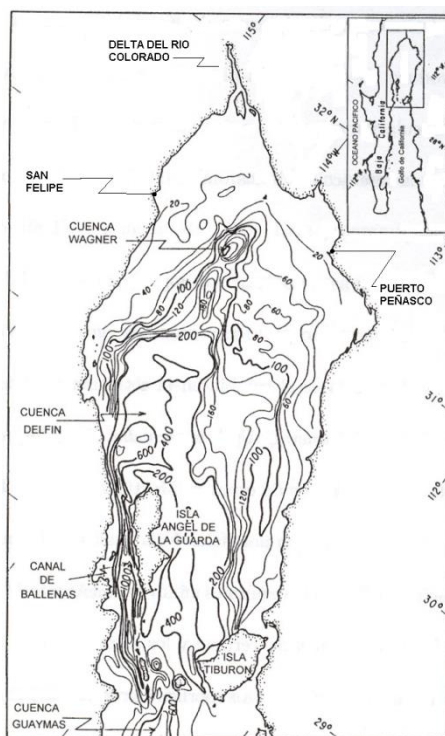
Los giros tienen velocidades de aproximadamente  $35 \text{ cm seg}^{-1}$  (Lavín *et al.*, 1997; Palacios-Hernández, 2001; Palacios-Hernández *et al.*, 2002; Palacios y Beier, 2015). El giro que se da en verano es puramente baroclínico, mientras que el que se da en invierno es parte barotrópico y parte baroclínico (Beier y Ripa, 1999; Lavín *et al.*, 1997; Palacios-Hernández *et al.*, 2002; Palacios y Beier, 2015).

La duración de estos patrones de circulación para el período ciclónico (verano) es de aproximadamente 4 meses (junio-septiembre), mientras que el anticiclónico (invierno) es de cerca de 6 meses (noviembre-abril), con períodos de transición de 3 a 4 semanas (Carrillo, Lavín y Palacios-Hernández, 2002; Palacios-Hernández, 2001; Palacios-Hernández *et al.*, 2002; Palacios y Beier, 2015). La asimetría temporal en los patrones de circulación, es causada por la intensificación de la mezcla vertical en invierno (Palacios-Hernández, 2001; Palacios-Hernández *et al.*, 2002; Palacios y Beier, 2015). Estos patrones de circulación han sido observados casi todos los años, por lo que se consideran estructuras permanentes (Soto-Mardones, Marinone y Parés-Sierra, 1999; Carrillo, Lavín y Palacios-Hernández, 2002; Palacios y Beier, 2015).

Los cambios en el comportamiento estacional del GC son causados por anomalías en estos mismos agentes forzantes y generalmente las anomalías interanuales más relevantes son causadas por eventos El Niño (Baumgartner y Christensen, 1985; Robles y Marinone, 1987; Marinone, 1988; Ripa y Marinone, 1989; Lavín *et al.*, 1997; Palacios-Hernández, 2001 y Palacios-Hernández *et al.*, 2006, Palacios y Beier, 2015), por ondas internas atrapadas a la costa o a través de conexiones remotas que modifican la meteorología y en consecuencia los flujos superficiales de momento, calor y humedad (Reyes y Lavín, 1997).

Los datos que se analizan en este trabajo, pertenecen a cuatro campañas (enero, marzo, junio de 1995 y marzo de 1996), en los que se utilizó un *Termosalinómetro* (se describe en la siguiente sección) para la toma de datos de temperatura, salinidad y densidad superficiales en la RNGC. Cabe mencionar que es la primera vez que se utiliza este dispositivo en la RNGC por lo que estos conjuntos de datos son inéditos y novedosos.

El interés del período temporal que cubren los datos, es que 1995 se ha demostrado que fue un año anómalo para las costas mexicanas del Pacífico (Palacios-Hernández, 2001; Palacios-Hernández, *et al.*, 2006; Palacios y Beier, 2015), más específicamente, durante el período de enero-marzo de 1995 hubo en la RNGC un evento anómalo, se dio una invasión de aguas cálidas subsuperficiales (a 200 m de profundidad) que al parecer afectó la circulación estacional típica de invierno. Este evento alteró a tal grado la estratificación de la columna de agua, que la circulación se restableció hasta el verano de 1995.



**Figura 1.** Batimetría y cuencas de la Región Norte del Golfo de California (RNGC; profundidades en metros).

El objetivo de este artículo es describir los campos espaciales de temperatura, salinidad y densidad en base a los datos de termosalinómetro (datos inéditos) y compararlos con los campos tomados puntualmente con CTD, posteriormente se analizará el comportamiento anómalo hidrográfico de la RNGC de enero a marzo de 1995 y se comparará con la hidrografía de la región en marzo de 1996 (condiciones normales).

## MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

### Descripción del Termosalinómetro

El Termosalinómetro SEACAT SBE 21 (*Figura 2*) es un dispositivo de alimentación externa, de captura de datos con alta precisión de temperatura y conductividad, diseñado para trabajar a bordo del barco (por bombeo de agua). Los datos son simultáneamente transmitidos a un puerto serial de computadora y almacenados en una memoria FLASH RAM de 8 Mb, permitiendo la adquisición en tiempo real así como su transferencia y almacenamiento de manera independiente. Una batería interna de litio en el termosalinómetro, da soporte al reloj del sistema de tiempo-real cuando la fuente principal está apagada.

El termosalinómetro está conectado por un cable a un dispositivo (PN 90158.1 –SEACAT/SEALOGGER RS-232) y caja con interfaz de navegación. La caja-interface funciona con corriente alterna y provee una corriente directa independiente, así como una interface óptica aislada (RS-232) para la transmisión de datos que además alimenta un receptor tipo NMEA 0183 para la comunicación con un GPS (Global System Position) y la incorporación de la información de navegación al archivo principal de datos.

La configuración geométrica interna de las células-electrodos (sensores de conductividad) de vidrio-platino es de crítica importancia, las células deben operar en un compartimiento de volumen limitado,

lleno de agua. Además, dicha configuración permite el uso de sistemas para eliminar la formación de organismos en los sensores de conductividad.

Para evitar corrosión, solo partes de plástico, titanio y las células-electrodo de vidrio-platino son expuestos al agua salada. Con el uso de válvulas se controla el flujo de agua marina y la entrada de agua dulce al sistema. El compartimiento de sensores puede ser removido con facilidad para su limpieza y calibración.

La base de PVC, dentro de la cual está montado el termosalinómetro, es taladrada para su fijación en el barco. El termosalinómetro posee conexiones PVC de 25.4 mm para la entrada de agua salada (para su uso normal) y para agua dulce (para su limpieza), tiene adaptadores hembras para la fijación a cualquier tipo de tubería.

Las órdenes pueden ser enviadas al termosalinómetro para desplegar, el estatus del aparato, la programación de adquisición de datos, los datos obtenidos hasta el momento, así como información de diagnóstico de la funcionalidad actual del aparato. El formato de salida de los datos (sin tratar) es hexadecimal.



**Figura 2.** El Termosalinómetro SEACAT (SBE 21).

El termosalinómetro muestrea utilizando una de las siguientes opciones:

- *Muestreo continuo a 4 Hz:* A intervalos preprogramados de 3-600 segundos, el termosalinómetro promedia todos los datos del intervalo correspondiente, guarda dicho valor promedio en la memoria interna y luego envía dicho valor a la computadora (a través de la caja-interface).
- *A intervalos preprogramados:* A intervalos preprogramados de 3-600 segundos, el termosalinómetro toma un dato, lo guarda en la memoria interna y lo manda a la computadora (a través de la caja-interface), ésta es la opción que se utilizó durante los cruceros.

### **Funcionamiento de las partes del termosalinómetro**

### *Sensores*

El termosalinómetro contiene los mismos componentes en los sensores (termistor protegido contra presión y 3 electrodos, 2 terminales, células de boro-silicio) anteriormente usados por Sea-Bird en los sensores SBE 3 y SBE 4 y en el diseño original del SEACAT. La versión usada del termosalinómetro difiere de las versiones anteriores del mismo, en que usa dos canales independientes para digitalizar la temperatura y conductividad al mismo tiempo.

### *Interface de los sensores*

La temperatura es obtenida induciendo una corriente alterna a un circuito en puente que contiene un termistor ultra-estable con una tasa de calibración menor a  $0.002^{\circ}\text{C}$  por año. Los otros elementos en el circuito-puente son resistores tipo VISHAY de precisión. Un convertidor (A/D) de 24-bits digitaliza la señal de salida del puente. La inducción de corriente evita errores provocados por variaciones de voltaje, pérdidas de corriente y errores de referencia. La conductividad es obtenida usando un ultra preciso puente oscilante (Wein-Bridge) para generar una frecuencia de salida que responde a los cambios de conductividad. Los cuatro canales externos de voltaje directo (de 0 a 5 volts) son asistidos por amplificadores con una resistencia de  $50\text{ K}\Omega$  y son digitalizados con un convertidor de 12-bits (A/D).

### *Reloj de tiempo-real*

Para minimizar la energía utilizada y aumentar la precisión del reloj, un cristal compensador de oscilación térmica (TCXO) se usa como el generador de frecuencias del reloj de tiempo-real, el TCXO tiene una precisión de  $\pm 1$  minuto por año (en el rango de  $0^{\circ}\text{C}$  a  $40^{\circ}\text{C}$  )

### *Fuente de poder*

La fuente de poder (PCB) contiene tres baterías de litio conectadas en serie, estas baterías son capaces de alimentar todas las funciones del termosalinómetro y permiten apagar el aparato de manera correcta si se suscita una falla o interrupción de la fuente de poder externa. La fuente de poder externa puede ser interrumpida sin perturbar la memoria o el reloj de tiempo real.

## **Especificaciones del termosalinómetro**

Las Especificaciones del termosalinómetro se muestran en el *Cuadro 1*, incluido el sensor de temperatura secundario SBE 38 (opcional). Las Dimensiones del aparato se muestran en la *Figura 3*.

## **Configuración y funcionamiento del termosalinómetro**

Montado cerca de las tuberías de entrada de agua de mar (a 3 metros de profundidad) del Barco, por el termosalinómetro fluye continuamente (*Figura 4*) agua de mar a aproximadamente  $1\text{ litro seg}^{-1}$  que es muestreada por el compartimiento de sensores para después ser devuelta al mar. Adjunto a cada dato, van la latitud y longitud (obtenida por GPS) del barco en ése momento, de modo que mientras el barco se mueve, el termosalinómetro muestrea y regresa un barrido prácticamente continuo de temperatura y salinidad a lo largo del transecto recorrido. Los datos son almacenados en una memoria y transmitidos a un puerto serial de computadora, la recepción de datos así como los ajustes al termosalinómetro se hacen por medio del software asociado al producto, SBE Data Processing, con la opción SEASAVE.

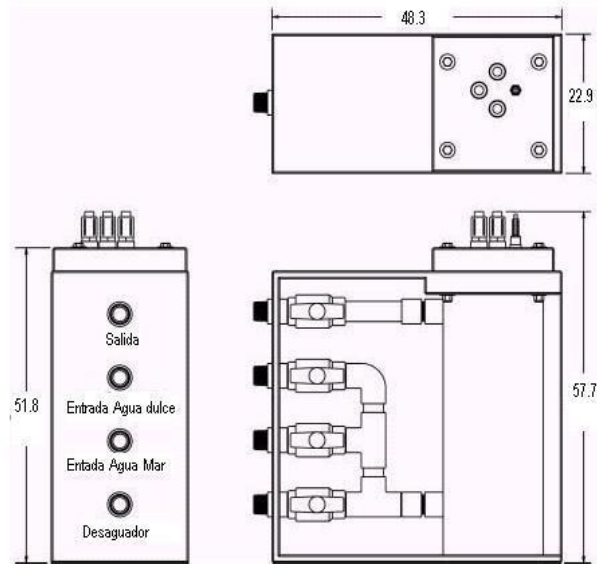
**Cuadro 1. Especificaciones del termosalinómetro**

	Conductividad (S/M)	Temperatura Sensor 1 ( <sup>0</sup> C)	Temperatura Sensor 2 ( <sup>0</sup> C)
<b>Rango de Medición</b>	0 a 7	-5 a +35	-5 a +35
<b>Precisión inicial</b>	0.001	0.01	0.001
<b>Resolución</b>	0.0001	0.001	0.0003
<b>Calibración</b>	0 a 7, calibración física de 1.4 a 6, más 0 (conductividad del aire).	+1 a +32	-1 a +32
<b>Memoria Almacenado de datos</b>	Memoria FLASH no volátil de 8 Mb. <b>Parámetro Registrado      Bites/Muestra</b> Temperatura y Conductividad      4(2 por cada uno) Voltaje externo de cada uno      2 SBE 38 o secundario del SBE 3      3		
<b>Reloj de tiempo-real</b>	32, 768 Hz TCXO con precisión de $\pm 1$ minuto por año.		
<b>Ritmo de muestreo</b>	<b>Sin sensor secundario de temperatura</b> 1 muestra/ 1 muestra a 3 segundos/ 600 segundos <b>Con sensor secundario de temperatura</b> 1 muestra/ 1 muestra a 4 segundos/ 600 segundos El ritmo de muestreo es incrementado a pasos de 1 segundo		
<b>Materiales</b>	PVC envolviendo, contenedor de agua, tuberías y válvulas; tapa de titanio.		
<b>Flujo recomendado</b>	1 litro/segundo (15.8 galones/minuto)		
<b>Sensores auxiliares de voltaje</b>	Poder de salida auxiliar: hasta 500 mA de 10.5 –11 VDC Resolución del A/D: 12 bits Rango : 0 – 5 VDC		
<b>Presión máxima segura para operar</b>	34.5 decibares (50 psi)		
<b>Peso</b>	41 Kg (90 lbs)		

## Procesado de datos

### *Sobre los datos*

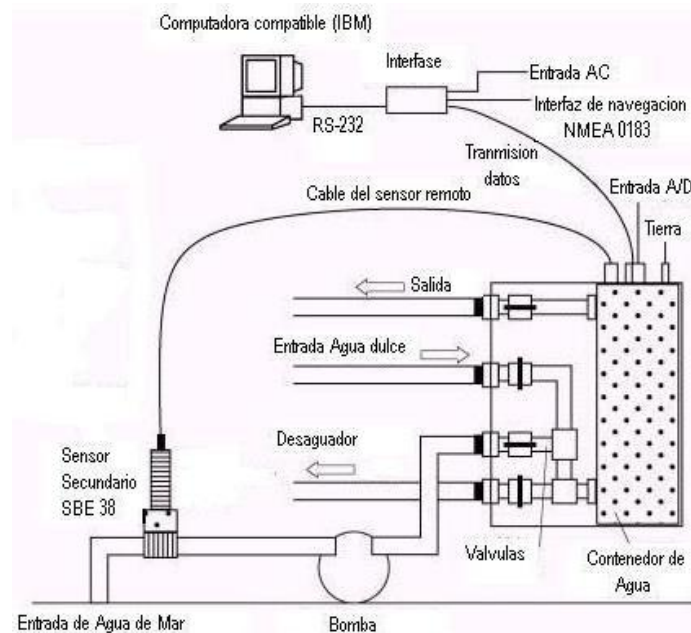
Los datos utilizados en este trabajo son parte de un programa observacional llevado a cabo entre diciembre de 1994 y marzo de 1996 en la RNGC. Los detalles acerca de los muestreos fueron reportados en (Palacios-Hernández *et al.*, 1997), los detalles y resultados del resto de estudios realizados durante este programa (a excepción del termosalinómetro) fueron reportados en (Palacios-Hernández, 2001). Cuatro cruceros o campañas oceanográficas fueron utilizadas, todas ellas realizadas a bordo del B/O Francisco de Ulloa (*Figura6*).



**Figura 3.** Dimensiones del termosalinómetro (longitudes en centímetros).

#### *Procesado y control de calidad de datos*

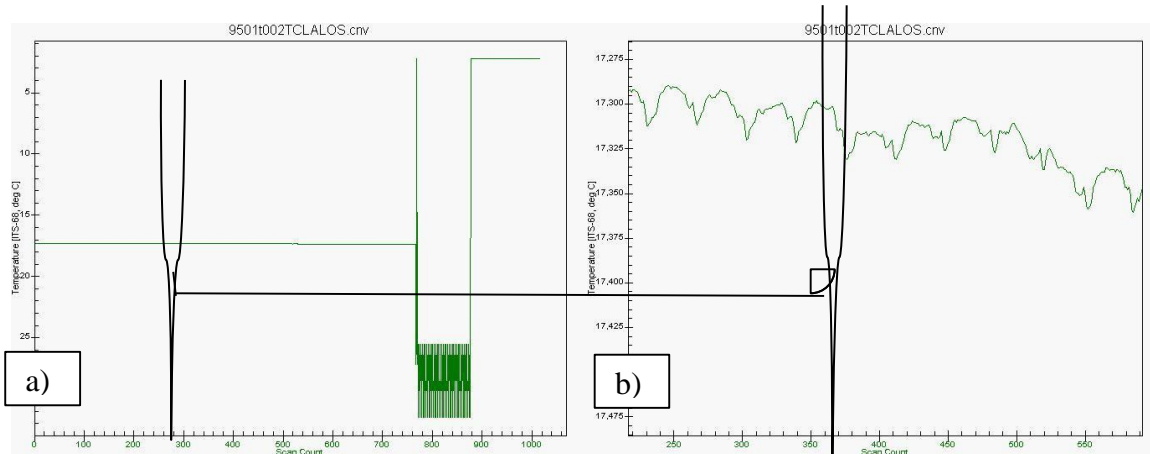
El formato en el que el termosalinómetro guarda datos es hexadecimal (.hex), por lo que primero hay que convertir todos los archivos a formato ASCII (.cnv), utilizando el software asociado al producto SBE Data Processing, con la opción Data Conversion, que regresa los datos (en matrices) con unidades reconocibles de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), salinidad (ups), densidad ( $\sigma_t$ ,  $\text{Kg}/\text{m}^3$ ), latitud (grados) y longitud (grados).



**Figura 4.** Configuración del termosalinómetro en uso, incluido sensor secundario SBE 38.



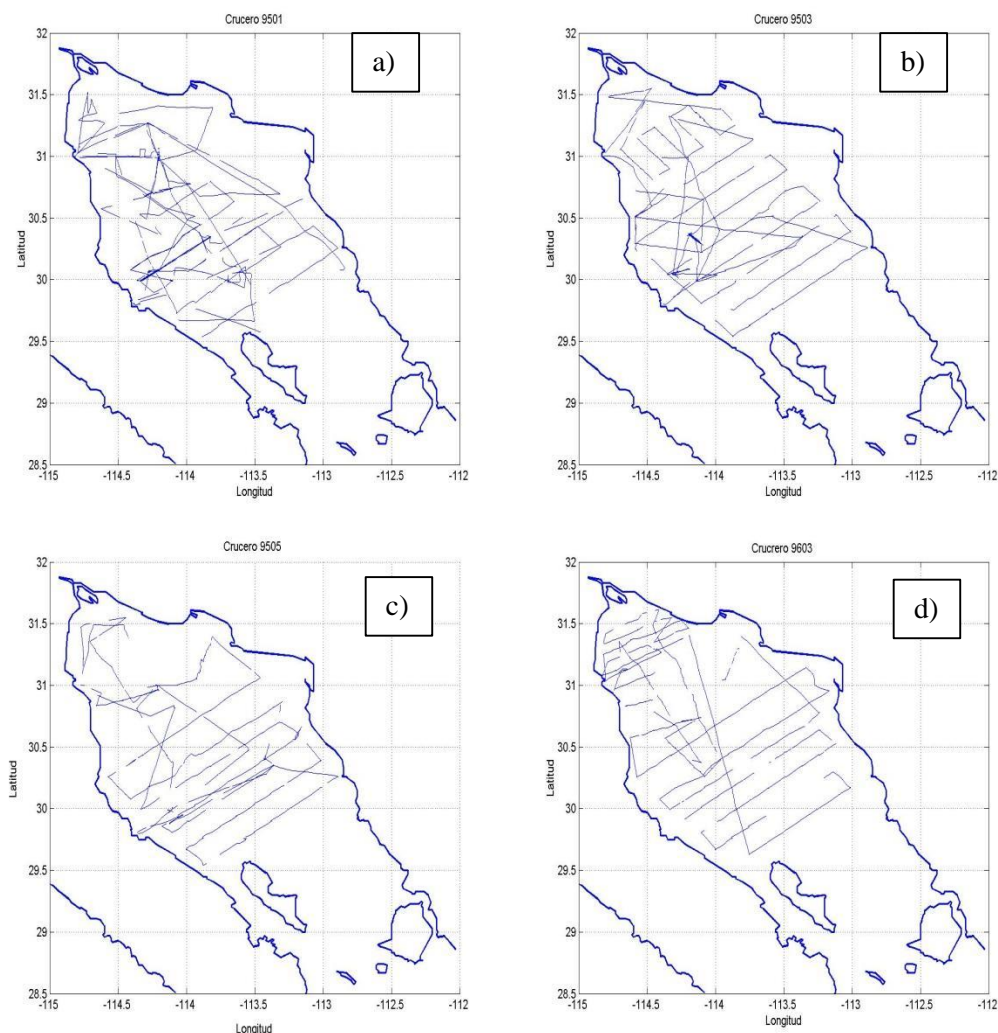
Luego se detecta archivo por archivo datos fuera de los valores normales, esto se hizo por inspección visual (cuando era posible) o graficando los valores de las cantidades físicas presentes, contra el número de datos por archivo, para posteriormente buscar y eliminar la presencia de picos que salieran del comportamiento promedio de la variable tratada (*Figura 5*).



**Figura 5.** Comparación entre dos archivos (de 1000 datos) de temperatura medidos por el termosalinómetro, nótese como solo una porción de datos del archivo original (a, archivo sin tratar), contiene información útil (b; archivo tratado); temperatura (°C ) en la escala vertical, numero de datos en la escala horizontal.

### Graficado de posición geográfica de los datos

En este punto se obtuvo un solo archivo (del orden de 100,000 datos) para cada crucero (cada mes) y se graficaron las posiciones del barco (lat. vs. long.) sobre un mapa prefabricado de la RNGC, esto se realizó con la intención de observar la distribución espacial de los datos a través de la región. Los gráficos obtenidos se muestran en la *Figura 6*.



**Figura 6.** Transectos recorridos por el B/O Francisco de Ulloa: a) Crucero 9501, b) Crucero 9503, c) Crucero 9506, d) Crucero 9603.

### El error lineal del termosalinómetro

Cuando se obtuvieron los campos escalares de temperatura, salinidad y densidad para los meses citados y se compararon con los de CTD (obtenidos por el mismo método), se observó que los medidos por el termosalinómetro diferían de los del CTD por aproximadamente una unidad; debido a que durante la campaña, el CTD estaba recién calibrado y a que llevaba una roseta con botellas para extracción de muestras de agua y análisis en laboratorio, se le dio más peso a los campos medidos por el CTD. Por lo anterior se calcularon las medias de la temperatura, salinidad y densidad para cada mes con el CTD y con el termosalinómetro, y de acuerdo con la diferencia entre estos números para cada mes ( $< 1$  unidad), se le sumó o restó esa cantidad a los campos del termosalinómetro, obteniéndose de esa manera los campos escalares que se presentan en este trabajo.

Lo anterior se encuentra indicado en el manual del termosalinómetro (SBE 21), donde se comenta que los valores medidos por el aparato pueden, en caso de haber presencia de errores, tratarse como lineales, es decir, sumar o sustraer a cada archivo de datos (mes) la misma cantidad; esto se puede verificar en el

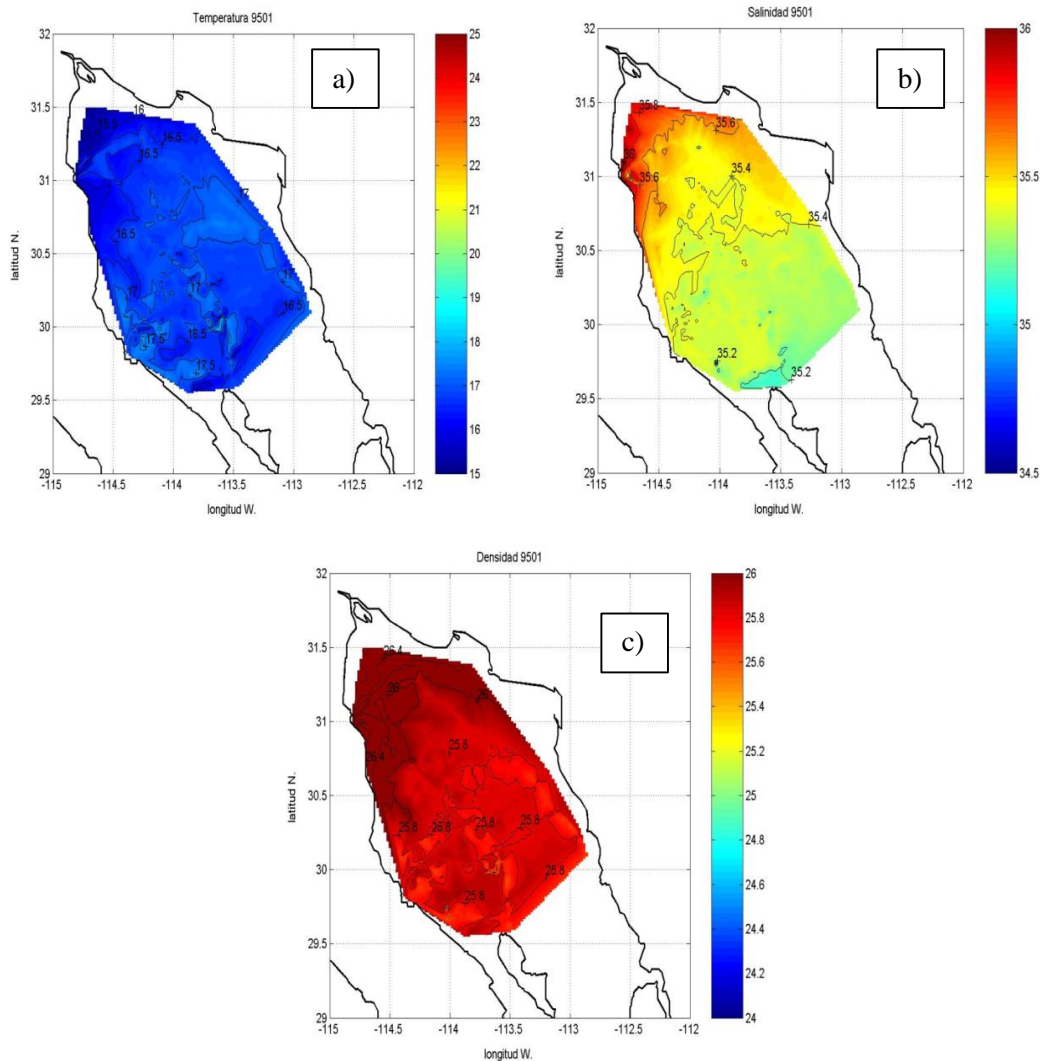
comportamiento casi lineal que presentan los datos de la diferencia de medias para cada mes y para cada magnitud medida.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se muestran las distribuciones espaciales de temperatura, salinidad y densidad obtenidas para los distintos cruceros.

### Enero de 1995

En enero de 1995 las temperaturas dominantes fueron de 16.5°C a 17.0°C, el campo de temperatura (*Figura 7a*) muestra una distribución casi homogénea en la RNGC, con temperaturas que van desde los 15.5°C hasta los 17.5°C, destacan algunas estructuras de aguas relativamente tibias como la ubicada entre 30.5°-31.0° N y 113.0°-114.0° O. La salinidad (*Figura 7b*) muestra claramente cuatro estructuras de salinidad creciente, que se extienden a todo el ancho de la RNGC desde el sur hasta la zona del Alto Golfo, en el que se aprecia marcadamente un frente halino, en general los valores de salinidad van desde 35.2 ups, hasta 36.0 ups.



**Figura 7.** Campos para enero de 1995: a) Temperatura (° C), b) Salinidad (ups), c) Densidad ( $\sigma_t$ ).

La densidad (*Figura 7c*) es similar al de temperatura, con un comportamiento homogéneo, los valores van desde 25.8 en la zona central de la RNGC hasta 26.4 en el Alto Golfo, existe una estructura alargada y delgada que se extiende a todo el ancho del golfo desde el norte de isla Ángel de la Guarda hasta la costa del continente, para luego ascender a lo largo de la costa de Sonora, con valores de 25.6 y 25.8.

En términos generales enero de 1995 muestra una distribución espacial de temperaturas y densidades homogéneas, a excepción del Alto Golfo, en donde en todos los campos se observa un marcado frente termo-halino.

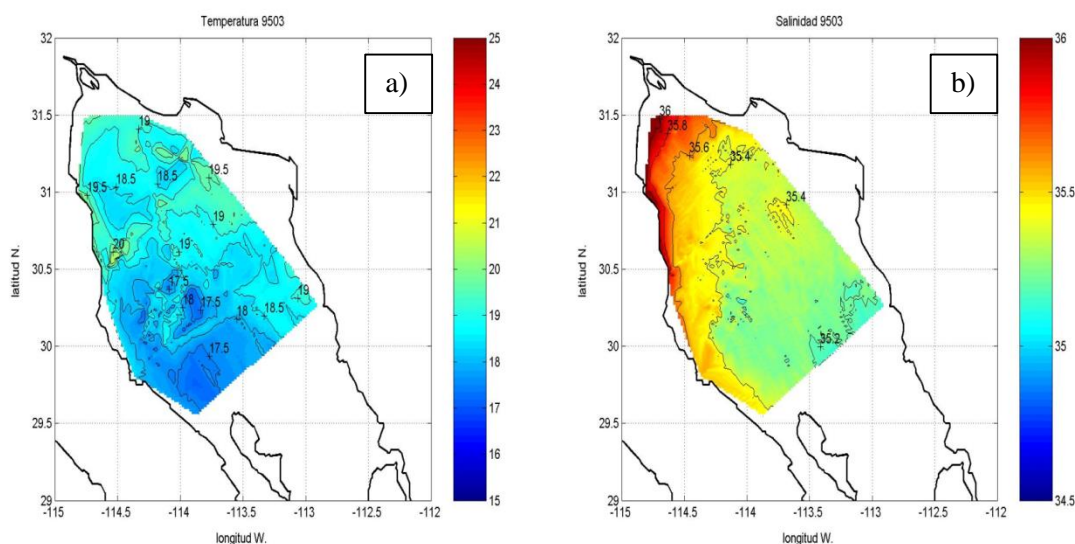
### Marzo de 1995

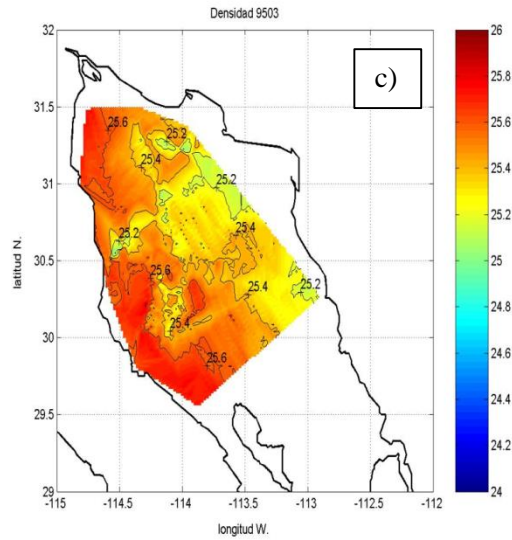
En marzo de 1995 el campo de temperatura (*Figura 8a*) muestra una distribución algo irregular de temperaturas, que van de 17.5°C a 20.0°C, con dos regiones relativamente frías, ubicadas una, de 29.6°-30.5° N y 113.25°-114.5° O, y la otra más pequeña de 30.0°-30.5° N y 113.6°-114.0° O. Se observan frentes de temperatura alta alrededor de toda la costa del Alto Golfo (siguiendo la isobata de 20 metros), donde se registra la temperatura máxima (20.0°C) y zonas aledañas con temperaturas entre 19.0°C y 20.0°C.

En la salinidad (*Figura 8b*) se aprecian cuatro regiones diferentes, iniciando en el sureste de la RNGC, de 29.8°-30.25° N y 113.0°-113.5° O, se localizan dos estructuras con valores de 35.2 ups. Abarcando casi la totalidad de la RNGC, se observa una gran extensión con salinidad entre 35.2 ups y 35.4 ups que parece estar más cargada a la costa este.

El campo de densidad (*Figura 8c*) presenta densidades de  $25.2 \sigma_t$  a  $25.6 \sigma_t$ , se distingue una estructura ubicada de 30.0°-31.2° N y de 113.0°-114.2° O, con valores de densidad relativamente bajos de  $25.2 \sigma_t$  a  $25.4 \sigma_t$ . En el sur de la RNGC, hacia la costa de Baja California, se encuentra una estructura alargada con densidad de  $25.6 \sigma_t$ , su localización es de 29.6°-30.4° N y 113.7°-114.5° O.

En términos generales, marzo de 1995 muestra una distribución espacial parecida para los campos de temperatura y densidad. El campo de salinidad está formado por estructuras de salinidad creciente que se extienden desde el sur hasta el norte de la RNGC, observándose en la zona del Alto Golfo un frente halino.

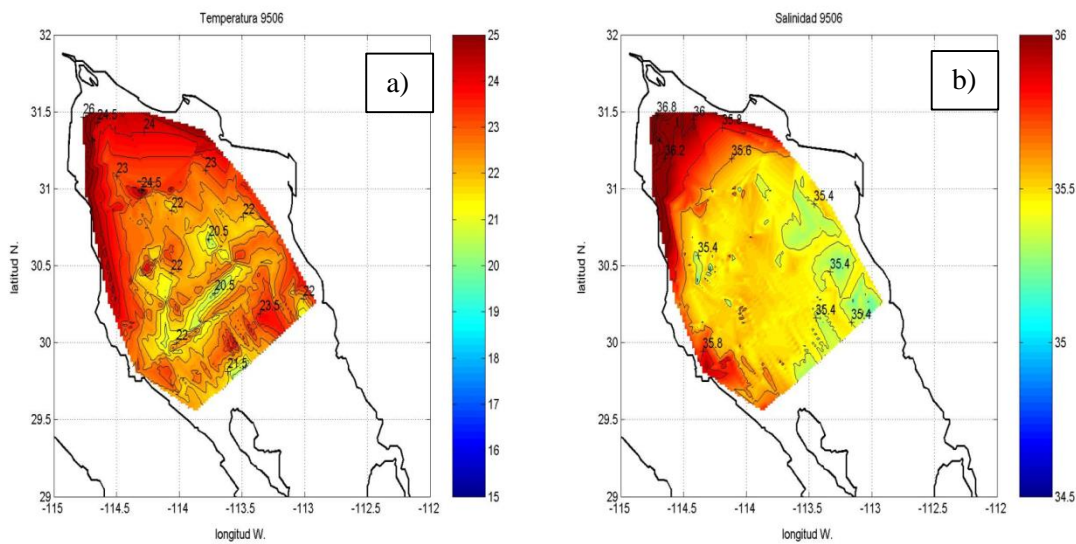


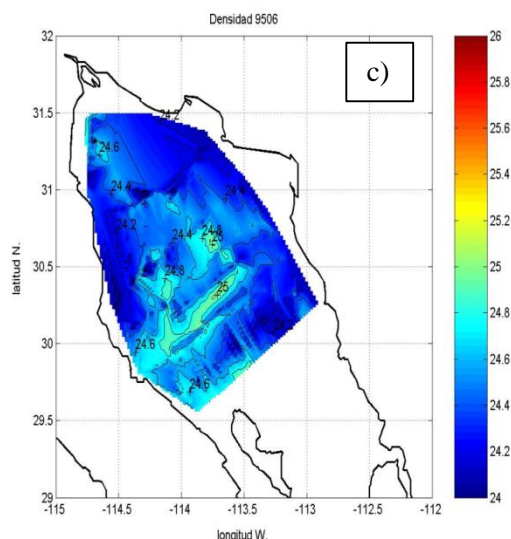


**Figura 8.** Campos para marzo de 1995: a) Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), b) Salinidad (ups), c) Densidad ( $\sigma_t$ ).

### Junio de 1995

En junio de 1995, el campo de temperatura (*Figura 9a*) muestra una distribución dividida principalmente en tres zonas, con temperaturas que van desde 20.5 $^{\circ}\text{C}$  a 26.0 $^{\circ}\text{C}$ ; la primera de ellas una estructura alargada, ubicada de 29.8 $^{\circ}$ -30.5 $^{\circ}$  N y 113.5 $^{\circ}$ -114.25 $^{\circ}$  O, contiene dos núcleos relativamente fríos de temperaturas entre 20.5 $^{\circ}\text{C}$  y 22.0 $^{\circ}\text{C}$ .





**Figura 9.** Campos para junio de 1995: a) Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), b) Salinidad (ups), c) Densidad ( $\sigma_t$ ).

El campo de salinidad (*Figura 9b*) muestra un comportamiento formado por estructuras de salinidad creciente, que se extienden desde el sureste hasta el Alto Golfo. Ocupando todo el centro de la RNGC ( $29.7^{\circ}$ - $31.25^{\circ}$  N y  $113.0^{\circ}$ - $114.5^{\circ}$  O), se encuentra un gran cuerpo de agua caracterizado por tener valores entre  $35.4$  ups y  $35.6$  ups, que contiene algunas zonas aisladas (sobre la costa de Sonora) con valores de  $35.4$  ups.

El campo de densidad (*Figura 9c*) muestra valores que van desde  $24.2 \sigma_t$  hasta  $25.0 \sigma_t$ . Existe una distribución uniforme de densidades prácticamente en todas las regiones costeras, con valores entre  $24.2 \sigma_t$  y  $24.4 \sigma_t$ .

El comportamiento general de esta campaña oceanográfica muestra una distribución espacial muy parecida en el caso de los campos de temperatura y densidad, repitiéndose las mismas estructuras. La salinidad se distribuye en estructuras crecientes de sureste a noroeste, las zonas de baja salinidad parecen estar hacia la costa de Sonora y la zona de máxima salinidad se localiza en un frente halino intenso en el Alto Golfo.

### Marzo de 1996

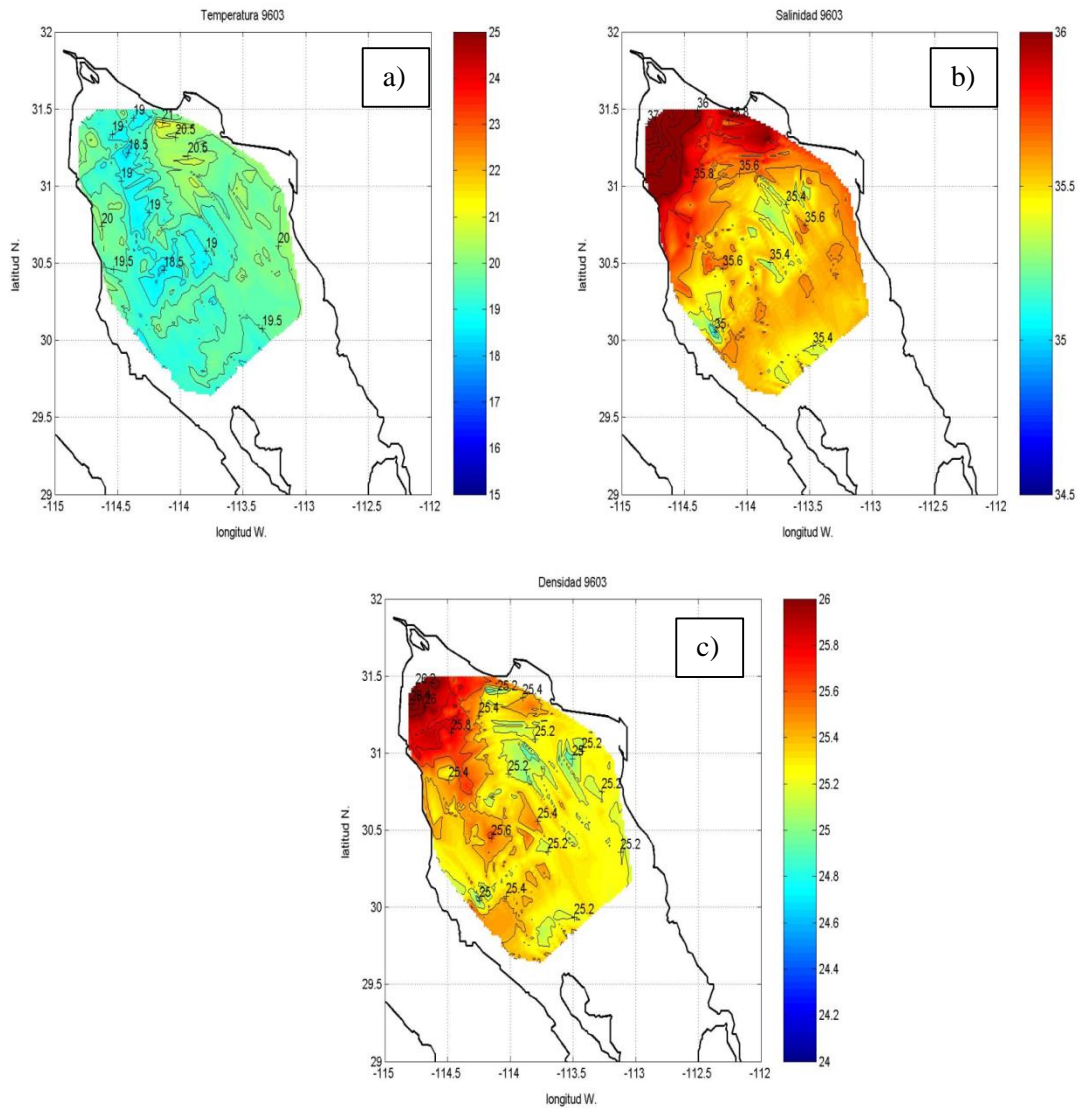
En marzo de 1996 el campo de temperatura (*Figura 10a*) muestra un comportamiento general de temperaturas entre los  $19.0^{\circ}\text{C}$  y  $19.5^{\circ}\text{C}$  con algunas zonas relativamente frías ( $18.5^{\circ}\text{C}$ ) y algunas relativamente tibias ( $20.5^{\circ}\text{C}$  y  $21.0^{\circ}\text{C}$ ).

El campo de salinidad (*Figura 10b*) muestra la presencia de una estructura amplia que domina toda la zona central de la RNGC, con valores de salinidad de  $35.4$  ups a  $36.6$  ups.

El campo de densidad (*Figura 10c*) muestra una distribución algo irregular, debido a la presencia de multitud de pequeñas regiones aisladas, sin embargo, se distinguen cuatro estructuras definidas. En términos generales la distribución espacial es muy parecida para los campos de temperatura y densidad



mientras que en la salinidad se encuentran estructuras aisladas de relativa baja salinidad, siendo el resto de la RNGC de distribución homogénea.



**Figura 10.** Campos para marzo de 1996: a) Temperatura ( $^{\circ}$  C), b) Salinidad (ups), c) Densidad ( $\sigma_t$ ).

### Comparación con observaciones de CTD

A continuación se comparan los campos obtenidos con termosalinómetro con los campos de CTD, los cuales se tiene la certeza de que son representativos de las condiciones hidrográficas reales, ya que para estas campañas el CTD estaba debidamente calibrado de fábrica.

### Enero de 1995

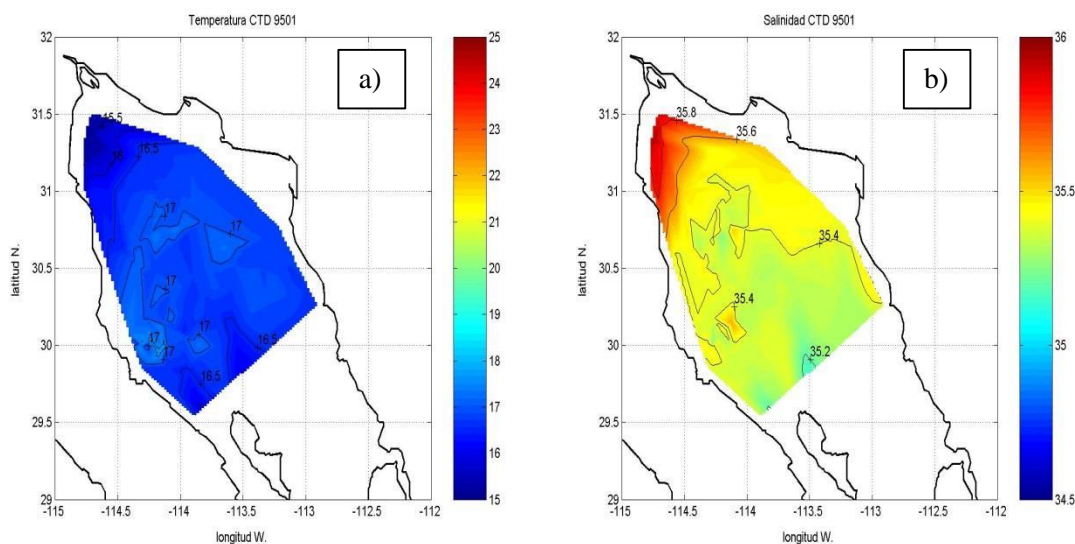
Los campos de temperatura del termosalinómetro y CTD (*Figuras 7a y 11a*) para enero de 1995 son similares y muestran que la temperatura en la RNGC fue casi homogénea, coincidiendo en los rangos de 15.5°C a 17.0°C. Las estructuras más importantes para este mes se visualizan en ambos campos, la

presencia de multitud de estructuras de menor tamaño en el campo del termosalinómetro, se debe a la alta resolución del aparato y no se consideran de importancia mayor en la hidrografía de la región. La temperatura promedio es de 16.7°C, lo que representa una anomalía de aproximadamente +1.0°C respecto al comportamiento típico estacional en la RNGC y un aumento abrupto de aproximadamente 3.0°C respecto al comportamiento en el mes anterior (Lavín, *et al.*, 2003).

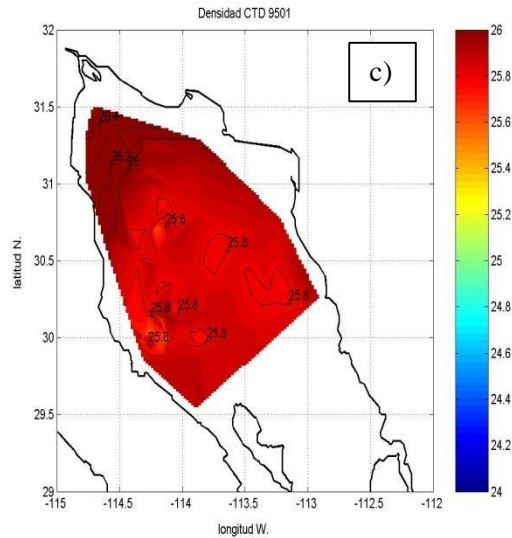
El campo de salinidad medido por el termosalinómetro para enero de 1995 se muestra prácticamente igual al medido con el CTD (*Figuras 7b y 11b*), se observa que la salinidad aumenta de sur a norte de 35.2 ups a 35.8 ups, comparado con las condiciones de diciembre, el frente que se localizaba en el Alto Golfo, ha perdido intensidad.

En los campos de densidad (*Figuras 7c y 11c*) se observa cierta similitud, en ambos se localiza un frente de relativa alta densidad en el Alto Golfo y un comportamiento homogéneo en el resto de la RNGC, esto corresponde al mismo comportamiento para la densidad en diciembre de 1994 (Palacios-Hernández, 2001; Palacios y Beier, 2015), pero con menor intensidad. Cabe señalar que en el campo del termosalinómetro hay una estructura alargada y delgada que se extiende a todo el ancho del golfo, desde el norte de Isla Ángel de la Guarda hasta la costa del continente, para luego ascender a lo largo de la costa de Sonora y finalmente desviarse un poco hacia la zona centro, que no aparece en el campo de CTD, ni parece tener una estructura análoga, esto se puede deber a que la cantidad de datos tomados por el termosalinómetro en esa parte del transecto fue mayor comparada con la de CTD.

Los campos observados en enero de 1995, son producto de una anomalía intensa en la RNGC, es decir, de diciembre de 1994 a enero de 1995, (1 mes) la hidrografía en general en la RNGC cambió radicalmente, las condiciones observadas en las *Figuras 11a, b y c*, se atribuyen a la combinación de factores externos e internos: una gran formación de agua en el Alto Golfo en fechas muy tempranas (inicios de diciembre), y el arribo de una anomalía baroclínica de origen externo, la cual inyectó calor a la RNGC, cambió el patrón estacional, induciendo un giro ciclónico (con duración aproximada de 15 días), el cual a su vez (por aporte de aguas subsuperficiales cálidas) provocó la disminución de la estratificación llegando finalmente a la destrucción del mismo (Palacios-Hernández, 2001; Palacios-Hernández *et al.*, 2006; Palacios y Beier, 2015).







**Figura 11.** Campos de CTD para enero de 1995: a) Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), b) Salinidad (ups) c) Densidad ( $\sigma_t$ ).

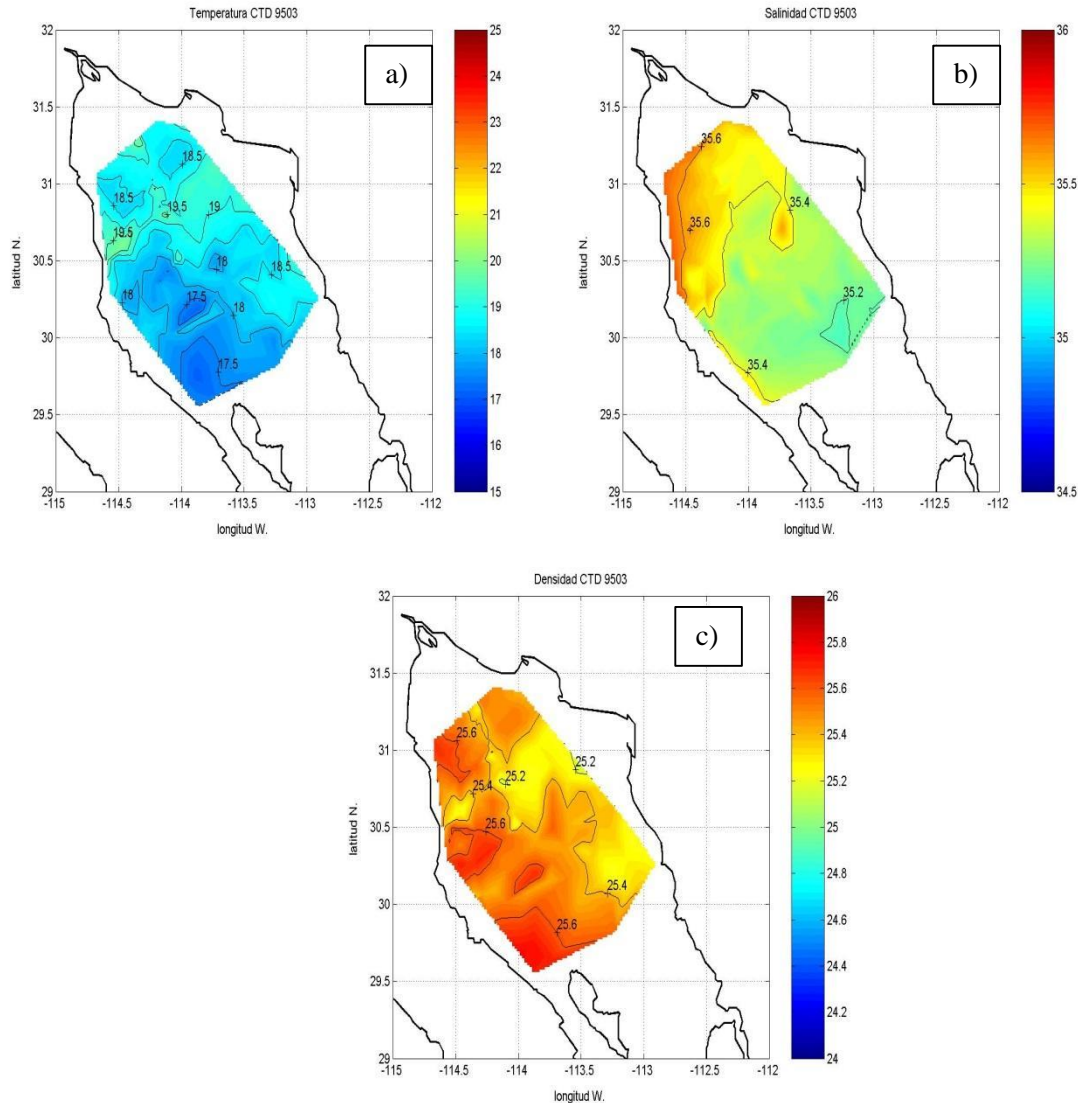
### Marzo de 1995

A dos meses de la anomalía observada en enero de 1995, la hidrografía superficial ha mostrado cambios, mientras que en aguas subsuperficiales, las condiciones anómalas continúan (Palacios-Hernández *et al.*, 2006; Palacios y Beier, 2015).

La temperatura promedio para este mes fue de  $18.5^{\circ}\text{C}$ ,  $1.5^{\circ}\text{C}$  mayor que en enero de 1995, esto es debido a que el balance anual de calor induce a que la superficie del mar se caliente entre febrero y julio (Romero-Centeno, 1995; Castro, Lavín y Ripa, 1994; Berón-Vera y Ripa, 2000), aun así, la anomalía de diciembre-enero hace que el comportamiento de este mes sea atípico, por cerca de  $+0.5^{\circ}\text{C}$ ; es decir, las condiciones en la RNGC regresan a la normalidad. Esto se puede observar en los campos de temperatura del termosalinómetro y CTD (*Figuras 8a y 12a*), los cuales muestran un gran parecido, coincidiendo tanto en el frente en la zona del Alto Golfo como en la estructura de baja temperatura en la zona sur, la cual posee valores de temperatura de  $17.5^{\circ}\text{C}$  a  $18.0^{\circ}\text{C}$  (más cercanos a la temperatura normal de la RNGC, Lavín, Palacios-Hernández y Cabrera, 2003; Palacios y Beier, 2015). Las condiciones observadas en los campos de temperatura superficial y en general, sobre cualquier campo hidrográfico superficial (muestreo  $< 10\text{ m}$ ), se deben principalmente a la influencia de la atmósfera y batimetría, ya que los giros estacionales (si los hay) afectan la hidrografía por debajo de los 15 metros de profundidad (Palacios-Hernández, 2002; Palacios y Beier, 2015).

El frente en el Alto Golfo sigue la isobata de 20 m, esto es indicativo de que la región está bien mezclada en la vertical, de hecho, en la región del Alto Golfo es común esta característica, por lo somera que es y la intensa mezcla por marea, lo que da lugar a una zona de formación de masas de agua (Durazo, 1989).

Los campos de salinidad para el mismo período (*Figuras 8b y 12b*) muestran semejanza, coincidiendo en la localización y extensión de las principales estructuras de salinidades tanto altas, como bajas.



**Figura 12.** Campos de CTD para marzo de 1995: a) Temperatura ( $^{\circ}$  C), b) Salinidad (ups) c) Densidad ( $\sigma_t$ )

Los campos de densidad (*Figuras 8c y 12c*) muestran un parecido notable y una correspondencia con los campos de temperatura y salinidad, como era de esperarse. Zonas de relativa baja temperatura se muestran en el campo como estructuras de alta densidad, a excepción del Alto Golfo, donde la alta salinidad predomina sobre la alta temperatura en lo referente a la aparición de una estructura de alta

densidad, en el resto del Golfo los centros de baja densidad ( $25.2^{\sigma_t}$ ) se deben a zonas de alta temperatura.

Los campos de temperatura medidos con termosalinómetro en junio de 1995 (*Figuras 9a y 14a*) concuerdan bien con los observados con CTD, el rango de variación que se observa con el termosalinómetro es muy amplio, de 20.5°C en la zona central de la RNGC hasta 26.0°C en el Alto Golfo, el CTD registra un rango un poco menor, de 20.5°C a 24.5°C, la diferencia se debe a que la separación entre las estaciones de CTD es mayor que la utilizada con el termosalinómetro, sumado a que los transectos del termosalinómetro llegan a acercarse más al delta del Río Colorado que los del CTD, en donde

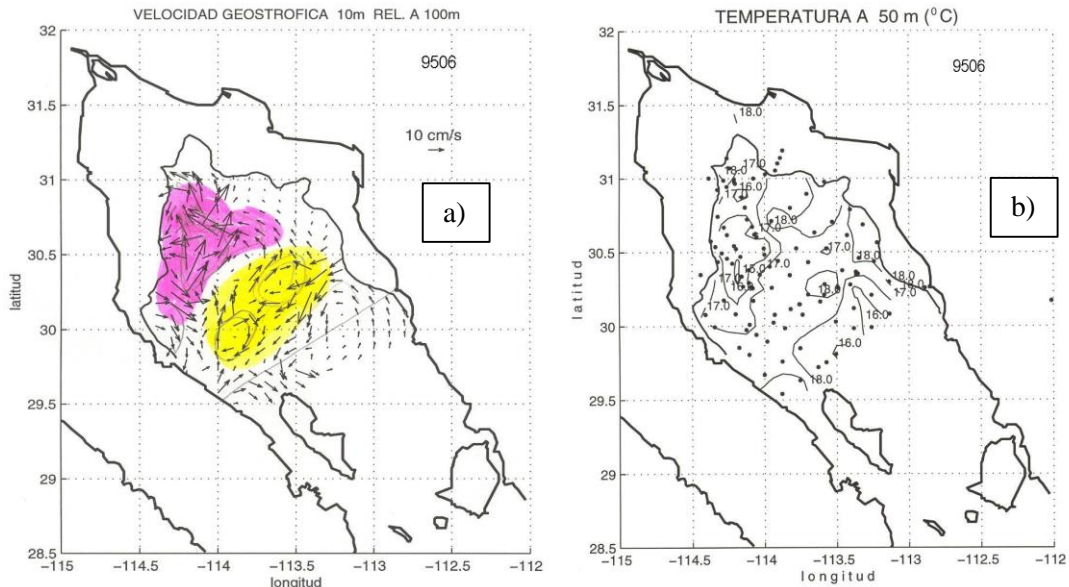
se ubica el frente térmico. Imágenes infrarrojas de satélite que cubrieron la anomalía de enero-marzo de 1995, muestran que para abril de 1995 la RNGC había vuelto a la normalidad (Palacios-Hernández, 2001), por lo que es de esperarse que las condiciones hidrográficas superficiales para el presente mes, sean o estén cercanas a la normalidad. El promedio de temperatura para este mes (22.6°C) indica que las condiciones presentan una anomalía negativa menor de 1.0°C (Lavín, Palacios-Hernández y Cabrera, 2003; Palacios y Beier, 2015).

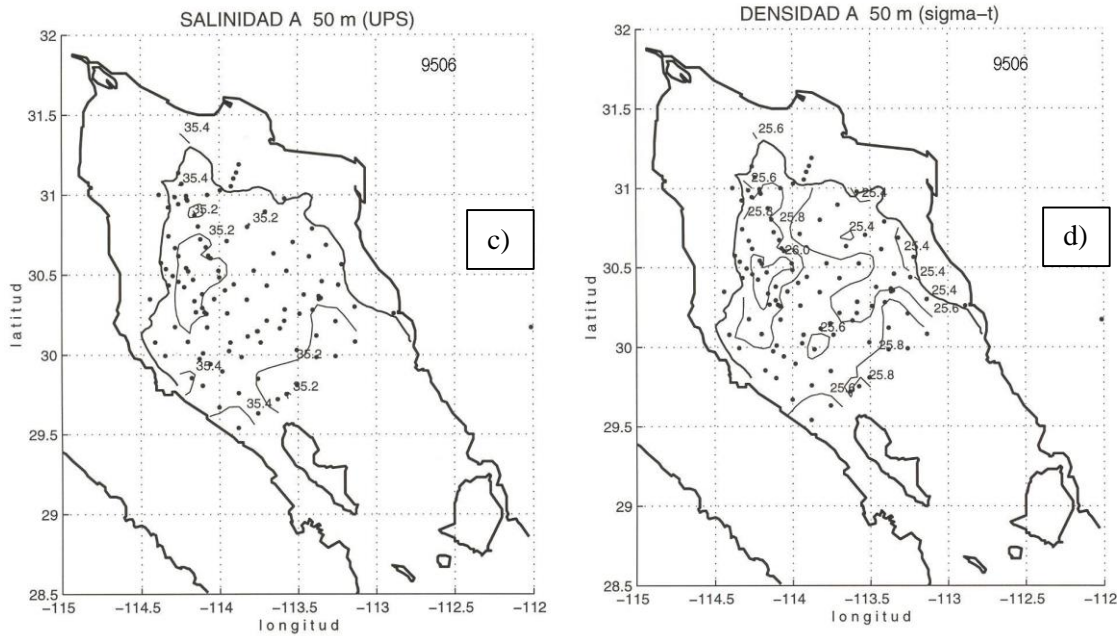
### Junio de 1995

Los campos de salinidad para junio de 1995 (*Figuras 9b y 14b*) son similares entre el CTD y termosalinómetro, la mayor extensión abarcada por los transectos del termosalinómetro, permite observar valores altos de salinidad (hasta 36.8 ups) en el Alto Golfo y bajos sobre la costa de Sonora (35.4 ups). La presencia del marcado frente halino desde el Alto Golfo hasta las costas de Baja California (siguiendo la isobata de 40 m), es una consecuencia del calentamiento de verano, que afecta más a las regiones someras, produciendo una mayor evaporación y aumento de salinidad superficial, de hecho, los niveles de evaporación (1 metro por año), en la RNGC son máximos en la transición de verano-otoño (Bray, 1988).

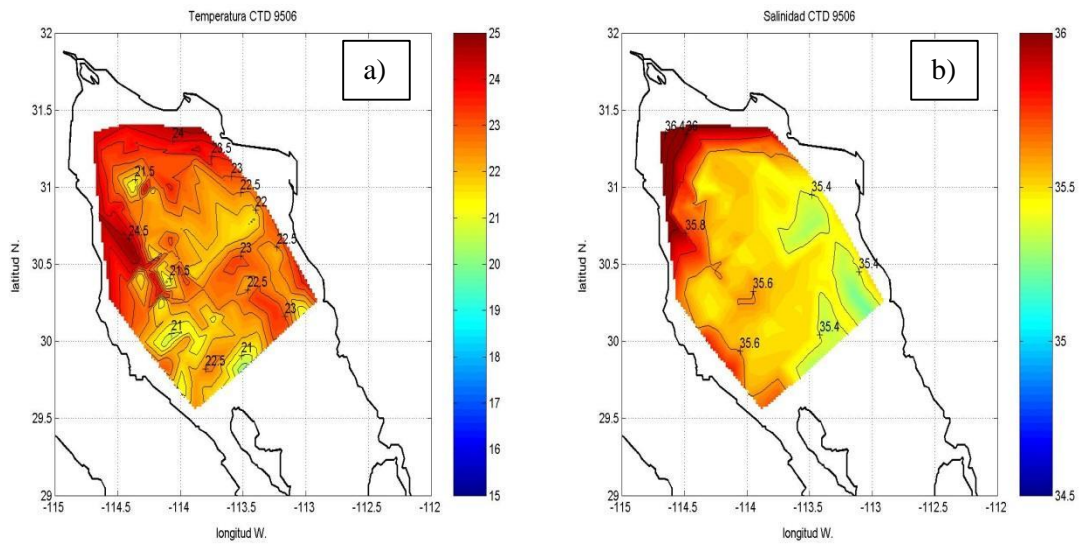
Los campos de densidad entre los aparatos, para el mismo período, (*Figuras 9c y 14c*) muestran parecido, resalta en ambos campos el centro de alta densidad ubicado en la región central de la RNGC, con valores

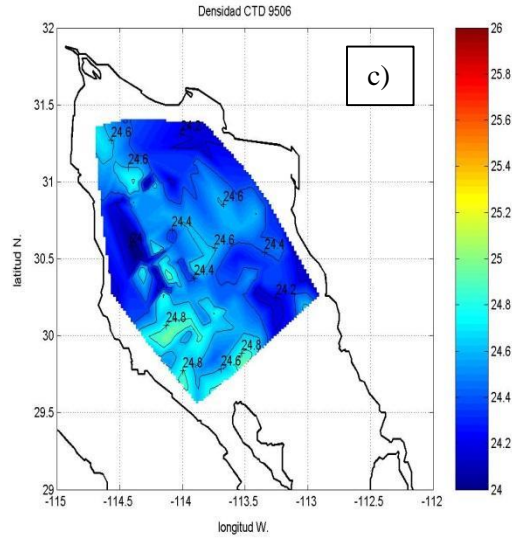
de hasta  $25 \sigma_t$ , provocado por el centro de baja temperatura ubicado en la misma región; en el Alto Golfo, en la zona más cercana a el delta del Río Colorado, se observan características similares a las de la región central, debido, en este caso, a las altas salinidades registradas en esa zona (36.8 ups). Las estructuras de densidad baja que aparecen en el resto del golfo están principalmente afectadas por las regiones de temperatura alta que se observan en la *Figura 9a*.





**Figura 13.** Diversos campos para junio de 1995, a) Corrientes geostroficas, b) Campo de temperatura (50 metros), c) Campo de salinidad (50 metros), d) Campo de densidad (50 metros).





**Figura 14.** Campos de CTD para junio de 1995: a) Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), b) Salinidad (ups) y c) Densidad ( $\sigma_t$ ).

La hidrografía superficial de la RNGC responde a forzamientos atmosféricos (como lo muestran las figuras anteriores), por otro lado, la hidrografía subsuperficial indica que la RNGC sigue siendo afectada por el evento de enero-marzo de 1995, ya que estacionalmente, en mayo-junio debe de observarse la transición del giro anticiclónico, a ciclónico, sin embargo el cálculo de corrientes geostróficas, muestra que no hay un patrón definido de circulación (*Figura 15a*), así mismo, es de esperarse para las fechas en que se llevó a cabo este crucero, la presencia bien definida del giro ciclónico (Palacios-Hernández, 2001), pero éste no fue el caso, la hidrografía subsuperficial así lo confirma (*Figura 13b, c, d*), lo anterior sugiere que la anomalía de enero-marzo de 1995 sigue afectando la circulación e hidrografía subsuperficial hasta junio de 1995 (seis meses después).

Es sabido que la transición entre los regímenes de circulación en la RNGC toma de tres a cuatro semanas (Carrillo, Lavín y Palacios-Hernández, 2002; Palacios-Hernández, 2001; Palacios-Hernández *et al.*, 2002; Palacios y Beier, 2015), ocurriendo en mayo (anticiclónico a ciclónico) y octubre (ciclónico a anticiclónico); sin embargo, se desconoce en detalle la manera en que la transición tiene lugar (su evolución temporal), ya que existen pocos datos (mediciones directas) que hayan muestreado la etapa completa, una de las existentes descrita por Palacios-Hernández (2001), muestra la transición en condiciones normales e indica que ésta ocurre principalmente en tres etapas interconectadas: (1) atenuación del régimen previamente existente, (2) circulación nula o errática, (3) intensificación del siguiente régimen correspondiente; estas observaciones directas se encuentran apoyadas por análisis de corrientes geostróficas y simulaciones numéricas (Beier y Ripa, 1999; Palacios-Hernández, 2001; Palacios y Beier, 2015). Las condiciones observadas en la *Figura 13a* (presencia de ambos giros a la vez), representan la primera evidencia de que la transición puede ocurrir de manera distinta a la reportada en (Palacios-Hernández, 2001; Palacios y Beier, 2015), lo anterior puede ser consecuencia, como ya se comentó, a que junio de 1995 fue anómalo, o a factores aún desconocidos.

Históricamente se han observado anomalías interanuales de los ciclos hidrográficos y de la circulación de la RNGC. Por ejemplo, Roden (1964) notó que la temperatura en abril de 1957 era de aproximadamente  $1^{\circ}\text{C}$  mayor que en abril de 1959. Después se propuso que esta anomalía fue ocasionada por EN 1957-1958



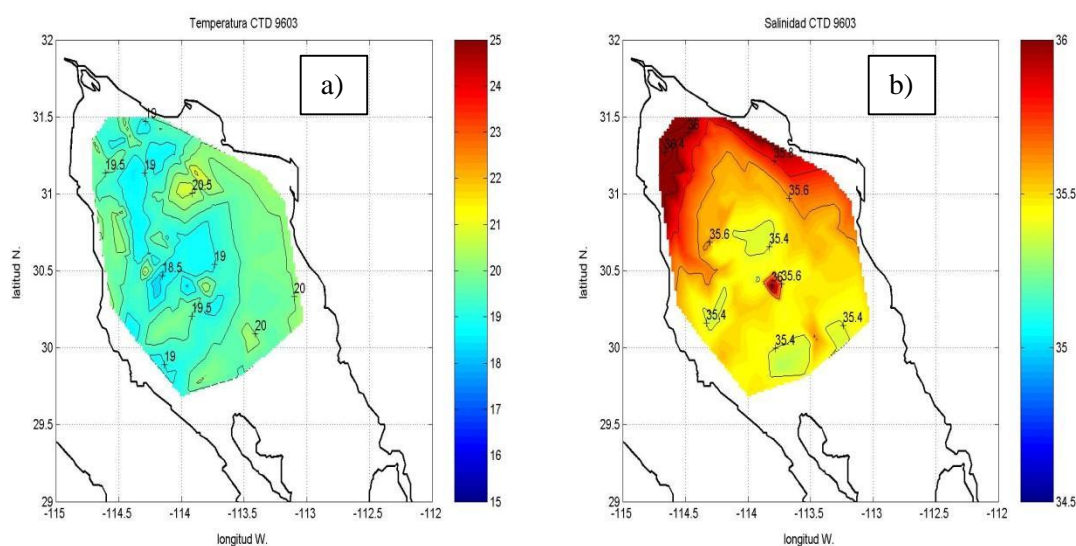
(Álvarez-Borrego y Schwartzlose, 1959; Bray, 1988). Hubo características anómalas de temperatura y salinidad en la RNGC durante años EN, otro evento anómalo fue el de marzo de 1973 (Romero-Centeno, 1995). También se encontraron que los inviernos de 1982 y 1983 en eventos EN tuvieron comportamientos meteorológicos anómalos, pero causaron un efecto contrario sobre el almacenamiento de calor y estratificación (Reyes y Lavín, 1997; Reyes-Hernández, 1993).

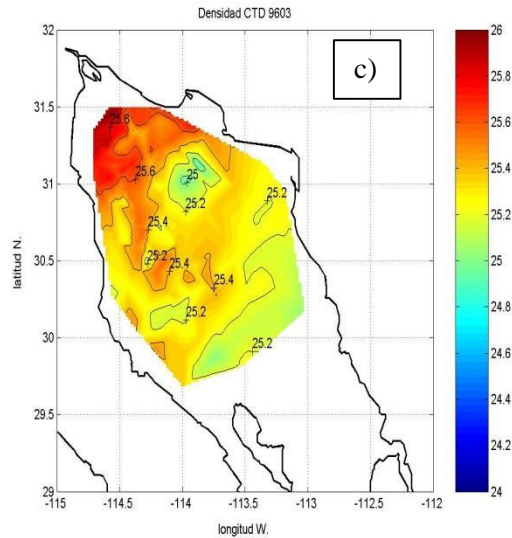
En particular, la anomalía de enero-marzo de 1995 no está relacionada con El Niño, pero si con eventos de origen externo (ecuatorial), como lo indica el índice NOIx (Índice de la Oscilación del Norte) y el EMI (Índice de el Niño Modoki), que para enero de 1995 posee un pronunciado pico negativo ([http://www.pfeg.noaa.gov/products/PFEL/modeled/indices/NOIx/data/noix\\_1948\\_all.gif](http://www.pfeg.noaa.gov/products/PFEL/modeled/indices/NOIx/data/noix_1948_all.gif); Schwing, Murphree y Green, 2000; [https://www.jamstec.go.jp/frcgc/research/d1/iod/modoki\\_home.html.en](https://www.jamstec.go.jp/frcgc/research/d1/iod/modoki_home.html.en)), de hecho, el índice NOIx para este período registra uno de los valores más negativos de la serie completa (1948-2001; Lavín, Palacios-Hernández y Cabrera, 2003; Palacios y Beier, 2015) y local (meteorológico), que provocó la formación de una gran masa de agua en la región del Alto Golfo, que se propagaría más tarde (enero 1995) como una corriente de gravedad hacia cuenca Wagner (Palacios-Hernández *et al.*, 2006; Palacios y Beier, 2015).

La anomalía tibia de enero-marzo de 1995 afectó todo el Golfo de California, fue muy abrupta, con anomalías en la temperatura superficial del mar de hasta 3.5°C para un par de meses (de -2.0°C a 1.5°C; Lavín, Palacios-Hernández y Cabrera, 2003; Palacios y Beier, 2015). De hecho 1995 fue reportado como año anómalo para las costas del Pacífico mexicano; (Lluch-Cota *et al.*, 1999) reporta una anomalía positiva de la temperatura superficial del mar del orden de la de EN 1997-1998, además fue el año más húmedo (seco) de la década de los 90's en el sur (norte), del lado del pacífico de la península de Baja California (Delgadillo-Macías, Aguilar-Ortega y Rodríguez-Velásquez, 1999).

### Marzo de 1996

Los campos de temperatura en marzo de 1996 (*Figuras 10a y 15a*), medidos por el termosalinómetro y CTD, coinciden tanto en la extensión como localización de las estructuras de mayor relevancia. Las condiciones de temperatura para la RNGC en este mes, son completamente normales, como lo muestran las series de tiempo de las anomalías de temperatura superficial promedio (*Figura 4*, Lavín, Palacios-Hernández y Cabrera, 2003; Palacios y Beier, 2015).





**Figura 15.** Campos de CTD para marzo de 1996: a) Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), b) Salinidad (ups) c) Densidad ( $\sigma_t$ ).

El promedio de la temperatura superficial del crucero es de  $19.4^{\circ}\text{C}$ , la presencia del centro de baja temperatura en la región central, y de las estructuras de similar característica que extienden hasta el Alto Golfo (casi sobre Cuenca Wagner), se pueden deber a que se encuentran sobre una cadena de regiones profundas (400, 200, 180 y 100 m.). Los frentes de alta temperatura que cubren las costas de Baja California y Sonora coinciden con zonas someras de la RNGC, por lo que sugieren ser consecuencia del inicio en el mes de febrero del período de calentamiento estacional.

La salinidad para el mismo período promedia 35.7 ups, los campos (*Figuras 10b y 15b*) muestran un frente halino intenso que cubre por completo al Alto Golfo e incluso parte de la RNGC, las concavidades de las isohalinas (sobre todo la de 35.8 ups) están asociados a los frentes fríos de temperatura que se extienden desde la zona central hasta Cuenca Wagner, los frentes de temperatura alta sobre las costas de Baja California y Sonora coinciden con la prolongación de los frentes halinos sobre dichas costas, en especial la de Sonora, los valores más altos de salinidad (37.0 ups), se alcanzan al norte de la zona del Alto Golfo (región más somera). Las regiones aisladas de baja salinidad se encuentran sobre zonas relativamente profundas de la RNGC, lo que puede ser causa de sus valores bajos de salinidad.

Los campos de densidad para marzo de 1996 (*Figuras 10c y 15c*), se ven afectados por los campos de temperatura, el frente de alta densidad que existe desde el Alto Golfo y se prolonga hasta la zona central, es consecuencia del frente de baja temperatura ubicado en la misma zona, lo mismo sucede con los centros de alta temperatura, generan regiones de baja densidad; por otro lado, las regiones aisladas de baja salinidad que se observan en la *Figura 15b*, son las causantes de la existencia de las zonas aisladas de baja densidad que aparecen en los campos de densidad; una diferencia apreciable entre el campo medido por el termosalinómetro y CTD, es la no-coincidencia en el campo del termosalinómetro de la extensión de la estructura que aparece en el CTD al sureste y que se extiende lo ancho de la RNGC hasta la costa de Sonora. Esto se debe a un tramo grande defectuoso en el archivo madre de los datos del mes para el termosalinómetro, que fueron removidos, resultando así la ausencia de parte de la estructura que reporta el campo de CTD (esto se puede observar en los transectos de este mes *Figura 6d*), por lo tanto en esta zona los campos son resultado de la interpolación.

## CONCLUSIONES

El termosalinómetro SEACAT SBE 21 posee una mayor resolución que el CTD, esto debido a su capacidad de tomar varios datos por segundo, es preferible su uso, cuando se desee estudiar la hidrografía superficial, por su definición, precisión y el hecho de que la embarcación oceanográfica no necesite hacer estaciones para la toma de datos.

Los campos obtenidos por el termosalinómetro (primera vez usado en la RNGC), muestran concordancia con los de CTD, por lo que se puede considerar de buena precisión.

Es de especial importancia para la detección de frentes en la RNGC la resolución de los campos obtenidos por medio del termosalinómetro, así como para estudios futuros de la anomalía de enero-junio de 1995, en donde sea relevante la detección, formación y distribución de masas de agua.

La anomalía reportada en la RNGC en el invierno de 1995, abarca de enero a junio (6 meses) de 1995 subsuperficialmente, mientras en la superficie la anomalía abarca de enero a marzo (2 meses) de 1995.

## LITERATURA CITADA

- Álvarez-Borrego S. y Schwartzlose R. S., 1979 Masas de agua del Golfo de California. *Mar.*, 6 (1 y 2), 43-63.
- Baumgartner T. R. y N. Christensen, 1985. Coupling of the Gulf of California to large-scale interannual climatic variability. *J. Mar. Res.* 43, 825-848.
- Beier, E., 1997: A numerical investigation of the annual variability in the Gulf of California, *J. Phys. Oceanogr.*, 27, 615-632.
- Beier, E., y Ripa, 1999: Seasonal Gyres in the Northern Gulf of California, *J. Phys. Oceanogr.*, 2, 305-311, 1999.
- Berón-Vera F. J. y P. Ripa, 2000. Three-dimensional aspects of the seasonal heat balance in the Gulf of California. *J. Geophys. Res.* 105: 11441-11457.
- Bray, N. A., 1988. Water mass formation in the Gulf of California, *J. Geophys. Res.*, 93: 4993-5020.
- Carrillo L. E., M. F. Lavín y E. Palacios-Hernández, 2002. Seasonal Evolution of the Geostrophic Circulation in the Northern Gulf of California. *Est. Coastal and Shelf Sc.* **54**, 157-173.
- Castro R., M. F. Lavín y P. Ripa. 1994, Seasonal heat balance in the Gulf on California, *J. Geophys. Res.*, 99: 3249-3261.
- Delgadillo-Macías J., T. Aguilar-Ortega y D. Rodríguez-Velásquez, 1999. Los aspectos económicos y sociales de El Niño. Capítulo 6 en: Los impactos de El Niño en México. Víctor O. Magaña (Editor). Dirección General de Protección Civil. Secretaría de Gobernación: 181-212 pp.
- Durazo R., 1989. Tesis de Maestría, Frentes Térmicos en el Alto Golfo de California; División de Oceanología, Dep. de Oceanografía Física, CICESE.
- Lavín M. F., E. Beier y A. Badan, 1997. Estructura Hidrográfica y Circulación del Golfo de California: Escalas estacional e interanual, Contribuciones a la Oceanografía Física en México, Unión Geofísica Mexicana, Monografía No. 3: 141-171.
- Lavín M. F., R. Durazo, E. Palacios-Hernández, M. L. Argote, y L. Carrillo, 1997b. Lagrangian observations of the circulation in the Northern Gulf of California. *J. Phys. Oceanogr.* 27: 2298- 2305.
- Lavín M. F., E. Palacios-Hernández y C. Cabrera., 2003, Sea surface temperature anomalies in the Gulf of California, *Geophy. Int.*, pp 363-375.



- Lluch-Cota D., D. Lluch-Belda, S. Lluch-Cota, J. López-Martínez, M. Nevárez-Martínez, G. Ponce-Díaz... y J. Morales, 1999. Las Pesquerías y El Niño. Capítulo 5 en: Los impactos de El Niño en México. Víctor O. Magaña (Editor). Dirección General de Protección Civil. Secretaria de Gobernación: 137-180 pp.
- Marinone, S. G., 1988. Una nota sobre la variabilidad no estacional de la región central del Golfo de California. *C. Mar.*, 14(4): 117-134.
- Palacios E. y E. Beier, 2015. Circulación estacional de la Región Norte del Golfo de California, PUBLICIA, OmniScriptum GmbH & Co. KG. Heinrich-Böcking-Str. 6-8, 66121 Saarbtücken, Deutschland-Alemaia, ISBN: 978-3-639-55306-2. 128 pp.
- Palacios-Hernández E., M. F. Lavín-Peregrina, S. Sánchez-Mancilla y V. Godínez-Sandoval, 1997. Campañas oceanográficas y datos de corrientímetros en la región norte del Golfo de California 1994-1996. CTOFT9701 Data Report. Comunicaciones Académicas, Serie Oceanografía Física, CICESE, 91 pp.
- Palacios-Hernández E., 2001. Tesis Doctoral, Circulación de la Región Norte del Golfo de California: estacional y anomalías; División de Oceanología, Dep. de Oceanografía Física, CICESE.
- Palacios-Hernández E., E. Beier, M. F. Lavín y P. Ripa., 2002, The effect of the seasonal variation of the stratification on the circulation of the northern Gulf of California, *Journal of Physical Oceanography*.
- Palacios-Hernández E., M. F. Lavín, L. Carrillo, L. Zamudio y A. Garcia Sandoval, 2006, Hydrography and Circulation in the northern Gulf of California during winter of 1994-1995. *Continental Shelf Res.*, No 26: 82-103.
- Reyes-Hernández C. A., 1993. Efectos de las condiciones atmosféricas de otoño e invierno sobre la formación de masas de agua en el Golfo de California. M. Sc. Thesis, Departament of Physical Oceanography, CICESE, Ensenada, Ensenada, México, 91 pp [Disponible de biblioteca de CICESE, Ap. Postal 2732, Ensenada, Baja California, 22800, México].
- Reyes A. C. y M. F. Lavín, 1997. Effects of the autumn-winter meteorology upon the surface heat loss in the northern Gulf of California. *Atmósfera*, 10, 101-123.
- Ripa, P., y S.G. Marinone, 1989. Seasonal variability of temperature, salinity, velocity, vorticity and sea level in the central Gulf of California, as inferred from historical data. *Quarterly J. of the Royal Meteorological Soc.*, 115: 887-913.
- Ripa P., 1990, Seasonal circulation in the Gulf of California, *Ann. Geophys.*, 8: 559-564.
- Robles J. M. y S. G. Marinone, 1987. Seasonal and interannual thermoaline variability in the Guaymas Basin of the Gulf of California. *Continental Shelf Res.*, 7 No 7: 715-733.
- Roden, G. I., 1964. Oceanographic aspects of the Gulf of California. In: T. H. Van Andel and G. G. Shor Jr. (Eds.) *Marine Geology of the Gulf of California: A symposium*. Am. Assoc. Pet. Geol., Men., 3: 30-54 pp.
- Romero-Centeno R. D. L., 1995. Comportamiento de los campos hidrográficos y flujos de calor y masa en el Canal de Ballenas. M. Sc. Thesis, Departament of Physical Oceanography, CICESE, Ensenada, Ensenada, México, 126 pp [Available from biblioteca de CICESE, Ap. Postal 2732, Ensenada, Baja California, 22800, México].
- Soto-Mardones L., S. G. Marinone y A. Pares-Sierra, 1999. Time and Spatial variability of sea surface temperature in the Gulf of California, *C. Mar.*, 25: 1-30.
- Schwing, F.B., T. Murphree, y P.M. Green. 2000. A climate index for the northeast Pacific. *Progress in Oceanography*, in review.

#### AGRADECIMIENTOS

Dr. Miguel Lavín (†), CONACyT proyecto: 3209-T9207, Tripulación B. O. Francisco de Ulloa y CICESE.

## SÍNTESIS CURRICULAR

### **Emilio Palacios Hernández**

Doctor en Ciencias en Oceanografía Física por el CICESE, Profesor e Investigador titular C, del Depto. de física de la Universidad de Guadalajara. Ha escrito: varios artículos científicos en revistas de prestigio internacional, capítulos de libro y un libro, también ha dirigido tesis de licenciatura y maestría, actualmente es perfil PRODEP y miembro del SNI 1, ha participado en más de 50 congresos nacionales e internacionales, así como proyectos de investigación oceanográfica. Correo electrónico: mailto:emilio6x111@yahoo.com

### **Laura Carrillo**

Doctorado en Oceanografía Física en Universidad de Gales Bangor. Postdoctorado en el Instituto Oceanográfico de Scripps. En los últimos 10 años la investigación se ha enfocado en aspectos oceanográficos de diversas escalas espacio-temporales vinculados con la distribución de larvas de peces, así como variabilidad en sistemas tropicales, zonas arrecifales, circulación y fenómenos de mesoescala de las regiones Golfo de México y Caribe. Otros estudios realizados se enfocan en el análisis de anomalías de temperaturas superficiales del mar que contribuyan a entender las anomalías en estos tipos de sistemas. Muchos de estos trabajos son el resultado de la colaboración con NOAA y ECOSUR con la finalidad de entender procesos de conectividad biológica de larvas de peces entre el Golfo de México y el Caribe, estos representan los primeros trabajos de la zona del Caribe Occidental con aspectos oceanográficos. Correo electrónico: mailto:lc\_oceanografa@yahoo.com.mx

### **Rodrigo Gamboa Goñi**

Actualmente estudiante de doctorado en la Queen Mary University of London, Coautor de la serie Física de competencias, traductor científico de la NASA. Correo electrónico mailto: rgamboa@iteso.mx

### **David Ávalos Cueva**

Doctor en Ciencias del Mar y Limnología por la UNAM. Profesor-investigador titular en el Instituto Tecnológico Superior de Arandas (ITS de Arandas). Presidente del Comité de Investigación de ITS de Arandas, líder de la línea de investigación de modelación climática, registrada en Tecnológico Nacional de México. Ha sido autor de varios artículos en revistas indexadas sobre variabilidad climática y modelación hidrodinámica del Lago de Chapala; así como colaborador de un capítulo de libro en la misma área de investigación. También ha dirigido tesis de licenciatura e ingeniería. Correo electrónico: david.avalos@tecarandas.edu.mx.