




Metodología para control de calidad de datos de temperatura del mar, Pacífico colombiano

Quality control methodology for sea temperature data, Colombian Pacific

Diana Paulina Castañeda Rodríguez^{1*}, Néstor Ricardo Bernal Suárez¹, Ruby Viviana Ortiz Martínez²,
 0000-0002-8848-2600  0000-0003-0926-7935  0000-0003-0264-6254

Martha Cecilia Gutiérrez Sarmiento¹ y Leonardo Marriaga Rocha²
 0000-0001-8077-4329  0000-0001-5413-6163

1. Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.
dpcastanedar@correo.udistrital.edu.co*, nrbernal@udistrital.edu.co, mcgutierrez@udistrital.edu.co

2. Dirección General Marítima, Subdirección de Desarrollo Marítimo, Bogotá, Colombia. rubyortiz@gmail.com, leomarriaga@gmail.com

* Autor de correspondencia / Corresponding Author

RESUMEN

Se describe una propuesta metodológica para el control de calidad de datos de Temperatura Superficial del Mar (TSM), compuesta por tres etapas conducentes a la asignación de banderas de calidad recomendadas por el programa para el Intercambio Internacional de Datos e Información Oceanográfica (IODE); en estas etapas se adoptaron buenas prácticas de referentes nacionales e internacionales, así como criterios estadísticos, oceanográficos y climatológicos. Durante la aplicación de la metodología en datos de TSM recopilados por la Dirección General Marítima en cruceros oceanográficos del Pacífico colombiano en el marco del programa del Estudio Regional del Fenómeno El Niño (ERFEN), se evaluó la coherencia temporal y espacial de los datos y se identificaron comportamientos atípicos teniendo en cuenta la influencia de El Niño/La Niña sobre los rangos de variabilidad de la TSM, obteniendo como resultado que bajo este esquema 74,09 % de los datos se le asignó la bandera de calidad clasificada como "buena".

PALABRAS CLAVE: datos oceanográficos, procesamiento de datos, análisis de datos, método estadístico, gestión de datos

ABSTRACT

This paper describes a methodological proposal for quality control of Sea Surface Temperature (SST) data consisting of four stages to the assignment of quality flags recommended by the program for the International Oceanographic Data and Information Exchange (IODE); good practices of national and international references were adopted in these stages, as well as statistical, oceanographic, and climatological criteria. During the application of the methodology in SST data collected by the General Maritime Directorate in oceanographic cruises in Colombian Pacific within the framework of the programme for the Regional Study On The El Niño Phenomenon (ERFEN), were evaluated the temporal and spatial coherence of data, and outlier data were detected taking into account the influence of the El Niño / La Niña on the variability ranges of the SST, obtaining as a result that 74.09 % of the data in the study area are classified with the quality flag "good".

KEYWORDS: oceanographic data, data processing, data analysis, statistical method, data management

INTRODUCCIÓN

La gestión de datos abarca todo el ciclo de vida del dato, desde la planeación, pasando por la adquisición, procesamiento, archivo, acceso y finalmente su uso (CTN Diocean, 2018); específicamente la gestión de datos oceanográficos constituye “un reto que requiere la colaboración de los países que comparten el recurso oceánico” (Castañeda, 2017); en este sentido, la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco) a través de su programa IODE y con la participación de expertos nacionales, acuerdan directrices basadas en mejores prácticas que propenden por la calidad de datos oceanográficos, estos últimos considerados insumo fundamental para la investigación, explotación y desarrollo del mar y de los océanos. La calidad de los datos oceanográficos se aborda en diferentes etapas del ciclo de vida del dato; el aseguramiento de la calidad (QA, por sus siglas en inglés), se da en la planeación y adquisición de los datos; una vez obtenidos se efectúa el control de calidad (QC, por sus siglas en inglés), de manera que los “productos y servicios cumplan los requisitos y/o estándares acordados” (IOC, 2013a), y que los errores de los datos sean de conocimiento de los usuarios, quienes podrán contar con la información suficiente para evaluar su idoneidad para un uso específico (IOC, 2013b).

En la actualidad, se cuenta con una amplia variedad de metodologías, guías y protocolos sobre control de calidad de datos oceanográficos; cada una de ellas responde a las necesidades de la organización, iniciativa o programa que los emite y aborda la calidad de datos desde perspectivas muy particulares, como, por ejemplo, área geográfica, disciplina de los datos, instrumentación o plataforma empleada para la medición. Es así, que, al intentar implementarlas en el caso colombiano, algunos elementos se pueden tornar inaplicables debido a las condiciones propias de la región, mientras que otros requieren la definición de criterios específicos que resultan de especial relevancia para cada caso de estudio.

En este marco y como un aporte a la gestión de datos oceánicos colombianos que viene liderando el Comité Técnico Nacional de Coordinación de Datos Oceánicos (CTN Diocean) de la Comisión Colombiana del Océano (CCO), el objetivo del presente estudio se centró en proponer una metodología adaptada de buenas prácticas nacionales e internacionales desarrolladas por Bernal *et al.* (2011, 2012) y Barrios (2013) con un respaldo estadístico que permita evaluar la calidad de datos de oceanografía física de manera integral en los niveles

INTRODUCTION

Data management encompasses the whole life cycle of the data, from planning, to acquisition, processing, archiving, access, and, finally, its use (CTN Diocean, 2018). Specifically, oceanographic data management poses “a challenge that requires the collaboration of all countries sharing the oceanic resource” (Castañeda, 2017). In this sense, the Intergovernmental Oceanographic Commission (COI) of the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), by means of its IODE program, and with the participation of national experts, have agreed upon a set of guidelines based on better practices aimed at oceanographic data quality. These data are regarded as a fundamental input for sea and ocean research, exploitation, and development. Oceanographic data quality is addressed at different stages of the data life cycle. Quality assurance (QA) takes place in data planning and acquisition. Once they have been obtained, quality control (QC) is carried out, so that “the products and services meet the requirements and/or standards that have been agreed” (IOC, 2013a) and the errors in the data are known to the users, who will have access to sufficient information in order to evaluate their suitability for a specific use (IOC, 2013b).

Currently, there is a wide variety of methodologies, guidelines, and protocols regarding the quality control of oceanographic data. Each one of them responds to the needs of the organization, initiative, or program that issues them, and it addresses data quality from very specific perspectives, such as, for example, geographic area, data discipline, and the instruments or platform used for measuring. Thus, when attempting to implement them in the Colombian case, some elements may turn out to be inapplicable due to the region’s particular conditions, while others require the definition of specific criteria that become especially relevant for each study case.

Within this framework, and as a contribution to the management of Colombian ocean data led by the National Technical Committee for the Coordination of Ocean Data (CTN Diocean) of the Colombian Ocean Commission (CCO), the objective of this study focuses on proposing a methodology adapted from national and international good practices developed by Bernal *et al.* (2011, 2012), and Barrios (2013), with a statistical support that allows integrally evaluating data quality regarding physical oceanography at the thematic, spatial, and temporal levels (specifically regarding SST data collected in oceanographic

temático, espacial y temporal (específicamente de datos de TSM recopilados en cruceros oceanográficos desarrollados por Dimar en el Pacífico colombiano, durante un período de 36 años), así como también asignar las banderas de calidad recomendadas por el programa internacional IODE, teniendo en cuenta la variabilidad de la TSM en la zona de estudio. La metodología propuesta se divide en tres etapas presentes en el proceso global de homogenización de datos, a saber: identificación de valores improbables; identificación de datos atípicos; y juicio de expertos.

ÁREA DE ESTUDIO

La metodología propuesta se aplicó a conjuntos de datos de TSM suministrados por el Centro Colombiano de Datos Oceanográficos (Cecoldo) de Dimar, recopilados entre 1970 y 2016 correspondiente a 57 cruceros oceanográficos efectuados en la Cuenca Pacífica Colombiana (CPC), ubicada entre 0° a 7° N y 77° a 84° O como se observa en la figura 1.

cruises carried out by the Dirección General Marítima (Dimar) in the Colombian Pacific), as well as assigning the quality flags recommended by the IODE international program, considering the variability of SST in the study area. The proposed methodology is divided into the three stages present in the global data homogenization process, namely the identification of improbable values, the identification of outlier data, and expert judgment.

STUDY AREA

The proposed methodology was applied to SST datasets provided by the Colombian Oceanographic Data Center (Cecoldo) of Dimar, which were collected between 1970 and 2016 and correspond to 57 oceanographic cruises carried out in the Colombian Pacific Basin (CPC), located between 0° and 7° N and between 77° and 84° W, as shown in Figure 1.

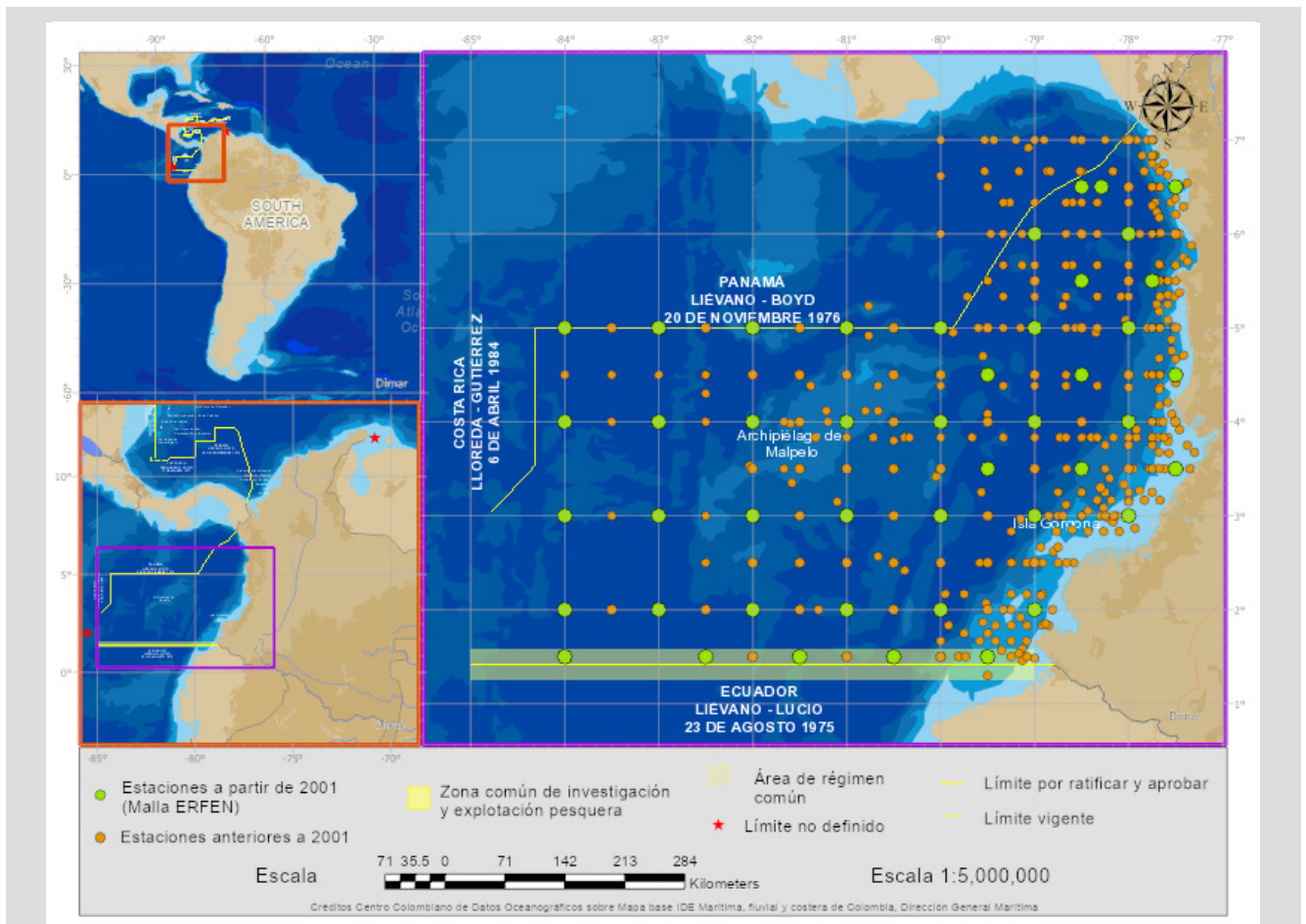


Figura 1. Área de estudio. Cruceros oceanográficos del Pacífico colombiano 1970-2016. Fuente de la información: Dimar.

Figure 1. Study area. Colombian Pacific oceanographic cruises ,1970-2016. Information source: Dimar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos utilizados para el caso de estudio corresponden a mediciones de TSM obtenidas en cruceros oceanográficos desarrollados en el marco del programa ERFEN de la Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS) conformada por Chile, Colombia, Ecuador y Perú. Se procedió con la consulta de guías, manuales y en general, buenas prácticas internacionales sobre gestión de datos oceanográficos, control de calidad de datos oceanográficos (y en especial de datos de TSM), estadística espacial, y climatología, así como estudios de caso de nivel local que incluyen técnicas estadísticas y de homogenización de datos aplicadas a diversas variables del océano. Para ello, se consultaron bases de datos bibliográficas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, el Repositorio Digital Marítimo de Colombia (a cargo de Dimar-Cecoldo), el sistema de revistas científicas de los Centros de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe y el Pacífico (Cioh y Cccp) y buscadores académicos. En la Tabla 1 se aprecian referencias de documentos aplicadas o adoptadas en la metodología propuesta, reconociendo de esta manera puntos en común con procesos de estandarización y control de calidad de datos desarrollados en el orden nacional e internacional.

MATERIALS AND METHODS

The data utilized for the study case correspond to SST measurements obtained in oceanographic cruises carried out within the framework of the ERFEN program of the Permanent South Pacific Commission (CCPS), which comprises Chile, Colombia, Ecuador, and Perú. This work inquired into guidelines, manuals, and, in general, good international practices regarding oceanographic data, quality control of oceanographic data (especially SST data), spatial statistics, and climatology, as well as into local study cases including statistical and data homogenization techniques applied to diverse ocean variables. To this effect, we consulted the bibliographic databases of Universidad Distrital Francisco José de Caldas, the Digital Maritime Repository of Colombia (led by Dimar-Cecoldo), the scientific journals system of the Centers for Oceanographic and Hydrographic Research in the Caribbean and the Pacific (Cioh and Cccp), and academic search engines. Table 1 shows the references of the documents applied or adopted in the proposed methodology, which allows recognizing common features with standardization and quality control processes carried out in national and international contexts.

Tabla 1. Buenas prácticas aplicadas o adoptadas en la metodología propuesta.

Table 1. Good practices applied or adopted in the proposed methodology.

Autor / Author	Sección aplicada o adoptada / Applied or adopted section
IOOS (2020)	Agregación temporal / Posición geográfica / Rango (máximo y mínimo) / Prueba climatológica / Prueba de estación vecina / Temporal aggregation / Geographic position / Range (maximum and minimum) / Climatological test / Neighboring station test
IOC (2013b)	Indicador de calidad de datos / Esquema de banderas de calidad / Data quality indicator / Quality flag scheme
OMM (2011)	Gestión de datos climáticos / Caracterización del clima a partir de conjuntos de datos / Métodos estadísticos para analizar conjuntos de datos / Climatic data management / Dataset-based climate characterization / Statistical methods to analyze datasets
IOC (2010)	Pruebas de ubicación geográfica / Identificación de valores globales y regionales improbables / Pruebas de climatología / Inspección visual / Geographic location tests / Identification of improbable global and regional values / Climatological tests / Visual inspection
Kent <i>et al.</i> (2019)	Calidad de metadatos / Homogenización de datos / Data quality / Data homogenization
Locarnini <i>et al.</i> (2019)	Eliminación de datos duplicados / Comprobaciones estadísticas / Marcado subjetivo de datos / Elimination of duplicate data / Statistical verifications / Subjective data labeling
Wang <i>et al.</i> (2017)	Identificación de datos improbables y atípicos / Identification of improbable and outlier data

Autor / Author	Sección aplicada o adoptada / Applied or adopted section
Smith <i>et al.</i> (2019)	Inspección visual / Revisión de datos dentro de rangos, tiempo y ubicación / Prueba climatológica / Visual inspection / Reviewing data within ranges, time, and location / Climatological test
Gronell y Wijffels (2008)	Eliminación de datos duplicados / Verificación de gradientes / Método estadístico para descartar perfiles / Elimination of duplicate data / Gradient verification / Statistical method for discarding profiles
CTN Diocean (2016)	Formatos y estándares / Formats and standards
Dimar (2018)	Estandarización de formato de archivo / File format standardization
Lombana <i>et al.</i> (2018)	Homogenización de datos de precipitación (climatología) / Precipitation data homogenization (climatology)
Romero <i>et al.</i> (2007)	Inspección visual de las estaciones / Verificación de duplicidad de estaciones / Verificación de rangos de temperatura Station visual inspection / Station duplicity verification / Temperature range verification
Sánchez (2006)	Método de asignación de banderas de calidad por etapas / Identificación de valores globales y regionales improbables / Juicio de expertos / Staged quality flag assignment method / Identification of improbable global and regional values / Expert judgement

Se aplicaron dos tipos de banderas de calidad (QF por sus siglas en inglés): las primeras, también llamadas QF de segundo nivel (IOC, 2013b) o QF intermedias (Sánchez, 2006), que corresponden al esquema de *Global Temperature-Salinity Profile Programme* (GTSP). Las segundas, las banderas de calidad recomendadas por el programa internacional IODE y son aquellas con las que finalmente se da a conocer el identificador de calidad de los datos. En la Tabla 2 se aprecian las equivalencias entre los esquemas en mención.

Two types of quality flags (QF) were applied. The first of them, also called second-level QF (IOC, 2013b) or intermediate QF (Sánchez, 2006), correspond to the *Global Temperature-Salinity Profile Programme's* (GTSP) scheme. The second ones, the quality flags recommended by the IODE international program, are those with which the data quality indicator is finally made known. Table 2 shows the equivalences between the schemes.

Tabla 2. Esquemas de banderas de calidad oceanográficas y equivalencias entre GTSP-IODE (Reiner, 2013).

Tabla 2. Oceanographic quality flag schemes and mappings between GTSP and IODE (Reiner, 2013).

Descripción de la bandera / Flag description	QF GTSP	QF IODE
Sin control de calidad aplicado / No quality control (QC) was performed	0	2
Control de calidad aplicado: dato bueno / QC was performed; good data 1 1	1	1
Control de calidad aplicado; dato probablemente bueno / QC was performed; probably good data	2	1
Control de calidad aplicado; dato probablemente malo / QC was performed; probably bad data	3	3
Control de calidad aplicado; dato malo / QC was performed; bad data	4	4
El valor fue cambiado como resultado del control de calidad / The value was changed as a result of QC	5	2
Valor ausente / The value is missing	9	9

Con el propósito de obtener una visión general de los datos a utilizar en el estudio de caso, se adelantó un diagnóstico de los mismos, el cual incluyó el inventario y la normalización de los datos disponibles. El inventario abordó tres aspectos principales, provenientes de los metadatos de los conjuntos de datos:

With the purpose of obtaining a general landscape of the data to be used in the study case, a data diagnosis was conducted, which included the inventory and normalization of the available data, as follows: The inventory addressed three main aspects from the metadata of the datasets:

Temático: Se identificaron los parámetros medidos, método de muestreo, instrumentos y plataformas, y se omiten datos duplicados según lo recomendado por Romero *et al.* (2007), Gronell y Wijffels (2008) y Locarnini *et al.* (2019). Para el caso de estudio los datos fueron filtrados por el Cecoldo, evitando así la presencia de datos duplicados.

Temporal: Se identificaron fechas y periodicidad de los muestreos.

Espacial: Se identificaron cantidad, distribución y características de las estaciones de muestreo; así como frecuencia de agregación de las mediciones en la vertical (profundidades). La normalización de datos se desarrolló teniendo en cuenta que los archivos de datos primarios pueden encontrarse en diferente formatos y resoluciones. Esta normalización se llevó a cabo siguiendo el método de Lombana *et al.* (2018) y aceptado por la OMM (2011), en el cual se adaptan los datos originalmente organizados a nivel temporal y por cruceros oceanográficos, a un manejo espacial por estaciones de muestreo; adicionalmente, se aplicaron las pautas de normalización recomendados por Dimar (2018), así:

Estandarización de formato: Si los datos se encuentran en un formato de archivo nativo, es decir, propio del instrumento de medición, se procedió con la extracción de los parámetros de interés a un formato estándar (p. ej. TXT, CSV). El formato utilizado facilitó la manipulación de los archivos de datos para la posterior aplicación del control de calidad.

Aplicación de estándares: Se aplicaron estándares ISO para fecha y hora y para coordenadas geográficas. A continuación, se validaron tanto la consistencia temporal como geográfica de los datos para identificar valores improbables con referencia a la información de muestreo.

Manejo de datos ausentes: Se asignó el valor -99999 para los datos ausentes, de manera que no afectara la consistencia de los datos.

A continuación, la aplicación de la literatura de referencia y la adaptación de técnicas estadísticas y de procesamiento de datos, permitió la consolidación de una propuesta metodológica para el control de calidad de datos de TSM conducentes a la asignación de banderas de calidad, la cual consta de tres etapas (Figura 2).

Thematic: The measured parameters, sampling method, instruments, and platforms were identified, and duplicate data were omitted as per the recommendations made by Romero *et al.* (2007), Gronell and Wijffels (2008) and Locarnini *et al.* (2019). For the study case, the data were filtered by Cecoldo, thus avoiding the presence of duplicate data.

Temporal: The dates and periodicity of the samplings were identified.

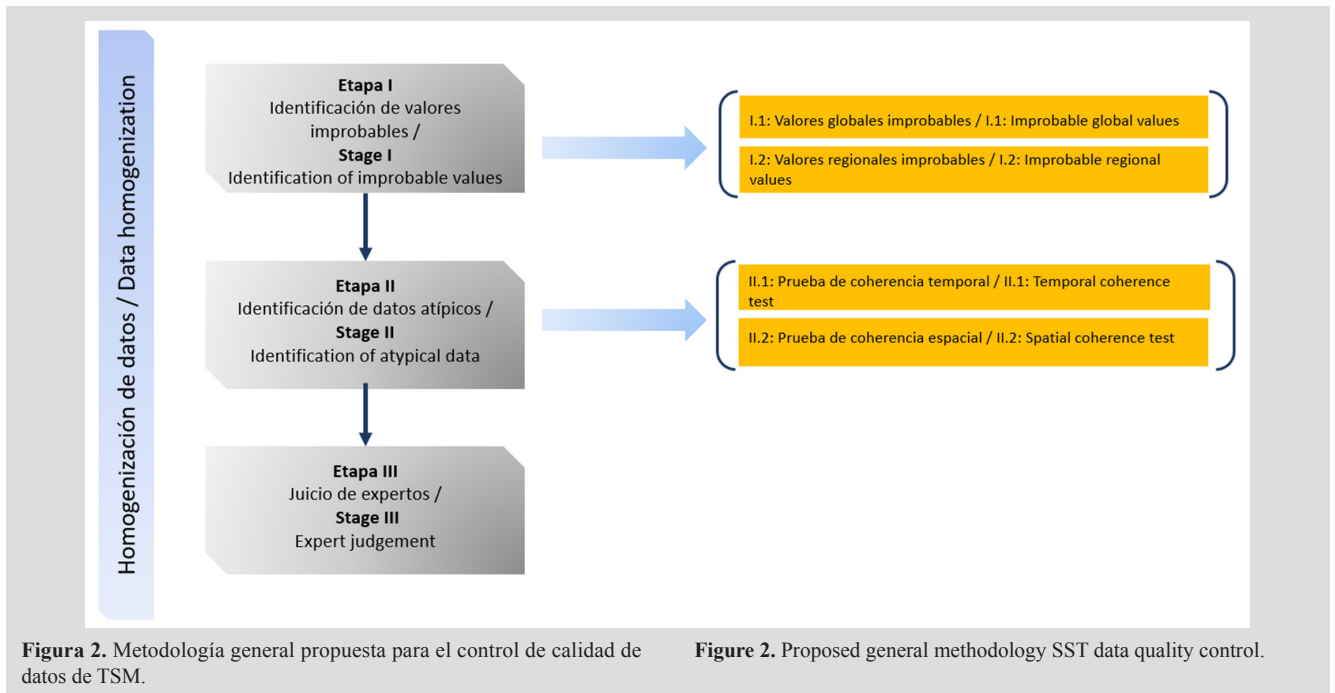
Spatial: The amount, distribution, and characteristics of the sampling stations were identified, as well as the vertical measurements' aggregation frequency (depths). Data normalization was carried out considering that the primary data files can have different formats and resolutions. This normalization was performed by following the method presented by Lombana *et al.* (2018) and accepted by the OMM (2011), where the data, which were originally organized at the temporal level and by oceanographic cruises, were adapted to a per-sampling station spatial management. In addition, the normalization guidelines recommended by Dimar (2019) were applied as follows:

Format standardization: If the data were in a native file format, that is, belonging to the measurement instrument, the parameters of interest were extracted to a standard format (*e.g.*, TXT, CSV). The employed format facilitated the handling of the data files for the subsequent quality control.

Application of standards: ISO standards for date and time were applied, as well as for geographic coordinates. Next, both the temporal and geographic consistency of the data were validated in order to identify improbable values regarding the sampling information.

Absent data management: A value of -99999 was assigned to the absent data, so that they did not affect data consistency.

Next, the application of the reference literature and the adaptation of statistical and data processing techniques allowed consolidating a methodological proposal for SST data quality control leading to the assignment of quality flags. This methodology has three stages (Figure 2).



Si bien la homogenización comprende un conjunto de acciones y métodos estadísticos que se pueden aplicar a los datos; en el presente caso de estudio con esta etapa se buscó aplicar criterios específicos para obtener un subconjunto de datos homogéneo (Lombana *et al.*, 2018). Dichos criterios se definieron desde el punto de vista temático, temporal y espacial. El objetivo principal de la homogenización es lograr obtener datos que sean coherentes desde el punto temático, en este caso, que los datos de TSM permitan describirse desde el punto de vista físico, y guarden una coherencia temporal analizando las series de tiempo de TSM logradas con la medición *in situ* de los cruceros, al igual, que garantizar una coherencia espacial, cuando los datos de TSM de una estación se contrastan con una estación vecina. Acorde a lo anterior, el enfoque metodológico de las etapas I a III se desarrollan en búsqueda de este objetivo de la homogenización, garantizando así una metodología que incluye el control de calidad de los datos y es por ello que el resultado es la asignación de las banderas de calidad, hasta obtener un subconjunto de datos con una bandera de calidad “buena” (en un porcentaje alto) y detectando un subconjunto de datos que posteriormente necesitarían ajustarse (en un porcentaje bajo).

Etapa I. Identificación de valores improbables

Teniendo en cuenta la metodología aplicada por Sánchez (2006) y las recomendaciones de IOC (2010) e IOOS (2020), esta etapa se divide en dos y en general, busca identificar valores improbables para las variables de estudio, ya

Even though homogenization encompasses a set of actions and statistical methods that can be applied to the data, in this study case, each stage aimed to apply specific criteria in order to obtain a homogenous data subset (Lombana *et al.*, 2018). Said criteria were defined from a thematic, temporal, and spatial perspective. The main objective of homogenization is to obtain data that are coherent from a thematic point of view. In this case, this means that the SST data should be able to be described from a physical perspective and should be temporally coherent when analyzing the SST time series yielded by the *in situ* measuring of the cruises, as well as guaranteeing a spatial coherence when contrasting the SST data with those of a neighboring station. According to the above, the methodological approach of stages I to III was developed in the search for this homogenization objective, this ensuring a methodology that includes data quality control. This is why the result is the assignment of quality flags, until a data subset is obtained which has a “good” quality flag (with a high percentage) while detecting a data subset that will later need adjustment (with a low percentage).

Stage I. Identification of improbable values

Considering the methodology implemented by Sánchez (2006) and the recommendations of IOC (2010) and IOOS (2020) this stage is divided into two and, in general, it aims to identify improbable values for the studied variables, be it by examining the coherence of the data with

sea examinando las coherencia de los datos con climatologías de referencia o la consistencia dentro del conjunto de datos (IOC, 1993), en función de la escala geográfica y el nivel de detalle en el que se analizan los datos.

I.1. Identificación de valores globales improbables

I.2. Identificación de valores regionales improbables

Etapa II. Identificación de datos atípicos

En general la identificación de datos atípicos se puede efectuar revisando los datos dentro de determinados rangos de valor, los cuales pueden ser, de acuerdo con el comportamiento en el tiempo o con relación a su posición geográfica (Wang *et al.*, 2017; Smith *et al.*, 2019). Por tanto, esta prueba se puede llevar a cabo en dos pasos:

II.1. Prueba de coherencia temporal

Consiste en establecer límites superiores e inferiores sobre los posibles valores de un determinado parámetro, en otras palabras, se establecen intervalos de confianza. Lo anterior teniendo en cuenta que los conjuntos de datos climatológicos muestran una importante correlación en serie al comparar las observaciones en cuestión con la anterior y la posterior en la secuencia (OMM, 2011), denominada también autocorrelación temporal.

II. 2. Prueba de coherencia espacial

Esta prueba responde a la necesidad de comparar cada observación con observaciones efectuadas en otras estaciones de la zona, en donde cada observación puede compararse con las que cabría esperar en el emplazamiento, teniendo en cuenta las mediciones de las denominadas estaciones vecinas (OMM, 2011; IOOS, 2020).

Etapa III. Juicio de expertos

Corresponde a la última prueba de control de calidad y es muy recomendada por diferentes autores (Sánchez, 2006; Romero *et al.*, 2007; IOC, 2010; Smith *et al.*, 2019) para garantizar que datos malos o cuestionables no pasen por el conjunto de pruebas sin ser detectados. El procedimiento de prueba y marcado de esta etapa se basa en la experiencia y el conocimiento de la persona que realiza la prueba. Aunque se trata de una prueba subjetiva, siempre será necesario realizar esta inspección visual como juicio final de la validez de los datos calificados (IOC, 2010).

Para finalizar, cabe mencionar que el procesamiento de los datos se apoyó en herramientas informáticas, tales como: hojas de cálculo para la estandarización de archivos de datos; la herramienta ArcGIS 10.1 para la georreferenciación de datos;

reference climatology or its consistence within the dataset (IOC, 1993), as a function of the geographical scale and the level of detail with which the data are analyzed.

I.1. Identification of improbable global values

I.2. Identification of improbable regional values

Stage II. Identification of outlier data

In general, the identification of outlier data can be performed by reviewing the data within specific value ranges, which may be in accordance with their behavior over time or related to their geographic position (Wang *et al.*, 2017; Smith *et al.*, 2019). Therefore, this test can be conducted in two steps:

II.1. Temporal coherence test

This test consists of establishing upper and lower limits regarding the possible values of a particular parameter. In other words, confidence intervals are established. The above, considering that the climatological datasets show an important serial correlation when comparing the observations under study with the sequence's previous and subsequent ones (OMM, 2011), which is also called temporal autocorrelation.

II.2. Spatial coherence test

This test responds to the need for comparing each observation with those carried out at other stations in the area, where each observation can be compared with those expected at the site, considering the measurements of the so-called neighboring stations (OMM, 2011; IOOS, 2020).

Stage III. Expert judgement

This stage corresponds to the last quality control test and is highly recommended by different authors (Sánchez, 2006; Romero *et al.*, 2007; IOC, 2010; Smith *et al.*, 2019), in order to ensure that bad or questionable data do not go through the test set without being detected. The testing and labeling procedure of this stage is based on the on the experience and knowledge of the person conducting the test. Although this is a subjective test, it will always be necessary to carry out this visual inspection as a final assessment of the validity of the rated data (IOC, 2010).

Finally, it is worth mentioning that data processing was supported by computer tools, such as spreadsheets for the standardization of the data files; the ArcGIS 10.1 tool for data geo-referencing; the Passage software, version 2.0.11.6, for estimating the spatial correlation of the data (Rosenberg and Corey, 2011); the R software, version 3.3.1, RCMR



el software *Passage* versión 2.0.11.6 para la estimación de la correlación espacial de los datos (Rosenberg y Corey, 2011); el software R versión 3.3.1 paquete RCMDR para la evaluar intervalos de confianza (Fox *et al.*, 2017) y asignar banderas de calidad; y el Atlas de los Datos Oceanográficos de Colombia 1922-2013 (Andrade *et al.*, 2015) como referente para validar la coherencia temporal de los valores de TSM.

RESULTADOS

Antes del desarrollo de la metodología propuesta para el control de calidad de datos de TSM conducentes a la asignación de banderas de calidad IODE, y acorde a la descripción realizada en el numeral de materiales y métodos, se procedió a realizar un diagnóstico de los datos mediante un inventario y una normalización de los datos disponibles. El inventario reveló un total de 36 años no consecutivos de mediciones de 57 cruceros realizados entre 1970 y 2016 en diferentes épocas del año y 74 archivos de datos de diferentes parámetros oceanográficos. La variable de interés (TSM) se encontró en 85 % de dichos archivos, en muestreos con una periodicidad anual de 41,66 % y semestral de 58,33 %, con una duración aproximada de entre 15 y 25 días, y en promedio en 49 estaciones de muestreo a lo largo de la CPC para cada crucero oceanográfico. A partir de 2001 con la adopción de la malla ERFEN las estaciones de muestreo se ubican en posiciones de cuadrícula equidistantemente separadas a aproximadamente un grado de latitud y longitud entre ellas. Anterior a eso la distribución de las estaciones era más heterogénea y respondía a las necesidades de investigación de cada expedición oceanográfica.

En los tres aspectos abordados en el inventario se obtuvieron los siguientes resultados:

Temático y temporal: Buscó identificar las mediciones de la variable que se presentan con mayor frecuencia y en el más amplio periodo de tiempo dentro del conjunto de datos. Para el caso de estudio, hace referencia a la presencia de TSM en la mayor cantidad de cruceros oceanográficos.

Espacial: Buscó contar con una cobertura espacial homogénea de los datos. Para el caso de estudio, dado que en la normalización de los datos se evidenció que las posiciones geográficas de las estaciones de muestreo de la TSM de 15 años de cruceros oceanográficos (2001-2016), coinciden entre 85 % y 93 % con las 44 estaciones físicas de la Malla ERFEN, se tomó esta última como una cobertura espacial de referencia para homogenizar las posiciones geográficas de la TSM y no se tuvieron en cuenta datos de estaciones vecinas.

package, for evaluating the confidence intervals (Fox *et al.*, 2017) and assigning quality flags; and the Colombian Atlas of Oceanographic Data 1922-2013 (Andrade *et al.*, 2015) as a reference to validate the temporal coherence of the SST values.

RESULTS

Before developing the proposed methodology for SST data quality control leading to the assignment of IODE quality flags, and in accordance with the description presented in the methods section, a data diagnosis was carried out via an inventory and a normalization of the available data. The inventory revealed a total of 36 non-consecutive years of measurements by 57 cruises undertaken between 1970 and 2016 at different times of the year, as well as 74 data files regarding different oceanographic parameters. The variable of interest (SST) was found in 85 % of said files, in samplings with an annual periodicity of 41.66 % and a biannual one of 58.33 %, with an approximate duration between 15 and 25 days, as well as in an average of 49 sampling stations along the CPC for each oceanographic cruise. As early as 2001, with the adoption of the ERFEN mesh, sampling stations started to be located in grid positions, at equal distances of approximately one latitude and longitude degree from each other. Before that, the distribution of the stations was more heterogenous and responded to the research needs of each oceanographic expedition.

For the three aspects addressed by the inventory, the following results were obtained:

Thematic and temporal: These aspects sought to identify the variable measurement that occur with the highest frequency and over the longest period within the dataset. For the case study, this refers to the presence of SST in the largest number of oceanographic cruises.

Spatial: These aspects sought to have a homogenous spatial coverage of the data. For the study case, given that the data normalization evidenced that the geographic positions of the SST sampling stations for 15 years' worth of oceanographic cruises (2001-2016) show an 85 to 93 % match with the 44 physical stations of the ERFEN mesh, the latter was taken as a reference spatial coverage to homogenize the geographic positions of the SST, and no data from neighboring stations were considered.

Por su parte, una vez aplicada la normalización de datos para concluir con el inventario se obtuvieron 21 nuevos archivos de datos normalizados. La distribución geográfica de los datos mostró que para los años 1970, 1972, 1986 y 1987 los puntos de muestreo se encuentran más cercanos a la costa; mientras que los cruceros oceanográficos realizados entre 1975 y 1978, en 1982 y desde 1988 hasta 2000 describen estaciones oceánicas, en forma de cuadrícula o retícula que año a año se van ajustando con las estaciones de muestreo de la malla de los Cruceros Pacífico-ERFEN. Hasta 2000 todavía se observa un gran número de estaciones adicionales muy cercanas entre ellas y próximas a la costa, que en la mayoría de los cruceros no superan el meridiano 82° W. Finalmente, desde 2001 y hasta 2016 las posiciones geográficas de las estaciones coinciden entre 85 % y 93 % con las estaciones de muestreo de la malla ERFEN (Figura 3).

On the other hand, once the data normalization was applied to conclude the data inventory, 21 new files of normalized data were obtained. The geographic distribution of the data showed that, for 1970, 1972, 1986, and 1987, the sampling points are closer to the coast; whereas the oceanographic cruises undertaken between 1975 and 1978, 1982, and from 1988 until 2000 describe ocean stations in the shape of a grid or lattice that are adjusted year by year with the sampling stations of the Pacific-ERFEN cruises' mesh. Until 2001, a large number of additional stations that are close to each other and close to the coast is still observed, which do not surpass the 82° W longitude meridian (W). Finally, as early as 2001 and until 2016, the geographic positions of the stations show an 85 to 93 % accordance with the sampling stations of the ERFEN mesh (Figure 3).

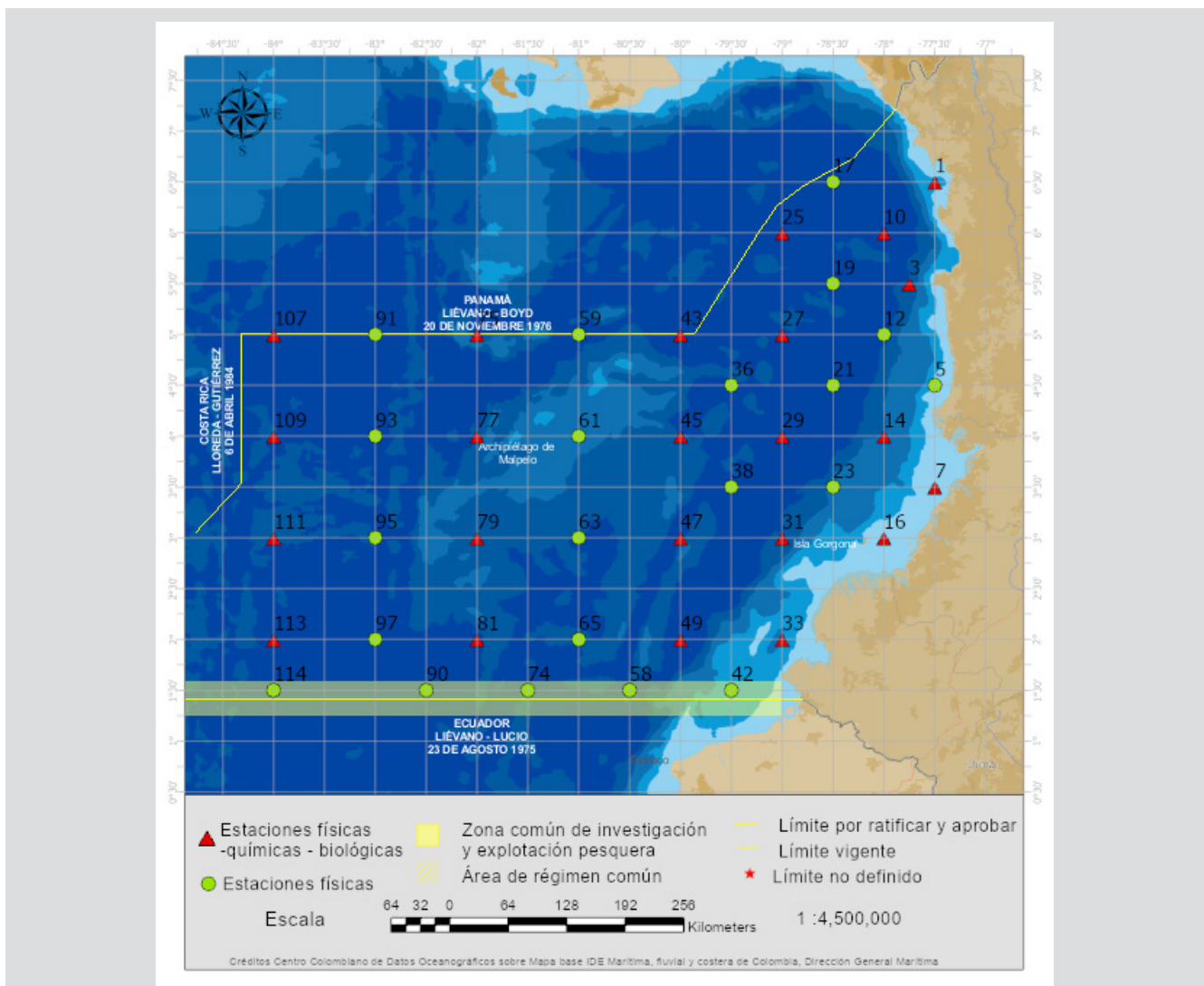


Figura 3. Malla ERFEN de la CPC. Fuente de los datos: Dimar.

Figure 3. ERFEN Mesh of the CPC. Data source: Dimar.

Lo anterior, condujo a seleccionar 21 de las 44 estaciones físicas de la malla ERFEN para obtener el subconjunto de datos más completo y homogéneo para la aplicación de las pruebas estadísticas que se describen en las siguientes etapas. Así, de los 57 conjuntos de datos revisados se priorizaron las mediciones cuya posición geográfica coincidió con las 21 estaciones que cumplieron los criterios de selección, tal como se observa en la Figura 4. En esta etapa se mantiene bandera de calidad “2” (desconocido) asignada de forma predeterminada a los datos durante el inventario y normalización descritos previamente.

The above led to selecting 21 out of the 44 physical stations of the ERFEN mesh to obtain the most complete and homogenous data subset in order to conduct the statistical tests described in the following stages. Thus, out of the 57 datasets reviewed, the measurements whose geographical position matched the 21 stations that fulfilled the selection criteria were prioritized, as shown in Figure 4. In this stage, the quality flag “2” (unknown) is maintained, which was previously assigned to the data during the above-described inventory and normalization.

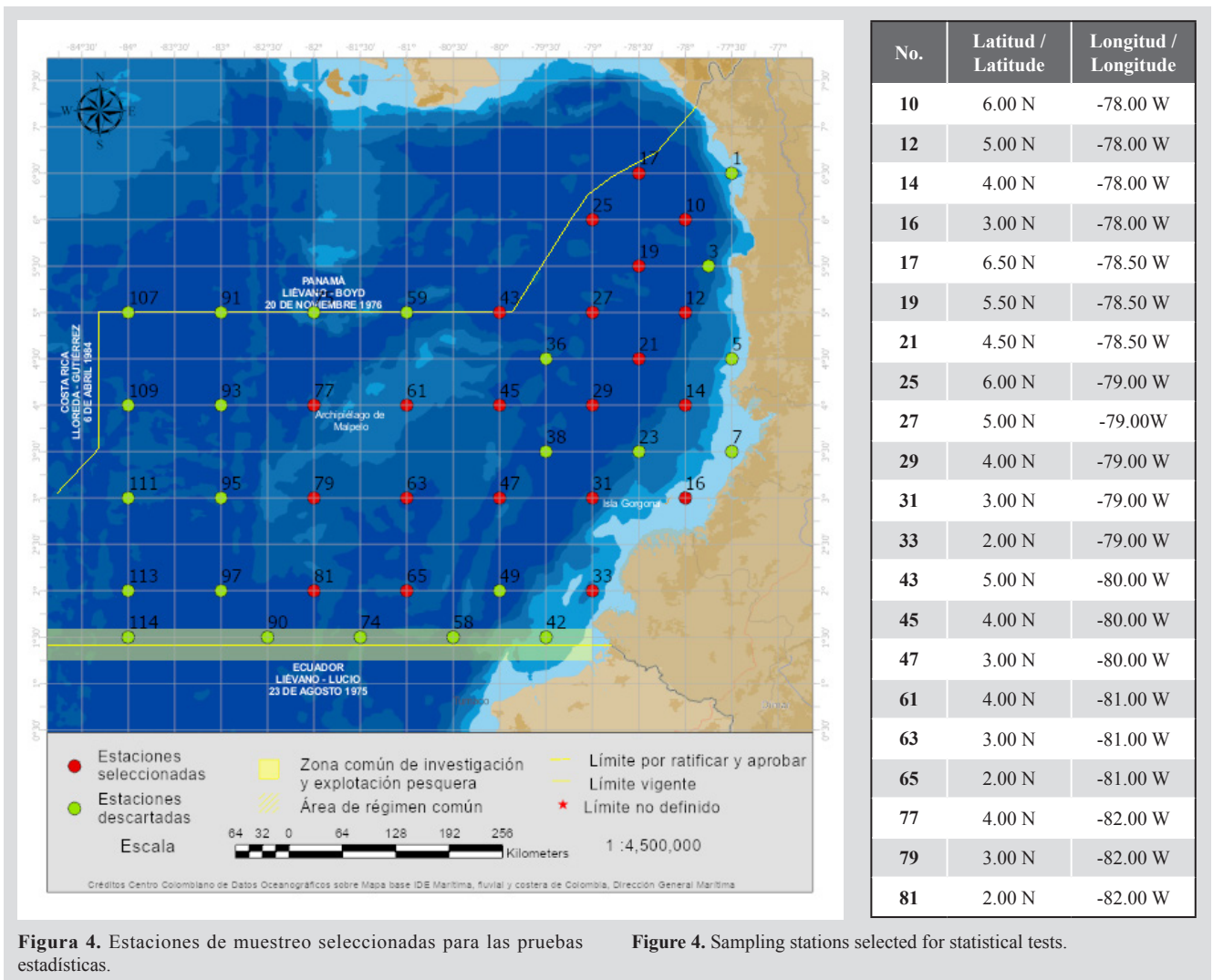


Figura 4. Estaciones de muestreo seleccionadas para las pruebas estadísticas.

Figure 4. Sampling stations selected for statistical tests.

A continuación, se procedió con la aplicación de la metodología para el control de calidad de datos de TSM conducentes a la asignación de banderas de calidad IODE, desarrollando las tres etapas propuestas, obteniendo los siguientes resultados:

Next, we applied the SST data quality control methodology leading to the assignment of IODE quality flags, implementing the three proposed stages and obtaining the following results:

Etapa I. Identificación de valores improbables

II.1. Identificación de valores globales improbables

II.2. Identificación de valores regionales improbables

Para la identificación de valores globales improbables (subetapa II.1), se tuvo en cuenta para el caso de estudio un rango de valores, que para la TSM están comprendido entre $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ a nivel global (IOC, 1993); y un rango de variabilidad regional para la identificación de valores regionales improbables (subetapa II.2) de acuerdo al Climatological Atlas of the World Ocean (Levitus, 1982), que para el Pacífico norte establece un promedio de temperatura de $27,43 - 27,84\text{ }^{\circ}\text{C}$ con un rango de variabilidad de $\pm 1,15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Cabe aclarar que en esta etapa se puede seleccionar una referencia climática diferente al aplicado en el presente estudio de caso.

La comparación de los datos de TSM con los rangos de valores establecidos se realizó a través de la construcción de un rango intercuartílico a partir de las mediciones de cada conjunto de datos por estación. Una vez comparados los datos con los respectivos valores de referencia, se asignó la bandera de calidad de la GTSP correspondiente en función de la coincidencia de las mediciones con el rango de valores globales y regionales improbables, de acuerdo con los siguientes criterios:

- Datos identificados con -9999 se calificaron con “9” (dato ausente).
- Datos fuera del intervalo establecido para cada subconjunto se calificaron con “4” (dato malo).
- Datos dentro del intervalo establecido para cada subconjunto se calificaron con “1” (dato bueno).
- Al final de esta etapa 92 % de los datos fue calificado con QF “1” (dato bueno), 7 % con QF “4” (dato malo) y 0,13 % con QF “9” (dato ausente).

Etapa II. Identificación de datos atípicos

La identificación de datos atípicos se efectuó en dos pasos:

II.1. Prueba de coherencia temporal

Para la ejecución de las pruebas de coherencia temporal del caso de estudio se tuvieron en cuenta:

En primer lugar, la variabilidad de la TSM en el Pacífico colombiano con referencia al fenómeno El Niño o La Niña: para ello se tomó como referencia el valor del *Oceanographic Niño Index* (ONI) aplicando la siguiente

Stage I. Identification of improbable values

II.1. Identification of improbable global values

II.2. Identification of improbable regional values

To identify the improbable global values (substage II.1), a value range was considered for the study case which, regarding SST, is between -3 and $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ at a global level (IOC, 1993); as well as a regional variability range for identifying improbable regional values (substage II.2) in accordance with the Climatological Atlas of the World Ocean (Levitus, 1982), which, for the North Pacific Area, establishes a temperature average of $27.43-27.84\text{ }^{\circ}\text{C}$, with a variability range of $\pm 1.15\text{ }^{\circ}\text{C}$. It is worth clarifying that, at this stage, a climate reference can be selected which is different from that applied in this study case.

The comparison of SST data with the established value ranges was carried out by constructing an interquartile range based on the measurements of each dataset per station. Once the data had been compared to their corresponding reference values, the respective GTSP quality flag was assigned, as a function of the match between the measurements and the improbable global and regional value range, according to the following criteria:

- The data identified with -9999 were rated with “9” (absent data).
- The data outside the interval established for each subset were rated with “4” (bad data).
- The data within the interval established for each subset were rated with “1” (good data).
- At the end of this stage, 92 % of the data were rated with a QF “1” (good data), 7 % with QF “4” (bad data), and 0.13 % with QF “9” (absent data).

Stage II. Identification of outlier data

The identification of outlier data was carried out in two steps:

II.1. Temporal coherence test

To conduct the temporal coherence tests in the study case, the following considerations were made:

First, the SST variability in the Colombian Pacific regarding the El Niño or La Niña phenomena. To this effect, the value of the Oceanographic Niño Index (ONI) was taken as reference, applying the following convention: 0 if the measurement date was within a normal period; 1 for El



convención: 0 si la fecha de medición se encuentra dentro de un periodo normal, 1 para época El Niño y 2 para La Niña (colores negro, rojo y azul, respectivamente en la Tabla 3).

Niño time; and 2 for La Niña (black, red, and blue in Table 3, respectively).

Tabla 3. Valores del ONI por meses y años (Fuente NOAA, 2015b).

Table 3. ONI values by months and years (Source: NOAA, 2015b).

Año / Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	AND	NDJ
1980	0.6	0.5	0.3	0.4	0.5	0.5	0.3	0.2	0	0.1	0.1	0
1981	-0.2	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1	0
1982	0.0	0.1	0.2	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.5	1.9	2.1	2.1
1983	2.1	1.8	1.5	1.2	1.0	0.7	0.3	0	-0.3	-0.6	-0.8	-0.8
1984	-0.5	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.3	-0.6	-0.9	-1.1
1985	-0.9	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.3
1986	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0	0.2	0.4	0.7	-0.9	1.0	1.1
1987	1.1	1.2	1.1	1.0	-0.9	1.1	1.4	1.6	1.6	1.4	1.2	1.1
1988	0.8	0.5	0.1	-0.3	-0.8	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.4	-1.7	-1.8
1989	-1.6	-1.4	-1.1	-0.9	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1

A continuación, se estableció el rango intercuartílico para cada subconjunto de datos mediante el cálculo de percentiles 25 (P25) y 75 (P75) a partir de las ecuaciones (1) y (2).

$$\text{Límite de detección atípico inferior} = P_{25} - 1,5 (P_{75} - P_{25}) \quad (1)$$

$$\text{Límite de detección atípico superior} = P_{75} + 1,5 (P_{75} - P_{25}) \quad (2)$$

Finalmente se comparó cada dato con el intervalo de confianza calculado a partir de las ecuaciones (1) y (2). Teniendo en cuenta su posición geográfica y fecha, se evaluó la calidad de los datos, en función de la coincidencia de los valores de cada medición dentro de los límites superior e inferior del rango intercuartílico construido. De esta manera, del total de datos procesados: 51,04 % correspondiente a época Normal, 28,51 % se midieron en un evento El Niño, y 20,44 % en un evento La Niña.

En la Figura 5 se aprecian los gráficos de caja implementados mediante el software R a través del paquete RCMDR. La construcción de las gráficas deriva de los resultados de la Etapa I y II además de la agrupación de los datos por subgrupos de acuerdo a la clasificación climatológica del ERFEN. A continuación, se muestran los datos de TSM de la estación N° 65 de cruceros oceanográficos desarrollados entre 1992 y 2013: a) todos los datos; y b) los datos calificados con la bandera "1" (dato bueno), excluyendo tanto los datos calificados con banderas "9" (dato ausente) y "4" (dato malo).

Next, the interquartile range for each data subset was established by calculating the 25 (P25) and 75 (P75) percentiles based on equations (1) and (2).

$$\text{Lower atypical detection limit} = P_{25} - 1,5 (P_{75} - P_{25}) \quad (1)$$

$$\text{Upper atypical detection limit} = P_{75} + 1,5 (P_{75} - P_{25}) \quad (2)$$

Finally, each data was compared with the confidence interval calculated based on equations (1) and (2). Considering their geographic position and date, data quality was evaluated as a function of the match between the values of each measurement within the upper and lower limits of the constructed interquartile range. Thus, out of the total data processed, 51.04 % corresponded to normal times, 28.51 % were taken during an El Niño event, and 20.44 % were taken during a La Niña event.

Figure 5 shows the boxplot graphs elaborated via the R software and the RCMDR package. The construction of the graphs is derived from the results of Stages I and II, as well as from the grouping of the data into subgroups according to the ERFEN's climatological classification. Next, the SST data from station N° 65 of the oceanographic cruises undertaken between 1992 and 2013 are shown: a) all data and b) the data rated with the "1" flag (good data), excluding the data rated with the "9" (absent data) and "4" (bad data) flags.

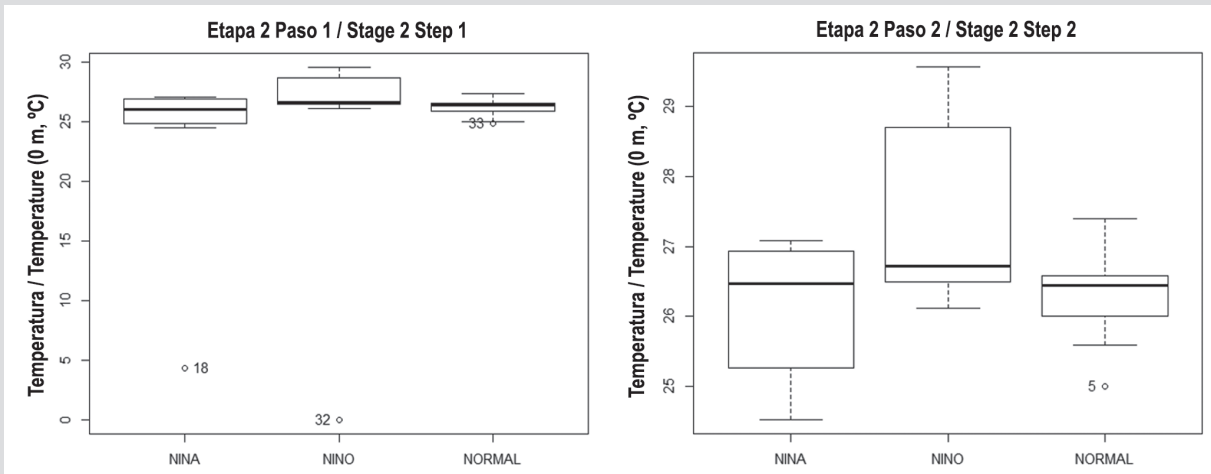


Figura 5. Gráficos de caja para datos de TSM de la estación No. 65 (1992-2013).

Figure 5. Boxplot graphs for the SST data from station N° 65 (1992-2013).

En segundo lugar, la coherencia temporal con un referente climatológico, es decir, probar en qué punto los datos caen dentro de las expectativas estacionales (IOC, 2010; Smith *et al.*, 2019; IOOS, 2020). Para evaluar la coherencia temporal con un referente climatológico, se seleccionaron los estadísticos calculados del “Atlas de los Datos Oceanográficos de Colombia 1922-2013” (Andrade *et al.*, 2015), el cual contiene información estadística a nivel mensual del comportamiento estacional de TSM en la CPC.

La climatología del Atlas presenta la información a partir de una malla de estaciones distribuidas equidistantemente a 1° de latitud-longitud en la CPC y el Caribe. Para la comparación de la climatología regional se seleccionaron los estadísticos de las estaciones del Atlas más cercanas a las estaciones de muestreo de crucero.

A continuación, se extrajo la media mensual de la TSM del Atlas correspondiente al grupo de coordenadas de cada estación de muestreo seleccionada. Posteriormente, se aplicó el intervalo de confianza clásico para el promedio t-Student como expresa la ecuación (3) y (4) (Ospina, 2001), con 96 % de nivel de confianza (t) para cada estación.

$$\bar{x} \pm t_{n-1} ee(\bar{x}) \quad (3)$$

$$ee(\bar{x}) = s / \sqrt{n} \quad (4)$$

Donde \bar{x} representa la media aritmética del conjunto de datos, $ee(\bar{x})$ el error estándar, t el valor del nivel de confianza asociado al tamaño de la muestra n establecido en la tabla t de Student, y s la desviación estándar del conjunto de datos.

Secondly, the temporal coherence was evaluated with a climatological reference, *i.e.*, the data were tested in order to determine at which point do the data fall within the seasonal expectations (IOC, 2010; Smith *et al.*, 2019; IOOS, 2020). In order to evaluate temporal coherence with a climatological reference, the statistics calculated in the Atlas of Oceanographic Data of Colombia 1922-2013 (Andrade *et al.*, 2015), were selected, which contains statistical information on the seasonal behavior of SST in the CPC on a monthly basis.

The climatology of the Atlas presents the information based on a mesh of stations equidistantly distributed at 1° of latitude-longitude in the CPC and the Caribbean. To compare the regional climatology, the statistics of the Atlas stations that were the closest to the cruise sampling stations were selected.

Next, the monthly mean of the Atlas SST data corresponding to the coordinate group of each selected sampling stations was extracted. Then, the classical confidence interval for the t-Student average was applied, as expressed by equations (3) and (4) (Ospina, 2001), with a 96 % level of confidence (t) for each station.

$$\bar{x} \pm t_{n-1} ee(\bar{x}) \quad (3)$$

$$ee(\bar{x}) = s / \sqrt{n} \quad (4)$$

Where \bar{x} represents the arithmetic mean of the dataset, $ee(\bar{x})$ is the standard error, t is the value of the confidence level associated with the size of the sample n as established in the student t-table, and s is the standard deviation of the dataset.

Finalmente se comparó cada dato con el intervalo de confianza calculado, teniendo en cuenta su posición geográfica y fecha, y se asignó la bandera de calidad GTSSP correspondiente, obteniendo los siguientes resultados: 56,90 % de los datos fue calificado con las banderas GTSSP, así: “2” (dato probablemente bueno), 36,85 % con “3” (dato probablemente malo) y 6,25 % con “0” (prueba de calidad no aplicada).

II. 2. Prueba de coherencia espacial

De acuerdo con lo recomendado por Bernal *et al.* (2011, 2012) y referido por Barrios (2013), aplicando el principio de las estaciones vecinas desde el punto de vista espacial y climatológico, se escogen pares de estaciones vecinas como forma de comparar los datos. Para el caso de estudio, se construyó un correlograma espacial (Barrios, 2013) para establecer un rango de distancia dentro del cual se ubican las estaciones vecinas de cada punto de muestreo, y a la vez revela el índice de correlación espacial o índice de Moran a nivel mensual.

El correlograma espacial para la estimación del rango de correlación de datos mensuales de TSM se hizo a través del software *Passage* (Bernal *et al.*, 2011). El correlograma se construye a partir de promedios mensuales de las 21 estaciones seleccionadas en la Etapa I, se calcula un promedio con los registros disponibles del mismo mes y de las mismas coordenadas a lo largo de los años, sin tener en cuenta valores atípicos identificados en la prueba anterior. La gráfica posee 12 líneas correspondientes a cada mes del año. El eje “x” representa la distancia en kilómetros, mientras que el eje “y” indica la correlación espacial con el índice de Moran de cuyos valores varían entre -1 a 1. Cada línea simboliza la correlación espacial entre las 21 estaciones a nivel mensual, el punto más alto de cada línea identifica el mayor índice de Moran posible para los datos introducidos y la distancia donde la correlación espacial entre estos es mayor. Como resultado se obtuvo una distancia común para todas las estaciones y todos los meses, en la que marca la mayor correlación espacial posible para todos los puntos, definida en un rango de vecindad en de 133 Km que equivalen 71,81 mn (millas náuticas) para TSM, como se aprecia en el correlograma de la Figura 6.

Finally, each data was compared with the calculated confidence interval, considering its geographic position and date, and the corresponding GTSSP was assigned, obtaining the following results: 56.90 % of the data were rated with these GTSSP flags: “2” (probably good data), 36.85 % with “3” (probably bad data), and 6.25 % with “0” (quality test not applied).

II.2. Spatial coherence test

According to the recommendations made by Bernal *et al.* (2011, 2012) and cited by Barrios (2013), by applying the principle of neighboring stations from a spatial and climatological perspective, three pairs of neighboring stations were selected as a way to compare the data. For the study case, a spatial correlogram was elaborated (Barrios, 2013), in order to establish a distance range within which the neighboring stations of each sampling point are located, as well as to reveal the spatial correlation index, or Moran index, on a monthly basis.

The spatial correlogram to estimate the correlation range of the monthly SST data was elaborated using the *Passage* software (Bernal *et al.*, 2011). The correlogram was elaborated based on the monthly averages of the 21 stations selected in Stage I. An average was calculated with the available records of the same month and the same coordinates over the years, without considering the outlier values identified in the previous test. The “x” axis represents the distance in kilometers, while the “y” axis indicates the spatial correlation with the Moran index, whose values vary between -1 and 1. Each line denotes the spatial correlation between the 21 stations on a monthly basis. The highest point of each line identifies the highest possible Moran index for the data entered, as well as the distance at which the spatial correlation between them is the highest. As a result, a common distance was obtained for all stations and months which indicates the highest possible spatial correlation for all points, defined as a neighborhood range in which 133 km are equivalent to 71.81 nautical miles for SST, as can be seen in the correlogram in Figure 6.

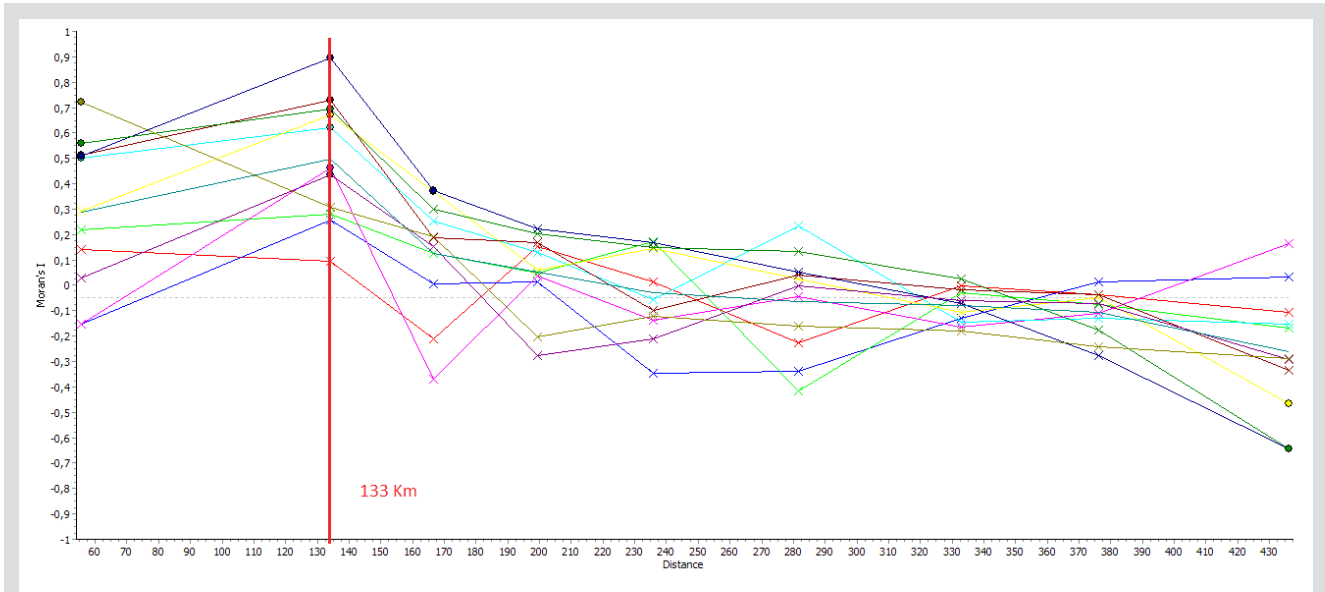


Figura 6. Correlograma espacial para la estimación de rango de distancia de datos mensuales de TSM.

Figure 6. Spatial correlogram for estimating the distance range of monthly SST data.

Para la construcción de los intervalos de confianza para el promedio, en lugar de la expresión clásica (ecuación 5) se utilizó el intervalo descrito por Cressie (1993) citado por Li (2009) como lo muestra la ecuación (6) que tiene en cuenta la correlación espacial (ρ) entre puntos de muestreo en diferentes ubicaciones geográficas.

$$\bar{x} \pm t_{n-1}s/\sqrt{n} \quad (5)$$

Así

$$\bar{x} - 3.921 * ee(\bar{x}), \quad \bar{x} + 3.921 * ee(\bar{x}) \quad (6)$$

Donde \bar{x} representa la media del conjunto de datos, $ee(\bar{x})$ el error estándar de la media de ese mismo conjunto de datos, n el tamaño de muestra y 3,921 es el valor del cuartil de una normal estándar, asociado a un nivel de confianza del 99,9%.

En la expresión clásica que se observa en la ecuación (7) el error estándar se obtiene como la raíz de la varianza; y en la ecuación (8) expresa el error estándar, en función de la varianza, que en este caso se ve modificada para introducir un factor asociado a la correlación espacial existente entre los datos, representada por ρ .

$$ee(\bar{x}) = \sqrt{var(\bar{x})} \quad (7)$$

$$var(\bar{x}) = \frac{\sigma^2}{n} \left[1 + 2 \left\{ \frac{\rho}{1-\rho} \right\} \left(1 - \frac{1}{n} \right) - 2 \left\{ \frac{\rho}{1-\rho} \right\}^2 \frac{(1-\rho^{n-1})}{n} \right] \quad (8)$$

To construct the confidence intervals for the average, instead of the classical expression (equation 5), the interval described by Cressie (1993) and cited by Li (2009) was employed, as shown by equation (6), which considers the spatial correlation between (ρ) sampling points in different geographical locations.

$$\bar{x} \pm t_{n-1}s/\sqrt{n} \quad (5)$$

Thus,

$$\bar{x} - 3.921 * ee(\bar{x}), \quad \bar{x} + 3.921 * ee(\bar{x}) \quad (6)$$

Where \bar{x} represents the mean of the dataset, $ee(\bar{x})$ is the standard error of said dataset's mean, n is the sample size, and 3.921 is the quartile value of a standard normal, associated with a confidence level of 99.9 %.

In the classical expression shown in equation (7), the standard error is obtained as the root of the variance; and equation (8) expresses the standard error as a function of the variance, which, in this case, is modified in order to introduce a factor associated with the spatial correlation between the data, as represented by ρ .

$$ee(\bar{x}) = \sqrt{var(\bar{x})} \quad (7)$$

$$var(\bar{x}) = \frac{\sigma^2}{n} \left[1 + 2 \left\{ \frac{\rho}{1-\rho} \right\} \left(1 - \frac{1}{n} \right) - 2 \left\{ \frac{\rho}{1-\rho} \right\}^2 \frac{(1-\rho^{n-1})}{n} \right] \quad (8)$$

Una vez identificado el rango de correlación para las estaciones y el índice de Moran (ρ) mensual, con la ayuda del software ArcGIS se identificó el área de influencia de las estaciones vecinas para cada punto de muestreo, como muestra la Figura 7.

Once the correlation range for the stations and the monthly Moran (ρ) index had been identified, with the help of the ArcGIS software, the area of influence of the neighboring stations was identified for each sampling point, as shown in Figure 7.

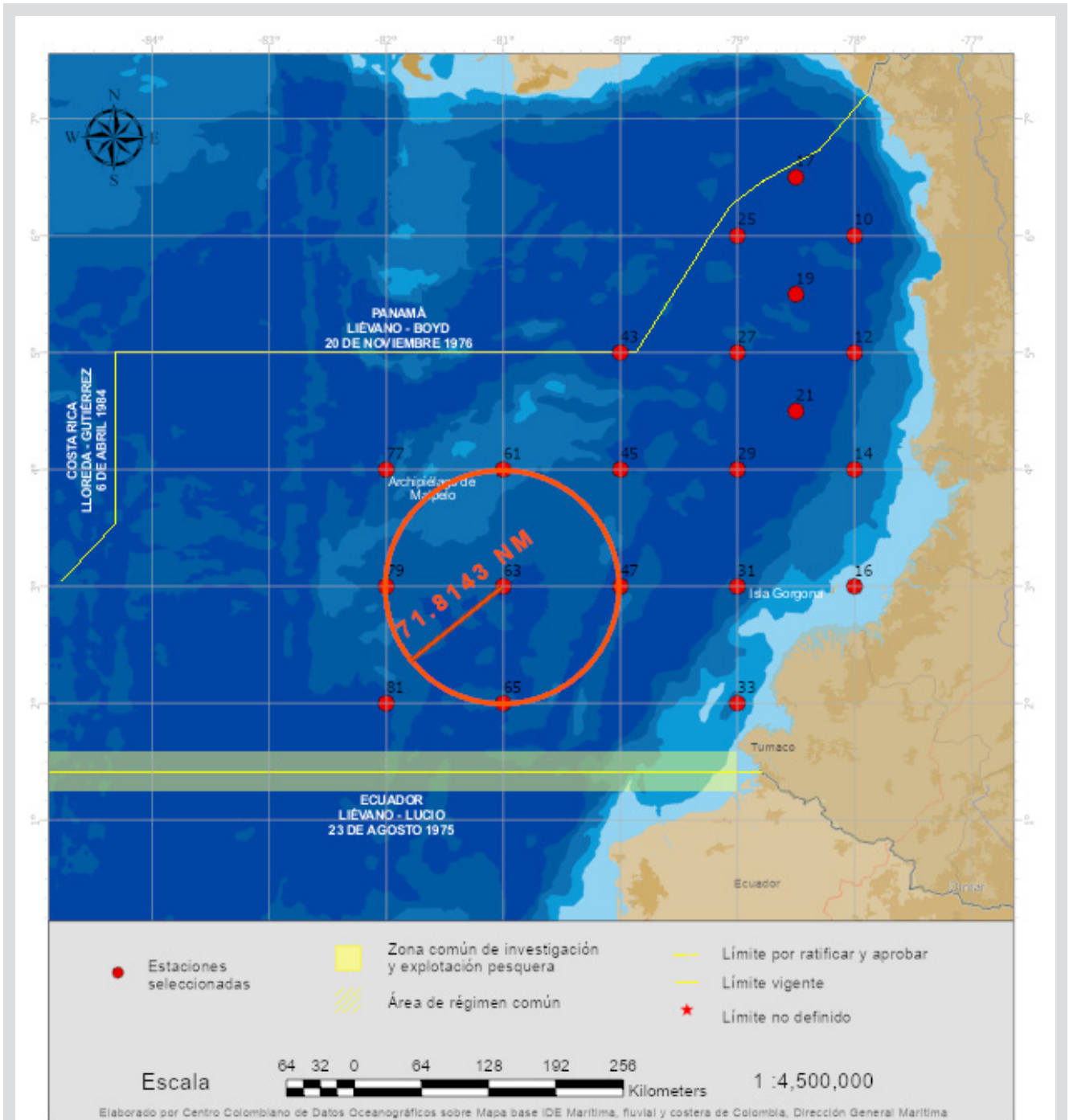


Figura 7. Área de influencia de estaciones vecinas para TSM mensual de una estación.

Figure 7. Area of influence of the neighboring stations for the monthly SST of a station.

Para finalizar, se comparó cada dato con el intervalo mensual regional al que corresponde, y se asignó la bandera de calidad GTSP así: “3” para datos fuera del intervalo establecido para cada subconjunto (dato probablemente malo); “2” para datos dentro del intervalo establecido para cada subconjunto (dato probablemente bueno); y “0” (prueba de calidad no aplicada).

Etapa III. Juicio de expertos

Corresponde a la última prueba de control de calidad y es muy recomendada por diferentes autores (Sánchez, 2006; Romero *et al.*, 2007; IOC, 2010; Smith *et al.*, 2019), para garantizar que datos malos o cuestionables no pasen por el conjunto de pruebas sin ser detectados. El procedimiento de prueba y marcado de esta etapa se basa en la experiencia y el conocimiento de la persona que realiza la prueba. Aunque se trata de una prueba subjetiva, siempre será necesario realizar esta inspección visual como juicio final de la validez de los datos calificados (IOC, 2010). Una vez efectuada la inspección visual de los datos calificados, a juicio del experto no se requirieron cambios en la asignación de banderas GTPSS, y se procedió a efectuar la equivalencia de banderas al esquema QF IODE, que para el estudio de caso dio como resultado que bajo la metodología propuesta 74,09 % de los datos son buenos, 18,75 % son cuestionables y 7,03 % son datos malos (Figura 8).

Finally, each data was compared to its corresponding monthly regional interval, and a GTSP quality flag was assigned as follows: “3” for data outside the interval established for each subset (probably bad data); “2” for data within the interval established for each subset (probably good data); and “0” (quality test not applied).

Stage III. Expert judgement

This is the last quality control test and is highly recommended by different authors (Sánchez, 2006; Romero *et al.*, 2007; IOC, 2010; Smith *et al.*, 2019) to ensure that bad or questionable data do not go through the test set without being detected. The testing and labeling procedure of this stage is based on the experience and knowledge of the person performing the test. Even though it is a subjective test, it will always be necessary to carry out this visual inspection as a final assessment of the validity of the rated data (IOC, 2010). Once the visual inspection of the rated data had been performed, to the expert’s judgement, no changes were required with regard to the assignment of GTPSS flags, and the flag equivalence with the QF IODE scheme was established, which, for this study case, showed that, via the proposed methodology, 74.09 % of the data are good, 18.75 % are questionable, and 7.03 % are bad (Figure 8).

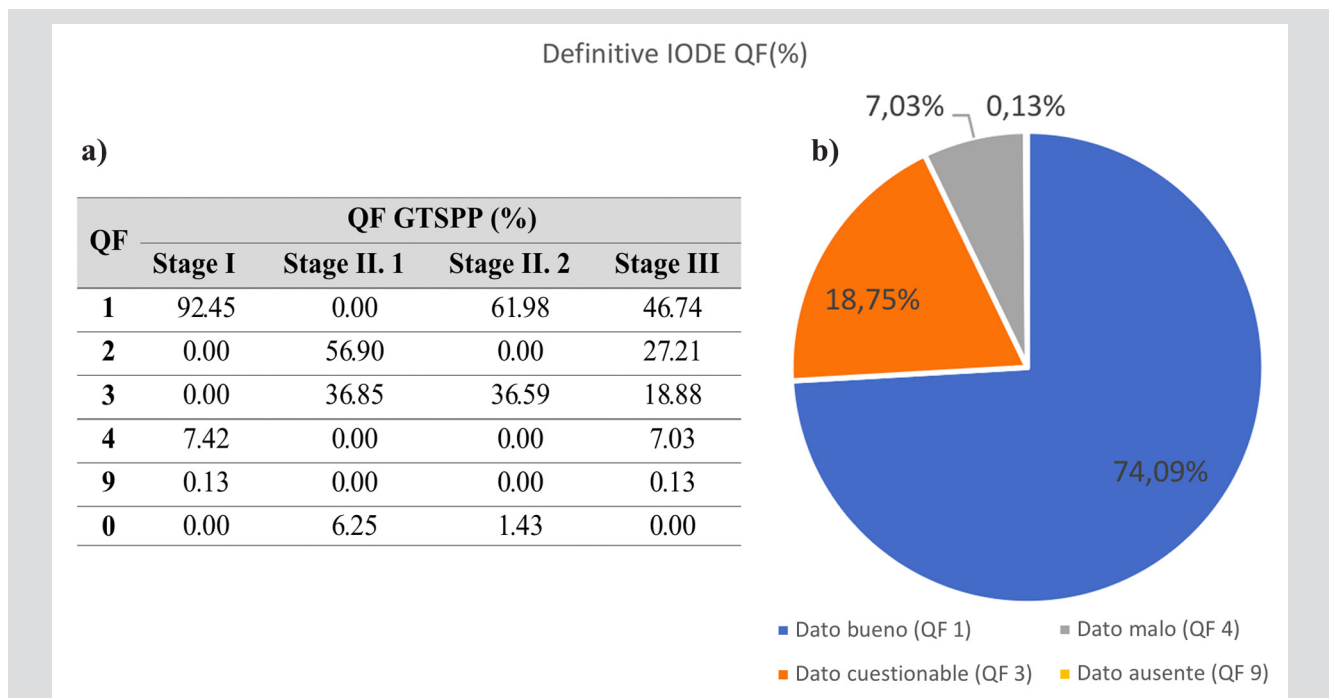


Figura 8. (a) Resultado del control de calidad bajo el esquema GTSPSP (b) Resultados del control de calidad bajo el esquema IODE.

Figure 8. (a) Results of quality control performed under the GTSPSP scheme, (b) results of quality control performed under the IODE scheme.

DISCUSIÓN

El estudio mostró que en la prueba de coherencia espacial fue posible definir un único rango de vecindad para todas las estaciones, debido a la distribución equidistante de las estaciones de muestreo de oceanografía física propias de la malla ERFEN; de lo contrario, habría sido necesario calcular un rango de vecindad para cada estación en particular, como ocurre para el caso de las estaciones meteorológicas del estudio de Bernal *et al.* (2011). Para el caso de la TSM, los datos disponibles permitieron asignar un coeficiente de correlación (índice de Moran) para cada mes del año, lo cual refuerza los ensayos hechos en la prueba de coherencia temporal y muestra cómo la correlación espacial entre las estaciones puede cambiar mes a mes debido a la variabilidad espacial del campo de temperatura. Adicionalmente, incluir una función que considera la correlación espacial para construir un intervalo de confianza como lo propone Cressie (1993) citado por Li (2009) y a la vez tomar datos de las estaciones vecinas dentro del rango establecido en el software Passage, demostró una coincidencia espacial entre los datos de TSM de 61,98 %, es decir, que del total de datos procesados 61,98 % presentaron una correlación espacial suficiente para que los valores de las mediciones por estación coincidieran con el rango definido por sus vecinas.

Así, tanto la prueba de coherencia temporal como espacial aportaron al análisis de la variabilidad de los parámetros oceanográficos por efecto de eventos El Niño y La Niña en aguas del Pacífico colombiano, revelando que a nivel oceánico el fenómeno El Niño se comporta típicamente con un significativo calentamiento de la capa superficial de agua (Poveda y Mesa, 1996; Pabón y Montealegre, 2017; IDEAM-UNAL, 2018). Mientras que La Niña se manifestó también como un ligero calentamiento más de tipo local en el promedio de las series comparado con las condiciones normales (como se muestra en la Tabla 4). Observándose que el comportamiento de las masas de agua para la Cuenca Pacífica Colombiana obedece a dinámicas propias diferentes a las que ya se han estudiado en el Pacífico oriental.

DISCUSSION

This study showed that, in the spatial coherence test, it was possible to define a single neighborhood range for all stations, given the equidistant distribution of the physical oceanography sampling stations belonging to the ERFEN mesh. Otherwise, it would have been necessary to calculate a neighborhood range for each particular station, as is the case of the meteorological stations in the study by Bernal *et al.* (2011). Regarding SST, the available data allowed assigning a correlation coefficient (Moran index) for each month of the year, which supports the tests conducted in the temporal coherence test and shows the way in which the spatial correlation between stations may change on a monthly basis due to the spatial variability of the temperature field. In addition, including a function that considers the spatial correlation to elaborate a confidence interval as proposed by Cressie (1993) and cited by Li (2009), while taking data from the neighboring stations within the range established with the Passage software, demonstrated a 61.98 % spatial match between the SST data, that is, out of the total processed data, 61.98 % reported a sufficient spatial correlation for the values of the measurements per station to match the range defined by their neighbors.

Thus, both the temporal and spatial coherence tests contributed to the analysis of the variability in oceanographic parameters derived from El Niño and La Niña events in waters of the Colombian Pacific, indicating that, at the ocean level, the El Niño phenomenon typically behaves with a significant heating of the surface water layer (Poveda and Mesa, 1996; Pabón and Montealegre, 2017; IDEAM-UNAL, 2018), while La Niña also manifested itself as a slight, more local heating in the average of the series, *i.e.*, in comparison with normal conditions (as shown in Table 4). It was observed that the behavior of the body masses in the Colombian Pacific Basin obey their own dynamics, different from those already studied in the Eastern Pacific.

Tabla 4. Promedio TSM datos calificados por estación por épocas Pacífico colombiano (Fuente Castañeda, 2017).

Table 4. Average SST data rated per station, per period – Colombian Pacific (Source: Castañeda, 2010).

Estación / Station	Promedio TSM °C por épocas Pacífico colombiano / Average SST °C per period, Colombian Pacific		
	Tiempo normal / Normal times	El Niño	La Niña
10	27.4151	27.8796	27.2146
12	26.9992	27.7633	27.1492
14	27.1013	27.7947	27.6357
16	26.8421	27.9238	27.4011
17	27.3622	27.8777	27.2735
19	26.9669	27.4486	26.9673
21	27.2750	27.3592	27.3409
25	26.512	27.7038	26.7802
27	27.1593	27.5573	26.8910
29	26.8957	27.6957	26.8463
31	26.7730	27.5979	26.6606
33	27.1798	27.0982	27.0860
43	26.1704	27.6088	26.7472
45	27.3191	27.1997	24.2245
47	26.7663	27.7198	26.8296
61	27.0202	27.6661	26.5243
63	26.6748	27.8408	26.7561
65	26.2681	27.5486	26.1250
77	26.8688	27.4582	27.3158
79	26.5661	27.5882	26.7294
81	26.2050	27.4530	25.9102

En cuanto a la comparación de los resultados obtenidos tras la aplicación de la metodología propuesta (es decir, 74,09 % de los datos de TSM son buenos, 18,75 % son cuestionables y 7,03 % son malos), frente a casos similares realizados en Colombia, como por ejemplo el estudio de Sánchez (2006) que incluye pruebas climatológicas, rangos de valores y juicio de expertos, sobre datos de temperatura de la columna de agua recopilados durante el Crucero Oceanográfico ERFEN XL 2005 en el Pacífico colombiano, el cual obtuvo que 50,31 % de los datos son buenos, 1,05 % son datos dudosos y 51,61 % son datos de calidad desconocida. Cabe anotar que dicho estudio aplicó pruebas adicionales al tratarse de datos de perfil del cuerpo de agua; asimismo, las pruebas solo fueron practicadas a un crucero oceanográfico y para más de la mitad de las mediciones evaluadas, no pudo concluir si eran datos buenos, malos o cuestionables.

The results obtained after implementing the proposed methodology (*i.e.*, 74.09 % good SST data, 18.75 % questionable, and 7.03 % bad) were compared to similar cases studied in Colombia, such as the study by Sánchez (2006), which includes climatological tests, value ranges, and expert judgment on water column temperature data taken during the 2005 ERFEN XL Oceanographic Cruise in the Colombian Pacific, obtaining 50.31 % good data, 1.05 % questionable, and 51.61 % data of unknown quality. It is worth noting that said study conducted additional tests, as it dealt with data on water body profiles. In the same way, the tests were only performed for one oceanographic cruise, and, for more than half the measurements evaluated, no conclusion was reached on whether the data were good, bad, or questionable.

Al comparar con el estudio de Romero *et al.* (2007), el cual describe una metodología de control de calidad que incluye, entre otras, la verificación de duplicidad de estaciones, verificación de rangos e inspección visual de las estaciones, en datos de temperatura de la columna de agua del Crucero Caribe 2002. De igual manera dicho estudio aplicó pruebas adicionales al tratarse de datos de perfil, asimismo, las pruebas solo fueron practicadas a un crucero oceanográfico y la evaluación efectuada no condujo a la asignación de banderas de calidad. Es así como la comparación entre otras propuestas metodológicas desarrolladas para el control de calidad de datos de temperatura del agua en Colombia permitió identificar pruebas de calidad en común que se aplican para este tipo de datos, pero no fue posible efectuar una comparación entre los resultados obtenidos con la calificación de los datos (banderas de calidad) propiamente dicha.

CONCLUSIONES

Se observó que cada estudio de caso consultado resalta y aporta en diferentes fases del proceso de control de calidad de acuerdo con sus necesidades, y evidencian métodos que se nutren de los aportes de estudios y de buenas prácticas internacionales en la materia; con lo cual se refuerza el hecho que los procedimientos de control de calidad pueden adaptarse y aplicarse conforme a la necesidad de procesamiento de los datos, de las características del área de estudio y que las pruebas pueden ser tan rigurosas como se requiera.

La composición y distribución de los datos oceanográficos analizados presentó retos a la hora de plantear metodologías de control de calidad basadas en técnicas estadísticas. Sin embargo, los elementos derivados de algunas metodologías utilizadas en climatología pudieron ser adaptadas para la interpretación de la variabilidad del parámetro en el tiempo y en el espacio.

Para la TSM se encontró que la cantidad y distribución de los datos disponibles permitió establecer un coeficiente de correlación (índice de Moran) entre estaciones, sin embargo, es importante tener en cuenta que la afinidad espacial también experimenta fluctuaciones a nivel temporal en función del comportamiento de la variable objeto de estudio, por tanto, se puede señalar una correlación espaciotemporal. La relación existente entre datos de un mismo parámetro, recolectados en determinadas posiciones geográficas también se ve influenciada por la época del año en que se realizaron los muestreos. Así, para el control de

The study by Romero *et al.* (2007), which was used for comparison, describes a quality control methodology that includes, among others, the verification of station duplicity and ranges, as well as their visual inspection, regarding water column temperature data in the 2002 Caribe Cruise. Similarly, said study performed additional tests, as it involved profile data. The tests were only performed for one oceanographic cruise, and the assessment did not lead to assign quality flags. Thus, the comparison between other methodological proposals developed for water temperature data quality control in Colombian waters allowed identifying common quality tests applied to this type of data, but it was not possible to make comparisons between the results obtained from the data rating (quality flags) themselves.

CONCLUSIONS

It was observed that each study case stands out and makes contributions in different phases of the quality control process, according to its needs, and methods are evidenced which are supported by the contributions of international studies and good practices in the field. This confirms the fact that quality control procedures can be adapted and applied according to data processing needs and the characteristics of the study area, as well as the fact that these tests can be as rigorous as required.

The composition and distribution of the analyzed oceanographic data posed challenges related to proposing quality control methodologies based on statistical techniques. However, the elements derived from some methodologies employed in climatology could be adapted to interpret the variability of certain parameters over time and in space.

For SST, it was found that the amount and distribution of the available data allowed establishing a correlation coefficient (Moran index) between stations. However, it is important to consider that spatial affinity also undergoes fluctuations at the temporal level, as a function of the studied variable's behavior. Therefore, a spatial-temporal correlation can be pointed out. The relationship between data on a parameter, collected in specific geographic positions, is also influenced by the time of year in which the sampling was conducted. Thus, regarding SST data quality, the fact that both the temporal and spatial aspects of the records were considered offered a more complete verification, which was coherent with the historical behavior of the parameter in the study area.

calidad de datos de TSM el tener en cuenta tanto el aspecto temporal como espacial de los registros, permitió ofrecer una verificación más completa, coherente con el comportamiento histórico del parámetro en la zona objeto de estudio.

Comparativamente con la bibliografía revisada, la metodología propuesta aporta en la incorporación de un procedimiento para la validación de la coherencia espacial de los datos, que tiene en cuenta la correlación espacial de las mediciones con respecto a mediciones efectuadas al mismo tiempo en diferentes ubicaciones. Si bien existen diferentes métodos para verificar de la coherencia espacial, este describe un procedimiento ágil que se soporta en el mismo conjunto de datos que se desea evaluar sin tener que recurrir a fuentes externas, e incorpora el aspecto temático para validar la veracidad de los registros.

La metodología desarrollada permitió plantear un protocolo general para la evaluación de datos oceanográficos aplicado a TSM y su posterior asignación de banderas de calidad. La eficacia de la metodología propuesta se manifiesta en el promedio y los estadísticos de TSM calculados para la época Normal a partir de las mediciones aprobadas por el control de calidad, que se encuentran en los rangos citados en la literatura para la CPC.

El factor diferencial de la presente propuesta metodológica frente a otras desarrolladas para el mismo tipo de variable, es tener en cuenta la influencia que el fenómeno de El Niño/ La Niña puede ejercer en las mediciones oceanográficas, contribuyendo con la integración de la variabilidad climática en el proceso de validación de este tipo de datos; avance que se sintetiza, aunando aportes heredados desde la climatología y que se agregan para consolidar la metodología de calidad de datos de la TSM. Lo anterior, teniendo en cuenta que la naturaleza de este fenómeno puede influir de forma particular para cualquier región y responder a las características propias de la zona objeto de estudio en el Pacífico colombiano. Existe el reto de adaptar este procedimiento según la zona geográfica para aplicar el control de calidad de los datos.

AGRADECIMIENTOS

La presente investigación se elaboró en el marco del desarrollo del proyecto de investigación titulado “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” en colaboración entre la Universidad Distrital

In comparison with the reviewed literature, the proposed methodology contributes with the incorporation of a procedure for validating the spatial coherence of the data, which considers the spatial correlation of the measurements with regard to those performed at the same time in different locations. Even though there are different methods to verify spatial coherence, this one describes an agile procedure founded upon the same dataset to be evaluated, without the need to resort to external sources, and it incorporates a thematic aspect to validate the truthfulness of the records.

The developed methodology allowed proposing a general protocol for the assessment of SST oceanographic data and the subsequent assignment of quality flags. The effectiveness of the proposed methodology is indicated by the average and statistics of SST values calculated normal times, based on measurements approved by the quality control process, which are within the ranges cited in the literature for the CPC.

The differentiating factor of this methodological proposal when compared to others developed for the same type of variable is the fact that it considers the influence of El Niño/La Niña on oceanographic measurements, thus contributing with the incorporation of climate variability into the validation process of this type of data. This advancement materializes by adding contributions from climatology in order to consolidate the methodology for SST data quality. The above, considering that the nature of this phenomenon may influence any region in a particular way, and it may respond to the characteristics of the area under study within the Colombian Pacific. This involves the challenge of adapting this procedure to a specific geographic area in order to perform data quality control.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was conducted within the framework of the research project titled Application of time series homogenization techniques to oceanographic variables, study case, Colombian Pacific subregion, as a contribution to the field of environmental monitoring, conducted in collaboration between Universidad Distrital Francisco José de Caldas, represented by the GIIAUD research group and the GAIA research seedbed, attached to the Department of the Environment and Natural Resources, and the General Maritime Directorate (Dimar), within the framework of the National Technical Committee for Data and Ocean Information Coordination (CTN DIOCEAN).



Francisco José de Caldas por parte del grupo de investigación GIIAUD y el semillero GAIA adscrito a la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales, y a la Dirección General Marítima (Dimar) en el marco del Comité Técnico Nacional de Coordinación de Datos e Información Oceánica (CTN DIOCEAN).

BIBLIOGRAFÍA / LITERATURE CITED

- Andrade Amaya, C.A., O.E. Rangel Parra y E. Herrera Vásquez. 2015. Atlas de los datos oceanográficos de Colombia 1922-2013. Temperatura, salinidad, densidad, velocidad geostrofica. Dirección General Marítima, Bogotá.
- Barrios Moreno, J. S. 2013. Aporte al proceso de toma de decisiones en la planificación ambiental de la región climática del Bajo Magdalena con base en análisis estadístico empleando una metodología para la homogenización de series mensuales de precipitación. Tesis Univ. Distr. Francisco José de Caldas.
- Bernal S., N.R., R.L. Correa y M.E. Rangel. 2011. Homogenización de series de tiempo mensuales de precipitación: 5. IX Congr. Meteorol., 26 p.
- Bernal, N., J. Barrios, M. Ramos, C. Velásquez e Y. Ibarra. 2012. Propuesta metodológica para la homogenización de series de tiempo de precipitación mensual y su utilidad en procesos de toma de decisiones, estudio de caso Región Climatológica del Bajo Magdalena. XXII Simp. Internal. Estad., Bucaramanga, Colombia.
- Castañeda, D. 2017. Aplicación de técnicas de homogenización de series de tiempo de variables oceanográficas, estudio de caso subregión del Pacífico colombiano, como aporte a tema de monitoreo ambiental. Tesis Univ. Distr. Francisco José de Caldas, Bogotá.
- CTN Diocean. 2018. Manual de referencia en mejores prácticas de gestión de datos oceánicos. Dimar 3/2018, Bogotá. <http://10.26640/25392212.3.2018>
- Dimar. 2018. Guía para la normalización de conjuntos de datos oceanográficos. Centro Colombiano de Datos Oceanográficos.
- Fox, J., M. Bouchet-Valat, L. Andronic, M. Ash, T. Boye, S. Calza and K. Wright. 2017. R CMDR R Commander. (versión 3.3.1) <https://cran.r-project.org/web/packages/Rcmdr/index.html>
- Gronell, A. and S.E. Wijffels. 2008. A semiautomated approach for quality controlling large historical ocean temperature archives. *J. Atmos. Ocean. Technol.*, 25(6): 990-1003.
- IDEAM – UNAL. 2018. Variabilidad climática y cambio climático en Colombia, Bogotá. <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023778/variabilidad.pdf>
- IOC. 1993. Manual of quality control procedures for validation of oceanographic data. <http://www.oceandocs.org/handle/1834/2849>
- IOC. 2010. GTSPP real-time quality control manual. <https://www.oceandocs.org/handle/1834/5589>
- IOC. 2013a. IODE quality management framework for National Oceanographic Data Centres. https://www.iode.org/index.php?option=com_oe&task=viewDocumentRecord&docID=12661
- IOC. 2013b. Ocean data standards vol. 3. Recommendation for a quality flag scheme for the exchange of oceanographic and marine meteorological data. Version 1. <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
- Kent, E.C., N.A. Rayner, D.I. Berry, R. Eastman, V. Grigorieva, B. Huang and K.M. Willett. 2019. Observing requirements for long-term climate records at the ocean surface. *Front. Mar. Sci.*, 6: 441.
- Levitus, S. 1982. Climatological atlas of the world ocean. <https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=uc1.31822007471964;view=1up;seq=1>
- Li, Y. 2009. Modeling and analysis of spatially correlated data. https://doi.org/10.1142/9789812837448_0004
- Locarnini, R.A., A.V. Mishonov, O.K. Baranova, T.P. Boyer, M.M. Zweng, H.E. Garcia, J.R. Reagan, D. Seidov, K.W. Weathers, C.R. Paver and I.V. Smolyar. 2019. World Ocean Atlas 2018, Volume 1: Temperature. NOAA Atlas NESDIS 81. https://data.nodc.noaa.gov/woa/WOA18/DOC/woa18_vol1.pdf
- Lombana, L., N. Bernal y J. Barrios. 2018. Guía para el procesamiento de series de tiempo de precipitación y temperatura: estimación de datos faltantes, detección de cambios y homogenización. Univ. Distr. Francisco José de Caldas, Bogotá.
- NOAA. 2015a. About global temperature and salinity profile program. <https://www.nodc.noaa.gov/GTSPP/overview/index.html>
- NOAA. 2015b. Climate prediction center—monitoring & data ENSO impacts. http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml
- OMM. 2011. Guía de prácticas climatológicas. https://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_100_es.pdf

- Ospina, D. 2001. Introducción al muestreo. Univ. Nal. Col., Bogotá.
- Pabón-Caicedo, J.D. y J.E. Montealegre-Bocanegra. 2017. Los fenómenos de El Niño y de La Niña, su efecto climático e impactos socioeconómicos. Acad. Col. Cienc. Ex., Fis. Nat., Col. Jorge Álvarez Lleras 43.
- Póveda, G. and O. Mesa. 1996. Feedbacks between hydrological processes in tropical South America and large-scale ocean-atmospheric phenomena. *J. Clim.*, 10: 2690-2702. <https://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/1520-0442%281997%29010%3C2690%3AFBHPIT%3E2.0.CO%3B2>
- Reiner, S. and W. Alfred. 2013. Oceanographic quality flag schemes and mappings between them. Version: 1.4. Inst. Polar Mar. Res. Bremerhaven, Germany. https://odv.awi.de/fileadmin/user_upload/odv/misc/ODV4_QualityFlagSets.pdf
- Romero, C., L. Marriaga y R. Torres. 2007. Metodología para la calificación y control de calidad de datos oceanográficos aplicada al Crucero Caribe 2002. *Bol. Cient. CIOH*. 25: 78-93. https://doi.org/10.26640/01200542.25.78_93
- Rosenberg, M. and D. Corey. 2011. Passage: Pattern Analysis Spatial Statistics and Geographic Exegesis. Version 2. Meth. Ecol. Evol. Arizona State Univ. <http://www.passagesoftware.net/index.php>
- Sánchez, R. 2006. Diseño e implementación de una herramienta computacional para el control de la calidad y validación de datos oceanográficos. Tesis Univ. Cauca, Popayán, Colombia.
- Smith, S.R., G. Alory, A. Andersson, W. Asher, A., Baker, D.I. Berry, K. Drushka, D. Figurskey, E. Freeman, P. Holthus, T. Jickells, H. Kleta, E.C. Kent, N. Kolodziejczyk, M. Kramp, Z. Loh, P. Poli, U. Schuster, E. Steventon, S. Swart, O. Tarasova, L.P. De La Villéon and N. Vinogradova-Shiffer. 2019. Ship-based contributions to global ocean, weather, and climate observing systems. *Front. Mar. Sci.*, 6.
- Wang, Q., C. Chen, F. Liao, Y. Liu and Z. Wang. 2017. Data quality control of sea surface temperature retrieved by spaceborne microwave radiometer: 1981-1984. 2017 July-IEEE Internat. Geosci. Rem. Sens. Symp. (IGARSS).

RECIBIDO/RECEIVED: 04/04/2021

ACEPTADO/ACCEPTED: 10/08/2022