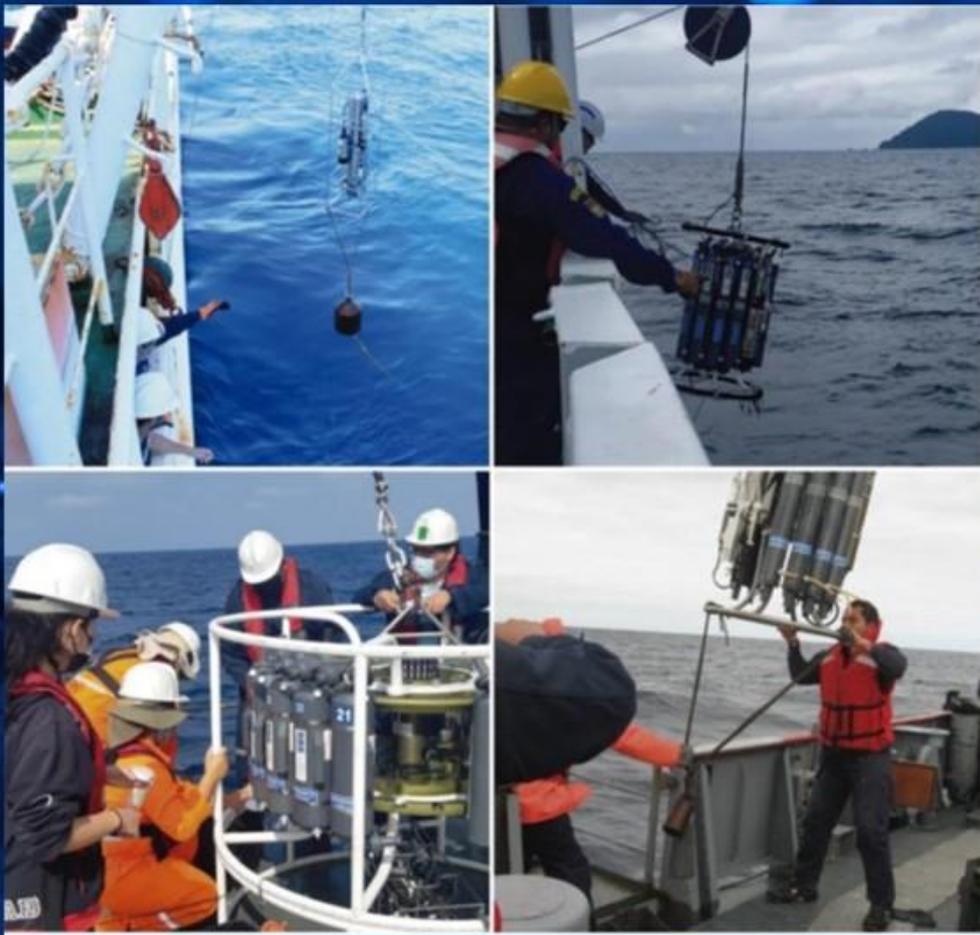




COMISIÓN PERMANENTE DEL PACÍFICO SUR

Guía para el Control de Calidad de
Datos de Temperatura y Salinidad
obtenidos de Cruceros Oceanográficos Regionales



**Grupo de Trabajo Especializado de Base de Datos
de los Cruceros Regionales (GTE-BD)**

**Versión 2
CPPS-2023**

Nota de responsabilidad:

Este documento ha sido preparado por representantes de la Dirección General Marítima (DIMAR), del Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada del Ecuador (INOCAR), del Instituto del Mar del Perú (IMARPE), de la Dirección de Hidrografía y Navegación (DIHIDRONAV), y del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA), con la coordinación de la Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS). Las designaciones empleadas y la presentación de la información en este documento no implican la expresión de juicio alguno de parte de la CPPS. Los puntos de vista expresados en este documento son responsabilidad de sus autores y no necesariamente son los puntos de vista de la CPPS.

COMISIÓN PERMANENTE DEL PACÍFICO SUR – CPPS

Dirección de Asuntos Científicos y Recursos Pesqueros
Av. Francisco de Orellana y Miguel H. Alcívar
Centro empresarial “Las Cámaras”, torre B, planta baja, oficinas 1, 2 y 3
Teléfono: (593-4) 3714390
Correo electrónico: sgeneral@cpps-int.org www.cpps-int.org
Guayaquil, Ecuador

Para efectos bibliográficos se sugiere citar este documento de la siguiente manera:
CPPS. 2023. Guía para el control de calidad de datos de temperatura y salinidad obtenidos en cruceros oceanográficos regionales. Comisión Permanente del Pacífico Sur - CPPS. Guayaquil, Ecuador. 30 p.

Autores:

Carolina Calvete - Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA)
Ruby Ortiz - Dirección General Marítima (DIMAR)
Sonia Recalde, María Belén del Salto - Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada del Ecuador (INOCAR)
Roberto Chauca - Dirección de Hidrografía y Navegación del Perú (DIHIDRONAV)
Noel Domínguez - Instituto del Mar del Perú (IMARPE)

Agradecimientos:

Cristian Asto - Instituto del Mar del Perú (IMARPE)
Rina Gabriel - Dirección de Hidrografía y Navegación del Perú (DIHIDRONAV)
Ivonne Montes - Instituto Geofísico del Perú (IGP)
Centro Nacional de Datos Hidrográficos y Oceanográficos de Chile (CENDHOC)
Centro Colombiano de Datos Oceanográficos (CECOLDO)
Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico (CCCP)
Instituto de Fomento Pesquero (IFOP).

Fotos en la portada:

Izquierda superior: Crucero Oceanográfico Regional de Chile 2020, a bordo del buque Abate Molina. Cortesía del Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) de Chile.

Izquierda inferior: “Crucero Oceanográfico Regional CO-I-2021” a bordo del buque BAE Orión. Cortesía del Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada (INOCAR).

Derecha superior: “Crucero Oceanográfico Cuenca Pacífica Colombiana LX/ XXIII Crucero Regional Conjunto CPPS” 2020 a bordo del buque ARC Roncador. Cortesía del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico (CCCP).

Derecha inferior: “Crucero Oceanográfico Regional en el Mar del Perú” 2012 a bordo del buque BAP.ZIMIC. Cortesía de la Dirección de Hidrografía y Navegación (DIHIDRONAV) del Perú.

© 2023 CPPS
Guayaquil, Ecuador

ISBN: 978-9942-669-01-8



Revisión Histórica

Fecha	Descripción de la revisión	Observación
Noviembre 2023	<ul style="list-style-type: none">• Se actualizó la Tabla 3, incorporando la convención de colores recomendadas por IOOS para las banderas de calidad (pág. 18)• Se cambió la Figura 4 sobre los resultados de la evaluación de inversión de densidad para un perfil de temperatura y salinidad (pág. 34)• Se revisaron las generalidades del proceso de control de calidad, para que reflejara la posibilidad de uso de banderas de calidad intermedias (pág. 28)	

GUÍA PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE DATOS DE
TEMPERATURA Y SALINIDAD OBTENIDOS EN CRUCEROS
OCEANOGRÁFICOS REGIONALES

Grupo de Trabajo Especializado de Bases de Datos de los cruceros
regionales (GTE-BD)

Versión 2

Diciembre 2023

CPPS-2023

CONTENIDO

I	INTRODUCCIÓN	1
II	OBJETIVO Y ALCANCE	2
III	PROCESAMIENTO DE DATOS	2
IV	PRUEBAS DE CONTROL DE CALIDAD	2
	4.1. ESTADO DEL ARTE	2
	4.1.1. A NIVEL GLOBAL	3
	4.1.1.1. Manual de control de calidad en tiempo real del GTSP	3
	4.1.1.2. Atlas Mundial de los Océanos	4
	4.1.1.3. Manual para el control de calidad de datos en tiempo real de temperatura y salinidad in situ	5
	4.1.2. EN LA REGIÓN DEL PACÍFICO SUDESTE	7
	4.1.3. EN CADA ESTADO MIEMBRO DE LA CPPS	7
	4.1.3.1. Chile	7
	4.1.3.2. Colombia	9
	4.1.3.3. Ecuador	13
	4.1.3.4. Perú	14
	4.2. PRUEBAS DE CALIDAD IDENTIFICADAS	16
V	CONTROL DE CALIDAD	18
	5.1. BANDERAS DE CALIDAD	18
	5.2. PRUEBAS DE CALIDAD RECOMENDADAS	18
	5.2.1. COHERENCIA ESPACIAL Y TEMPORAL	19
	5.2.2. VERIFICACIÓN DE PERFILES	22
	5.2.3. IDENTIFICACIÓN DE VALORES IMPROBABLES	24
	5.2.4. INSPECCIÓN VISUAL DE PERFILES	26
VI	BIBLIOGRAFÍA	28

TABLAS

Tabla 1. Cuadro comparativo de las pruebas de calidad identificadas en el nivel internacional.	16
Tabla 2. Cuadro comparativo de las pruebas de calidad identificadas en el nivel nacional.	17
Tabla 3. Banderas de calidad IODE (IOC, 2013).	18
Tabla 4. Aspecto del formato de las columnas de datos con banderas de calidad.	18
Tabla 5. Criterios para validar la posición geográfica y la coherencia temporal.	20
Tabla 6. Rango de valores de salinidad y temperatura del agua globalmente aceptable en la región, hasta los 1000 m.	25

FIGURAS

Figura 1 . Prueba de calidad de coherencia espacial aplicada a un crucero oceanográfico de Chile y la asignación	20
Figura 2 . Prueba de calidad de coherencia espacial aplicada a un crucero oceanográfico del Perú y la asignación de la bandera de calidad QF 4 “Malo”.	21
Figura 3 . Ejemplo de un error común en el manejo del signo para los valores de longitud.	22
Figura 4 . Ejemplo de la evaluación de inversión de densidad para un perfil de temperatura y salinidad de un crucero oceanográfico del Perú.	24
Figura 5 . Aspecto de dos perfiles de salinidad y temperatura de dos cruceros oceanográficos del Pacífico colombiano, calificados con banderas de calidad IODE.	25
Figura 6 . Perfiles de temperatura, salinidad y densidad correspondiente a una estación de un crucero oceanográfico en aguas ecuatorianas y sus respectivas banderas de calidad.	27

SIGLAS

BAC	Boletín Alerta Climática
CC-CR	Comité Coordinador de los Cruceros Regionales
CECOLDO	Centro Colombiano de Datos Oceanográficos
CENDHOC	Centro Nacional de Datos Hidrográficos y Oceanográficos de Chile
COI	Comisión Oceanográfica Intergubernamental
CPPS	Comisión Permanente del Pacífico Sur
CTD	Conductivity, Temperature and Depth
DIHIDRONAV	Dirección de Hidrografía y Navegación del Perú
DIMAR	Dirección General Marítima
ENOS	El Niño-Oscilación del Sur
ERFEN	Estudio Regional del Fenómeno El Niño
GTE-BD	Grupo de Trabajo Especializado de Bases de Datos
GTSP	Global Temperature-Salinity Profile Programme
IE	Instituciones Especializadas
IOC	Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO
IODE	International Oceanographic Data and Information Exchange
IOOS	Observación Oceánica de los Estados Unidos de América
IMARPE	Instituto del Mar del Perú
INOCAR	Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada del Ecuador
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NODC	National Oceanographic Data Center
OMM	Organización Meteorológica Mundial
PSE	Pacífico Sudeste
QA	Garantía de Calidad (por sus siglas en inglés)
QARTOD	Quality-Assurance/Quality Control of Real-Time Oceanographic Data
QC	Control de Calidad (por sus siglas en inglés)
SHOA	Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
WOA	World Ocean Atlas

DEFINICIONES

Bandera de calidad.	Son Indicadores de la calidad de los datos.
Control de calidad.	Pasos de seguimiento que respaldan la entrega de datos de alta calidad y requiere tanto automatización, como intervención humana.
Datos.	Representación simbólica de una medición u observación oceanográfica.
Estación.	Punto o área geográfica en el que se recopilan datos o muestras de agua/suelo o se realizan observaciones. Suele llamarse estación de muestreo o estación de monitoreo.
Matriz de datos.	Datos ordenados en filas y columnas, donde una fila es cada una de las líneas horizontales de la matriz y una columna es cada una de las líneas verticales de la matriz.
Perfil.	Cada una de las mediciones oceanográficas realizadas a lo largo de la columna de agua.

I | INTRODUCCIÓN

El Programa para el Estudio Regional del Fenómeno El Niño (ERFEN) desde su creación el 6 de noviembre de 1992, ha promovido las actividades de monitoreo constante de las condiciones océano-atmosféricas con el fin de obtener información para caracterizar el sistema climático con énfasis, en el ciclo El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) en el Pacífico Sudeste (PSE).

La vigilancia integrada de la variabilidad climática y el evento ENOS, comprende actividades de monitoreo abordo de cruceros oceanográficos coordinados regionalmente, donde se colectan datos de tipo meteorológicos y oceanográficos (físicos, químicos y biológicos). Conjuntamente, los Estados miembros de la Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS), bajo el marco del Protocolo ERFEN, también desarrollan mediciones periódicas en estaciones fijas costeras, las cuales, junto a la información de cruceros, son posteriormente analizadas por las Instituciones Especializadas (IE), cuyos resultados se plasman en informes tales como: el Boletín de Alerta Climático (BAC) e informes anuales del Comité Coordinador de los Cruceros Regionales (CC-CR).

Las instituciones especializadas de los Estados miembros de la CPPS, realizan un esfuerzo por mantener la vigilancia de las condiciones océano-atmosféricas asociadas al estudio del evento ENOS, siendo los datos adquiridos de un gran valor para la gestión de riesgos de desastres en la región.

Debido a la gran recopilación de datos asociados al desarrollo de los Cruceros Regionales, y de acuerdo con el Protocolo sobre el Programa para el Estudio Regional del Fenómeno El Niño en el Pacífico Sudeste (ERFEN); se propuso la formación del Grupo de Trabajo Especializado de Base de Datos (GTE-BD), con el objetivo de articular los esfuerzos y capacidades de los países de la Región, para la adecuada gestión de datos océano-atmosféricos recopilados. La primera reunión de este grupo, fue realizada en marzo del año 2008 en conjunto con la X reunión del CC-CR.

Desde entonces, el GTE-BD cumpliendo con el objetivo principal asociado a la gestión de datos, así como, la implementación de formatos, guías y metodologías aplicando estándares y mejores prácticas internacionales, ha publicado el “Protocolo del uso del CTD Sea-Bird y procesamiento de datos”, los “Términos de referencia del GTE-BD” y el “Protocolo de acceso e intercambio de datos, metadata e información”. Adicionalmente, considerando la necesidad de contar con datos de alta calidad, en la XII reunión del GTE-BD realizada el 28 de mayo de 2019, dentro del Plan de Trabajo 2019-2020 se acordó “Elaborar una propuesta de guía metodológica para el control de calidad de primer nivel, considerando los datos de temperatura y salinidad de la columna de agua”.

En la elaboración de esta guía, se recopilaron fuentes bibliográficas relacionadas al control de calidad de datos oceanográficos de los países de la región, así como buenas prácticas de la comunidad oceánica en investigación científica, observación y gestión de datos e información, del programa para el Intercambio Internacional de Datos e Información Oceanográfica (IODE, por sus siglas en inglés).

II | OBJETIVO Y ALCANCE

Establecer una metodología para el control de calidad de datos de salinidad y temperatura de la columna de agua, obtenidos mediante perfiladores CTD en los cruceros oceanográficos asociados al programa ERFEN de la CPPS.

Las pruebas de calidad propuestas conducirán a la asignación de banderas de calidad recomendadas por el programa internacional IODE. Los datos calificados harán parte de la Base de Datos Regional para los diferentes usuarios.

III | PROCESAMIENTO DE DATOS

La calidad del dato comienza con el aseguramiento de su calidad (QA, por sus siglas en inglés), que se logra con la correcta toma y procesamiento inicial del mismo. El equipo CTD cuenta con un software para el procesamiento de datos crudos o primarios, el cual constituye el punto de partida para el aseguramiento y posterior control de calidad del dato que será almacenado y preservado en los diferentes sistemas de información. Este procesamiento se basa en criterios definidos a partir de la experiencia del investigador de campo y las características de la zona donde se está trabajando.

Para iniciar el procesamiento y el control de calidad de los datos obtenidos mediante CTD en los cruceros regionales, el GTE-BD recomienda aplicar el “Protocolo del uso del CTD SEA-BIRD y procesamiento de datos” aprobado en 2015 por la CPPS y disponible en <http://dx.doi.org/10.25607/OBP-1098>.

IV | PRUEBAS DE CONTROL DE CALIDAD

4.1. ESTADO DEL ARTE

Para establecer las pruebas de calidad de nivel primario recomendadas por el programa internacional IODE, se efectuó una revisión del estado del arte del control de calidad de datos de temperatura y salinidad obtenidos mediante diferentes métodos a nivel global, regional y en cada Estado miembro de la CPPS, para identificar las pruebas de calidad fundamentales que permitirán establecer la línea base del procesamiento y análisis de los datos que alimentarán la base de datos de los cruceros oceanográficos regionales.

4.1.1. A NIVEL GLOBAL

4.1.1.1. Manual de control de calidad en tiempo real del GTSP

El Manual N° 22 de la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI), fue revisado en 2010¹ en el marco del Programa Global de Perfil de Temperatura y Salinidad (GTSP, por sus siglas en inglés) el cual maneja datos de perfiles de temperatura y salinidad, cuyos registros provienen de observaciones obtenidas a partir de muestras de agua, termosalinómetro y perfiladores, tales como el sensor de CTD. El propósito de este manual es establecer pruebas estándar para el control de calidad de datos en tiempo real, así como describir exactamente el proceso de calificación que se emplea. El esquema de banderas de calidad aplicado es el de GTSP y la metodología se desarrolla en cinco etapas (IOC, 2010):

1. Pruebas de ubicación e identificación: Compila información general de calidad tal como identificación de la plataforma, fechas y horas imposibles, posiciones geográficas imposibles, estaciones en tierra, velocidades imposibles (comparadas con la velocidad de la plataforma) y sonido imposible (comparado con la batimetría).
2. Pruebas de perfil: Consiste en una serie de pruebas tales como verificación de valores de parámetros imposibles (globales y regionales), incremento de la profundidad, perfil envolvente, perfil constante, punto de congelación, pico (superior e inferior), gradiente, inversión de densidad, límite inferior (comparando con la batimetría) e inversión de temperatura.
3. Pruebas de climatología: Aplica estadísticas estacionales de Levitus, climatología de Emery y Dewar, climatología de Asheville y la climatología mensual de Levitus.
4. Pruebas de consistencia de perfil. Compara un perfil, con perfiles adyacentes para determinar si son similares. Lo hace calculando la diferencia de cada perfil de su media y luego comparando estas diferencias. Si se encuentran por debajo de un umbral determinado, los perfiles pasan la prueba. Para realizar esta prueba, los perfiles deben interpolarse al mismo conjunto de profundidades. Se utiliza el esquema de interpolación Reineger-Ross y solo se utilizan aquellos puntos y profundidades que no hayan sido calificados como datos malos. Además, se considera que los dos perfiles deben haberse recopilado dentro de 500 kilómetros y con una diferencia de cinco (5) días el uno del otro.
5. Inspección visual: Revisión por parte del experto, tanto de los perfiles oceanográficos, como de la trayectoria del crucero.

¹ La primera versión se publicó en los años noventa.

4.1.1.2. Atlas Mundial de los Océanos

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) publicó en julio de 2019, la nueva versión del Atlas Mundial de los Océanos (WOA, por sus siglas en inglés), considerando la climatología global de 1° y ¼° de grado de resolución con datos de temperatura, salinidad, oxígeno y nutrientes, recolectados a nivel mundial desde 1981-2010. Para el control de calidad de estos datos, se aplicaron siete criterios (Locarnini et al., 2018 y Zweng *et al.*, 2019):

1. Eliminación de datos duplicados: La eliminación de valores de datos repetidos se realiza detectando la presencia de réplicas exactas y "cercanas", utilizando para ello ocho criterios diferentes. Las primeras verificaciones por ejemplo incluyen la identificación de estaciones con posición / fecha / hora y valores de datos exactos.
2. Comprobaciones de rango y gradiente: La verificación de rango (es decir, la verificación de si un valor de temperatura está dentro de los valores mínimos y máximos preestablecidos en función de la profundidad y de la región oceánica) se realizó en todos los valores de temperatura como una primera verificación de control de calidad, con el fin de marcar y evitar el uso adicional de los relativamente pocos valores que estaban extremadamente fuera de los límites oceánicos esperados.
3. Comprobaciones estadísticas: Se realiza de la siguiente manera: Todos los datos de temperatura (independientemente del año), en cada nivel de profundidad estándar, se promedian dentro de los cuadrados de latitud-longitud de cinco grados para producir un registro del número de observaciones, la media y la desviación estándar en cada cuadrado. Las estadísticas se calcularon para los períodos de composición anual, estacional y mensual.
4. Control de estabilidad estática: Se comprueba la estabilidad estática de cada dato que contiene temperatura y salinidad, según lo definido por Hesselberg y Sverdrup (1914).
5. Marcado subjetivo de datos: El análisis para WOA18 se realizó en dos cuadrículas: una cuadrícula de un grado y una cuadrícula de cuarto de grado. Para el análisis de un grado, los datos de temperatura se promediaron por cuadrados de un grado para la entrada al programa de análisis objetivo.
6. Representatividad de los datos: La escasez general de datos obliga a la composición de todos los datos históricos a producir campos "climatológicos". Las climatologías también se calculan para otro período de tiempo, 1981-2010, el período "clima normal", para compararlo con otros trabajos que usan este período de tiempo.

7. Sesgo de temperatura XBT / MBT: Las temperaturas XBT y MBT tienen un sesgo cálido en relación con las temperaturas de botella y CTD (Gourestki y Koltermann, 2007). El sesgo XBT era bien conocido casi desde su inicio, y se atribuyó a una ecuación de tasa de caída, que convirtió el tiempo desde la caída en profundidad en el océano, que no era del todo exacto en condiciones oceánicas.

4.1.1.3. Manual para el control de calidad de datos en tiempo real de temperatura y salinidad in situ

El documento más recientemente publicado por el Sistema Integrado de Observación Oceánica de los Estados Unidos de América (IOOS, por sus siglas en inglés) sobre control de calidad de datos de salinidad y temperatura, corresponde al “Manual para el control de calidad de datos en tiempo real de temperatura y salinidad in situ”. En su versión 2.1 de marzo de 2020 documenta una serie de prácticas, no solo para el control de calidad (QC, por sus siglas en inglés) sino también, para el aseguramiento de la calidad (QA², por sus siglas en inglés), de datos de temperatura y salinidad recopilados en tiempo real³ en océanos, aguas costeras y lagos (IOOS, 2020).

Las pruebas de calidad se basan en la experiencia previa de programas como el GTSP y Argo, asimismo, son aplicables a mediciones realizadas con instrumentos tales como CTD y *gliders*, y el esquema de banderas de calidad es el recomendado por el programa internacional IODE. Las pruebas se categorizan en tres grupos dependiendo si son “necesarias”, “muy recomendadas” y “recomendadas” (IOOS, 2020):

Grupo 1: Pruebas necesarias

1. Agregación temporal: La prueba determina que los datos se han medido y recibido dentro de la ventana de tiempo esperada.
2. Sintaxis: La prueba revisa que el contenido de un campo contenga la estructura apropiada.
3. Posición geográfica: La prueba verifica que la posición física de la medición (latitud / longitud) esté dentro de los límites determinados.
4. Rango: Todos los sensores tienen un rango de salida limitado, y en esta prueba se verifica que los valores se encuentren dentro de dicho rango (máximo y mínimo).

² Planeación y toma de datos.

³ Las características de los datos en tiempo real para este caso son: (i) datos entregados lo antes posible después de la adquisición para uso inmediato; (ii) una serie temporal que se extiende solo hacia atrás en el tiempo, donde el siguiente punto de datos no está disponible; e (iii) intervalos de muestreo de unos pocos segundos a unas pocas horas o incluso días, dependiendo de la configuración del sensor.

5. Climatológica: Esta prueba revisa la variación del rango bruto, donde los umbrales se ajustan mensualmente, estacionalmente o en algún otro período de tiempo seleccionado. Se requiere el conocimiento del experto para determinar promedios estacionales razonables.

Grupo 2: Pruebas muy recomendadas

1. Picos: La prueba se efectúa comparando los datos con dos umbrales (alto y bajo). Estos umbrales pueden ser valores fijos o establecidos dinámicamente (p. ej. un múltiplo de la desviación estándar, durante un período seleccionado).
2. Tasa de cambio: Esta prueba inspecciona una serie de datos para una tasa de cambio de tiempo, que excede un valor umbral determinado.
3. Línea plana: Cuando algunos sensores y / o plataformas de recolección de datos fallan, el resultado puede ser una observación repetida continuamente del mismo valor. Esta prueba compara la observación actual (n) con un número de observaciones anteriores. La observación (n) se marca si tiene el mismo valor que las observaciones anteriores, dentro de un valor de tolerancia

Grupo 3: Pruebas recomendadas

1. Varianza múltiple: Inicia con la prueba de tasa de cambio descrita en el Grupo 2 con un umbral específico; si esta falla se realiza una segunda prueba de tasa de cambio que opera en una segunda variable (la salinidad o la conductividad serían las más probables).
2. Señal atenuada: Un modo común de falla del sensor, puede proporcionar una serie de datos que es casi, pero no exactamente, una línea plana. Esta prueba inspecciona un valor de variación de rango (máximo y mínimo) que no supera los valores umbrales definidos durante un período de tiempo seleccionado.
3. Estación vecina: Esta prueba es potencialmente la más útil cuando un sensor cercano tiene una respuesta similar y comparable.
4. Diagrama TS / espacial: La curva de Temperatura y Salinidad (TS) es una herramienta clásica utilizada para evaluar observaciones, especialmente en el océano abierto debajo de la termoclina. Las características de la curva TS específicas del sitio, se utilizan para identificar valores atípicos. La curva podría ser una ecuación ajustada o una tabla numérica.
5. Inversión de densidad: Con pocas excepciones, la densidad potencial del agua σ_θ aumentará al aumentar la presión. Cuando se obtienen datos en el perfil vertical, esta prueba se utiliza para marcar las observaciones fallidas de temperatura, conductividad y salinidad práctica, que producen densidades que no aumentan suficientemente con la presión.

4.1.2. EN LA REGIÓN DEL PACÍFICO SUDESTE

En 1969 Ecuador, Perú y Chile elaboraron cartas de Temperatura Superficial del Mar (TSM) de datos sinópticos, quincenales, mensuales, anuales etc., con la finalidad de orientar a la actividad pesquera e industrial conexas, para el aprovechamiento efectivo del recurso, haciendo predicciones a corto y largo plazo, sobre las condiciones del mar (Zuta, 1969).

En el año 2015, el GTE-BD de cruceros regionales desarrolló el “Protocolo del uso de CTD Sea-Bird y procesamiento de datos”, el cual describe la metodología a desarrollarse en campo (es decir, consideraciones de aseguramiento de la calidad de los datos o QA), que incluye desde la operación del equipo, pasando por las fallas comunes, hasta el mantenimiento del mismo (CPPS, 2015). Por otra parte, este manual también describe, los pasos a desarrollar para la extracción y procesamiento de los datos primarios (o datos crudos), siendo esta una etapa establecida por los Estados miembros de la CPPS, para posteriormente continuar con las pruebas de control de calidad, que se pretenden acordar en la presente guía.

4.1.3. EN CADA ESTADO MIEMBRO DE LA CPPS

4.1.3.1. Chile

Estudio de caso # 1

Inostroza, 1972 preparó un atlas oceanográfico que cubrió el área comprendida entre los 18°S a 43°S; y desde la costa hasta los 85°O de Chile. Para aquella época los datos oceanográficos eran escasos, por lo cual, se carecía de información estadística detallada. Lo anterior, no permitió establecer ni evaluar el grado de desviación con respecto a la normalidad, de algún evento oceanográfico en particular.

Para el control de calidad de estos datos, se aplicaron:

1. Inspección visual de las estaciones.
2. Verificación de puntos escapados (valores imposibles).
3. Interpolación gráfica manual para obtener las cartas mensuales.

Estudio de caso # 2

En el año 1996 el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA), publicó una nueva versión del Atlas Oceanográfico de Chile, cubriendo con una mayor densidad de datos, el área comprendida entre los 18°S a 50°S y desde la costa hasta los 82°O (Rojas y Silva, 1996). Durante el desarrollo de este Atlas, los datos oceanográficos fueron organizados según grado cuadrado (1° de latitud por 1° de longitud); bajo este orden se realizaron los siguientes controles de calidad.

1. Revisión visual del posicionamiento espacial de las estaciones.
2. Separación de estaciones según grado cuadrado.
3. Verificación de duplicidad de profundidades.
4. Verificación de puntos escapados (valores imposibles).
5. Verificación de inversión de densidad.
6. Interpolación a niveles estándar de 0, 100, 250 y 600 m.

Estudio de caso # 3

En Blanco *et. al.*, (2001) se obtuvo una climatología de las condiciones oceanográficas en la zona norte de Chile, cubriendo el área entre los 18°S y 24°S y desde la costa hasta los 74°O. En este trabajo los controles de calidad de los datos fueron efectuados a través de observación visual.

Estudio de caso # 4

En el año 2004 el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA), publicó un nuevo Atlas Oceanográfico de Chile, Volumen 2, cubriendo la zona austral comprendida entre los 50°S a 70°S y entre los 50°O a 90°O (Rojas *et al*, 2004).

Para el control de calidad de estos datos, se aplicaron:

1. Revisión visual del posicionamiento espacial de las estaciones.
2. Agrupación de estaciones por trimestre.
3. Verificación de puntos escapados comparando gráficamente con valores históricos.
4. Interpolación espacial a niveles estándar de 0, 100, 200, 300, 400, 500, 750, 1000, 1500 y 2000 m.

Estudio de caso # 5

Todos los datos de perfiladores de CTD adquiridos por el SHOA, son procesados por el Centro Nacional de Datos Hidrográficos y Oceanográficos de Chile (CENDHOC) en base a las recomendaciones de SeaSoft según tipo de CTD utilizado.

Para el control de calidad de estos datos, se aplican:

1. Revisión gráfica de los perfiles verticales en forma individual, detectando puntos escapados.

2. Verificación de inversión de densidad.
3. Comparación de los perfiles de salinidad de CTD, con respecto a los valores obtenidos desde botellas “In situ”. En caso de existir diferencias entre ellos, se verifica si esta es del tipo lineal a través del cálculo de su regresión. Si el $r^2 > 90\%$, dicha regresión es aplicada como corrección al perfil de CTD completo.
4. Revisión gráfica del conjunto de perfiles de temperatura y salinidad a través de diagramas TS.
5. Verificación de puntos escapados comparando gráficamente con valores históricos disponibles (bases de datos CENDHOC).
6. Graficación espacial de las estaciones, verificando posiciones en tierra.

4.1.3.2. Colombia

Estudio de caso # 1

En 2006 el entonces Centro Control Contaminación del Pacífico (CCCP⁴) en asocio con la Facultad de ciencias naturales exactas y de la educación de la Universidad del Cauca de Popayán, Colombia, desarrolló la tesis de grado “Diseño e implementación de una herramienta computacional para el control de calidad y validación de datos oceanográficos” (Sánchez, 2006), en el cual se aplicaron pruebas de calidad a parámetros de salinidad y temperatura medidos con CTD. El área de estudio correspondió al Pacífico colombiano y los datos de prueba utilizados fueron aquellos recopilados durante el Crucero Oceanográfico Pacífico XLI ERFEN XXXIX desarrollado en septiembre de 2005.

Las pruebas de calidad aplicadas en este trabajo se dividieron en dos etapas:

1. Pruebas del perfil, en el cual se validaron:
 - 1.1 Valores globales imposibles.
 - 1.2 Límites físicos válidos para un determinado intervalo de profundidad.
 - 1.3 Perturbación vertical (picos).
 - 1.4 Inversión de densidad, es decir, si a una profundidad determinada el valor de densidad era mayor que la medida de densidad subsiguiente.
 - 1.5 Que el gradiente entre dos pares de puntos adyacentes en un perfil específico de temperatura o salinidad, no supere el umbral predeterminado.

⁴ Mediante el Decreto 5057 de 2009, cambió su nombre a Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico (CCCP).

2. Prueba climatológica. Este filtro utilizó el método de esplines cúbicos para interpolar datos metro a metro en la estadística estacional de Levitus 2005 para la zona de estudio, donde los datos de temperatura y salinidad se encuentran a profundidades estándar y a una resolución de 1 x 1 grados, para que posteriormente sirvieran de patrón climatológico.

En cada etapa se asignaron banderas de calidad correspondientes al esquema del *Ocean Data View* (ODV) y finalmente se menciona la aplicación de un juicio de expertos para validar el proceso mediante la inspección visual.

Estudio de caso # 2

En 2007 el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH) en asocio con la Facultad de oceanografía de la Escuela Naval de Cadetes “Almirante Padilla” de Cartagena, Colombia, publicó el artículo científico “Metodología para la calificación y control de calidad de datos oceanográficos aplicada al Crucero Caribe 2002” (Romero *et al.*, 2007).

Los parámetros validados fueron temperatura y salinidad obtenidos con CTD en 74 estaciones del Caribe colombiano. Con la metodología propuesta se aplicaron once pasos y no se otorgaron banderas de calidad.; estos pasos fueron (Romero *et al.*, 2007):

1. Inspección visual de las estaciones.
2. Verificación de duplicidad de estaciones.
3. Verificación de duplicidad de profundidades.
4. 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.
5. Verificación de rangos de temperatura, con el fin de verificar si los valores obtenidos, en cada una de las estaciones, se encontraban de acuerdo con la climatología del área de estudio; rangos predefinidos del *World Ocean Database* (WOD) año 2005 -climatología de Levitus.
6. Verificación de rangos de salinidad.
7. Verificación de gradientes excesivos de temperatura y salinidad, o decrecimiento excesivo del valor del parámetro respecto a la profundidad.
8. Verificación de densidad en niveles observados.
9. Verificación de estabilidad a niveles estándar.
10. Interpolación a niveles estándar.

11. Verificación estadística en niveles estándar, con el cual se pretendió descartar los valores no representativos y verificar la consistencia de los datos del crucero entre las estaciones.

Superadas todas las pruebas de calidad, se grafican las curvas de salinidad, temperatura y diagrama TS del crucero, para que el experto realice las comparaciones y análisis que estime pertinentes.

Estudio de caso # 3

En 2015, en el marco del convenio de cooperación entre Dimar, Ecopetrol y la Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia (ACAC), se desarrolló el “Atlas de los datos oceanográficos de Colombia 1922-2013” (Andrade *et al.* 2015). Se utilizaron datos históricos de temperatura, salinidad y densidad obtenidos por la Armada de la República de Colombia (ARC) y la Dirección General Marítima (Dimar) desde 1969, complementados con datos obtenidos en WOD año 2013. El esquema de banderas de calidad aplicado en esta iniciativa fue ODV y las pruebas de calidad se resumen así:

1. Eliminación de datos duplicados.
2. Controles de rango y gradiente: “Se comprobó si un valor de la temperatura o salinidad se encontraba entre el mínimo y el máximo preestablecido como una función de la profundidad y en la continuidad termohalina a través de diagramas TS”.
3. Controles estadísticos. “Todos los datos de temperatura y de salinidad, independiente del año y en cada profundidad estándar, se promediaron dentro de celdas de medio grado de latitud y longitud para producir un registro del número de observaciones, la media y la desviación estándar en cada celda. Las estadísticas se calcularon para todos los datos y para periodos decenales, anuales, estacionales y mensuales. Los datos que se obtuvieron del Centro Nacional de Datos Oceanográficos (NODC, por sus siglas en inglés) consideraron un criterio de marcado de carácter estadístico, de tal manera que, por debajo de 50 m de profundidad, si los datos eran más que tres desviaciones estándar de la media, estos fueron marcados y excluidos. Por encima de 50 m de profundidad, se utilizó un criterio de cinco desviaciones estándar en las celdas de cinco grados que contenían cualquier parte de costa. En todas las otras celdas el criterio de tres desviaciones estándar se utilizó para la capa de profundidad de 0 a 50 m. Por niveles de profundidad estándar situadas justo encima de la parte inferior, se utilizó el criterio de cuatro desviaciones estándar (Locarnini *et al.*, 2013)”.
4. Comprobación de estabilidad estática: “La estabilidad estática fue verificada en cada estación oceanográfica con información de temperatura y salinidad, definida en Hesselberg y Sverdrup (1914) y revisada en Neumann y Pierson (1966)”

5. Marcación subjetiva de los datos. Después de realizado el análisis, en ocasiones aún se tenían datos cuestionables que poco contribuían a una distribución realista, produciendo agudos ojos de buey o gradientes espaciales. “El examen de estas características indicó que algunas de ellas eran debido a perfiles particulares de algún crucero oceanográfico. En tales casos, los perfiles fueron marcados con bandera de Mala Calidad y no se permitió su uso posterior, estableciendo una marca en cada perfil”.
6. Representatividad de los datos. “Este atlas intentó reducir los efectos de la toma de muestras de espacio y tiempo irregular mediante el promedio de cuatro climatologías, calculando para los períodos de tiempo: 1970-1979, 1980-1989, 1990-1999 y 2000-2009”.

Estudio de caso # 4

En 2017 el Centro Colombiano de Datos Oceanográficos (Cecoldo) de Dimar, con el apoyo de la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, adelantó la tesis de grado “Aplicación de técnicas de homogenización de series de tiempo de variables oceanográficas, estudio de caso subregión del Pacífico colombiano, como aporte al tema de monitoreo ambiental”.

La metodología propuesta consta de cuatro etapas y fue aplicada a datos de TSM de cruceros oceanográficos realizados en el Pacífico colombiano entre 1972 y 2016 (Castañeda, 2017). Las etapas se resumen en Castañeda *et al*, 2018, así:

1. Inventario y diagnóstico
2. Identificación de valores improbables
 - 2.1 Valores globales improbables.
 - 2.2 Valores regionales improbables.
3. Identificación de datos atípicos
 - 3.1 Prueba de coherencia temporal. Se aplican intervalos de confianza como técnica estadística para establecer límites superiores e inferiores sobre los valores de una variable. El referente climatológico utilizado fue el “Atlas de los Datos Oceanográficos de Colombia 1922-2013”.
 - 3.2 Prueba de coherencia espacial. Esta etapa aplica el principio de las estaciones vecinas desde el punto de vista espacial y climatológico.
4. Inspección visual

Finalmente se asigna una bandera de calidad correspondiente al esquema recomendado por el programa internacional IODE (IOC, 2013).

4.1.3.3. Ecuador

Estudio de caso #1

A pesar de que no se encontraron publicaciones específicas sobre esta práctica, se termina realizando el control de manera subjetiva asimiladas como técnicas de análisis, las mismas que son reforzadas como prácticas profesionales en las instituciones de investigación.

El primer control es el gráfico de cada perfil de CTD, considerado que la temperatura disminuye conforme se profundiza y la densidad aumenta. En cuanto a la salinidad en aguas oceánicas, no sobrepasa valores de 36 ups y no son menores a 29 ups.

En aguas ecuatoriales no siempre se cumple la norma que la salinidad aumenta con la profundidad, porque es una región donde existen mezclas de masas de agua, llegando a encontrarse una capa subsuperficial intermedia con valores elevados, seguidos por aguas con valores inferiores. Por este motivo es que el control definitivo se realiza con el perfil de densidad. Este parámetro está en función de la presión, temperatura y salinidad, por lo que representa mejor los datos anormales en el perfil.

Los CTD tienen un software para el procesamiento de la información que conlleva varios filtros, cuyo manual especifica cuáles serían los idóneos, pero siempre se grafica el perfil, lo que permite comprobar al final, que los filtros fueron bien aplicados.

Existen casos donde los errores atribuibles al equipo por falta de calibración, y al operador por la velocidad de descenso del equipo, produciendo un perfil cuestionable, incluso puede ser declarado como “dato malo”. El parámetro más sensible es la salinidad.

Estudio de caso # 2

Los cruceros oceanográficos son realizados principalmente por dos instituciones de investigación nacionales y universidades con carreras afines a la oceanografía. En todos los casos, durante un crucero se procesa y revisa la información del perfil de CTD, justo después de terminar la estación y antes de empezar la siguiente, independiente de la hora en que se realizó la medición, el investigador de guardia tiene que realizar el protocolo de filtrado y control de cada perfil.

Adicionalmente se van graficando las estaciones, así como las mediciones horarias durante el trayecto, con el objetivo de identificar coordenadas o valores de TSM mal ingresados, sean por omisión de signos (positivos en hemisferio norte, negativo en hemisferio sur y meridianos) o coma decimal, así como, valores que estén fuera del rango esperado por la climatología y ubicación espacial.

4.1.3.4. Perú

Estudio de caso # 1

En 1972 se colectaron datos de TSM de cruceros nacionales e internacionales entre 1928 y 1969, para el área de 1°S y 20°S y entre la costa hasta 86°O divididos por cuadrados de 1° Marsden, donde se obtuvieron promedios mensuales, estacionales y anuales, pasando por un proceso de control de calidad, descartando los datos erróneos (Zuta, 1970):

1. Inspección visual de las estaciones.
2. Identificación de datos atípicos.

Estudio de caso #2

En marzo de 2017 el Instituto del Mar del Perú (IMARPE), en base a datos recolectados entre 1981-2010 de sus distintas evaluaciones realizadas a lo largo de todo el Perú, consolidó un grupo de datos los cuales se presentan considerando una interpolación conjunta con perfiles históricos “in situ” disponibles en la base de datos oceánicos mundiales del WOD, mediante matrices mensuales de alta resolución espacial de 0.1° × 0.1° en latitud/longitud, entre los 0° y 20°S y de 70°O a 90°O, entre la superficie y 1000 m de profundidad (Domínguez, 2017).

1. Selección de perfiles.
2. Detección de duplicados.
3. Rango de datos.
4. Control de calidad.
5. Interpolación.
6. Interpolación vertical.

Estudio de caso #3

En 2018 el IMARPE, en base a los datos recolectados desde 1960 hasta el 2014 de perfiles de temperatura y salinidad “in situ” frente a la costa de Perú, combinados con datos de WOD para el mismo período, aplicó un esquema de interpolación de cuatro dimensiones, para el cálculo de la climatología estacional de temperatura y salinidad, mediante un control de calidad de los datos, como la detección de Outlier (valores atípicos), identificación de datos duplicados, interpolación, etc. (Grados *et al.*, 2018).

1. Selección de perfiles: Los perfiles ubicados erróneamente tierra adentro (en el continente o las islas) son identificados y sistemáticamente descartados. Los perfiles también son rechazados cuando sus profundidades indicadas en el fondo (ZCAST) son claramente mayores que la batimetría local (ZBATHY), estimada a partir de ETOPO01 (Amante y Eakins, 2009).
2. Detección duplicada: Se identifican y eliminan muchos perfiles duplicados. Debido a las diversas fuentes de datos y la inconsistencia en el formato, nuestra definición de perfiles duplicados se extiende a cualquier perfil adquirido al mismo tiempo (año, mes y día, ya que la información más precisa no siempre estaba disponible) y dentro de una distancia radial de 1 km entre perfiles.
3. Control de calidad: El primer control de calidad consiste en eliminar datos erróneos obvios que quedan fuera de los grandes rangos de temperatura y salinidad dados por Johnson *et al.* (2006) para el Pacífico ecuatorial y costero-ecuatorial que se extiende de 10°N a 10°S.
4. Interpolación vertical: Todos los perfiles verticales se interpolan en un conjunto de 55 niveles de profundidad estándar entre la superficie y 1000 m de profundidad, con una resolución aumentada en la termoclina estacional y de capa mixta.
5. Detección de valores atípicos: Los valores atípicos y extremos pueden tener una influencia sustancial en los campos interpolados en cuadrículas, lo que lleva a una distorsión y posiblemente a valores medios inexactos. Para detectar valores atípicos en los perfiles de temperatura y salinidad interpolados verticalmente, se considera una cuadrícula espacial uniforme de $0.1^\circ \times 0.1^\circ$.

Estudio de caso #4

En abril de 2019 la Dirección de Hidrografía y Navegación (DIHIDRONAV) elaboró un Atlas oceanográfico y meteorológico del mar peruano, considerando información de los cruceros oceanográficos de la DIHIDRONAV 1994-2014 y perfiles de boyas Argo del 2000-2014, a fin de obtener mapas de promedios estacionales de la temperatura y salinidad superficial del mar, realizando los siguientes controles de calidad de los datos:

1. Detección de valores atípicos.
2. Detección de duplicados.
3. Interpolación vertical.

4.2. PRUEBAS DE CALIDAD IDENTIFICADAS

En la Tabla 1 se aprecia la comparación de las pruebas de calidad aplicadas a datos de salinidad y temperatura del agua, por parte de reconocidos programas e iniciativas internacionales. En estas se identifican en primer lugar una prueba denominada “Eliminación de datos duplicados” para el caso en que los datos se tomen de diferentes fuentes, seguida de pruebas básicas sobre las posiciones geográficas y la agregación temporal de los datos. En tercer lugar, se evidencian pruebas de rango (es decir, valores máximos y mínimos), así como pruebas climatológicas y en general, pruebas estadísticas. Finalmente se aprecia la inspección visual de los datos como una prueba común para los tres casos de estudio.

Tabla 1. Cuadro comparativo de las pruebas de calidad identificadas en el nivel internacional.

GTSP	WOA	IOOS
-	Eliminación de datos duplicados, ya que los datos se recibieron desde muchas fuentes.	-
Pruebas de ubicación e identificación: Identificación de la plataforma, fechas y horas imposibles, posiciones geográficas imposibles, estaciones en tierra, velocidades imposibles (comparadas con la velocidad de la plataforma), y sonido imposible (comparado con la batimetría).	-	Grupo 1: Pruebas necesarias. Prueba de agregación temporal, sintaxis y posición geográfica.
Pruebas de perfil: Valores de parámetros imposibles (globales y regionales)	Comprobaciones de rango. Se comprobó si el valor de los parámetros estuvo dentro de valores máximos y mínimos preestablecidos en función de la profundidad y región oceánica;	Grupo 1: Pruebas necesarias. Prueba de rango (máximo y mínimo).
Pruebas de climatología: aplica estadísticas estacionales de Levitus, la climatología de Emery y Dewar, la climatología de Asheville y la climatología mensual de Levitus.	-	Grupo 1: Pruebas necesarias. Prueba climatológica.
Pruebas de perfil: Incremento de la profundidad, perfil envolvente, perfil constante, punto de congelación, pico (superior e inferior), gradiente, inversión de densidad, límite inferior (comparando con la batimetría) e inversión de temperatura.	Comprobaciones de gradientes positivos y negativos. Comprobaciones estadísticas. Control de estabilidad estática.	Grupo 2: Pruebas muy recomendadas. Prueba de picos, tasa de cambio, de línea plana (valores constantes o repetidos). Grupo 3: Pruebas recomendadas: varianza múltiple, señal atenuada, estación vecina.
Pruebas de consistencia de perfil. Inspección visual, tanto de los perfiles como de la trayectoria del crucero.	Marcado subjetivo de datos.	Grupo 3: Pruebas recomendadas: Prueba de diagrama TS / espacial, y prueba de inversión de densidad.
-	Representatividad de los datos	-
-	Correcciones de error de tasa de caída XCTD (temperatura y salinidad).	-

En la Tabla 2 se aprecian las pruebas de calidad de experiencias nacionales, en las cuales se identifican pruebas desarrolladas en común, por al menos dos de los países de la región; estas son: Inspección visual de las estaciones, verificación de duplicidad de estaciones y de profundidades, identificación de valores improbables, controles de rango y gradiente a través de diagramas TS, marcación subjetiva de los datos, inversión de densidad e interpolación a niveles estándar.

Tabla 2. Cuadro comparativo de las pruebas de calidad identificadas en el nivel nacional.

COLOMBIA	PERÚ	CHILE	ECUADOR
Inspección visual de las estaciones.	Selección de perfiles tierra adentro.	Inspección visual de las estaciones.	Inspección visual de cada perfil inmediatamente que se los obtiene.
Verificación de duplicidad de estaciones.	Detección de perfiles duplicados de diferentes fuentes, radio de 1 Km.	-	-
Verificación de duplicidad de profundidades.	Selección de perfiles por profundidades mayores, según ETOPO01.	Verificación de duplicidad de profundidades.	Verificación de duplicidad en profundidad.
Identificación de valores improbables.	Eliminar datos erróneos fuera de los rangos de temperatura y salinidad.	Verificación de puntos escapados, comparando gráficamente con valores históricos.	Identificación y marcación de datos fuera del rango.
Controles de rango y gradiente a través de diagramas TS.	-	Revisión del conjunto de perfiles de temperatura y salinidad a través de diagramas TS.	-
Prueba de coherencia temporal.	-	-	-
Prueba de coherencia espacial.	-	-	--
Marcación subjetiva de los datos.	Detección de valores atípicos y extremos por interpolación.	-	-
Inversión de densidad.	-	Verificación de inversión de densidad.	Verificación de inversión de densidad.
Verificación de estabilidad a niveles estándar.	-	-	-
Verificación de gradientes excesivos de temperatura y salinidad.	-	-	-

V | CONTROL DE CALIDAD

5.1. BANDERAS DE CALIDAD

La aplicación de las pruebas de calidad recomendadas, conducirá a la asignación de banderas de calidad del programa internacional IODE que se aprecian en la Tabla 3. Para efectos de diferenciar los resultados de las pruebas aplicadas de acuerdo con la bandera de calidad asignada, se recomienda adoptar los colores de tipo semáforo propuestos por IOOS, 2020, p.14, así: Bueno (verde), cuestionable (amarillo) y malo (rojo); los datos no calificados o ausentes no tienen color.

Tabla 3. Banderas de calidad IODE (IOC, 2013).

VALOR	NOMBRE CORTO	DEFINICIÓN
1	Bueno	Pasó las pruebas de calidad documentadas.
2	No evaluada, no disponible o desconocida	Se utiliza cuando no se ha realizado una prueba de calidad o la calidad de los datos es desconocida.
3	Cuestionable o sospechoso	Falló una prueba documentada métrica no-crítica o una prueba subjetiva.
4	Malo	Falló una prueba documentada fundamental sobre la calidad del dato.
9	Dato ausente	Usada para indicar que hay datos ausentes.

Al finalizar la ejecución de las pruebas de calidad, una de estas banderas de calidad se agregará a cada dato evaluado. Para ello, se deberá adicionar un campo al costado derecho de cada parámetro con el encabezado QF [IODE], en el cual se incorporará la bandera correspondiente (Tabla 4).

Tabla 4. Aspecto del formato de las columnas de datos con banderas de calidad.

TEMPERATURA [degC]	QF [IODE]	SALINIDAD [UPS]	QF [IODE]

También puede darse el uso de "banderas de calidad intermedias" (Catañeda et al, 2023), llamadas así porque son utilizadas en cada una de las etapas del control de calidad de segundo nivel para facilitar el proceso; en este particular, independiente de la cantidad de pruebas ejecutadas, al final el conjunto de datos solo tendrá una bandera de calidad (1, 2, 3, 4 o 9) que responderá al esquema general IODE, y que usualmente se obtiene del resultado más crítico obtenido en las pruebas aplicadas.

Las banderas de calidad intermedias pueden nombrarse como QF[P1] para la prueba 1, QF[P2] para la prueba 2 y así sucesivamente. Cabe aclarar que estas banderas pueden o no aplicar el esquema general del IODE y que se cuenta con una amplia gama de equivalencias a otros esquemas en IOC, 2013, p.3.

5.2. PRUEBAS DE CALIDAD RECOMENDADAS

A continuación, se documentan las pruebas de calidad comunes identificadas en la región, así como algunas recomendadas para los datos de salinidad y temperatura de la columna de agua, que hacen parte de la base de datos de los cruceros regionales ERFEN. Para cada una de ellas, se describen los pre-requisitos (es decir, las condiciones que se deben tener en cuenta antes de abordar la prueba), seguido de una descripción detallada de la prueba, las reglas a tener en cuenta para la ejecución de la misma, el criterio recomendado para aplicar una bandera de calidad determinada, y finalmente, anotaciones u observaciones sobre la prueba.

Cabe considerar que la aplicación de las pruebas de calidad, no eliminarán datos, más bien, cada uno de ellos se evaluarán a la luz de criterios previamente definidos, que permitirán determinar la bandera de calidad probable y de esta manera, brindar una idea general sobre la calidad de los datos que se usarán para diferentes fines, académicos, técnicos, estratégicos o científicos.

5.2.1. COHERENCIA ESPACIAL Y TEMPORAL

Pre-requisitos:

- Los datos pertenecen a un país de la región: Chile, Colombia, Ecuador o Perú.
- Los datos provienen de un mismo crucero.
- Previamente los datos se han desagregado por perfiles.
- Los datos a evaluar pertenecen a un mismo perfil y se encuentran a la máxima resolución disponible.
- La fecha y hora deben estar expresadas en el estándar ISO 8601: AAAA-MM-DD y la hora en HH:MM:SS.

Descripción:

La prueba de calidad se divide en tres partes: en la primera, se verifica que los datos de posición geográfica y fechas sean válidos para cada una de las mediciones realizadas en el perfil, es decir, detectará los valores imposibles con base a criterios previamente establecidos. En la segunda, se verifica que las variables geográficas se encuentren dentro de los límites esperados para la región de estudio y dentro del periodo de fechas del muestreo. Por último, son identificados los perfiles ubicados erróneamente tierra adentro y se valida que las profundidades de fondo de estos sean menores que la batimetría local estimada.

Reglas y condiciones para la asignación de la bandera de calidad:

Los límites establecidos para la posición geográfica y la fecha de las mediciones, se aprecian en la Tabla 5. Para la selección de los perfiles que se encuentren en tierra y para validar que la profundidad del perfil sea menor que la batimetría local, se utiliza *ETOPO1 Global Relief Model*.

Si los datos se encuentran fuera de los límites propuestos (Tabla 5), se asigna la bandera de calidad QF 4 (Figura 1 y Figura 2), es decir, datos malos; si los datos se encuentran dentro de los límites propuestos, se asigna la bandera de calidad QF 1 que indicará que son datos buenos.

Tabla 5. Criterios para validar la posición geográfica y la coherencia temporal.

CRITERIO	POSICIÓN GEOGRÁFICA	FECHA
Valores imposibles	-90° < Latitud > 90° -180° < Longitud > 180°	1 < DD > 31 1 < MM > 12 0 < HH > 24 0 < MM;SS < 60
Valores improbables	Chile -18° < Latitud < -26° -70° < Longitud < -75°	AAAA >= 1998
	Colombia 6.5° < Latitud < 1.5° -77.5° < Longitud < -84°	
	Ecuador 2° < Latitud < -3° -77° < Longitud < -94°	
	Perú -3° < Latitud < -20° -70° < Longitud < -85°	

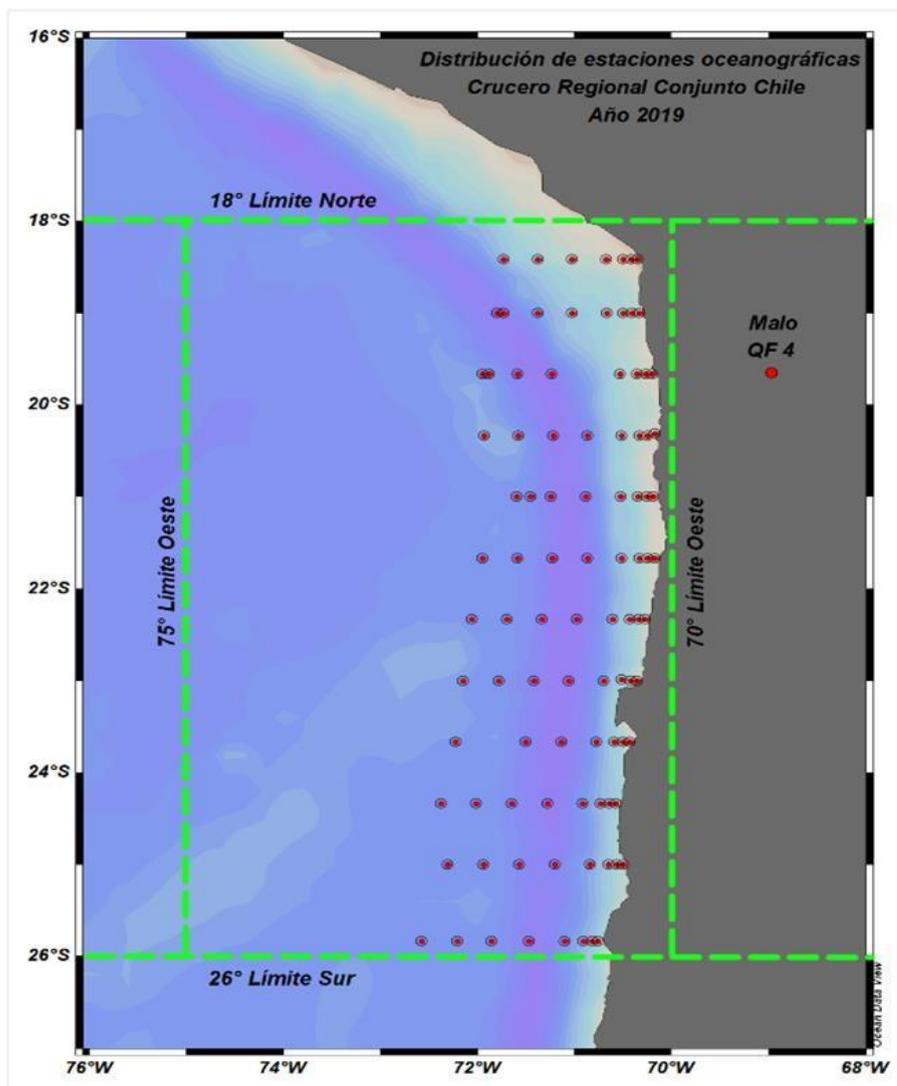


Figura 1. Prueba de calidad de coherencia espacial aplicada a un crucero oceanográfico de Chile y la asignación de la bandera de calidad QF 4 “Malo”.

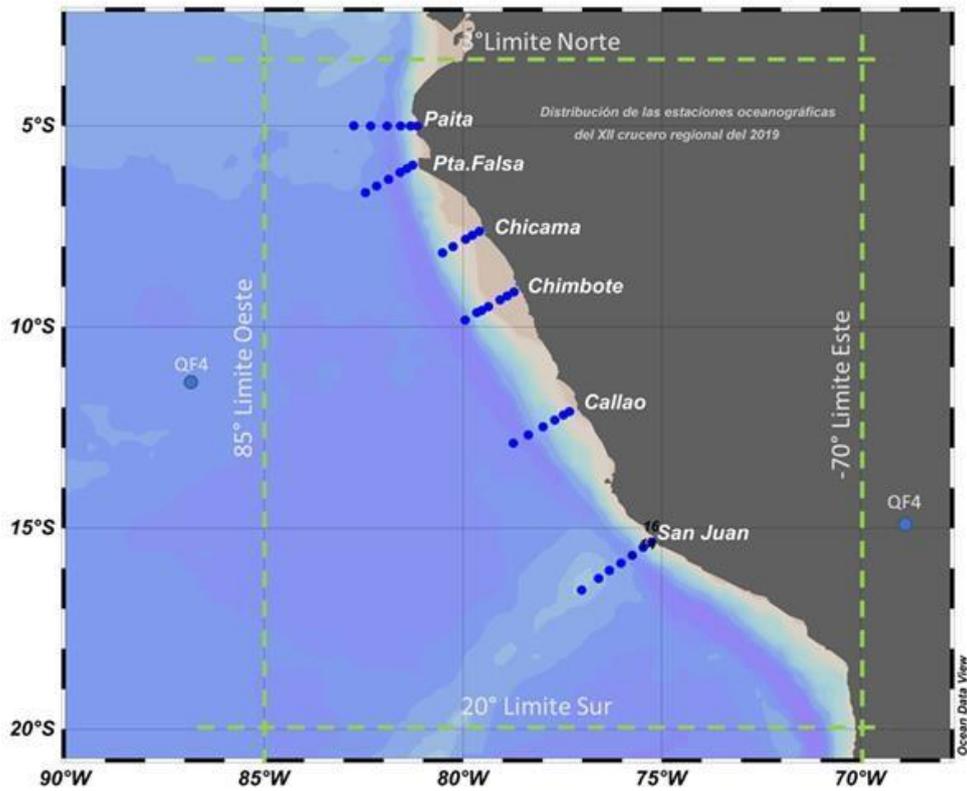


Figura 2 . Prueba de calidad de coherencia espacial aplicada a un crucero oceanográfico del Perú y la asignación de la bandera de calidad QF 4 “Malo”.

Observaciones:

Un error común en el manejo de los datos de longitud, puede ocurrir si al ingresar las coordenadas de la estación no se presta atención al signo, representando el hemisferio incorrecto y produciendo gráficos que incluyen el Océano Índico (Figura 3).

Teniendo en cuenta que para algunas regiones los valores de longitud pueden variar a medida que cambia la latitud, la verificación de la posición geográfica de esta prueba de calidad puede considerar la línea de costa como un vector de comparación y no como un valor fijo de la longitud como el propuesto en la Tabla 5.

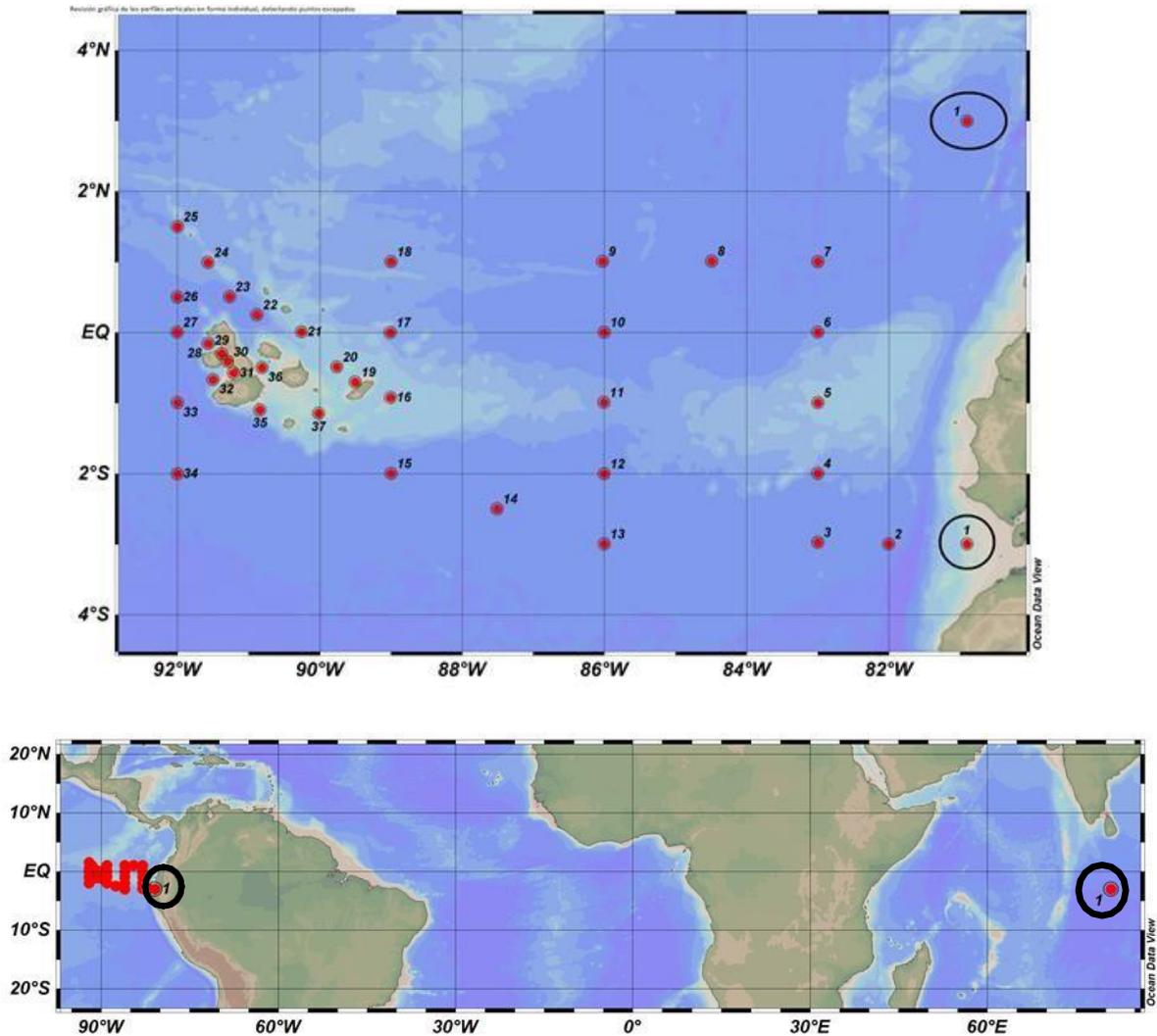


Figura 3 . Ejemplo de un error común en el manejo del signo para los valores de longitud.

5.2.2. VERIFICACIÓN DE PERFILES

Pre-requisitos:

- Los datos pertenecen a un país de la región: Chile, Colombia, Ecuador o Perú.
- Los datos provienen de un mismo crucero.
- Previamente los datos se han desagregado por área
- Previamente los datos se han desagregado por perfiles.
- Los datos a evaluar pertenecen a un mismo perfil y se encuentran a la máxima resolución disponible
- Los datos deben haber superado la prueba de calidad “posición geográfica y coherencia temporal”.

Descripción:

Cuando se quieran evaluar los datos por área, se recomienda aplicar la prueba para realizar un “control estadístico” (Locarnini *et al.*, 2019), en la cual se calculan desviaciones estándar por profundidades en base a un criterio de carácter estadístico determinando la variación de los perfiles.

Cuando se trabaja por perfiles, se recomienda aplicar la prueba de “inversión de densidad” (Anni *et al.*, 2021); esta prueba compara la densidad potencial entre mediciones válidas en un perfil de la superficie hacia el fondo (Figura 4).

Reglas y condiciones para la asignación de la bandera de calidad:

Para el “control estadístico”, todos los datos de temperatura (independientemente del año), en cada profundidad estándar, se promedian dentro de cuadrados de 5° grados de latitud-longitud para producir un registro del número de observaciones, media y desviación estándar en cada cuadrado.

- Por debajo de 50 m de profundidad, si los datos son más de tres desviaciones estándar de la media, los datos son marcados con QF 3, es decir, cuestionables.
- Por encima de 50 m profundidad, se utiliza un criterio de cinco desviaciones estándar utilizado en cuadrados de 5° grados que contienen cualquier área de tierra, mientras que cuando no hay área de tierra cuatro desviaciones estándar. Con los datos marcados o separados se aplica un nuevo control estadístico.

Para la prueba de inversión de densidad, los valores de temperatura y salinidad al mismo nivel de presión (P_i) deben usarse para calcular la densidad potencial ρ_i (o $\sigma_i = \rho_i - 1000$) kg/m^3 , referenciado al punto medio entre P_i (presión en un punto determinado) y el siguiente nivel de presión válido. Debe permitirse un umbral de 0.03 kg/m^3 para inversiones de densidad pequeña.

De arriba hacia abajo, si la densidad potencial calculada a la mayor presión ($P_i + 1$) es menor que el calculado a menor presión (P_i) en más de 0.03 kg/m^3 , tanto los valores de temperatura como de salinidad en P_i deben marcarse como datos incorrectos (QF4) (Figura 4).

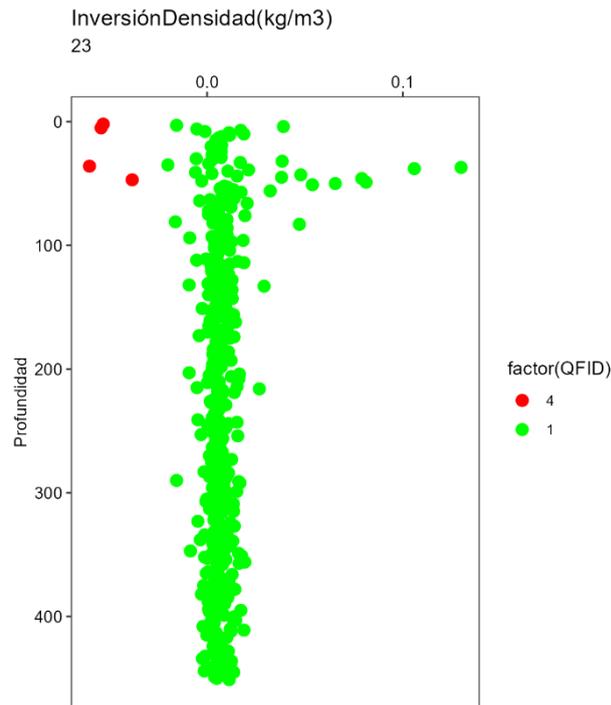


Figura 4 . Ejemplo de la evaluación de inversión de densidad para un perfil de temperatura y salinidad de un crucero oceanográfico del Perú.

5.2.3. IDENTIFICACIÓN DE VALORES IMPROBABLES

Pre-requisitos:

- Los datos pertenecen a un país de la región: Chile, Colombia, Ecuador o Perú.
- Los datos provienen de un mismo crucero.
- Previamente los datos se han desagregado por perfiles.
- Los datos a evaluar pertenecen a un mismo perfil y se encuentran a la máxima resolución disponible.
- Los datos deben haber superado la prueba de calidad “posición geográfica y coherencia temporal” y “verificación de perfiles”.

Descripción:

Esta prueba de calidad evalúa cada una de las mediciones del perfil (desde la superficie hasta la máxima profundidad registrada) frente a umbrales improbables preestablecidos, es decir, valores de la salinidad y temperatura del agua que puedan presentarse en la naturaleza y específicamente acotados al área de estudio.

Reglas y condiciones para la asignación de la bandera de calidad:

Los umbrales establecidos dependerán del comportamiento esperado para las variables en una determinada área geográfica y en un periodo de tiempo específico. Para el particular, los umbrales generales de salinidad y temperatura del agua para la región del Pacífico sudeste se aprecian en la Tabla 6.

Tabla 6. Rango de valores de salinidad y temperatura del agua globalmente aceptable en la región, hasta los 1000 m.

PARÁMETRO	CHILE		COLOMBIA-Pacífico (Andrade <i>et al.</i> 2015)		ECUADOR		PERÚ	
	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
Temperatura del agua	3.7 °C	24 °C	2.7 °C	35 °C	2 °C	30 °C	2.5 °C	30 °C
Salinidad	34 UPS	35.5 UPS	24.5 UPS	35.3 UPS	30 UPS	36 UPS	34 UPS	35.5 UPS

Si los datos se encuentran fuera de los umbrales improbables, se asigna la bandera de calidad QF 3, es decir, datos cuestionables (Figura 5a); si los datos se encuentran dentro de los umbrales improbables, se asigna la bandera de calidad QF 1 que indicará que son datos buenos (Figura 5b).

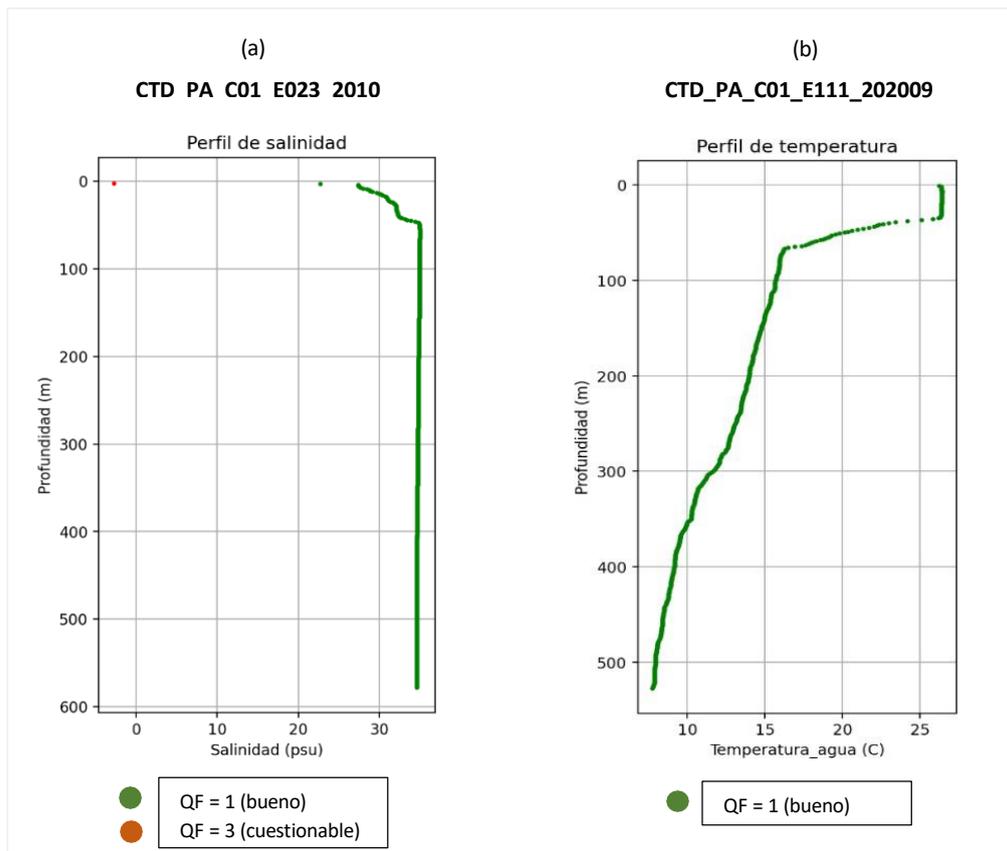


Figura 5 . Aspecto de dos perfiles de salinidad y temperatura de dos cruceros oceanográficos del Pacífico colombiano, calificados con banderas de calidad IODE.

Observaciones:

Cabe anotar que en la siguiente prueba “5.2.1.4 Inspección visual de perfiles”, el experto revisará los valores de salinidad y temperatura del agua calificados, y determinará si dentro del contexto de su análisis (es decir, área de estudio, temporalidad, variabilidad del perfil, entre otros), los datos mantendrán o no la bandera de calidad asignada en esta prueba.

5.2.4. INSPECCIÓN VISUAL DE PERFILES

Pre-requisitos:

- Previamente los datos se han desagregado por perfiles.
- Los datos por evaluar pertenecen a un mismo perfil y se encuentran a la máxima resolución disponible.
- Los datos deben haber superado la prueba de calidad “Coherencia espacial y temporal”
- Los datos deben haber superado la prueba de calidad “Identificación de valores improbables”.

Descripción:

La prueba consiste en evaluar el perfil desde su inicio hasta la máxima profundidad registrada, identificando visualmente la inversión térmica o salina y la profundidad en la cual un valor se salga del comportamiento esperado, aun cuando esté en el rango de valores aceptados.

Reglas y condiciones para la asignación de la bandera de calidad:

Esta prueba se basa en el principio teórico que la temperatura disminuye conforme se aumenta la profundidad, mientras la salinidad y densidad aumentan hasta 1000 m (cabe señalar que la salinidad muestra un mayor valor en la capa bajo la termoclina y hasta los 500 m aproximadamente). Se debe considerar la existencia de mezcla de masas de agua, por este motivo, el control visual se debe realizar con el perfil de densidad, parámetro calculado en función de la temperatura, presión y salinidad.

La exactitud del instrumento de medición provee cuatro decimales, lo cual puede dificultar la evaluación, por lo que, para determinar la validez del dato, en el caso de la temperatura y salinidad se consideran dos decimales y para la densidad se consideran tres decimales.

La Figura 6 muestra un ejemplo de perfiles de temperatura, salinidad y densidad evaluados por el experto, con sus respectivas banderas de calidad.

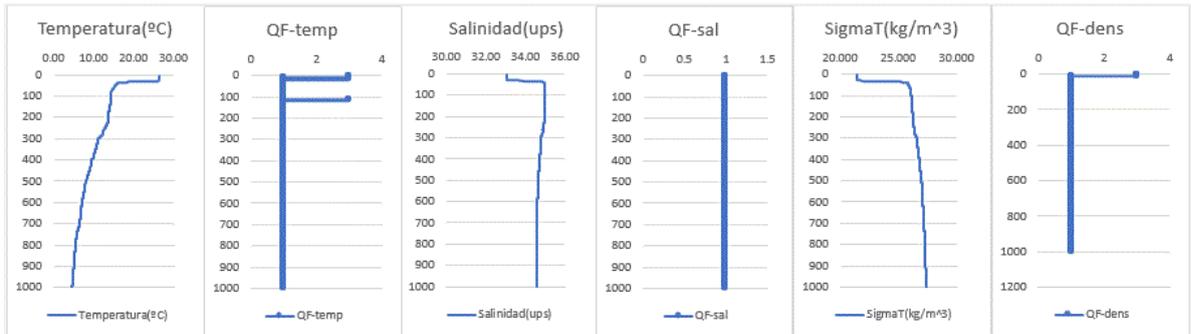


Figura 6 .Perfiles de temperatura, salinidad y densidad correspondiente a una estación de un crucero oceanográfico en aguas ecuatorianas y sus respectivas banderas de calidad.

VI | BIBLIOGRAFÍA

Amante, C. y Eakins, B. (2009). *ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis*. NOAA Technical Memorandum NESDIS, NGDC-24.

Andrade, C. Rangel, O. y Herrera, E. (2015). *Atlas de los datos oceanográficos de Colombia 1922-2013. Temperatura, salinidad, densidad, velocidad geostrófica*. Cartagena de Indias D. T. y C, Colombia: Ed. Dimar. <https://doi.org/10.26640/9789585897809.2015>.

Wong, K., Carval, T. y Argo Data Management Team (2023). *Argo Quality Control Manual for CTD and Trajectory Data*. <https://doi.org/10.13155/33951>

Blanco, J. L., Thomas, A. C. Carr, M. E. y Strub, P. T. (2001). Seasonal climatology of hydrographic conditions in the upwelling region off northern Chile. *Journal of Geophysical Research*, 106 (C6), 451-11. <https://doi.org/10.1029/2000JC000540>

Castañeda, D. (2017). *Aplicación de técnicas de homogenización de series de tiempo de variables oceanográficas, estudio de caso subregión del Pacífico colombiano, como aporte al tema de monitoreo ambiental*. (Tesis de pregrado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D.C., Colombia. <http://cecoldodigital.dimar.mil.co/2018>

Castañeda, Diana. Bernal, N. Ortiz, R. Gutiérrez, M. y Marriaga, L. (2023). Metodología para control de calidad de datos de temperatura del mar, Pacífico colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 52(1). 93-116. <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2023.52.1.1170>

Castañeda, D., Bernal, N., Ortiz, R. y Gutiérrez, M. (2018). Control de calidad a datos de Temperatura Superficial del Mar (TSM). *Manual de Referencia en Mejores Prácticas de Gestión de Datos Oceánicos*, 3, 28-31. Bogotá, D.C., Colombia: Ed. Dimar. <https://doi.org/10.26640/25392212.3.2018>

CPPS. (1992). *Protocolo sobre el Programa para el Estudio Regional del Fenómeno El Niño en el Pacífico Sudeste (ERFEN)*. <https://archivo.cpps-int.org/index.php/s/7xL3nNjuj6rg1r5>

CPPS. (2015). *Protocolo del uso de CTD Sea-Bird y procesamiento de datos. Grupo de Trabajo Especializado de Base de Datos (GTE-BD) de los cruceros regionales*. Guayaquil, Ecuador: Comisión Permanente del Pacífico Sur - CPPS. <http://dx.doi.org/10.25607/OBP-1098>

DIHIDRONAV. (2019), *Atlas Oceanográfico y Meteorológico del mar peruano, primera edición abril*. <https://www.dhn.mil.pe/Archivos/atlas/Atlas2019.pdf>

Domínguez, N., Grados, C., Vásquez, L., Gutiérrez, D. y Chaigneau, A. (2017). Climatología termohalina frente a las costas del Perú; período: 1981–2010. *Inf Inst Mar Perú*, 44(1):5-13. <https://hdl.handle.net/20.500.12958/7535>

Gourestki G. y Koltermann K. (2007). How much is the ocean really warming? *Geophysical Research Letters*, 34, <https://doi.org/10.1029/2006GL027834>.

Grados, C., Chaigneau, A. y Domínguez, N. (2018). Upper ocean hydrology of the Northern Humboldt Current System at seasonal, interannual and interdecadal scales. *Progress in oceanography* 165 (1), 123-144. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2018.05.005>.

Hesselberg, T. y Sverdrup, H. (1914). *Die Stabilitätsverhältnisse des Seewassers bei Vertikalen Verschiebungen*. Aarb. Bergen Mus., 14.

Inostroza, H. (1972). Atlas Oceanográfico de Chile. Instituto Hidrográfico de la Armada de Chile. *IHA Pub.* 3041.

IOC. (2010). *GTSP Real-Time Quality Control Manual, First Revised Edition*. (IOC Manuals and Guides No. 22, Revised Edition.) (IOC/2010/MG/22Rev.). Paris: Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO. <https://www.ncei.noaa.gov/sites/default/files/2020-11/GTSP%20Real-Time%20Quality%20Control%20Manual.pdf>

IOC. (2013). *Ocean Data Standards, Vol.3: Recommendation for a Quality Flag Scheme for the Exchange of Oceanographic and Marine Meteorological Data*. (IOC Manuals and Guides, 54, Vol. 3.). Paris: Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO. <https://repository.oceanbestpractices.org/handle/11329/413>

IOOS. (2020). *Manual for Real-Time Quality Control of In-situ Temperature and Salinity*. Data. U.S. Integrated Ocean Observing System. https://cdn.ioos.noaa.gov/media/2020/03/QARTOD_TS_Manual_Update2_200324_final.pdf

Johnson, D., Boyer, T., García, H., Locarnini, R., Mishonov, A., Pitcher, M., Baranova, O., Antonov, J. y Smolyar, I. (2006). *World Ocean Database 2005: Documentation, NODC Internal Report 18*. U.S. Gov. Printing Office, Wash., D.C.

Locarnini, R., Mishonov, A., Baranova, O., Boyer, T., Zweng, M., García, H., Reagan, J., Seidov, D., Weathers, K., Paver, C. y Smolyar, I. (2019). *World Ocean Atlas 2018, Volume 1: Temperature*. A. Mishonov, Technical Editor. NOAA Atlas NESDIS 81. https://data.nodc.noaa.gov/woa/WOA18/DOC/woa18_vol1.pdf.

Neumann, G., and Pierson W. (1966). *Principles of Physical Oceanography*. Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, N.J.

Reineger, R. y Ross C. (1968). A method of interpolation with application to oceanographic data. *Deep Sea Research* 15(2), 185-193.

Rojas, R. y Silva, N. (1996). *Atlas oceanográfico de Chile (18°21'S a 50°00'S), Volumen 1*. Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA), 234 pp.

Rojas, R., Guerrero, Y. y Silva, N. (2004). *Atlas Oceanográfico de Chile, Volumen 2, 50° a 70°S - 50° a 90°W*. Centro Nacional de Datos Oceanográficos. Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile.

Romero, C.; Marriaga, L. y Torres, R. (2007). Metodología para la calificación y control de calidad de datos oceanográficos aplicada al Crucero Caribe 2002. *Boletín Científico CIOH* (25). 78-93. https://doi.org/10.26640/01200542.25.78_93

Sánchez, R. (2006). *Diseño e implementación de una herramienta computacional para el control de calidad y validación de datos oceanográficos* (Tesis de pregrado). Universidad del Cauca, Popayán, Colombia.

Zuta, S. y Guillén, O. (1970). Oceanografía de las aguas costeras del Perú. *Boletín Instituto del Mar del Perú*, 2(5), pp. 157-324.
<http://biblioimarpe.imarpe.gob.pe/bitstream/123456789/949/1/BOL%202%285%29.pdf>

Zweng, M., Reagan, J., Seidov, D., Boyer, T., Locarnini, R., Garcia, H., Mishonov, A. , Baranova, O. , Weathers, K., Paver, C. y Smolyar, I. V. (2019). *World Ocean Atlas 2018, Volume 2: Salinity*. A. Mishonov, Technical Editor, NOAA Atlas NESDIS 82.
https://data.nodc.noaa.gov/woa/WOA18/DOC/woa18_vol2.pdf.



COMISIÓN PERMANENTE DEL PACÍFICO SUR
Chile - Colombia - Ecuador - Perú
Guayaquil - Ecuador

