



ARTÍCULO

Metodología para la calificación y control de calidad de datos oceanográficos aplicada al Crucero Caribe 2002

Methodology for rating and controlling the quality of oceanographic data applied to the Cruise Caribe 2002

Fecha recepción: 2007-09-05 / Fecha aceptación: 2007-09-27

Carlos Romero Balcucho

Carlosaugustoromero@yahoo.com

Grupo de Investigación en Oceanología, Escuela Naval de Cadetes "Almirante Padilla",
Cartagena de Indias

Leonardo Marriaga Rocha

lmr666@hotmail.com

Grupo de Investigación en Oceanología, Escuela Naval de Cadetes "Almirante Padilla",
Cartagena de Indias

Rafael Ricardo Torres Parra

rtorres@cioh.org

Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas, Cartagena de Indias

Resumen

El análisis de los parámetros establecidos internacionalmente para compartir la información oceanográfica y la revisión de los datos recolectados por los centros de investigación de la Dirección General Marítima, permitieron elaborar una metodología para procesar datos oceanográficos tomados por CTD, que le permita al usuario o investigador alcanzar datos de buena calidad para ser utilizados en investigaciones o proyectos oceanográficos. Se revisaron metodologías aplicadas por algunos de los centros de investigación oceanográfica mas importantes a nivel mundial. Se efectuó una revisión de la información recolectada por el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas de Colombia (CIOH), durante los cruceros que han sido realizados hasta el año 2006. Lo anterior permitió presentar una propuesta metodológica para el control de calidad de datos oceanográficos de temperatura y salinidad obtenidos con CTD, empleando un programa en el que el usuario interactúa en los diferentes niveles de control de calidad. Esta metodología fue aplicada a los datos del Crucero Caribe 2002, eliminándose los errores contenidos en la información del crucero para finalmente ser desplegada en gráficas y realizar el análisis oceanográfico respectivo.

Palabras clave: Datos oceanográficos, CTD, metodología, calidad, MATLAB.

Abstract

The analysis of the parameters internationally established to share the oceanographic information and the reviewing of the data gathered by the Maritime General Direction research centers, permitted the elaboration of a methodology to process oceanographic data taken by CDT, which permit the user or researcher to get good quality data to be utilized in oceanographic research or projects. Methodologies applied by some of the worldwide most important oceanographic research centers were reviewed. A revision of the information gathered by the Colombia Oceanographic and Hydrographic Research Center (CIOH) was undertaken, during

the cruises carried out up to 2006. The foregoing permitted the submission of a methodological proposition for the oceanographic data on temperatures and salinity quality control obtained with DT, using a program in which the user interacted within the different quality control levels. This methodology was applied to the Cruise Caribe 2002 data, eliminating the errors contained in the cruise information to finally have it displayed in graphs and carry out the corresponding oceanographic analysis.

Key words: Oceanographic data, CTD, methodology, quality, MATLAB.

Introducción

Teniendo en cuenta el avance de la Oceanografía, en especial el aumento en la cobertura espacial y las diferentes fuentes de datos, los investigadores actualmente dependen de la disponibilidad de un sistema de intercambio internacional que provea datos e información de todas las fuentes disponibles. Adicionalmente, los científicos que estudian procesos locales se benefician sustancialmente con el acceso a datos recolectados por otros países o entidades en su área de interés.

La realización de un trabajo como el control de calidad de datos oceanográficos, es necesaria en el país debido a que Colombia está invirtiendo gran cantidad de recursos anualmente en desarrollo de cruceros, obteniendo información que no está siendo aprovechada en todo su potencial para la realización de proyectos de investigación, pues se desconoce la calidad de los datos obtenidos de una manera cuantitativa y estandarizada. Además, no puede ofrecer su información al programa IODE [1], encargado del intercambio de este tipo de información [2].

Esta problemática fue identificada por la Dirección General Marítima, quien es la directa responsable del manejo de los datos oceanográficos. Debido a esto, el CIOH está adelantando el proyecto denominado RETROCEAN (Recuperación y control de calidad de datos oceanográficos), cuyo objetivo es dar una calificación a los datos con los que actualmente se cuenta [3, 4].

El presente artículo nace de la presentación del trabajo de grado para aspirar al título de Oceanógrafo Físico de dos de los autores y se enmarca como un aporte al proyecto “RETROCEAN” haciendo parte primordial de la fase II, el cual busca hacer un estudio de los estándares de calidad exigidos internacionalmente, recopilar los procedimientos y finalmente presentar como propuesta un programa de Control de Calidad de Datos Oceanográficos (CCDO_CIOH), acorde a nuestras condiciones y verificar su aplicación en el Crucero Caribe 2002, cuyo objetivo fue la recolección de datos *in situ* de temperatura superficial del mar para el tratamiento de imágenes satelitales (TSS AVHRR) para ser usados en un modelo de búsqueda, rescate y seguimiento de un artefacto flotante, dentro del marco del proyecto “Modelos Numéricos Aplicados a Operaciones Navales de Búsqueda y Rescate Fase III”. Finalmente la aplicación del mostró su aplicabilidad en el desarrollo del análisis oceanográfico del área.

De manera general, en el proceso de control de calidad de datos oceanográficos se pueden distinguir cinco fases, que coinciden internacionalmente, como son, planeamiento previo a la recolección de datos, control de aspectos importantes durante el crucero, control sobre la calibración, respuesta del sensor y procesamiento inicial de los datos y finalmente la fase de postprocesamiento [5]. Esta última tiene en cuenta el establecimiento de verificaciones tanto a nivel crucero, como a nivel estación.

En desarrollo de la investigación se analizaron las metodologías utilizadas en algunos de los centros de datos más importantes a nivel mundial, entre las que se pueden contar la utilizada por el observatorio de Saint Lawrence en Canadá, para validación de parámetros físicos, quienes dividen su metodología en cinco pasos a saber: 1) Pruebas de validación con la METADATA como el tiempo y las posiciones, 2) Pruebas de comparación de valores de datos dentro de un perfil, 3) Comparación de los perfiles con la climatología, 4) Comparación de un perfil con otros perfiles de la misma misión (crucero) y 5) Inspección visual de la ruta del crucero y de otros perfiles del mismo [6]; Así mismo la metodología para el control de calidad de boyas Argos empleada por el Instituto Francés de Investigación para la Explotación del Mar, IFREMER, quienes para este caso establecieron cuatro niveles de control de calidad, a saber:

1) Verificación de los formatos, códigos e información completa, 2) Verificación de la fecha, ubicación y duplicidad de posiciones, 3) Verificación de los datos y finalmente 4) Chequeo visual [7]; por otra parte se analizó la metodología utilizada en el proyecto de investigación a escala de la cuenca del mediterráneo “E U - M A S T / M A T E R” desarrollada interinstitucionalmente por el IFREMER, el NCMR (Greek National Center for Marine Research), el OGS (L'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale) y la Universidad Autónoma de Barcelona [8]. Finalmente se analizó la metodología empleada en el Laboratorio del Clima del Océano del Centro Mundial de Datos Oceanográficos en Silver Spring, la cual tiene en cuenta los siguientes niveles de control: conversión del formato, chequeo de la posición/fecha/tiempo, asignación de crucero y número de lanzamiento, chequeo de la velocidad, chequeo de duplicidad, chequeos de inversión y duplicidad de profundidad, chequeos de pares de alta resolución, chequeo de rangos en datos a niveles observados, chequeo de gradiente excesivo, chequeo de densidad para niveles observados, interpolación vertical, chequeo de densidad a niveles estándar, análisis estadístico de datos a niveles estándar y análisis objetivo [9, 10].

Materiales y métodos

Crucero Caribe 2002

Realizado desde el 26 de noviembre hasta el 7 de diciembre de 2002 por el B.O A.R.C “Malpelo”, perteneciente a la flotilla de buques oceanográficos del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH), efectuando en total 97 estaciones de las 123 planeadas, de las cuales, 74 contaron con lanzamientos de CTD. Las condiciones oceanográficas adversas reinantes en el área durante el período del levantamiento no permitieron el lanzamiento del CTD en todas las estaciones dentro de los márgenes mínimos de seguridad para el personal y el material. Así mismo, se otros datos biológicos. Para la toma de los parámetros oceanográficos se empleó un CTDO SEACAT SBE 19, un disco Secchi, un termómetro de cazoleta, un termómetro de temperatura húmeda, un termómetro de temperatura seca y un anemómetro [11].

Metodología

Se elaboró una metodología apoyada con un programa realizado con el software MATLAB, de manera tal, que se guía al usuario o investigador dentro de un proceso de control de calidad estándar, para que sea éste quien finalmente, decida que hacer con cada uno de los datos que no superen los chequeos propuestos. El programa, que se denominó CCDO-CIOH, debe ser utilizado por oceanógrafos o profesionales capacitados, quienes durante el desarrollo de sus propias investigaciones, no cuenten con certeza en la calidad de los datos con que trabajan, decidirán el tratamiento a las inconsistencias encontradas, dando como producto final los datos que superaron los filtros evitando el uso de banderas de calidad.

Se limitó la aplicación de la metodología a tres variables básicas en oceanografía física como son: profundidad, temperatura y salinidad, tomadas con un perfilador tipo CTD.

Durante el procesamiento inicial, se realizan una serie de tratamientos estadísticos y filtros realizados con el SBE DATA PROCESSING, lo que garantiza la eliminación de ruido propio de la señal capturada por el sensor del CTD y la calibración *in situ* de los perfiles de T y S, tal como lo presentó Andrade en el año 2004 [12]. Este procesamiento inicial debe ser realizado completa y adecuadamente, ya que su importancia radica en ser el primer punto de control y está basado en las recomendaciones del fabricante, con lo cual en esta etapa se asegura gran parte del control de calidad. Finalizada la etapa de procesamiento inicial, se cuenta con archivos con extensión “.cnv”.

Para poder aplicar la metodología propuesta a los datos, se estableció una configuración estándar de los archivos; estos requerimientos son desplegados en pantalla al usuario una vez ingresa al programa y son los siguientes:

1. Los archivos con la información de las estaciones deben estar en el formato *cnv*, luego de la etapa de procesamiento inicial realizada con el software SEASOFT del CTD.
2. El header del archivo debe eliminarse y solamente contendrá la información numérica,

por lo que es necesario se trabaje con una copia de los archivos de las estaciones para no dañar la información original.

3. De las matrices con la información de las estaciones se deben eliminar las filas que contengan valores negativos en la columna de presión, ya que representan momentos en que el *ctd* se encuentra fuera del agua.
4. De las matrices con la información de las estaciones se deben eliminar las filas que correspondan a los momentos en que el *ctd* se encuentra siendo izado a la superficie (tomando datos en la dirección de subida) eso se observa fácilmente ya que los valores de la columna de presión comienzan a disminuir en vez de aumentar.
5. Los nombres de las estaciones deben tener 6 caracteres antes del punto y la extensión .cnv por ejemplo: est005.cnv.
6. Se debe crear un archivo con extensión .dat que contenga un listado con los nombres de las estaciones a aplicarles el control de calidad, a este archivo se le debe llamar "estaciones.dat" y se debe tener en cuenta que debe estar en la misma carpeta en la que se está trabajando el programa, la cual, también debe contener las estaciones.
7. Se debe crear un archivo con extensión .dat que contenga un listado de las posiciones de las estaciones (en décimas de grado), el cual deberá estar incluido en la misma carpeta donde se está trabajando este archivo debe tener como nombre "posiciones.dat". Su columna 1 corresponderá a las latitudes y su columna 2 corresponderá a las longitudes. Además se debe tener cuidado, ya que el orden de las posiciones será el mismo orden en que se listaron las estaciones en el archivo de estaciones. Esta información de latitud y longitud debe ser tomada directamente del header del archivo que entrega el *ctd* y confirmada con la metadata disponible.
8. Se debe tener el toolbox “seawater” cargado en el path de Matlab.

Posteriormente, al haber cumplido estos requerimientos, se efectúan las siguientes verificaciones y correcciones, asegurando la calidad de los datos finales:

Primer nivel. Inspección visual de las estaciones

Se realiza despliegue gráfico, en el cual el usuario o investigador tiene la visión de la posición de las estaciones, en planta, detectando posiciones erróneas. Combinando esta gráfica con el conocimiento que ha adquirido el investigador de la información de la metadata, se consolida la comprensión que se tiene del crucero en estudio.

Segundo nivel. Verificación de duplicidad de estaciones

El programa verifica las estaciones mediante la comparación de las mismas entre sí, detectando si una pareja de datos latitud-longitud es idéntica a otra. En caso de encontrar duplicidad, el usuario deberá verificar sus datos y decidir si los tiene en cuenta o no dentro del desarrollo de su análisis.

Tercer nivel. Verificación de duplicidad de profundidades

Este punto marca el inicio de las verificaciones a nivel estación. Una duplicidad de profundidad ocurre cuando una lectura de profundidad tiene el mismo valor de otra lectura en la misma estación. De encontrar profundidades duplicadas la metodología presenta al usuario cuatro opciones a seguir: tomar solamente el primer dato, promediar los valores, eliminar todos los valores o salir del programa para verificar.

Cuarto nivel. Verificación de inversión de profundidades

Una inversión ocurre cuando una lectura de profundidad, tiene un valor mucho menor que el de la lectura que la precede. En caso de encontrar inversión, la metodología ofrece al usuario dos opciones, como son: eliminar la inversión o salir del programa para verificar. Para lograr esto el programa despliega en pantalla el o los niveles donde se encontró la inversión.

Quinto nivel. Verificación de rangos de temperatura

Con el fin de verificar si los valores obtenidos, en cada una de las estaciones, se encuentran de acuerdo a la climatología del área de estudio. Se optó por dar la opción al usuario o investigador de establecer o introducir los límites superior e inferior de temperatura. En caso de no tener información climatológica concreta del área, como es el nuestro, al

programa se le introdujo una opción para que el usuario utilice los rangos predefinidos del WOD05 (climatología de Levitus) [9, 10, 13].

De encontrar valores de temperatura por fuera de los rangos, el usuario tiene dos opciones como son: eliminar la fila en donde se encuentra este valor o salir del programa para verificar.

Como es sabido, la climatología de Levitus pudiera no ser de mucha utilidad en áreas muy cercanas a la costa. Sin embargo, para casos en que no se cuente aun con el conocimiento completo de la climatología del área, por lo tanto no se tengan rangos concretos de variación de parámetros, utilizar la climatología de Levitus podría ser una buena primera aproximación al resultado esperado, por lo tanto aportaría a sentar las bases del control de calidad.

Sexto nivel. Verificación de rangos de salinidad

Análogamente con el nivel anterior, se realiza la misma verificación pero esta vez con respecto a la salinidad, con las mismas opciones de elección que en el nivel anterior.

Séptimo nivel. Verificación de gradientes excesivos de temperatura y salinidad

Por definición “gradiente excesivo” es un decrecimiento excesivo, en el valor del parámetro, respecto de la profundidad (usualmente valor negativo); y una “inversión excesiva” es un incremento excesivo, en el valor del parámetro, respecto de la profundidad (usualmente es un valor positivo). Aplicando la formulación:

$$\text{gradiente / inversión} = \frac{v_2 - v_1}{z_2 - z_1}$$

Donde:

- v_1 Valor de la variable en la profundidad del nivel actual.
- v_2 Valor de la variable en siguiente nivel de profundidad.
- z_1 Profundidad en metros del nivel actual.
- z_2 Profundidad en metros del siguiente nivel.

Se asumió el error asociado al equipo como poco representativo. El criterio utilizado para definir

“excesivo” fue tomado del World Ocean Database 2005 (WOD05), en el cual se establece un valor máximo aceptable de inversión (MVI) y un valor máximo aceptable de gradiente (MVG), discriminando además entre valores para profundidades superiores e inferiores a 400 m y se pueden apreciar en la tabla 1 [9, 13].

En caso de encontrar alguna inversión o gradiente excesivo, el usuario puede eliminar la fila en donde se encuentra este valor o salir del programa para verificar las posibles causas.

Tabla 1. Máximos factores de gradiente e inversión usados en el WOD05.

VARIABLE	MVI (< 400m)	MVG (< 400m)	MVI (> 400m)	MVG (> 400m)
Temperatura	0.3	0.7	0.3	0.7
Salinidad	9.0	9.0	0.05	0.05

Octavo nivel. Verificación de densidad en niveles observados

Se realiza para localizar inversiones de densidad y consiste en calcular la estabilidad estática de manera local en cada estación. La estabilidad se calcula bajo la formulación empleada por Lynn y Reid (1968) [14]:

$$E = \lim_{\partial z \rightarrow 0} \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial z}$$

donde,

$$\rho_0 = 1020 \text{ Kg} / m^3$$

z , Profundidad en metros.

En la aplicación de la anterior formulación se tuvo en cuenta que el programa tome para el cálculo de la densidad como valores de temperatura, salinidad y presión, los que ya han superado las anteriores siete verificaciones.

Como criterios de valores máximo y mínimo de estabilidad se utilizaron los establecidos por Pond y

Pickard (1983) [15], según los cuales, en el océano abierto en los primeros 1.000 metros, los valores de estabilidad están en el orden de $100 \times 10^{-8} \text{ m}^{-1}$ y $1000 \times 10^{-8} \text{ m}^{-1}$. Actualmente no se cuenta con valores típicos de estabilidad para el Caribe colombiano, en océano abierto ni en zona costera, por lo que fueron tomados los anteriormente descritos. Sin embargo, como se verá más adelante, será necesaria una revisión más profunda de este aspecto.

En caso de encontrar inestabilidad, se sugiere al usuario la verificación de los datos y el análisis de la situación.

En general las verificaciones realizadas desde el tercer nivel hasta este punto, van acompañadas con graficación automática, nivel por nivel, de los perfiles de las variables, lo cual facilita al usuario del programa la toma de decisiones con respecto de la posible eliminación de datos durante el análisis.

Noveno nivel. Interpolación a niveles estándar

Cualquier valor que no superó las anteriores verificaciones, no fue tenido en cuenta durante la interpolación.

El método de interpolación usado es un esquema de Reiniger-Ross (1968) modificado [16], que utiliza los cuatro valores observados que rodean un nivel de profundidad estándar al cual se hará la interpolación, dos sobre el nivel estándar y dos por debajo de él. Computando dos interpolaciones de Lagrange de tres puntos, los dos valores interpolados son promediados y este resultado se tomó como el valor del parámetro en el nivel estándar deseado.

Solamente se tuvieron en cuenta profundidades estándar hasta el nivel 17, debido a las actuales restricciones en la toma de datos por longitud de la guaya de los buques oceanográficos pertenecientes a la DIMAR.

Décimo nivel. Verificación de estabilidad a niveles estándar

Se realizó análogamente al procedimiento establecido en el octavo nivel de control de calidad, excepto que el

diferencial de profundidades se realiza entre los niveles estándar.

Decimoprimer nivel. Verificación estadística en niveles estándar

Este nivel pretende descartar los valores no representativos y verificar la consistencia de los datos del crucero entre las estaciones. Para lograrlo, se calcula la media y las desviaciones estándar de los datos. Conocida esta información se estableció como criterio para el análisis de la información que aquellos datos cuya desviación estándar estuviera por encima de tres desviaciones estándar del proceso, fueran considerados por fuera de los límites aceptables como de buena calidad.

Resultados

Una vez definida la metodología a seguir, era necesario aplicarla a datos reales tomados en campañas oceanográficas, con el fin de observar los resultados de su aplicación. Como ya se mencionó, se seleccionaron los datos obtenidos en desarrollo del crucero “Caribe 2002” almacenados en la base de datos del CIOH, tomando los archivos ya procesados con el software del Seabird [12]. Inicialmente se observó que tanto la estación 015 como la estación 120, contenían solamente una fila de datos; así mismo, las estaciones 041 y 042, se encontraron con información tomada en la dirección de ascenso del CTD. Con el fin de aprovechar la información obtenida se invirtió la dirección de los datos, teniendo en cuenta que para el caso en que el equipo se encuentre bien calibrado, el sentido en que hayan sido capturados los datos no es tan relevante.

Detectadas estas falencias, se determinó dar una calificación de estación errada y no incluir en el desarrollo del control de calidad a las estaciones 015 y la 120.

Posteriormente el programa ingresa al primer nivel de control de calidad, en donde se despliega visualmente la gráfica de la ubicación de las 72 estaciones en el Mar Caribe (figura 1).

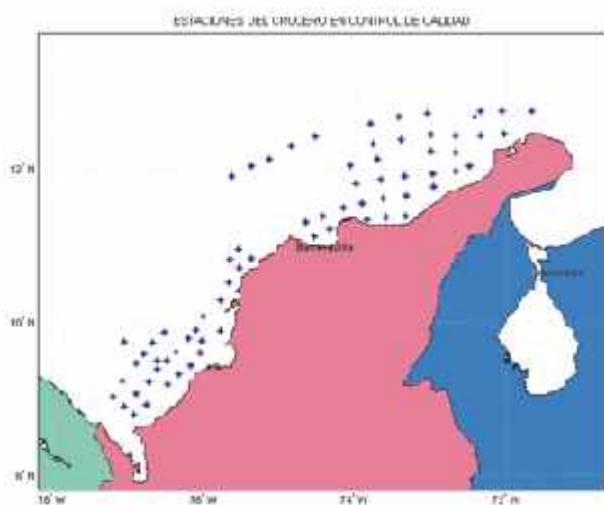


Figura 1. Gráfica elaborada por el programa CCDO-CIOH.

En el segundo nivel de control de calidad, el programa CCDO-CIOH nos muestra que hay una inconsistencia en la posición de las estaciones 095 y 115, ya que ambas cuentan con la misma ubicación (figura 2). Una vez revisada la información del crucero y teniendo en cuenta que para la fecha de realización de la estación 115 las condiciones meteorológicas eran adversas, se determinó no procesar dicha estación, con el fin de no arriesgar el control de calidad por considerar dudosa la información con la que ésta cuenta.



Figura 2. Estaciones duplicadas que detectó el programa.

Luego de reiniciar el programa de control de calidad, nos muestra los nombres de los archivos de las

estaciones y su cantidad, que ahora es de 71. El programa pasa el primer y segundo control de calidad, esta vez sin ningún inconveniente.

Posterior a la aplicación de estos dos niveles de control, se establecieron los rangos de los valores de salinidad y temperatura, para lo cual se escogieron los establecidos por el World Ocean Atlas (Levitus) [9, 13], teniendo en cuenta su fiabilidad.

El programa CCDO-CIOH ejecuta los niveles de control de calidad, desde el tercero al décimo, estación por estación. Desplegando, inicialmente, una gráfica donde muestra la ubicación de la estación y se puede corroborar visualmente que coincida con la ubicación de las estaciones del crucero (figura 3). De igual manera, en el desarrollo de las verificaciones a nivel estación, el programa entrega una gráfica de los perfiles de los parámetros analizados, con el fin de presentar una ayuda gráfica al usuario para la toma de decisiones hacia el posible encuentro de novedades en los datos o simplemente para observar como mejora el perfil al superar esta estación las verificaciones sometidas.



Figura 3. Gráfica de ubicación de la estación a procesar.

En la tabla 2, se puede apreciar un resumen de las alertas entregadas por el programa en cada uno de los niveles de control de calidad, para cada una de las estaciones que conforman el crucero Caribe 2002.

El análisis estadístico del crucero, fue superado sin presentar ningún reporte o dato por fuera de las desviaciones estándar establecidas.

El programa CCDO-CIOH crea, automáticamente, dos archivos tipo Excel, en la misma carpeta en la que está instalado y corriendo el mismo, estos archivos contienen la matriz de datos de temperaturas y salinidades. En estas matrices, la primera columna indica los niveles de profundidad estándar y

subsecuentemente cada una de las filas contiene los datos correspondientes a ese nivel, de igual manera, a partir de la segunda hasta la última, cada columna representa una estación.

Superados todos los niveles de control de calidad, el programa CCDO-CIOH realiza una gráfica del crucero en la cual se presentan las curvas de salinidad, temperatura, diagrama T-S y gráfica del crucero (fig. 4).

Tabla 2. Alertas entregadas por el programa entre el tercer y el décimo nivel.

No.	ESTACIÓN	TERCER NIVEL	CUARTO NIVEL	QUINTO NIVEL	SEXTO NIVEL	SÉPTIMO NIVEL	OCTAVO NIVEL	NOVENO NIVEL	DÉCIMO NIVEL
1	EST001	4	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso	1	Exitoso	Exitoso
2	EST002	3	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso	3	Exitoso	Exitoso
3	EST003	4	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso	4	Exitoso	Exitoso
4	EST004	3	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso	3	Exitoso	Exitoso
5	EST005	5	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso	1	Exitoso	Exitoso
6	EST006	6	1	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso
7	EST007	6	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso
8	EST008	11	1	Exitoso	Exitoso	1	5	Exitoso	1
9	EST009	4	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso
10	EST010	3	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso	2	Exitoso	Exitoso
11	EST011	25	Exitoso	Exitoso	Exitoso	12	2	Exitoso	1
12	EST012	78	1	Exitoso	Exitoso	14	1	Exitoso	Exitoso
13	EST013	37	2	Exitoso	Exitoso	16	6	Exitoso	Exitoso
14	EST014	24	1	Exitoso	Exitoso	17	1	Exitoso	Exitoso
15	EST15B	5	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso
16	EST016	12	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso	3	Exitoso	Exitoso
17	EST017	1	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso	2	Exitoso	1
18	EST018	31	2	Exitoso	Exitoso	Exitoso	1	Exitoso	Exitoso
19	EST019	2	1	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso
20	EST020	61	2	Exitoso	Exitoso	1	1	Exitoso	Exitoso
21	EST021	13	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso
22	EST022	16	1	Exitoso	Exitoso	Exitoso	1	Exitoso	1
23	EST025	130	2	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso	2
24	EST026	148	3	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso	1
25	EST027	49	2	Exitoso	Exitoso	Exitoso	1	Exitoso	1
26	EST029	106	4	Exitoso	Exitoso	6	Exitoso	Exitoso	1
27	EST030	6	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso	1	Exitoso	Exitoso
28	EST031	19	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso
29	EST032	7	Exitoso	Exitoso	Exitoso	2	Exitoso	Exitoso	Exitoso
30	EST033	94	8	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso

31	EST034	1	4	Exitoso	Exitoso	9	5	Exitoso	Exitoso
32	EST035	17	2	Exitoso	Exitoso	Exitoso	1	Exitoso	Exitoso
33	EST036	46	2	Exitoso	Exitoso	8	Exitoso	Exitoso	1
34	EST037	4	Exitoso	Exitoso	Exitoso	1	1	Exitoso	1
35	EST038	6	1	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso
36	EST039	7	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso	2	Exitoso	Exitoso
37	EST040	13	1	Exitoso	Exitoso	4	3	Exitoso	Exitoso
38	EST041	112	Exitoso	Exitoso	Exitoso	2	Exitoso	Exitoso	1
39	EST042	152	4	Exitoso	Exitoso	8	Exitoso	Exitoso	2
40	EST043	97	Exitoso	Exitoso	Exitoso	4	Exitoso	Exitoso	Exitoso
41	EST050	49	4	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso
42	EST051	240	14	Exitoso	Exitoso	9	2	Exitoso	Exitoso
43	EST057	5	Exitoso	Exitoso	Exitoso	3	3	Exitoso	Exitoso
44	EST058	54	4	Exitoso	Exitoso	16	Exitoso	Exitoso	1
45	EST059	80	5	Exitoso	Exitoso	13	4	Exitoso	Exitoso
46	EST060	141	4	Exitoso	Exitoso	12	Exitoso	Exitoso	Exitoso
47	EST061	145	6	Exitoso	Exitoso	8	2	Exitoso	Exitoso
48	EST062	5	1	Exitoso	Exitoso	7	1	Exitoso	Exitoso
49	EST063	217	19	Exitoso	Exitoso	11	Exitoso	Exitoso	2
50	EST078	91	18	Exitoso	Exitoso	4	Exitoso	Exitoso	Exitoso
51	EST079	155	10	Exitoso	Exitoso	12	Exitoso	Exitoso	3
52	EST081	32	5	Exitoso	Exitoso	Exitoso	1	Exitoso	1
53	EST082	8	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso	2	Exitoso	Exitoso
54	EST083	61	3	Exitoso	Exitoso	Exitoso	2	Exitoso	3
55	EST084	14	2	Exitoso	Exitoso	Exitoso	1	Exitoso	Exitoso
56	EST085	9	Exitoso	Exitoso	Exitoso	1	3	Exitoso	Exitoso
57	EST086	49	2	Exitoso	Exitoso	7	Exitoso	Exitoso	3
58	EST087	78	1	Exitoso	Exitoso	3	1	Exitoso	Exitoso
59	EST088	198	8	Exitoso	Exitoso	7	Exitoso	Exitoso	Exitoso
60	EST089	221	10	Exitoso	Exitoso	8	Exitoso	Exitoso	2
61	EST095	62	10	Exitoso	Exitoso	Exitoso	1	Exitoso	3
62	EST111	61	9	Exitoso	Exitoso	5	Exitoso	Exitoso	4
63	EST112	312	28	Exitoso	Exitoso	28	3	Exitoso	Exitoso
64	EST113	166	27	Exitoso	Exitoso	19	Exitoso	Exitoso	4
65	EST114	83	9	Exitoso	Exitoso	Exitoso	6	Exitoso	Exitoso
66	EST117	17	2	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso	3
67	EST118	11	2	Exitoso	Exitoso	Exitoso	8	Exitoso	3
68	EST119	133	4	Exitoso	Exitoso	9	Exitoso	Exitoso	3
69	EST121	71	1	Exitoso	Exitoso	8	Exitoso	Exitoso	1
70	EST122	81	3	Exitoso	Exitoso	10	1	Exitoso	Exitoso
71	EST123	44	Exitoso	Exitoso	Exitoso	8	Exitoso	Exitoso	1

Discusión

Aplicación programa CCDO-CIOH

Se logró observar la ventaja de trabajar con el lenguaje de programación MATLAB frente a otros programas, teniendo en cuenta las facilidades que este ofrece para la presentación de información gráfica. Entre estas facilidades tal vez la más relevante consistió en que no fue necesario remitir la información al disco duro en nuevos archivos para poder utilizarla posteriormente en la graficación.

El programa CCDO-CIOH brinda al usuario la posibilidad de decidir, entre varias opciones, que hacer con los datos que no superen, por cualquier motivo, alguno de los niveles de control de calidad. Por esta misma razón, la interacción usuario-programa es completa requiriendo dedicación exclusiva y concentración del usuario, ya que los lapsos de tiempo entre preguntas del programa y muestra de resultados gráficos son cortos.

El ítem anterior podría ser irrelevante para cruceros con poca cantidad de estaciones, sin embargo, para cruceros como el Crucero Caribe 2002, que contó con 71 estaciones óptimas para analizar, podría llegar a ser un poco tedioso. Una opción aplicable, consiste en hacer unas modificaciones sencillas al código fuente, dejando fijas las opciones de selección escogidas por el usuario. Esto hace que el programa se ejecute automáticamente, pero deteniéndose en cada despliegue de gráficas, buscando que el usuario pueda apreciar la variación en las mismas posterior al paso por cada nivel.

Si el usuario, desea efectuar comparaciones entre una estación y otra simplemente no deberá cerrar las ventanas de las gráficas. Al cambiar de estación y hacer el despliegue gráfico, el programa CCDO-CIOH automáticamente sobrepondrá el nuevo perfil en la misma gráfica sin borrar el anterior.

Durante el desarrollo de los distintos niveles de control de calidad, en el despliegue de los perfiles de salinidad, se pudo observar que las curvas no aparecen suavizadas. Esto se atribuye, en primera instancia, al empleo de los rangos de Levitus para la verificación, debido a que la Región Caribe está incluida en lo que para el WOD05 es denominado la región del Atlántico Norte que abarca todo el Océano

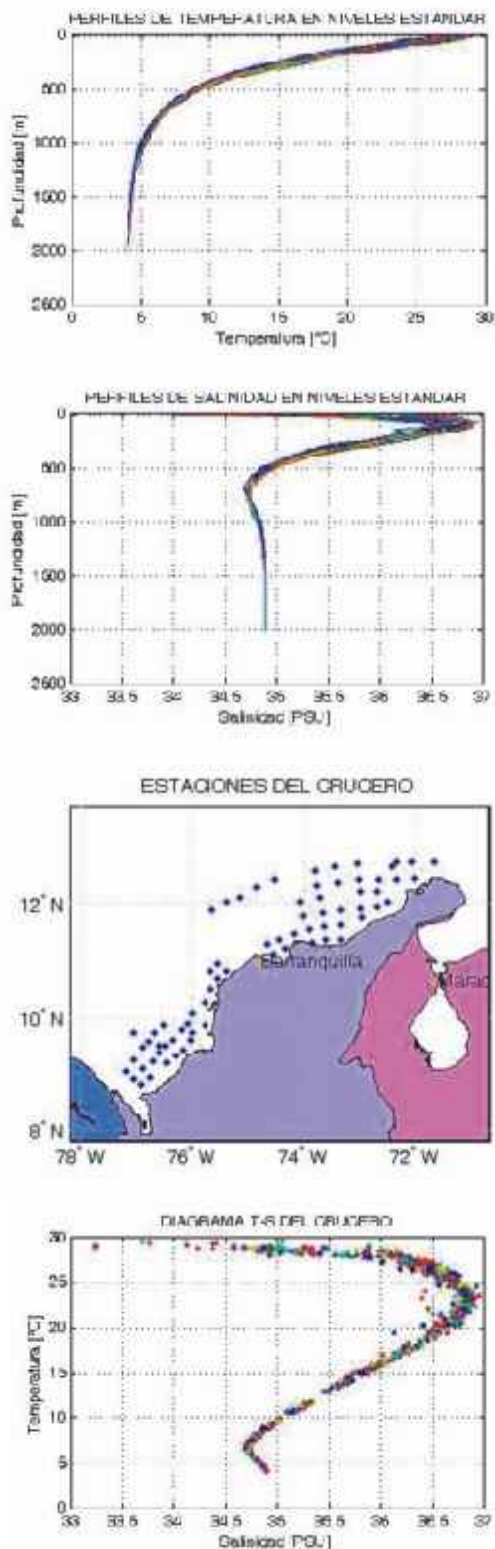


Figura 4. Curvas finales del Crucero Caribe 2002 realizadas por el programa CCDO-CIOH.

Atlántico desde la línea del Ecuador hasta latitudes aproximadas a los 65° N, lo cual, como se puede apreciar, constituye una extensión demasiado amplia, haciendo que los rangos de salinidad sean igualmente amplios. A pesar de esto, al convertir los datos a profundidades estándar, esta posible falencia queda superada. En general será necesario profundizar en el conocimiento claro de la climatología propia del Caribe colombiano con el fin de utilizar rangos propios originados en esta climatología y no remitirnos a los rangos de Levitus.

Una vez se realice una verificación de la climatología del Mar Caribe colombiano, la cual tenga en cuenta la estacionalidad, será necesario analizar nuevamente la medida estadística utilizada para la ejecución del décimo nivel de control de calidad. Actualmente se establece una verificación que implica que los valores por encima de tres desviaciones estándar son considerados fuera del rango y por tanto erróneos.

Análisis oceanográfico general del Crucero Caribe 2002, como ejemplo de la aplicación del programa CCDO-CIOH

A fin de comprobar la efectividad de la aplicación de la metodología propuesta y de su respectiva automatización mediante el programa CCDO-CIOH, se utilizaron los datos del Crucero Caribe 2002, con el fin de aplicarla. Luego de la cual, se desarrolló un análisis oceanográfico básico a fin de corroborar si el comportamiento de los datos calificados correspondía a lo esperado para la Región del Caribe colombiano en la época anual de la toma de datos. Para esto se tomaron dos transectos a lo largo de la costa Caribe colombiana, conformados por estaciones completamente verificadas con el programa CCDO-CIOH, con el fin de tener una apreciación general y básica de las condiciones oceanográficas del área del crucero. El primer transecto se denominó "A" y se tomó lo más cercano posible a la línea de costa y un segundo transecto denominado "B" a una mayor distancia de la misma.

Transecto "A"

En promedio el transecto "A" está ubicado a unas 8 millas de la línea costa y cuenta con 20 estaciones, verificadas por el programa CCDO-CIOH, ubicadas a lo largo de la misma, desde la longitud de 77° W hasta 72° W. La época del año en la cual se realizó el crucero fue hacia finales del mes de noviembre del año 2002,

de lo cual se puede inferir que el período climatológico durante el desarrollo del crucero corresponde a una transición entre la finalización de la época húmeda, caracterizada por vientos débiles de orientación variable y régimen de lluvias abundantes, y el inicio de la época seca, caracterizada por vientos fuertes del sector norte noreste y lluvias débiles escasas, razón por la cual durante la toma de estaciones se registraron valores de velocidad del viento que variaron entre los 0.5 m/s y los 16.0 m/s.

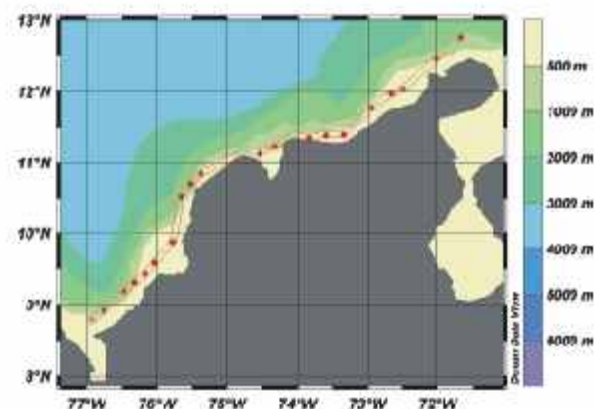


Figura 5. Transecto "A" Crucero Caribe 2002.

Para la temperatura se observa una distribución acorde a lo esperado en la vertical, sin embargo la distribución horizontal, a lo largo del transecto varía en descenso desde la estación No. 1 ubicada frente al Golfo de Urabá hasta la estación No. 123, ubicada frente a la Península de la Guajira, como se puede apreciar en la figura 6. Este fenómeno probablemente es causado por el ascenso de masas de agua, debido al incremento de la intensidad de los vientos provenientes del Noreste, dando inicio al fenómeno conocido como surgencia costera.

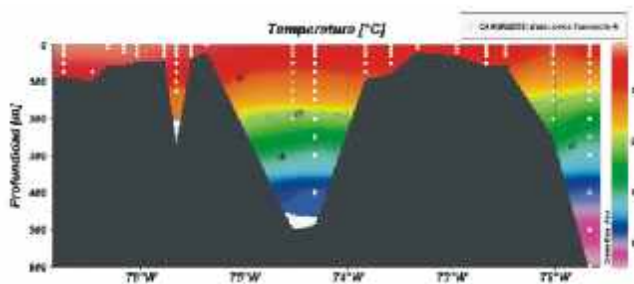


Figura 6. Perfil de temperatura Transecto "A".

Las estaciones ubicadas en el área de la Península de la Guajira, registran valores entre los 24° C y los 26° C de temperatura superficial, mientras que las ubicadas hacia el Golfo de Urabá, registran valores entre los 27° C y los 29° C, lo cual nos indica la posible presencia del fenómeno de surgencia costera, por aguas mas frías de zonas mas profundas, producida por una fuerte divergencia del transporte de Ekman tal y como fue discutido por Andrade (2000) [17], la cual ha sido documentada en estudios previos en términos de distribución de salinidad (Gordón 1967); datos históricos (Perloth 1971); análisis isanostérico (Febres-Ortega 1972); corrientes inducidas por el viento (Fajardo 1979) y en la descripción oceanográfica general del comportamiento de este fenómeno (Andrade 2000) [17]. Sin embargo, es necesario realizar una verificación de los parámetros químicos y biológicos del área que corroboren la ocurrencia de este fenómeno.

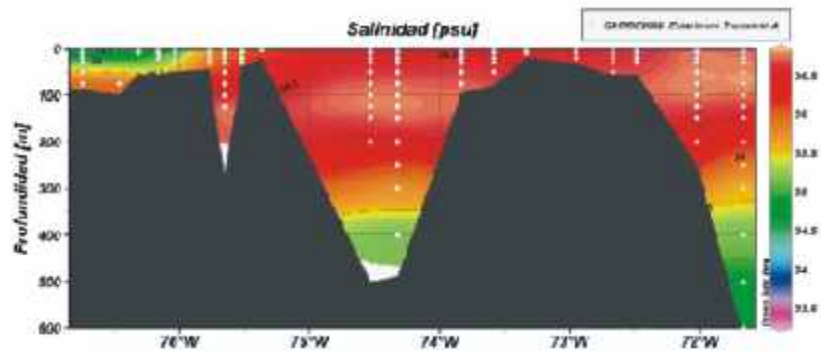


Figura 7. Perfil de salinidad Transecto “A”.

Para el caso de la densidad, el comportamiento está acorde con lo observado previamente en las gráficas de temperatura y salinidad, mostrando una distribución horizontal con valores ascendentes desde las estaciones más cercanas al Golfo de Urabá hasta la Península de la Guajira, con un valor mínimo en superficie en la estación No. 5 con un valor de 20.748 Kg/m³ y un valor máximo en superficie en la estación No. 123 con valor de 24.277 20.748 Kg/m³, área de posible surgencia costera.

Como soporte adicional al análisis anterior, se cuenta con la variación de salinidad en el mismo transecto, figura 7, en la cual se puede apreciar una distribución horizontal cuya variación es ascendente conforme las estaciones se aproximan a la Península de la Guajira, es decir, con valores bajos para la salinidad en las aguas superficiales debido a los aportes fluviales en el Golfo de Urabá y aumento de esta en las zonas más profundas (parte superior izquierda de la gráfica), con un valor mínimo superficial de 33.244 psu en la estación No. 5 y un máximo superficial en la estación No. 84 con 36.778 psu, como aspectos para destacar y que merecen un estudio más detallado se consideran el hecho de que hacia el sector de la Península de la Guajira el cambio en el valor de esta variable en la vertical es mínimo en los primeros 200 m (parte superior derecha de la gráfica) y la aparición de un núcleo salino hacia los 100 m de profundidad a la altura de las estaciones No. 26 y 27 ubicadas en el sector intermedio frente a Barranquilla y Santa Marta.

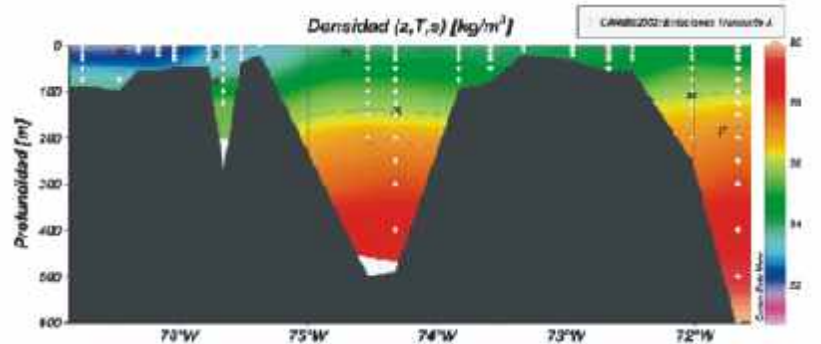


Figura 8. Perfil de densidad Transecto “A”.

Transecto “B”

Éste se encuentra ubicado a unas 15 millas de la costa colombiana y cuenta con datos de 17 estaciones, verificadas por el programa CCDO-CIOH, desplegadas desde la longitud de 77° W hasta 72° W, como se puede apreciar en la figura 9.

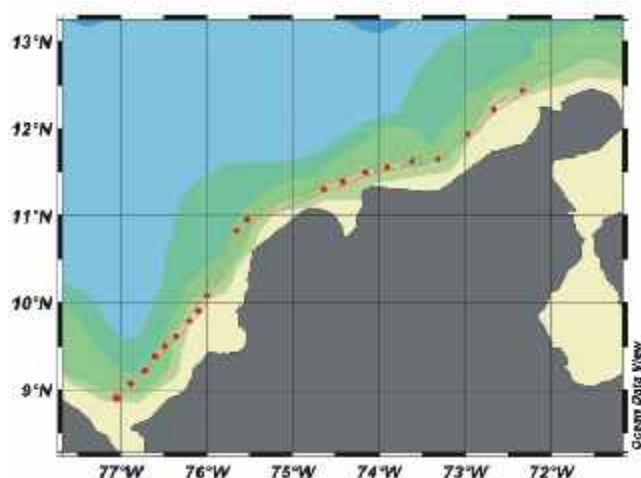


Figura 9. Transecto "B" Crucero Caribe 2002.

Para la temperatura se presentan una distribución horizontal uniforme y una distribución vertical acorde a lo esperado posiblemente reflejo de que, a esta distancia de la costa, con sectores de mayor profundidad, por acción de vientos y corrientes la variable se comporta más uniformemente, lo que podría llevar a pensar que el fenómeno de surgencia es perceptible pero en una menor medida, figura 10.

Los valores de temperatura oscilan entre 25.5 °C y 27.5 °C en la capa superficial del transecto. Estos valores disminuyen a medida que aumenta la profundidad llegando al valor mínimo de 5° C. Se debe tener en cuenta que para el caso de algunas de las estaciones registradas, en este transecto, los valores de la gráfica son producto de la interpolación que realiza el software de graficación.

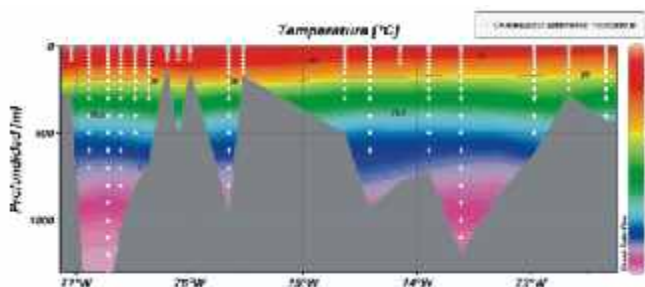


Figura 10. Perfil de temperatura Transecto "B".

En cuanto a los valores de salinidad en el mismo transecto, figura 11, se presentan los máximos en las estaciones ubicadas al oeste de la Península de la Guajira con valores de 36.5. Estos valores se encuentran en la parte superficial posiblemente como consecuencia de la alta evaporación que se presenta en este sector del Caribe colombiano, sumado a la posible surgencia, que trae aguas más salinas. Igualmente se destaca como aspecto que merece un estudio más detallado la cuña salina que se observa distribuida horizontalmente desde la Península de la Guajira, ocupando la columna de agua desde la superficie hasta los 200 m de profundidad, llegando hasta el sector del Golfo de Urabá, haciéndose más delgada ocupando la columna de agua entre los 100 y 200 m de profundidad.

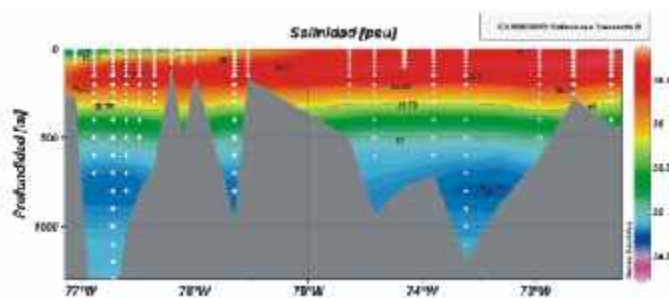


Figura 11. Perfil de salinidad Transecto "B".

Los valores de densidad del transecto, muestran estabilidad en toda la columna de agua, con valores menores en la parte superior y mayores en aguas profundas.

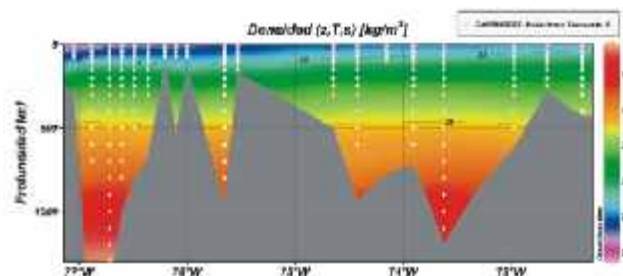


Figura 12. Perfil de densidad Transecto "B".

Temperatura superficial

Dentro del análisis de planta, desarrollado luego de la aplicación del programa CCDO-CIOH a los datos, figura 13, se observa un comportamiento acorde a lo

ya expuesto, pero de una manera mucho más apreciable en cuanto a las variaciones desde la línea de costa hacia el mar abierto y desde el Golfo de Urabá hasta la Península de la Guajira, siendo más notoria la posible presencia del fenómeno de surgencia costera, al inicio de la época de los vientos fuertes, resaltando que su amplitud corresponde a la variación de los contornos de colores en la zona, tal y como se aprecia en la figura. Así como una expectativa de aumento de la misma en razón del incremento de los vientos. Además, se aprecia una variación de temperaturas con valores de 29° C para el área del Golfo de Urabá y 25° C para la península de la Guajira. Sin embargo, no se debe perder de vista que en la gráfica es el resultado de una interpolación realizada a los valores de temperatura superficial del mar luego de haber sido aplicada la metodología de control de calidad de datos propuesta.

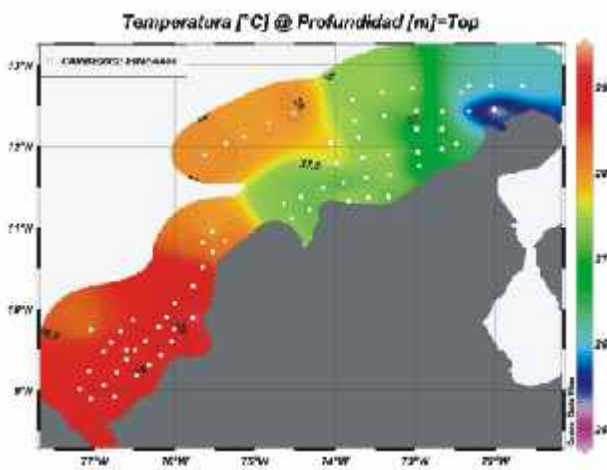


Figura 13. Temperatura superficial Crucero Caribe 2002.

Diagrama T-S

Consecuentemente con la necesidad de una herramienta funcional y pragmática, el programa CCDO-CIOH entrega de manera automatizada varias gráficas, entre éstas un diagrama T-S del crucero al que se le realizó el control de calidad. Para el caso del crucero Caribe 2002, la verificación del diagrama T-S, nos muestra la presencia de masas de agua en el Caribe colombiano, la caracterización completa de estas masas de agua requiere de un estudio más a fondo y no es la finalidad de este trabajo. Sin embargo, efectuando un análisis básico de la posible

caracterización observada, tomando los criterios expuestos por Knauss [18] y Stewart [19] en sus libros, se observan cuatro pares T-S característicos, el primero en 28° C y 35 psu, el cual podría corresponder a la presencia de agua superficial del Caribe, el segundo en 24° C y 36.9 psu, el cual podría corresponder a la presencia de agua subtropical del atlántico norte, el tercero en 7° C y 34.7 psu, el cual podría corresponder a la presencia del agua intermedia antártica y finalmente un cuarto par en 4° C y 34.9 psu, el cual podría corresponder a la presencia de agua profunda del Atlántico Norte.

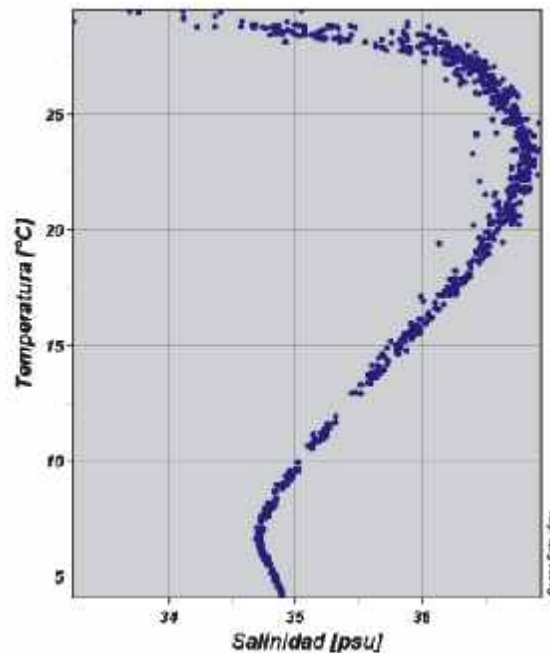


Figura 14. Diagrama T-S Crucero Caribe 2002.

Finalmente, es necesario establecer que dentro del ejemplo desarrollado, se encontró que los valores de la temperatura y la salinidad no superaron los rangos establecidos (Levitus) en ninguna de las estaciones. Los datos resultantes luego del control de calidad presentan un comportamiento óptimo, sin embargo, se debe tener en cuenta que el ejemplo solamente tomó la información de un crucero, el cual concordó con la época llamada húmeda para el Caribe colombiano.

Lo anterior, lleva a proponer el proceso expuesto (tomado rangos de la climatología de Levitus) como

primera aproximación al control de calidad de datos en zonas en las que no se cuente con información climatológica previa. Susecivamente se deberá desarrollar verificaciones comparativas con otros cruceros coincidentes en zonas y épocas del año y mediante procesos de análisis objetivos de datos, determinar los valores climatológicos típicos para el Caribe colombiano.

Agradecimientos

Al Ph.D Serguei Lonin, por su disposición permanente y por los conocimientos que nos transmitió en el desarrollo del trabajo.

Al MSc Carlos Parra por su valiosa colaboración, así como en sus observaciones críticas para hacer de éste un buen trabajo.

Al señor Capitán de Fragata Ricardo Morales Babra, por habernos abierto las puertas del CIOH, para aportar en la investigación de nuestros mares.

Al Centro Mundial de Datos en Silver Spring, Estados Unidos, y en particular a Charlotte Sazama, por habernos permitido recibir la información del WOD05, con los datos necesarios para soportar nuestro trabajo.

Referencias Bibliográficas

[1] Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO. International Oceanographic Data and Information Exchange System. [Homepage en Internet]. IODE; c2007 [Última actualización Febrero 2007; citada 2007 Agosto 3] Disponible en: http://www.iode.org/index.php?option=com_content&task=view&id=2&Itemid=4

[2] Romero Paula Catalina. Funcionalidad del programa IODE (Intercambio Internacional de Datos Oceanográficos), de la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) en Colombia. Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Universidad de La Salle, 2005.

[3] Dirección General Marítima. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas. RETROCEAN 2006 fase II. Anteproyecto. 2005.

[4] Parra Carlos. Proyecto de ampliación de los servicios de la Central de Datos del CIOH: Informe Final. Cartagena: Dirección General Marítima, 2002.

[5] COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES E INTERNATIONAL OCEANOGRAPHIC DATA EXCHANGE. Manual of Quality Control Procedures for validation of Oceanographic Data. Manual and Guides No. 26. [Manual en línea]. Publicación de UNESCO; 1993 [citada 2007 Agosto 3]. Disponible en: <http://nodc.ogs.trieste.it/doc/mg26.pdf>

[6] Saint Lawrence Observatory. Quality Control of STD Data (MLI). [Homepage en Internet]. c2007 [Actualizada 2007 Oct 31; Citada 2007 Ago 3]. Disponible en: http://www.osl.gc.ca/sgdo/en/docs_reference/ctd_odf_quality.html

[7] Institut Français de Recherche Pour L'exploitation de la Mer. Global Ocean Surface Underway Data Pilot Project. IFREMER/SISMER Quality Check Procedure For Time Series. c2007. [Actualizada 2007 Feb 16; Citada 2007 Ago 3]. Disponible en: <http://www.ifremer.fr/gosud/quality/sismer.htm>

[8] Maillard C, Balopoulos E, Giorgetti A, Fichaut M, Iona A, Larour M, et al. An Integrated System for Managing Multidisciplinary Oceanographic Data Collected in the Mediterranean Sea during the Basin Scale Research Project EU/MAST MATER (1996-2000). Francia; 2001.

[9] Johnson, DR, TP Boyer, HE Garcia, RA Locarnini, AV Mishonov, MT Pitcher, et al. 2006. World Ocean database 2005 Documentation. Ed. Sydney Levitus. NODC Internal Report 18, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 163 pp. disponible en: <http://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOD05/docwod05.html>

[10] Boyer T, Levitus S. Quality Control and Processing of Historical Oceanographic Temperature, Salinity and Oxygen Data. National Oceanographic Data Center. Ocean Climate Laboratory NOAA Technical Report NESDIS 81. Washington DC. 1994

[11] Dirección General Marítima. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas. Informe final crucero oceanográfico Caribe 2002.

[12] Andrade C, Rodríguez J, Molares R. Manual de procesamiento de datos oceanográficos del sensor CTD SEABIRD 19 Utilizando el Software SBE DATA PROCESSING versión WINDOWS (SEASOFT-Win32.). Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas. 2004.

[13] Boyer TP, Antonov JI, Garcia E, Jhonson DR, Locarnini RA, Mishonov AV, et al. World Ocean Database 2005. S. Levitus. Washington, D.C. Ed., NOAA Atlas NESDIS 60, U.S. Government Printing Office, 2006. [DVD]. Documento en pdf disponible en: <http://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOD05/docwod05.html>.

[14] Lynn RJ, Reid JL. Characteristics and circulation of deep and abyssal waters. Deep-Sea Research. 1968; 15(1): 577-598.

[15] Pickard GL, Emery WJ. Descriptive Physical Oceanography: An introduction. Oxford: Butterworth y Heinemann. 1990. p. 235-255.

[16] Reiniger RF, Ross CK. A method for interpolation with application to oceanographic data. *Deep-Sea Research*. 1968. 15(1). 185-193.

[17] Andrade C. The Circulation and Variability of the Colombian Basin in the Caribbean Sea. [Ph. D Tesis]. School of Ocean Sciences, University of Wales; 2000.

[18] Knauss John A. Characterization of water masses. En: *Introduction to Physical Oceanography*. 2nd ed. New Jersey: Prentice Hall, 1996; p 172-175.

[19] Stewart R. Deep circulation in the ocean. En: *Introduction to physical oceanography*. Texas: A & M University, 2003; p. 222-228.