

**DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA OSCILACIÓN DEL SUR (ENOS)
EN LA CALIDAD DE AGUA DEL OCÉANO PACIFICO, CASO DE ESTUDIO
BAHÍA DE TUMACO**

AUTOR:

JUAN DIEGO NIÑO DUARTE

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL

BOGOTÁ D.C.

ABRIL, 2023

**DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA OSCILACIÓN DEL SUR (ENOS)
EN LA CALIDAD DE AGUA DEL OCÉANO PACIFICO, CASO DE ESTUDIO
BAHÍA DE TUMACO**

AUTOR:

JUAN DIEGO NIÑO DUARTE

INFORME FINAL DE PASANTIA

TUTOR:

ANGELA MARÍA JARAMILLO LONDOÑO

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
LINEA DE INVESTIGACIÓN: ODENAMIENTO AMBIENTAL DEL
TERRITORIO Y GESTIÓN AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C.
ABRIL, 2023**

TABLA DE CONTENIDO

1. Resumen.....	4
2. Abstract	5
3. Introducción	6
4. Objetivos	6
4.1. Objetivo general	6
4.2. Objetivos específicos	6
5. Marco referencial	7
6. Desarrollo de la practica o pasantía	13
7. Resultados obtenidos.....	20
8. Referencias bibliográficas	46

1. Resumen

Este documento contiene el informe de la pasantía desarrollada por el estudiante Juan Diego Niño en la Dirección General Marítima (Dimar), y de manera específica en el Centro Colombiano de Datos Oceanográficos (Cecoldo), ente encargado de recibir y procesar los datos oceanográficos (datos meteorológicos, datos de oceanografía física, química y biológica y datos de biodiversidad marina). Así mismo, el presente documento también contiene los resultados del proyecto desarrollado al interior de entidad, tal y como está establecido en el capítulo 9 (página 20) del Acuerdo No. 05 del 21 de octubre de 2020 “Reglamento de Opciones de Grado del programa académico de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás”, la pasantía corresponde a un “...trabajo teórico práctico realizado por un estudiante en calidad de Practicante o Pasante, que tiene como objetivo la solución a un problema de carácter ambiental...”. En este contexto, y bajo las orientaciones e intereses expresados por la Dimar, se trabajó con datos de calidad del agua marina de la bahía de Tumaco expresada a partir del Índice de Calidad de Agua Marina (ICAM), con el fin de correlacionar este índice con el fenómeno de variabilidad climática conocido como Oscilación del Sur (ENOS). El estudio se realizó a partir de datos obtenidos en un rango de tiempo comprendido entre 2004 y 2014, período en el cual los monitoreos de calidad del agua de la bahía de Tumaco fueron continuos. De esta manera, se realizó una prueba de normalidad con los datos, una correlación multivariable entre los componentes meteorológicos y la calidad del agua de la zona de estudio y, finalmente, un análisis multivariable de varianza (MANOVA). Los datos fueron procesados y tratados con el fin de tener promedios semestrales anuales con ayuda del software SPSS, el cual arrojó resultados del comportamiento de las variables meteorológicas a lo largo del tiempo de estudio. De acuerdo con los resultados obtenidos, se encontró que la calidad del agua tiene una correlación negativa con la temperatura superficial del mar, de tal manera que en presencia del fenómeno de La Niña (disminución de la temperatura superficial del mar) la calidad el agua en la bahía de Tumaco es mejor que en temporadas de El Niño.

Palabras clave: ENOS, calidad del agua, ICAM, correlación multivariable, análisis multivariable de varianza, Bahía de Tumaco.

2. Abstract

This document contains the report of the internship developed by the student Juan Diego Niño in the “*Dirección General Marítima*” (Dimar), and specifically in the Colombian Center for Oceanographic Data (Cecoldo), entity in charge of receiving and processing oceanographic data (meteorological data, physical, chemical, and biological oceanographic data, and marine biodiversity data). Likewise, this document also contains the results of the project developed within the entity, as set out in Chapter 9 (page 20) of Agreement No. 05 of 21 October 2020 "Regulations of Degree Options of the Environmental Engineering Academic Program of the Santo Tomás University", the internship corresponds to a "...practical theoretical work carried out by a student as a Practitioner or Intern, which aims at solving an environmental problem...". In this context, and under the guidelines and interests expressed by Dimar, we worked with marine water quality data from the bay of Tumaco expressed from the Marine Water Quality Index (ICAM), in order to correlate this index with the phenomenon of climatic variability known as the Southern Oscillation (ENSO). The study was conducted from data obtained in a time range between 2004 and 2014, period in which water quality monitoring of the bay of Tumaco was continuous, In this way, a normality test was performed with the data, a multivariate correlation between meteorological components and water quality in the study area and, finally, a multivariate variance analysis (MANOVA). The data were processed and treated in order to have annual half-yearly averages with the help of the SPSS software, which yielded results of the behavior of the meteorological variables over the time of study. According to the results obtained, it was found that water quality has a negative correlation with sea surface temperature, so that in the presence of the La Niña phenomenon (decrease in sea surface temperature) water quality in the Bay of Tumaco is better than in seasons of El Niño.

Keywords: ENSO, water quality, ICAM, multivariate correlation, multivariate variance analysis, Tumaco Bay.

3. Introducción

El fenómeno de variabilidad climática, conocido como Oscilación del Sur (ENOS) juega un papel importante, a nivel mundial, afectando las condiciones hidroclimáticas. En Colombia esta anomalía se puede dividir en un periodo seco y prolongado llamado El Niño, o un periodo de lluvias extremas llamado La Niña (Poveda, G., & Mesa, Ó. J., 1996).

En Colombia el fenómeno ENOS tiene impacto a nivel hídrico y meteorológico y la autoridad encargada del monitoreo y seguimiento de este fenómeno es La Dirección General Marítima (Dimar), la cual, desde el Centro Colombiano de Datos Oceanográficos (Cecoldo), es la responsable de procesar y recibir los datos oceanográficos, dentro de los que se encuentran datos meteorológicos, físicos, químicos y biológicos del agua, biodiversidad marina y geoquímicos.

En el desarrollo de esta pasantía se tuvo acceso a información del Cecoldo con el fin de realizar análisis de orden estadístico para evaluar una posible relación entre la calidad del agua en la Bahía de Tumaco (Pacífico colombiano) y la presencia del fenómeno ENOS. Para hacer estos análisis se aplicaron diferentes tipos de pruebas estadísticas con el fin de correlacionar los datos meteorológicos y los datos de calidad de agua.

4. Objetivos

4.1. Objetivo general

Determinar la influencia de la Oscilación del Sur (ENOS) en la calidad del agua marina en la bahía de Tumaco entre los años 2004 y 2014.

4.2. Objetivos específicos

- Calcular el Índice de Calidad de Agua Marina y Costera (ICAM) para diferentes periodos de tiempo en la bahía de Tumaco.
- Establecer una correlación múltiple entre los datos meteorológicos de la bahía de Tumaco y los valores del ICAM para periodos de oscilación de Niño, Niña y los que no presentan.
- Determinar si hay una diferencia estadísticamente significativa entre los diferentes valores de ICAM para cada periodo de oscilación.

5. Marco referencial

5.1. Marco contextual

La Dirección General Marítima (Dimar) se instauró en 1971 por medio del Decreto Ley 2349 con el nombre de Dirección General Marítima y Portuaria, como una dependencia del Ministerio de Defensa Nacional y la Armada Nacional. Desde entonces, Dimar tiene como fin la investigación, la dirección y el control de transporte marino en Colombia. 13 años después gracias al Decreto Ley 2324 de 1984 se establece la jurisdicción de la Dimar junto con sus objetivos y sus funciones referente a la investigación, procedimientos y actividades de régimen mercante marítimo, transporte, permisos y concesiones (Dirección General Marítima, 2022).

Hoy en día, la Dimar es la Autoridad Marítima Colombiana encargada de dar cumplimiento a la política rigente en materia en los 928.660 Km² del territorio nacional, haciendo que el poder marítimo de Colombia se fortalezca, vele por la seguridad y la protección de la vida humana en el mar. Así mismo, promueve la investigación, el desarrollo científico y tecnológico en cuanto a actividades marinas. Tiene como misión ejercer su autoridad en todo el territorio marítimo colombiano, controlando todas las actividades marítimas, fluviales y costeras, desarrollando los intereses marítimos y fluviales de la Nación (Dirección General Marítima, 2022).

En el año 2009 por medio del Decreto 5057 se reestructura la Dirección General Marítima asignando la actual organización:

- Despacho del Director
- Capitanías de Puerto
- Subdirección de Marina Mercante
- Subdirección de Desarrollo Marítimo
- Subdirección Administrativa y Financiera
- Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe
- Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico
- Señalización Marítima del Caribe, Señalización del Río Magdalena y Señalización Marítima del Pacífico

La Subdirección de Desarrollo Marítimo (Subdemar) es el área que se encarga de fomentar los intereses marítimos nacionales, permitiendo el aprovechamiento sostenible de las costas, la conservación del ambiente marino con el fin de amparar el recurso para las generaciones presentes y futuras, haciendo que la calidad de vida de la población costera se incremente.

Dentro del trabajo de Subdemar se encuentra el servicio meteorológico marino, el servicio hidrográfico nacional, la señalización marítima, la investigación científica marina, el patrimonio cultural sumergido, la administración de litorales y áreas marinas, la infraestructura de datos espaciales y el Centro Colombiano de Datos Oceanográficos (Cecoldo).

En el marco de la pasantía, se trabajó dentro del proceso institucional M-15, Gestión de la información oceanográfica y de meteorología marina, en el Centro Colombiano de Datos Oceanográficos. El Cecoldo es uno de los tres elementos que estructuran el programa de Intercambio Internacional de Datos e Información Oceanográfica (IODE) de la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) de la UNESCO. El Cecoldo desarrolla y gestiona los datos oceanográficos como lo son recibir datos oceanográficos de diferentes fuentes internacionales, nacionales y regionales; aplicar buenas prácticas y estándares internacionales; asegurar que los datos y la información sea conservada a un largo plazo y pueda ser interpretada de manera correcta; y tener disponibilidad de los datos en todo momento (Cecoldo, 2022).

Con el fin de poder realizar un monitoreo y observar los posibles cambios a nivel de la calidad del agua y de las variables meteorológicas, el Cecoldo tiene un catálogo de datos y metadatos oceanográficos que almacena información desde 1978 hasta 2019, los cuales se dividen por series de datos provenientes de estaciones fijas y por expediciones oceanográficas y cruceros los cuales hacen la toma de datos de manera puntual. En este catálogo se encuentran datos e información sobre calidad del agua oceánica, meteorología, biota marina e información de carácter ambiental, además de poder encontrar datos meteorológicos tomados en tiempo real por medio de una iniciativa llamada Red de Medición de Parámetros Oceanográficos y de Meteorología Marina (RedMpomm).

En el 2001, el INVEMAR (Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés) creó un sistema de indicadores los cuales serían el primer grupo de indicadores de calidad de agua marina en Colombia, teniendo 3 objetivos diferentes, el primero es para la conservación de fauna y flora llamado ICAMpff, el segundo es el de recreación llamado ICAMr, y finalmente el de recepción de vertimientos llamado ICAMrv (INVEMAR, 2021). Estos indicadores trabajan con un promedio de 8 variables, que a su vez se encuentran contempladas en la toma de datos por parte de la REDCAM de Dimar. Vivas Aguas, L. J. et. al. (2014), documentaron el protocolo para calcular el ICAM el cual es un indicador de las condiciones naturales del agua y las posibles afectaciones antropogénicas, este índice tiene 8 variables las cuales son oxígeno disuelto, nitratos, sólidos suspendidos, hidrocarburos totales, pH y coliformes termotolerantes, para el cálculo se usa un promedio geométrico, los resultados se comparan con una escala establecida donde su mayor calidad se define como óptima y la peor como pésima

Con el fin de dar cumplimiento a los lineamientos establecidos por la Universidad Santo Tomas en cuanto a la modalidad de grado de pasantía fue necesario plantear una solución a un problema de carácter ambiental. Con el apoyo de la entidad pública, y con base en los datos e información oceanográfica (físicos, químicos y biológicos) y de la meteorología marina de la Bahía de Tumaco a los que se tuvo acceso durante la pasantía, se determinó evaluar una posible relación entre la calidad del agua y el fenómeno ENOS. Por lo anterior, se escogió la Bahía de Tumaco como área de estudio debido a que la Dimar monitoreó durante los años 1990 al 2014 la calidad de agua de la región. Además, existe una estación fija para el monitoreo de los parámetros meteorológicos desde el año 1993 lo cual lo hace ideal para realizar esta evaluación. No obstante, se trabajó únicamente en el período comprendido de 2004 a 2014, por ser el que contaba con la mayor cantidad de datos provenientes de monitoreos continuos. Los demás períodos correspondían a toma de datos esporádicos.

La Bahía de Tumaco, ubicada en el departamento de Nariño en el Pacífico colombiano actúa como un sistema de estuario ya que permite el intercambio de aguas oceánicas y aguas provenientes de los ríos Curay, Mejicano, Colorado, Patía, Tablones, Chagüí, Rosario y Mira, que determinan la calidad de agua en la bahía. (Banco del Occidente, 2002).

5.2. Marco teórico

La Oscilación del Sur (ENOS) es un evento climático que tiene lugar en el Océano Pacífico Ecuatorial Central, y es uno de los fenómenos más demostrativos de la variabilidad climática a causa de los progresivos cambios en la temperatura superficial marina (TSM) con respecto al tiempo. Este fenómeno se puede dividir en dos ciclos completamente opuestos: el que se conoce como el fenómeno de El Niño y el fenómeno de La Niña, estos dos ciclos se desarrollan de manera interanual (IDEAM, 2017).

En Colombia la fase de El Niño se caracteriza por aumentos en la TSM y una notable disminución de los vientos alisios del suroeste afectando de manera directa a los departamentos del norte de la región Pacífica, región Caribe y Andina. Por otro lado, La Niña, genera una TSM baja y una mayor intensidad de los vientos alisios lo que afecta de manera directa a la zona Pacífica, Caribe, Andina y los departamentos encontrados a la altura del piedemonte de los Llanos Orientales (Maturana, J., 2004; IDEAM, 2017).

El concepto de calidad de agua va asociado al uso que se le dé a este recurso, en el caso del agua de mar, la calidad se relaciona con la conservación de fauna y flora, así como para el uso recreativo. Los cambios en la calidad del agua pueden afectar

los ecosistemas hasta el punto del colapso de las poblaciones y comunidades que allí habitan, especialmente debido a la disminución del oxígeno disuelto disponible y a la presencia de elementos contaminantes. (Uribe Botero, E., 2015).

La Oscilación del Sur ha sido objeto de análisis académico, por ejemplo, Lipp, E.K. et. al. (2001) realiza un estudio que busca determinar si los efectos ocasionados por el ENOS en la calidad de agua costera en la bahía de Tampa, Florida, son importantes para el área de estudio. En esa publicación se realizó un análisis a escala local donde se usaron diferentes estadísticas aleatorias aproximadas para demostrar la influencia significativa que tiene el ENOS en la calidad del agua para una época de invierno, donde se indicó que los niveles de calidad del agua bajan en épocas de El Niño y los niveles de contaminación del agua disminuyen en temporada de La Niña. Gracias a ese estudio, los autores lograron comprobar que existía un patrón en las épocas ENOS y en la calidad del agua, y que es posible usar pronósticos climáticos para predecir los periodos de mala calidad del agua y prepararse apropiadamente para estos cambios por medio de políticas públicas monitoreo, evaluación y gestión de costas y bahías para temas de recreación o actividades económicas.

Por otro lado, en 2003 se realizaron dos estudios importantes: el primero, realizado por D’Croz, L. et. al. (2003), en Panamá, en la costa del Pacífico, encontrando un aumento en el afloramiento costero (proceso donde el agua de las profundidades surge hacia la superficie trayendo aguas frías, con mayor concentración de nutrientes) asociado a la presencia de fenómeno de El Niño. En este estudio fue notorio el cambio en la calidad del agua costera en épocas de El Niño, además que las altas temperaturas que se generan en la temporada provocan un mayor afloramiento afectando directamente las especies de coral y la diversidad de la bahía panameña y el Archipiélago Las Perlas.

En esa misma línea, Silvestri, G. E. (2003) realizó una tesis doctoral en la que se desarrolló un análisis entre la variabilidad climática interanual de lluvias en el sudeste de Sudamérica (SESA) y la variabilidad en la temperatura del agua y la circulación atmosférica en el área de Los Andes. Producto de ese análisis se logró identificar que SESA y la variabilidad de temperatura marítima no depende la una de la otra, además, el autor determinó que las precipitaciones del pacífico sur subtropical son moduladas por El Niño y la influencia que ejercen en la TSM de SESA, concluyendo que el fenómeno ENOS afecta de manera importante al SESA.

Fuente principal para la pasantía fue la publicación de Severiche Sierra, C. A et. al. (2013), quienes publicaron un estudio hecho en la costa colombiana, en concreto en la Ciénaga Grande de Santa Marta, en el que analizaron la influencia que tenían las lluvias en la calidad del agua de la ciénaga. Lo anterior lo realizaron por medio del Índice de Calidad de Agua Marina (ICAM) para el periodo 2006 - 2009,

muestreando 6 puntos hidrobiológicamente relevantes. Lo anterior, tuvo como resultado los indicadores ambientales para una posible toma de decisiones para la gestión ambiental del sitio. La investigación de Severiche Sierra, C. A et. al. (2013) nutrió la pasantía al presentar el ICAM, factor de vital importancia para el análisis de los datos recopilados.

De igual forma, Ng, C. KC. et. al. (2018) realizaron un estudio referente a la calidad del agua luego del evento de ENOS ocurrido en el 2016 en el Río Kampar en Malasia, donde se tomaron 144 muestras de agua dulce para luego realizar las respectivas mediciones de los parámetros fisicoquímicos del agua y poder obtener el índice de calidad de agua de Malasia. Allí encontraron anomalías en el oxígeno disuelto, los sólidos suspendidos totales, el nitrógeno amoniacal y la turbidez teniendo una afectación severa en la población del sudeste asiático.

Así mismo, en 2016 Apple, J. K. et. al., realizaron un estudio sobre la variabilidad climática y la calidad del agua a grandes escalas en el Mar de Salish donde las variables más influenciadas por el clima son la temperatura del agua y la salinidad. En este estudio se concluye que las altas temperaturas del agua afectan de manera importante a las bahías y estuarios, generando un alto estrés en el ecosistema. Lo anterior, fue esencial para la pasantía, porque presento una variable que tomó más importancia: la temperatura del agua.

Un caso local es el de Montoya-Moreno, Y. et. al. (2019) que publicaron un artículo donde se hace una relación entre la calidad del agua fisicoquímica y biológica con los fenómenos de El Niño y La Niña en tres fuentes de agua en el departamento de Antioquia, Colombia. Los autores determinaron que para el periodo de El Niño en el 2016 la calidad del agua disminuyó mientras que en el periodo de La Niña la calidad del agua mejoró así como la calidad biológica aumentó. Dada la similitud de este estudio con el propósito de la pasantía, los hallazgos realizados por los autores en el 2019 permitieron dilucidar una relación entre el fenómeno ENOS y la calidad de agua en temporada de la Niña.

Ahora bien, fijarse en la calidad de agua resulta de importancia mayor en un contexto como el de la pasantía. INVEMAR (2004) afirma que las afectaciones en la calidad del agua generan problemáticas en la población costera, que ocasionan efectos secundarios aparte del daño ecosistémico de su hogar. Debido a la mala calidad del agua pueden presentarse problemas de eutrofización lo que genera que el oxígeno disuelto del agua disminuya, por tanto, los peces y otras especies no sobreviven afectando directamente a los pescadores. También, se pueden producir afloramientos de algas tóxicas, llegando a generar enfermedades en los humanos o hasta la muerte.

5.3. Marco conceptual

Calidad del agua marina

Se define calidad de agua como las características fisicoquímicas y biológicas que tiene el agua, en concreto, al hablar de agua marina son las características físicas, químicas y biológicas que tiene un cuerpo de agua marino posee, no hay que dejar de lado que la calidad del agua depende de del uso que se le vaya a dar a la misma, en el caso de (USGS, 2014).

Climatología

Se define la climatología como el estudio del estado físico promedio de la atmósfera y de sus variaciones estadísticas en el espacio y en el tiempo, tal como se reflejan en el comportamiento meteorológico en un periodo de muchos años (IDEAM, 2009).

Fenómenos atmosféricos

Los fenómenos atmosféricos se refieren al tiempo atmosférico presente en el día a día como lo es la lluvia, vientos, tornados, estos fenómenos pueden durar más de un mes y menos que una estación anual, también se conocen como variabilidad intraestacional (Torres Puentes, V. M., 2019).

Geonetwork

Es el catálogo de metadatos y datos abiertos que tiene el Centro Colombiano de Datos Oceanográficos (Cecoldo) por parte de la Dimar. Aquí se encuentran almacenada información de cruceros oceanográficos, series de datos meteorológicos de estaciones costeras, información de estudios ambientales, información geocientífica etc.

Meteorología

Es la rama de la física la cual estudia las propiedades y estructuración de la atmósfera, todos los fenómenos y procesos que ocurren en ella en un tiempo corto, un lugar específico, la meteorología describe el tiempo atmosférico de un punto geográfico en concreto (Figuroa, R., 2011).

5.4. Marco legal

La Ley 1712 de 2014, decretada por el Congreso de la República, versa sobre la Transparencia y el Derecho del Acceso a la Información Pública Nacional, sobre la regulación del derecho de acceso a la misma y los procedimientos para garantizar el acceso. En dicha ley se estipula que todas las personas deben conocer la existencia de y tener acceso a la información de carácter público. Por lo anterior, dicho derecho al acceso de la información crea la obligación de divulgar y responder

de buena fe, de manera adecuada, veraz, oportuna y accesible a las solicitudes que puedan realizarse. Por ello, es deber de la Nación producir y capturar la información pública (Congreso de la República Colombiana, 2014).

Además, es necesario citar el Decreto 103 de 2015 el cual reglamenta parcialmente la Ley 1712 de 2014 en cuanto a la publicación y divulgación de la información pública dando las directrices para la publicación en cuanto a los estándares y el lugar de publicación. Del mismo modo, reglamenta la accesibilidad que tiene que tener el usuario a la información pública; la gestión, recepción y respuesta de las solicitudes que se formulan para la adquisición de los datos; la gestión y directrices que se tienen sobre información de las entidades públicas que es clasificada y reservada; denegación al derecho de la información pública ya sea por reserva o clasificación; y los esquemas de publicación de la información (Presidencia de la República de Colombia, 2015).

Por otro lado, se cita el Decreto 1008 de 2018 expedido por La Presidencia de la República de Colombia (2018) donde se establecen los lineamientos generales de la política de Gobierno Digital. En este decreto se describe como objeto el uso y aprovechamiento de las tecnologías de la información y comunicación entre los ciudadanos y el Estado con el fin de tener un entorno de confianza digital. Del mismo modo, se habla de la estructuración, la aplicación, principios e institucionalidad del Gobierno digital.

Finalmente, entrando en materia de legislación ambiental, se resalta el Decreto 1076 de 2015 expedido por La Presidencia de la República de Colombia (2015) que compila la normatividad ambiental. En el capítulo 3 establece las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el ordenamiento del recurso hídrico y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados. Así mismo, este Decreto cuenta con los valores de calidad del agua marina admisibles para la preservación de la fauna y la flora. De igual forma al hablar de calidad de agua marina es importante destacar el Decreto 883 de 2018 expedido por MinAmbiente (2018) que habla de los parámetros y valores máximos permisibles de los vertimientos puntuales que se puedan realizar a cuerpos de agua marina como lo es la Bahía de Tumaco.

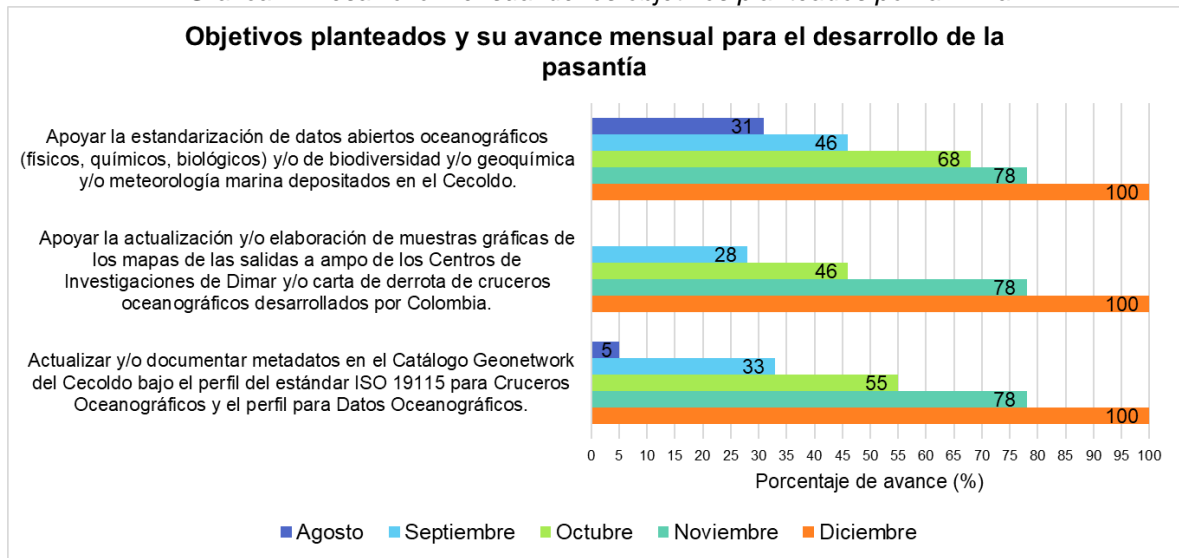
6. Desarrollo de la pasantía

El desarrollo de la pasantía se divide en dos momentos: 1) las actividades que se establecieron por parte de la entidad pública para hacer efectiva la pasantía (Desarrollo de la pasantía) y 2) las actividades planteadas para dar respuesta a lo propuesto en el anteproyecto (Desarrollo del informe de la pasantía).

6.1.1. Desarrollo etapa práctica

Con respecto a lo propuesto por la Dimar y con el fin de cumplir con las necesidades laborales de la pasantía se establecieron tres diferentes objetivos, a continuación, se mostrará la *Gráfica 1* la cual muestra el progreso mensual para cada uno de estos objetivos.

Gráfica 1. Desarrollo mensual de los objetivos planteados por la Dimar



Con respecto al objetivo de apoyar la estandarización de datos abiertos oceanográficos (físicos, químicos, biológicos) y/o de biodiversidad y/o geoquímica y/o meteorología marina depositados en el Cecoldo se logró realizar lo siguiente:

- Se estandarizaron 27 series de datos de meteorología marina (humedad relativa, presión atmosférica, precipitación, temperatura del aire, radiación solar, dirección y velocidad del viento) de estaciones de la Red de Medición de Parámetros Oceanográficos y de Meteorología Marina (RedMpomm).
- Se estandarizaron 75 conjuntos de datos de oceanografía física del Servicio Hidrográfico Nacional (SHN), aplicando los lineamientos del Cecoldo.
- Se cargaron a la base de datos del Geoportal del Cecoldo, las series de datos de meteorología marina (humedad relativa, presión atmosférica, precipitación, temperatura del aire, radiación solar, dirección y velocidad del viento) de 20 estaciones de la RedMpomm.
- Se estructuraron 35 series históricas anuales de datos oceanográficos y de meteorología marina (2018-2022) correspondientes a la operación estadística de la Dirección General.
- Se elaboró propuesta de guía metodológica para la estructuración, documentación y carga de datos oceanográficos y de meteorología marina

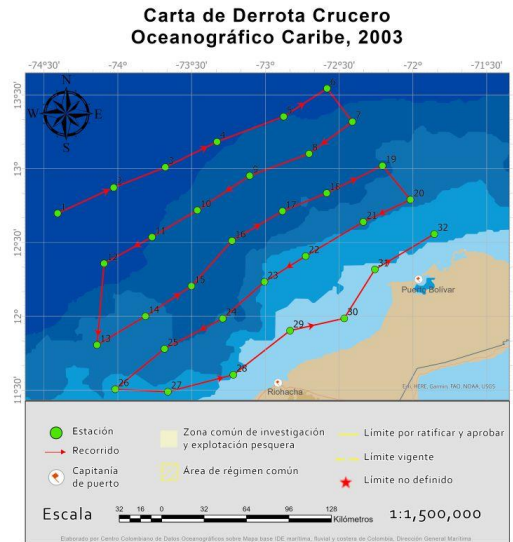
del Cecoldo, en la plataforma datos.gov.co “Datos Abiertos Colombia” del Ministerio de Tecnologías de la información y comunicaciones.

- Fue aprobada y cargada al proceso M15 ‘Gestión de información oceanográfica y de meteorología marina’ del Sistema de Mejoramiento Continuo (SIMEC) de la Dimar, el nuevo documento M15-00-GUI-017 “Guía publicación de datos oceanográficos y de meteorología marina en la plataforma de datos abiertos de Colombia”.

Referente al segundo objetivo de Apoyar la actualización y/o elaboración de muestras gráficas de los mapas de las salidas de campo de los Centros de Investigaciones de Dimar y/o carta de derrota de cruceros oceanográficos desarrollados por Colombia se realizaron las siguientes actividades.

- Se elaboraron en total 111 cartas de derrota para los cruceros oceanográficos Caribe, CICAR, Golfo de Urabá, Guajira, Océano, SAI, SPOA, Petrobras y crucero pequeño para el periodo 1969-2019. Véase un ejemplo una Carta de Derrota a continuación (Figura 1).

Figura 1. Ejemplo de Carta de Derrota para el Crucero Oceanográfico Caribe en el año 2003



Nota. Adaptado de Carta de Derrota para el Crucero Oceanográfico Caribe en el año 2003 [Mapa], por Centro Colombiano de Datos Oceanográficos, 2021, Cecoldo, (<https://tinyurl.com/2okm6bvg>). CC BY-NC-SA 4.0

- Se elaboraron 56 muestras gráficas (mapa con las estaciones de muestreo) de perfiles de salinidad y temperatura de los cruceros oceanográficos Caribe, CICAR, Guajira, Océano, SPOA, y Seaflower (1969 – 2019) (Figura 2).

Figura 2. Ejemplo de mapa de perfiles de salinidad y temperatura para el crucero de la Expedición Científica Seaflower en el año 2014

Perfiles de salinidad y temperatura Expedición Científica Seaflower. Colombia. Marzo - abril de 2014



Nota. Adaptado de perfiles de salinidad y temperatura para el crucero de la Expedición Científica Seaflower en el año 2014 [Mapa], por Centro Colombiano de Datos Oceanográficos, 2021, Cecoldo, (<https://tinyurl.com/2kohvhxl>). CC BY-NC-SA 4.0

- Se elaboró muestra gráfica del mapa con la estación de fondeo de la Boya de señalización marítima No. 38 (Buenaventura) en la cual se instalaron recientemente sensores oceanográficos y meteorológicos (Figura 3).

Figura 3. Muestra gráfica para la página del Cecoldo

Dimar integra las capacidades de la RedMpomm y Señalización Marítima de Colombia

Instrumentos y sensores oceanográficos y de meteorología marina, fueron incorporados a la estructura de la Boya 38 de Buenaventura, para efectuar mediciones en tiempo real.

Solicítelos a cecoldo@dimar.mil.co





Nota. Tomado de banner_Boya_38_2022 [Ilustración], por Centro Colombiano de Datos Oceanográficos, 2021, Cecoldo, (<https://tinyurl.com/2hqbsnst>). CC BY-NC-SA 4.0

En relación con el último objetivo de apoyar la estandarización de datos abiertos oceanográficos (físicos, químicos, biológicos) y/o de biodiversidad y/o geoquímica y/o meteorología marina depositados en el Cecoldo se realizaron las siguientes tareas:

- Se actualizaron y cargaron 27 metadatos de series de datos meteorología marina de la RedMpomm en el Catálogo de Metadatos Geonetwork.
- Se cargaron al Catálogo de Metadatos del Cecoldo las series de datos históricas de meteorología marina (humedad relativa, presión atmosférica, precipitación, temperatura del aire, radiación solar, dirección y velocidad del viento) de 27 estaciones de la RedMpomm.
- Se cargaron al Catálogo de Metadatos las series de datos históricas del nivel del mar de 20 estaciones de la RedMpomm.
- Se cargaron al Catálogo de Metadatos los perfiles de temperatura del agua y salinidad correspondiente a 13 cruceros oceanográficos de la Dimar.
- Se actualizaron 123 metadatos de conjuntos de datos de oceanografía y meteorología marina de cruceros oceanográficos en el Catálogo de Metadatos Geonetwork del Cecoldo, relacionando metadatos padre-hijo.
- Se cargaron datos de meteorología marina en 123 metadatos de conjuntos de datos de cruceros oceanográficos en el Catálogo de Metadatos Geonetwork del Cecoldo.
- Se actualizaron 72 metadatos en el Catálogo de Metadatos Geonetwork del Cecoldo, cargando las muestras graficas (mapa con las estaciones de muestreo) a los conjuntos de datos sobre oceanografía y meteorología marina de cruceros oceanográficos correspondientes.
- Se actualizaron 271 metadatos en el Catálogo de Metadatos Geonetwork del Cecoldo, asignado el Digital Object Identifier (DOI) y citación APA para conjuntos de datos y series de tiempo de cruceros oceanográficos y otras iniciativas de los Centros de investigaciones de la Dimar.

6.2. Desarrollo del informe de la pasantía

El desarrollo del informe de pasantía se divide en cuatro etapas, la primera es la obtención y procesamiento de los datos, la segunda el cálculo de los indicadores de calidad de agua marina, la tercera es la correlación multivariable de todos los datos obtenidos y la cuarta es ejecutar el análisis multivariable de varianza de un factor.

Para comenzar con la obtención de los datos se le solicitó al Cecoldo información en cuanto a temperatura superficial del mar, temperatura del aire, presión atmosférica, humedad relativa, precipitación, velocidad y dirección del viento de la Estación Fija Costera No. 5 en la Bahía de Tumaco con las coordenadas de latitud

2.0 ° y longitud -78.85°. La información anterior corresponde al metadato “Serie de datos oceanográficos y de meteorología marina obtenidos en la Estación Fija Costera No. 5, Bahía de Tumaco, Colombia. 1997 – 2008”. Cabe aclarar que no se tenía una completitud de los datos, por tanto, se completó la información usando los datos satelitales que suministra el proyecto POWER de la NASA¹. De esta manera se contó con una base de datos completa de datos meteorológicos para el periodo 2004 – 2014.

Completada la información meteorológica se procedió a obtener los datos de calidad de agua en la Bahía de Tumaco, en un primer momento le fueron solicitados al Cecoldo sus estudios de calidad de agua llamados “Conjunto de datos oceanográficos” obtenido en monitoreo de calidad de aguas de la Bahía de Tumaco, Colombia, para cada uno de los años de estudio. Cabe recalcar que se escogieron estos años debido a que existe una continuidad en los muestreos de calidad de agua. Al realizar el procesamiento de los datos se encontró que estos no estaban completos y debido a ello se adquirieron datos por parte del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés (INVEMAR).

Teniendo los datos se realizó un promedio semestral multianual para las variables meteorológicas y los ICAM de cada uno de los años de estudio.

Para el cálculo del ICAM son necesarias 8 variables (oxígeno disuelto, nitratos, sólidos suspendidos, hidrocarburos totales, pH, fosfatos, demanda bioquímica de oxígeno y coliformes termotolerantes). Vivas Aguas, L. J. et. al. (2014), en el protocolo para el cálculo del ICAM proporcionan una ecuación donde cada una de las variables toma un peso diferente. Para el caso de la pasantía no se encontró información alguna sobre hidrocarburos totales, por tanto, se llevó a cabo la práctica del Observatorio Ambiental de Cartagena de Indias (2015) donde se recalculan los pesos de cada una de las variables dentro de la ecuación dividiendo el peso que tienen los hidrocarburos totales en la misma, dando como resultado la siguiente ecuación:

Ecuación 1. Formula general para el cálculo del Índice de calidad de agua marina ICAM

$$ICAM = \frac{\prod_{i=1}^n X_i^{w_i}}{\sum w_i}$$

Nota. Vivas Aguas, L. J. et. al., 2014

¹ Es un proyecto que tiene como objetivo observar, comprender y modelar el sistema de la Tierra para descubrir cómo está cambiando la misma, predecir el cambio y comprender las consecuencias para la vida en la Tierra, todo a partir de nuevos sistemas satelitales (NASA, 2021)

Donde:

ICAM = indicador de la calidad del agua marina

Xi = variable de calidad del agua

Wi = factor de ponderación dado por Vivas Aguas, L. J. y Navarrete Ramírez, S. M. (2014)

Al momento de recalculer el peso de cada una de las variables da la siguiente ecuación:

Ecuación 2. Fórmula para calcular el ICAM en la Bahía de Tumaco

$$ICAM = \frac{(X_{OD})^{0.17} * (X_{pH})^{0.14} * (X_{SST})^{0.15} * (X_{DBO})^{0.15} * (X_{CTE})^{0.16} * (X_{NO3})^{0.1} * (X_{PO4})^{0.14}}{1}$$

Una vez organizados los datos en su completitud en cuanto al componente metereológico y el componente de calidad de agua en semestres para cada uno de los años se comenzó el análisis estadístico. Usando el software IBM SPSS Statistics, creado por la compañía IBM, se hizo un análisis de normalidad con el fin de determinar la distribución que tienen los datos observados con respecto a lo esperado. Este análisis se ejecutó con el test de Shapiro-Wilk ya que se tiene una muestra menor a 50 datos y con un nivel de confianza del 95% (Echeverri, L. I et. al., 2015).

Finalizada la prueba de normalidad los resultados determinan si los datos tienen una distribución normal o no, por tanto, si el nivel de significancia es mayor al 5% se acepta la hipótesis nula, que teóricamente dice que los datos tienen una distribución normal.

Al realizar la correlación multivariable se tiene que elegir un test de enfoque paramétrico y no paramétrico, en este caso los resultados arrojaron que los datos no cumplen con una distribución normal, por ende, se usó un test de enfoque no paramétrico, lo que automáticamente quiere decir que se escoge el coeficiente de correlación de Spearman.

Finalmente, para cumplir con los objetivos planteados y determinar si con los datos obtenidos era posible delimitar o no una diferencia estadística en la calidad del agua con respecto a cada uno de los periodos en los que se presenta el fenómeno ENOS, se realizó un análisis multivariable de varianza. Para este análisis fue necesario identificar, por medio del índice oceánico del niño (ONI), proveído por la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), cuántas veces se presentaba el

fenómeno ENOS en el periodo de estudio del 2004 al 2014. Si se repetía el índice por más de 5 temporadas en un año se establecía que hubo presencia del fenómeno de El Niño, de La Niña o un periodo neutro. La información se corroboró con dos fuentes: el boletín del Banco de la República que mostraba el periodo en el que se presentó el fenómeno y su duración (Banco de la República de Colombia, 2014) y el Índice Multivariado del ENOS V2 (también conocido como MEI.v2), indicador que acopla las variables de meteorología y oceanografía. El índice MEI.v2 se obtiene bimestralmente y en él los valores negativos hacen referencia a la presencia de La Niña y los valores positivos a El Niño (NOAA, 2023).

Establecidos cada uno de los periodos se determinó que había 4 periodos de El Niño, de La Niña y periodos neutros. Lo siguiente fue obtener un valor de ICAM para cada uno de los periodos, esto se realizó promediando los valores de ICAM correspondientes a los periodos antes mencionados. Teniendo valores de ICAM se procedió a realizar el análisis multivariable de varianza en el software IBM SPSS Statistics.

7. Resultados obtenidos

Este informe de pasantía logró obtener 4 diferentes resultados: los primeros hacen referencia a la descripción y análisis del procesamiento de los datos meteorológicos, el segundo es la descripción y análisis de los ICAM calculados, el tercero es la descripción y análisis de la correlación multivariable y finalmente la descripción del análisis multivariable de varianza.

7.1. Resultados del análisis de las condiciones meteorológicas

El área geográfica de estudio tiene unas condiciones meteorológicas definidas a lo largo de los años: en el primer semestre las condiciones atmosféricas no tienen una alta fluctuación y se caracteriza como la temporada anual de mayor humedad, precipitaciones y una alta temperatura ambiente; mientras que el segundo semestre se caracteriza por tener una mayor variabilidad de las condiciones atmosféricas, además de ser la temporada seca en Tumaco (Torres, J. y Cabarcas, J., 2012).

En Colombia, la presencia de la Oscilación del Sur trae cambios en las condiciones atmosféricas, un ejemplo de esto es que en presencia de El Niño se tienen tendencias de aumento en la TSM en el pacífico ecuatorial y el océano central, disminución de las precipitaciones, aumento de temperatura ambiente y disminución de la presión atmosférica (Azcárate, R. y Mejía-Fajardo, A., 2016). Por otro lado, La Niña suscita condiciones meteorológicas opuestas a las del fenómeno de El Niño, creando condiciones más húmedas en el ambiente, un aumento de la precipitación, aumento de la presión atmosférica, disminución de la temperatura ambiente y superficial del mar (Devis Morales, A., 2003).

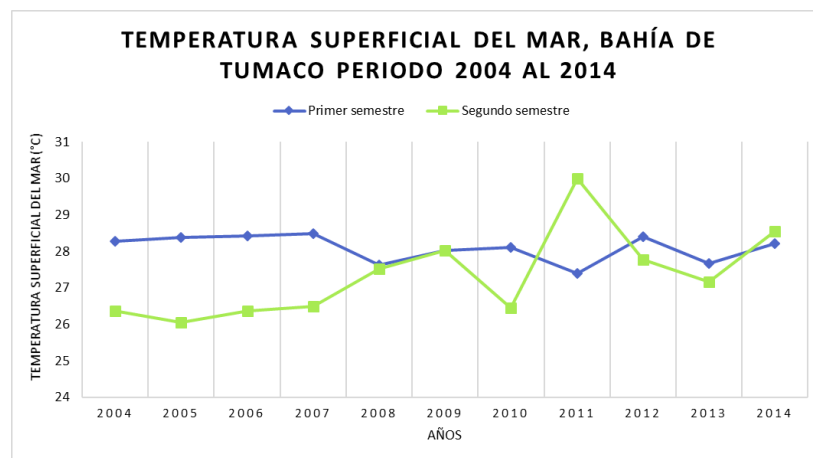
A continuación, se presentan las gráficas de comportamiento, histogramas de frecuencia, tablas de estadística descriptiva y diagramas de cajas de los datos de cada uno de los parámetros meteorológicos para la Bahía de Tumaco.

Se hace la acotación de que las variables de precipitación y velocidad del viento pueden llegar a tener errores en sus valores. Este tipo de error se puede llegar a deber gracias a que la estación fija No. 5., que se encuentra en alta mar, no haya tomado los datos con una alta sensibilidad o el equipo se dañara en medio de la toma de los mismos. El daño del equipo se le atribuye a las condiciones ambientales a las que se somete la estación estando en medio del océano Pacífico.

7.1.1. Temperatura superficial del mar

La temperatura superficial del mar (TSM) es uno de los parámetros más medidos y estudiados en la temática oceánica ya que es muy sensible a factores externos, por tanto, es un gran indicador del clima en la zona. En este caso se obtuvo el comportamiento de la TSM para la Bahía de Tumaco, dando como resultado la *Gráfica 2*, donde se puede identificar que la temperatura en el primer semestre tiende a ser más alta en comparación al segundo semestre. Sin embargo, hasta el 2008 la temperatura tiende a ser constante, luego de 2008 los valores fluctúan, mostrando que en el año 2011 la temperatura superficial del mar toma su mayor valor en el periodo de tiempo analizado con 30°C.

Gráfica 2. Comportamiento de la temperatura superficial del mar para la Bahía de Tumaco en el periodo del año 2004 al 2014



En la *Tabla 1* se puede apreciar que la media y la mediana de la temperatura superficial del mar son mayores para el primer semestre. Por otro lado, el intervalo de confianza para el segundo semestre es más amplio. En cuanto a la desviación

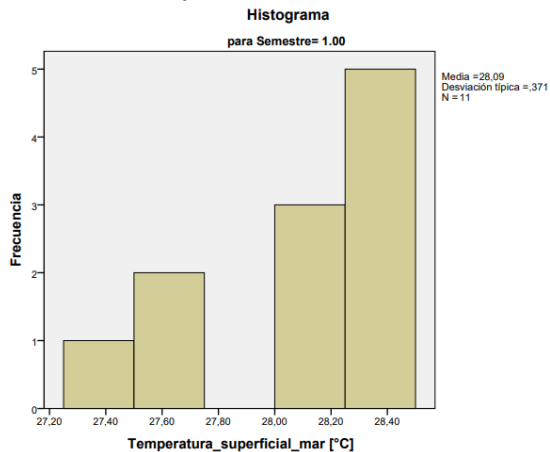
estándar y la varianza se identifica que la dispersión de los datos en el segundo semestre es mayor, queriendo decir que las temperaturas del primer semestre se mantienen más constantes a lo largo del tiempo.

Tabla 1. Estadística descriptiva de la temperatura superficial del mar para la Bahía de Tumaco en el periodo del año 2004 al 2014

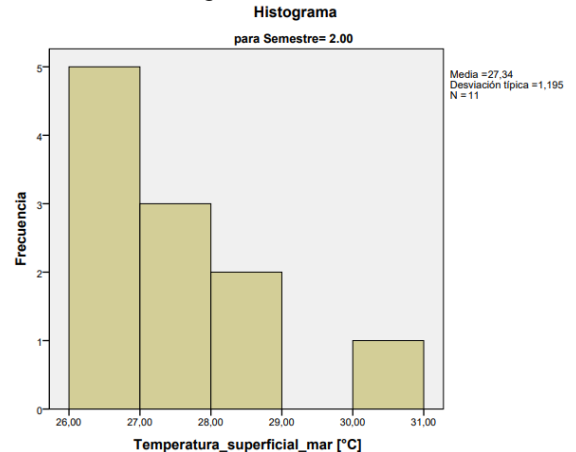
Estadística descriptiva temperatura superficial del mar [°C]			
Primer semestre		Segundo semestre	
Media	28.0895	Media	27.3420
Mediana	28.2060	Mediana	27.1590
Intervalo de confianza superior	28.3390	Intervalo de confianza superior	28.1450
Intervalo de confianza inferior	27.8399	Intervalo de confianza inferior	26.5390
Varianza	0.138	Varianza	1.429
Desviación estándar	0.37142	Desviación estándar	1.19522
Mínimo	27.40	Mínimo	26.06
Máximo	28.48	Máximo	30.00

En la *Gráfica 3* se evidencia cómo los datos de temperatura superficial del mar tienen un sesgo a la izquierda, significando que las temperaturas con mayor valor predominan más. Por otro lado, la *Gráfica 4* tiene un sesgo a la derecha, predominando los valores menores de temperatura, evidenciando que la distribución de esta variable es asimétrica para los dos semestres del año.

Gráfica 3. Histograma de la frecuencia de las temperaturas superficiales del mar en el primer semestre

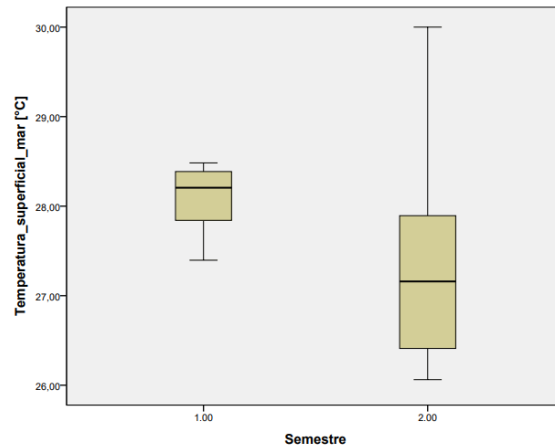


Gráfica 4. Histograma de la frecuencia de las temperaturas superficiales del mar en el segundo semestre



En la *Gráfica 5* se puede ver el diagrama de cajas de los datos para la variable temperatura: para el segundo semestre los valores que asume la variable son más heterogéneos y dispersos comparados con los valores presentados en el primer semestre. Sin embargo, para ninguno de los dos semestres se presentaron valores atípicos.

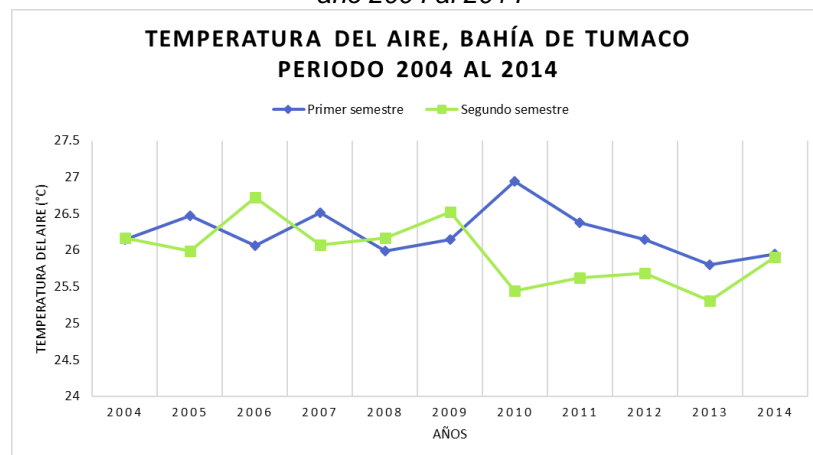
Gráfica 5. Diagrama de cajas de los datos de temperatura superficial del mar



7.1.2. Temperatura del aire

La temperatura del aire es un parámetro que indica que tanta energía calórica fue transferida a la atmosfera. En ese orden de ideas, la *Gráfica 6* presenta el comportamiento de la temperatura del aire a lo largo del tiempo de estudio en la Bahía de Tumaco, mostrando que el primer semestre tiene valores más altos a comparación del segundo semestre, teniendo su mayor valor en el 2010 con 28.58 °C, mientras que la tendencia para el segundo semestre es que temperatura de aire sea baja, apreciando que para el año 2013 la temperatura es de 25.31 °C siendo la más baja de todo el periodo de años de estudio.

Gráfica 6. Comportamiento de la temperatura del aire para la Bahía de Tumaco en el periodo del año 2004 al 2014



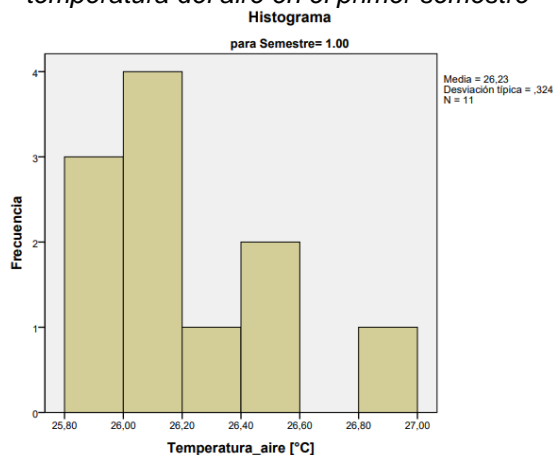
En la *Tabla 2* se logra ver la estadística descriptiva de los datos de temperatura del aire donde se puede contemplar que la media de la temperatura es mayor para el primer semestre en referencia al segundo semestre, de igual forma se aprecia que la mediana tiene el mismo comportamiento. Por otro lado, las diferencias en los intervalos de confianza muestran un menor valor para el primer semestre, diciendo así que la dispersión de los datos del primer semestre es menor, esto se puede corroborar con los valores de varianza y desviación estándar que son de un mayor valor para el segundo semestre.

Tabla 2. Estadística descriptiva de la temperatura del aire para la Bahía de Tumaco en el periodo del año 2004 al 2014

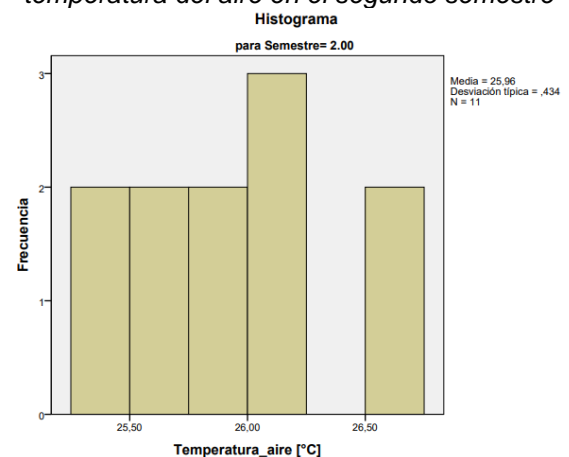
Estadística descriptiva temperatura del aire [°C]			
Primer semestre		Segundo semestre	
Media	26.2312	Media	25.9638
Mediana	26.1430	Mediana	25.9850
Intervalo de confianza superior	26.4486	Intervalo de confianza superior	25.6719
Intervalo de confianza inferior	26.0137	Intervalo de confianza inferior	26.2557
Varianza	0.105	Varianza	0.189
Desviación estándar	0.32368	Desviación estándar	0.43449
Mínimo	25.80	Mínimo	25.31
Máximo	28.48	Máximo	26.73

En la *Gráfica 7* se aprecia que las temperaturas en el primer semestre tienen un sesgo a la derecha, queriendo decir que la frecuencia de los datos tiende a ser con valores menores, mientras que la *Gráfica 8* muestra que para el segundo semestre los datos no muestran un sesgo, sin embargo, se rescata que existe un valor sobresaliente en el histograma con un valor central.

Gráfica 7. Histograma de la frecuencia de la temperatura del aire en el primer semestre

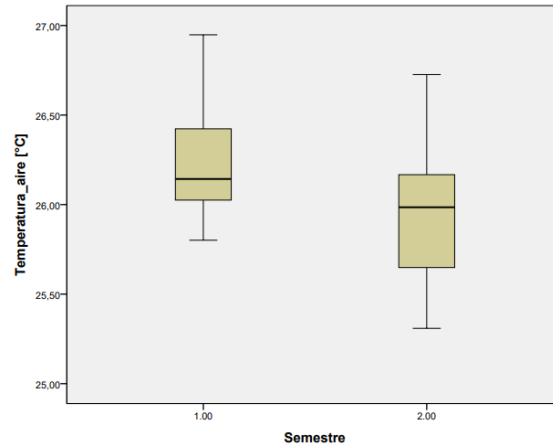


Gráfica 8. Histograma de la frecuencia de la temperatura del aire en el segundo semestre



En el diagrama de cajas es perceptible lo hablado anteriormente, mostrando que los valores de temperatura son mayores en el primer semestre, además, siendo estos más homogéneos que los del segundo semestre, por otro lado, el segundo semestre tiene temperaturas menores con una mayor heterogeneidad.

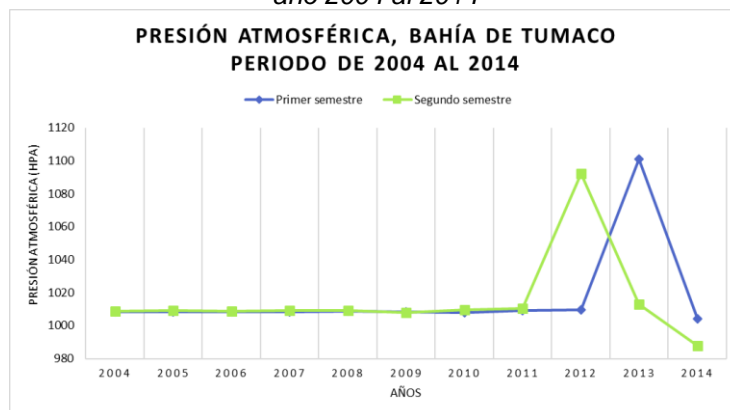
Gráfica 9. Diagrama de cajas de los datos de temperatura del aire



7.1.3. Presión atmosférica

La presión atmosférica se puede interpretar como la fuerza que es ejercida por la atmosfera a un área específica, esta fuerza se ve representada por la gravedad sobre la columna de aire que se encuentra en esta área. La presión es una de las variables metereológicas más sensible a los cambios externos como por ejemplo la temperatura del aire. Analizando el comportamiento que tiene la presión en los 10 años de estudio la *Grafica 10* demuestra que durante la mayoría de años se tiene un comportamiento casi lineal para los dos semestres, sin embargo, existen dos unos valores de presión importantes, que para el segundo semestre en el año 2012 superó por casi 90 Hpa los valores con los que venía comportándose, en el 2013 se comporta de la misma forma, sin embargo, este comportamiento se le atribuye al fenómeno de La Niña que se presentó desde el segundo semestre del 2012 al primero del 2013, teniendo como singularidad la disminución de la temperatura ambiente haciendo que la presión atmosférica aumente.

Gráfica 10. Comportamiento de la presión atmosférica para la Bahía de Tumaco en el periodo del año 2004 al 2014



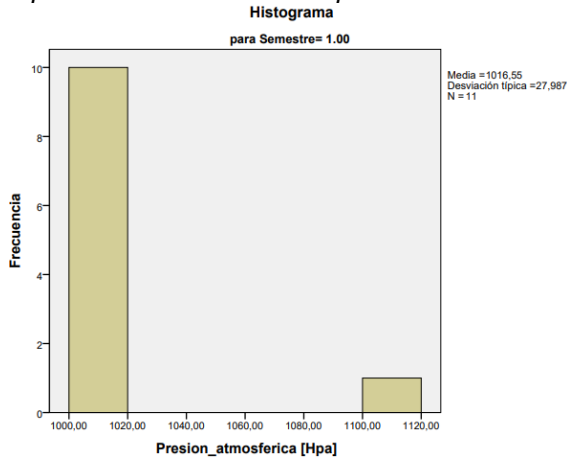
La *Tabla 3* muestra la estadística descriptiva de la variable presión atmosférica para la Bahía de Tumaco. Se puede identificar que la media de los datos es mayor para el primer semestre, sin embargo, la mediana es más alta para el segundo semestre. Los intervalos de confianza tienen a comportarse de una manera similar, no obstante, el valor del intervalo para el primer semestre es mayor, por otro lado, la variabilidad de los datos es mayor en el primer semestre, siendo esto representado en el valor de la desviación estándar.

Tabla 3. Estadística descriptiva de la presión atmosférica del mar para la Bahía de Tumaco en el periodo del año 2004 al 2014

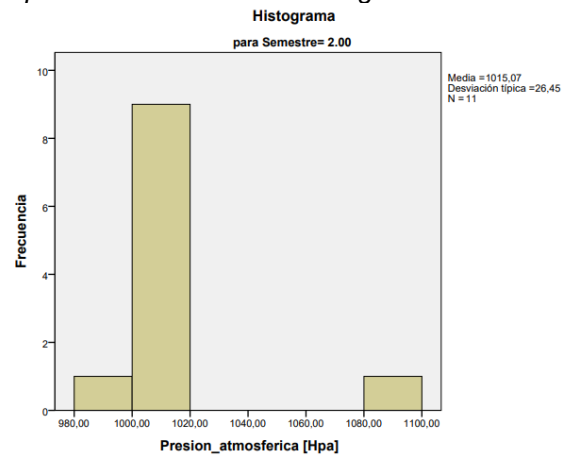
Estadística descriptiva presión atmosférica [Hpa]			
Primer semestre		Segundo semestre	
Media	1016.5481	Media	1015.0727
Mediana	1008.3750	Mediana	1009.2110
Intervalo de confianza superior	1035.3498	Intervalo de confianza superior	1032.8419
Intervalo de confianza inferior	997.7464	Intervalo de confianza inferior	997.3036
Varianza	783.254	Varianza	699.587
Desviación estándar	27.98668	Desviación estándar	26.44971
Mínimo	1004.18	Mínimo	987.84
Máximo	1100.83	Máximo	1092.28

En los histogramas de frecuencia de los datos dejan ver que tanto la *Gráfica 11* y la *Gráfica 12* dejan ver que los datos de los dos semestres están sesgados a la derecha, esto quiere decir que la mayoría del conjunto de los datos tiene un valor menor, asimismo, los datos son poco heterogéneos.

Gráfica 11. Histograma de la frecuencia de la presión atmosférica en el primer semestre

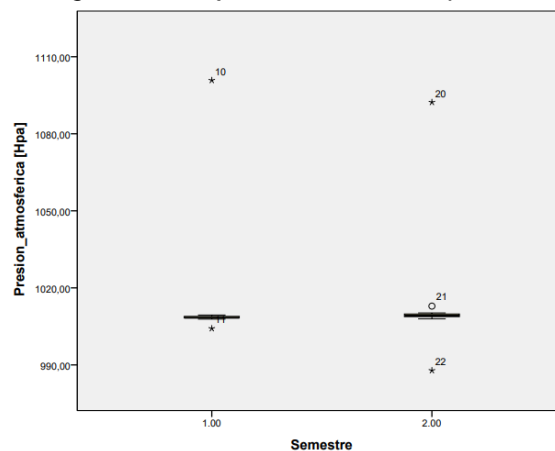


Gráfica 12. Histograma de la frecuencia de la presión atmosférica en el segundo semestre



En la Gráfica 13 se logra apreciar los diagramas de cajas para los datos de presión atmosférica, identificando que la heterogeneidad de los datos es casi nula, además de eso, el gráfico muestra unos datos atípicos, los cuales se representan con un círculo, en este caso se identifica para el segundo semestre el dato 21 siendo representado por el valor del 2014 con un valor de 1012.89 Hpa, en otro orden de ideas, la variable presión atmosférica muestra datos muy atípicos se representan con un asterisco, para el primer semestre son dos los datos muy atípicos son los de los años 2013 y 2014 con 1100.82 Hpa y 1004.17 Hpa respectivamente, mientras que para el segundo semestre son los datos de los años 2012 y 2014 con valores de 1092.28 Hpa y 987.84 Hpa.

Gráfica 13. Diagrama de cajas de los datos de presión atmosférica

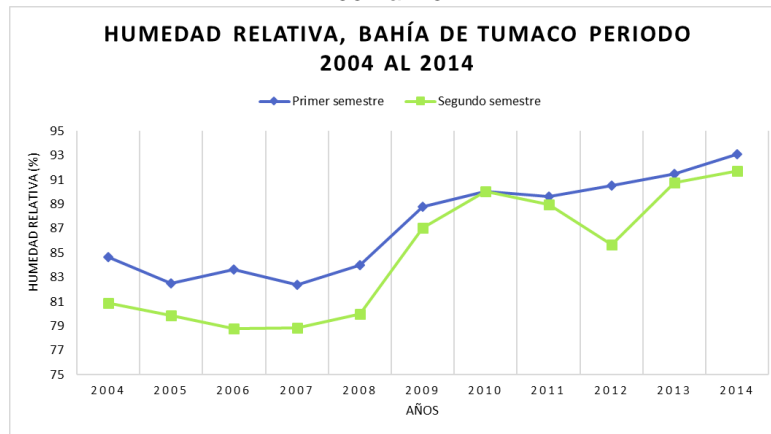


Fuente. Autor

7.1.4. Humedad relativa

La humedad relativa es definida como la cantidad de vapor de agua presente en el aire. La *Gráfica 14* representa el comportamiento de la variable humedad relativa en la Bahía de Tumaco. En lo observado, es posible identificar que la humedad relativa tiene una tendencia alcista a para los dos semestres de cada uno de los años de estudio, teniendo un aumento en los valores entre el año 2008 y 2009, por contraste, los valores menores corresponden para el primer semestre en el 2007 y el segundo semestre el año 2006. Los valores del segundo semestre tienen un aumento acelerado hasta igualar los valores del primer semestre, no obstante, tienen una disminución en el año 2012.

Gráfica 14. Comportamiento de la humedad relativa para la Bahía de Tumaco en el periodo del año 2004 al 2014



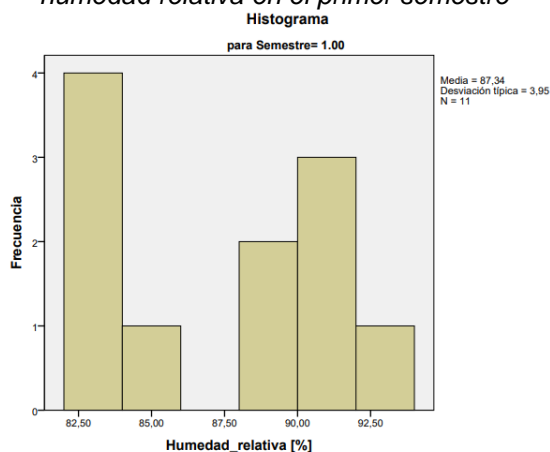
La estadística descriptiva de la variable humedad relativa muestra que la media de la humedad es mayor para el primer semestre, teniendo el mismo comportamiento la mediana. Desde otro ángulo, el intervalo de confianza es mayor para el segundo semestre en comparación al valor que presenta el primer semestre, así mismo, la dispersión de los datos es mayor para el segundo semestre y respaldándose por el valor mayor en la desviación estándar.

Tabla 4. Estadística descriptiva de la humedad relativa para la Bahía de Tumaco en el periodo del año 2004 al 2014

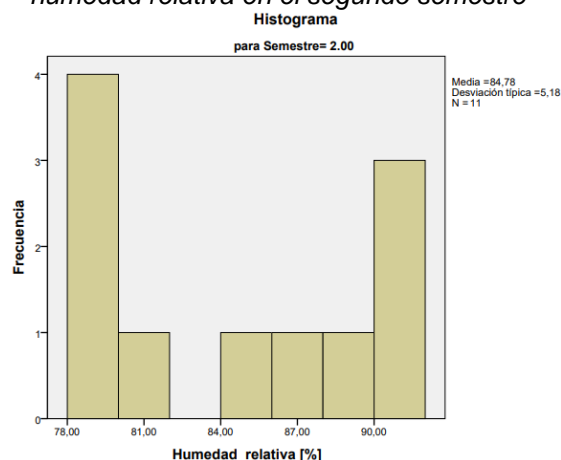
Estadística descriptiva presión atmosférica [%]			
Primer semestre		Segundo semestre	
Media	87.3427	Media	84.7820
Mediana	89.9964	Mediana	85.6500
Intervalo de confianza superior	84.6891	Intervalo de confianza superior	88.2620
Intervalo de confianza inferior	89,9964	Intervalo de confianza inferior	81.3020
Varianza	15.602	Varianza	26.832
Desviación estándar	3.950	Desviación estándar	5.17997
Mínimo	82.39	Mínimo	78.79
Máximo	93.12	Máximo	91.71

En cuanto a la distribución de los datos se presentan la *Gráfica 15* y la *Gráfica 16*, para el primer semestre la *Gráfica 15* tiene un sesgo a la derecha, queriendo decir que la mayoría de los datos de la variable humedad relativa en el primer semestre tiene valores menores. Si bien, el primer semestre tiene un sesgo por los valores menores, la *Gráfica 16* la cual muestra los datos del segundo semestre, expone que la mayoría de los datos está distribuida con los valores más altos y más bajos.

Gráfica 15. Histograma de la frecuencia de la humedad relativa en el primer semestre

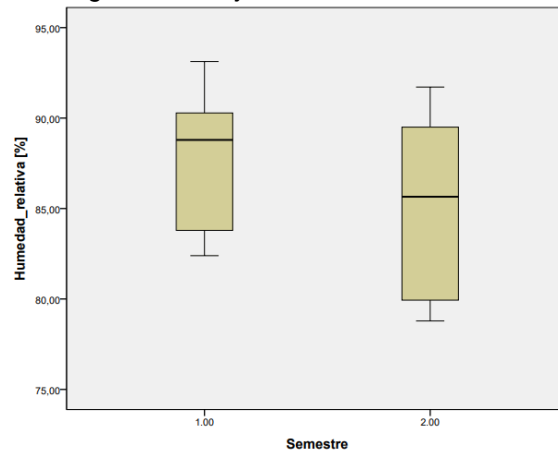


Gráfica 16. Histograma de la frecuencia de la humedad relativa en el segundo semestre



La *Gráfica 17* muestra el diagrama de cajas, se aprecia que el tamaño de la caja es mayor para el segundo semestre, enseñando que los datos son más dispersos, lo que se corrobora con el valor de desviación estándar. Por otro lado, el primer semestre tiene una caja más pequeña, sin embargo, está posicionada en el área superior de la gráfica, diciendo que el valor de los datos es mayor para este semestre.

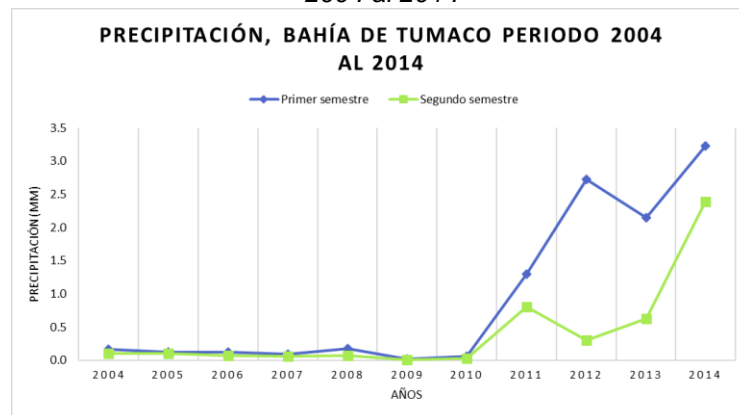
Gráfica 17. Diagrama de cajas de los datos de humedad relativa



7.1.5. Precipitación

La precipitación se define como el evento por el cual se el agua desciende desde la atmosfera a la superficie, la precipitación se puede presentar en forma de lluvia o llovizna, nieve y granizo. La *Gráfica 18* muestra el comportamiento que la variable precipitación tiene a lo largo del periodo de estudio. Los primeros años se presentan precipitaciones casi nulas en la Bahía de Tumaco, no obstante, en el año 2011 los valores empiezan a aumentar teniendo su mayor pico en el año 2014 en el primer semestre.

Gráfica 18. Comportamiento de la precipitación para la Bahía de Tumaco en el periodo del año 2004 al 2014



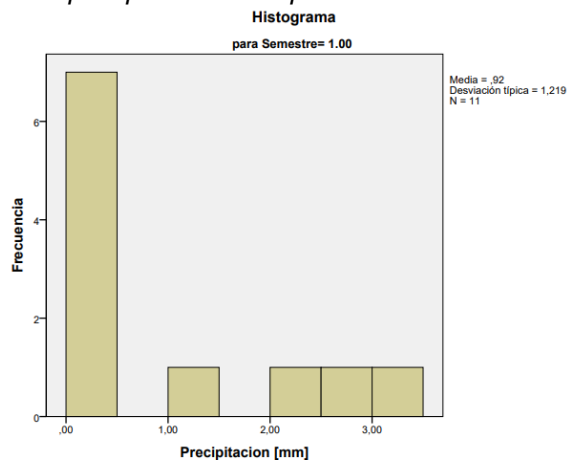
La estadística descriptiva de la variable precipitación en la Bahía de Tumaco se representa en la *Tabla 5*. Lo primero que se puede apreciar es que la media y la mediana de los datos es mayor en el primer semestre. Por otro lado, se logra identificar que el intervalo de confianza es mayor para el primer semestre, además de eso el intervalo inferior del segundo semestre es negativo, también, se precisa que la distribución de los datos es mayor en el primer semestre.

Tabla 5. Estadística descriptiva de la precipitación para la Bahía de Tumaco en el periodo del año 2004 al 2014

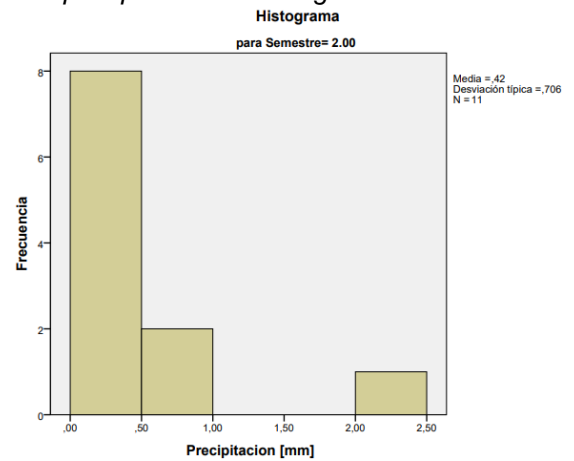
Estadística descriptiva precipitación [mm]			
Primer semestre		Segundo semestre	
Media	0.9229	Media	0.4153
Mediana	0.1620	Mediana	0.0980
Intervalo de confianza superior	0.1039	Intervalo de confianza superior	0.8898
Intervalo de confianza inferior	1.7419	Intervalo de confianza inferior	-0.0593
Varianza	1.486	Varianza	0.499
Desviación estándar	1.21905	Desviación estándar	0.70638
Mínimo	0.02	Mínimo	0.01
Máximo	3.23	Máximo	2.39

En las *Gráficas 19 y 20* se logra ver que los datos tienen un sesgo a la izquierda, significando que las precipitaciones con menor valor tienen una mayor frecuencia a lo largo del tiempo de estudio en la Bahía de Tumaco.

Gráfica 19. Histograma de la frecuencia de la precipitación en el primer semestre

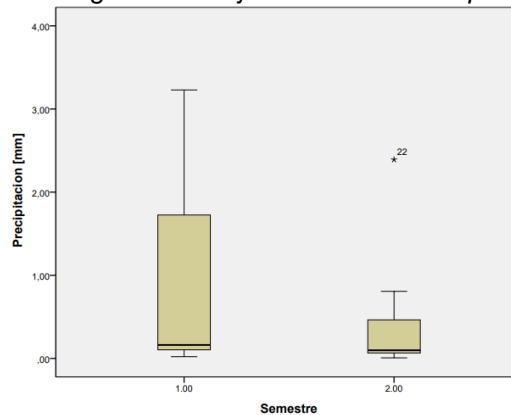


Gráfica 20. Histograma de la frecuencia de la precipitación en el segundo semestre



El diagrama de cajas muestra para el primer semestre una caja con mayor tamaño y una distribución de datos mayor, afirmando la aclaración anterior sobre la desviación estándar y una media muy baja. Por otro lado, para el segundo semestre se logra identificar que existe un valor muy atípico de 2.39 mm tratándose del dato del 2014, así mismo, se aprecia que la distribución de datos es menor.

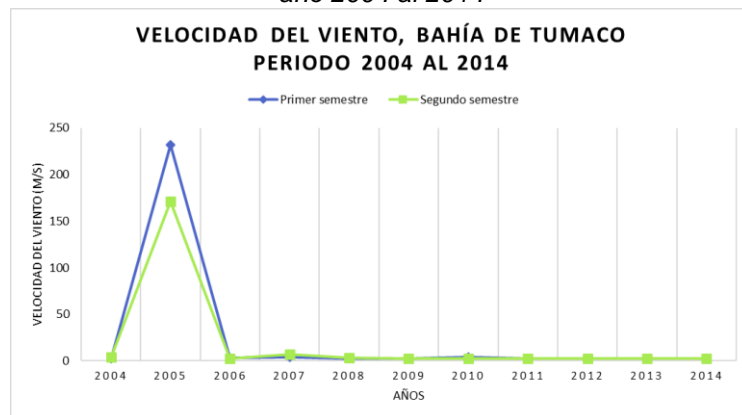
Gráfica 21. Diagrama de cajas de los datos de precipitación



7.1.6. Velocidad del viento

La velocidad del viento se refiere a la velocidad que toma la masa de aire en un movimiento horizontal desde presiones altas a presiones bajas, en este caso la Gráfica 22 muestra el comportamiento que tuvo la variable velocidad del viento. El caso más notable es el valor presenta en el año 2005, esto se debe por temporada de huracanes que ocurrió en el mismo año con un total de 27 tormentas y huracanes incluyendo los más destructivos que fueron el Huracán Wilma, Emily, Rita, Katrina y Dennis (EIRD, 2005).

Gráfica 22. Comportamiento de la velocidad del viento para la Bahía de Tumaco en el periodo del año 2004 al 2014



La *Tabla 6* indica la estadística descriptiva perteneciente a los datos de la variable velocidad del viento. Lo primero que se logra identificar es que la media del primer semestre es mayor en comparación al valor de media del segundo semestre, sin embargo, la mediana tiene un valor muy similar. En cuanto a los intervalos de confianza valor entre intervalos es mayor en el primer semestre, queriendo decir que la dispersión de los datos es más grande para este mismo semestre. Lo anterior se corrobora con los valores de desviación estándar.

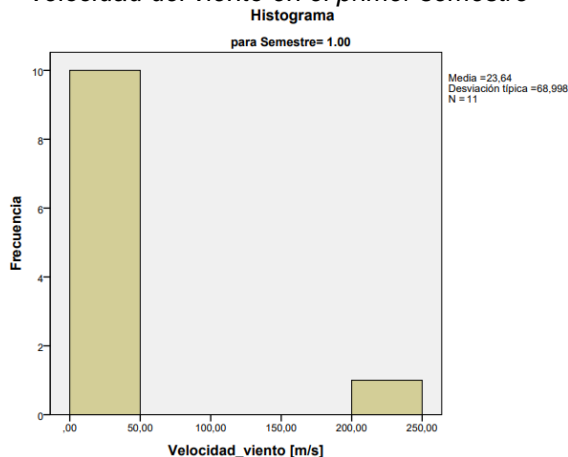
Tabla 6. Estadística descriptiva de la velocidad del viento para la Bahía de Tumaco en el periodo del año 2004 al 2014

Estadística descriptiva velocidad del viento [m/s]			
Primer semestre		Segundo semestre	
Media	23.6393	Media	18.4793
Mediana	2.4570	Mediana	2.6910
Intervalo de confianza superior	69.9929	Intervalo de confianza superior	52.5293
Intervalo de confianza inferior	-22.7144	Intervalo de confianza inferior	-15.5707
Varianza	4760.762	Varianza	2568.873
Desviación estándar	68.99827	Desviación estándar	50.68405
Mínimo	2.26	Mínimo	2.27
Máximo	231.67	Máximo	171.25

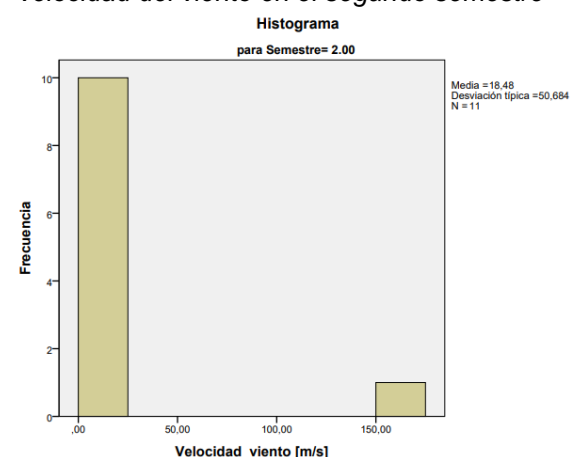
Fuente. Autor

En las *Gráficas 23 y 24* se muestran los histogramas de frecuencia sobre la velocidad del viento. En este caso se aprecia que las dos gráficas tienen un sesgo a la derecha, queriendo decir que la mayoría de los datos tienen un valor bajo, sin embargo, se resalta un dato muy alto, este corresponde al año 2005 donde se presentó la temporada de huracanes.

Gráfica 23. Histograma de la frecuencia de la velocidad del viento en el primer semestre

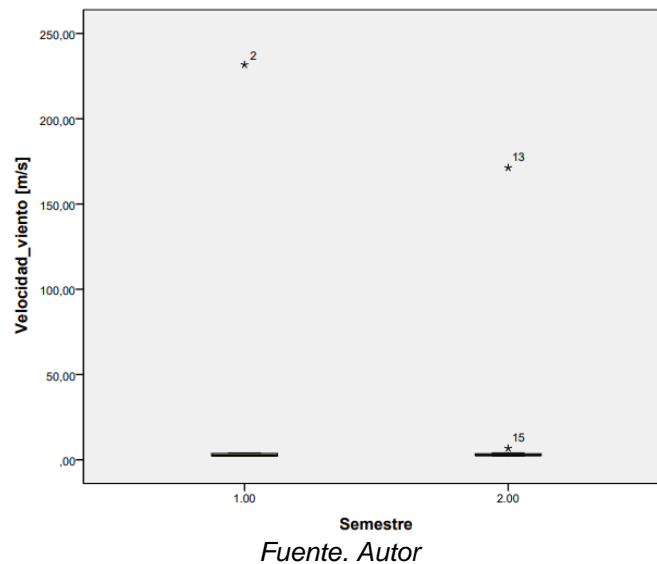


Gráfica 24. Histograma de la frecuencia de la velocidad del viento en el segundo semestre



La *Gráfica 25* corresponde al diagrama de cajas de los datos de velocidad del viento, se logra apreciar que los datos de velocidad de los viento tienen poca variación, demostrándose en el diagrama de cajas. Así mismo, la *Gráfica 25* muestra valores muy atípicos los cuales corresponden al año 2005 donde se presentó una temporada de huracanes.

Gráfica 25. Diagrama de cajas de los datos de velocidad del viento

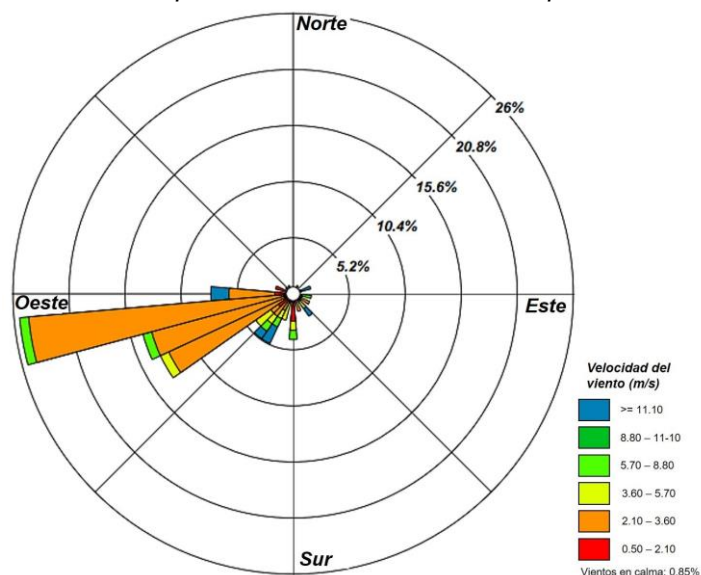


7.1.7. Dirección del viento

Como contexto, vale la pena aclarar que la variable dirección del viento es influenciada por la presencia que tienen los vientos Alisios que transitan por el Pacífico colombiano, denominando esto como la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). Los vientos que provienen del sur toman una nueva dirección y se transforman a los vientos ecuatoriales del oeste, mientras que los vientos Alisios del noreste se recurvan al norte de la ZCIT generando que haya una convergencia en la zona de estudio (Torres, J. y Cabarcas, J., 2012).

La dirección del viento se puede interpretar como la orientación en la que el viento sopla, en unos casos se puede expresar desde donde sopla o hacia donde sopla, en este caso se expresó la dirección a donde soplaban los vientos. En la *Figura 4* se puede ver la rosa de los vientos para la Bahía de Tumaco en el periodo de estudio, donde la mayoría de vientos soplaban entre el cuadrante oeste y sur, además, la velocidad más predominante es la del rango de 2.10 m/s a 3.60 m/s.

Figura 4. Rosa de los vientos para la Bahía de Tumaco en el periodo del año 2004 al 2014



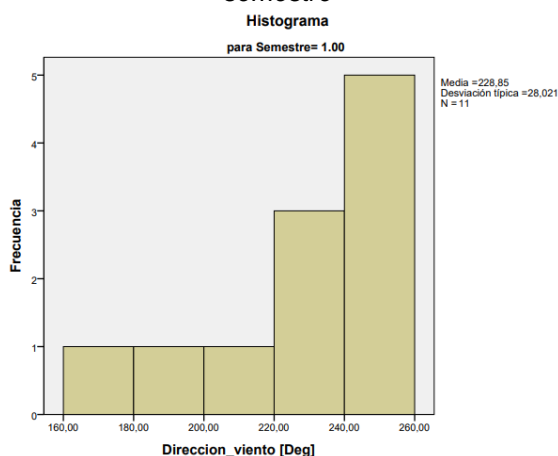
En la *Tabla 7* se tiene la estadística descriptiva, que permite identificar que las medias del primer y el segundo semestre de la variable dirección del viento son diferentes únicamente por 4° dirección suroeste. La variabilidad de los datos es mayor para el segundo semestre, esto se corrobora con los valores de desviación estándar.

Tabla 7. Estadística descriptiva de la dirección del viento para la Bahía de Tumaco en el periodo del año 2004 al 2014

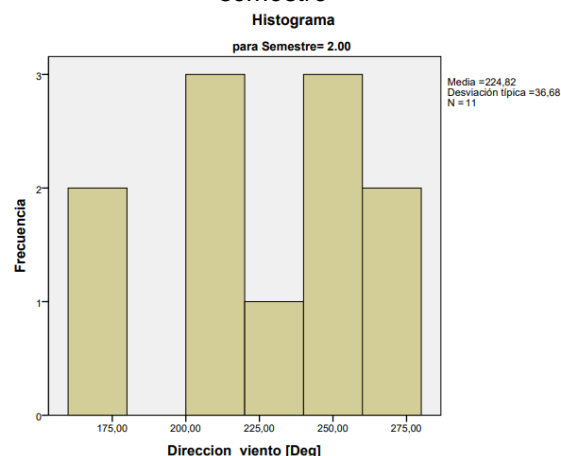
Estadística descriptiva dirección del viento [Deg]			
Primer semestre		Segundo semestre	
Media	228.8453	Media	224.8235
Mediana	239.9260	Mediana	226.5600
Intervalo de confianza superior	247.6701	Intervalo de confianza superior	249.4658
Intervalo de confianza inferior	210.0205	Intervalo de confianza inferior	200.1813
Varianza	785.180	Varianza	1345.453
Desviación estándar	28.02105	Desviación estándar	36.68042
Mínimo	172.25	Mínimo	162.83
Máximo	231.67	Máximo	260.81

En cuanto a los histogramas de la frecuencia de los datos la *Gráfica 26* muestra que los datos están sesgados hacia la derecha, lo que quiere decir que la mayoría de los datos tienen valores altos, mientras que la *Gráfica 27* muestra la frecuencia de los datos para el segundo semestre, esto deja ver que se tiene una distribución general en los datos.

Gráfica 26. Histograma de la frecuencia de la dirección de los vientos en el primer semestre



Gráfica 27. Histograma de la frecuencia de la dirección de los vientos en el segundo semestre



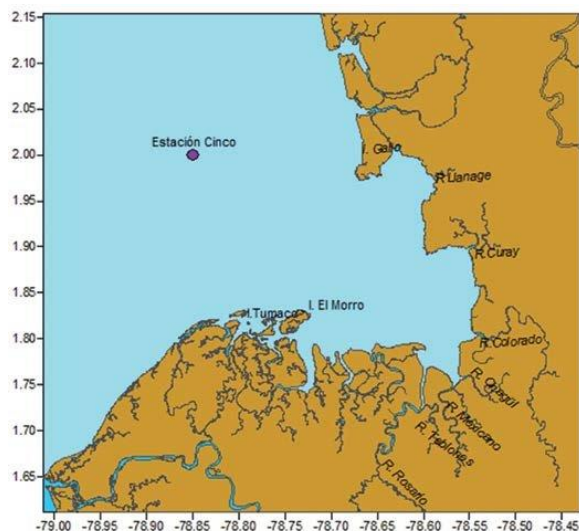
Según el comportamiento que se analiza en las variables meteorológicas en la Bahía de Tumaco para el periodo 2004 – 2014 se puede concluir lo siguiente: el primer semestre se caracteriza por tener valores más altos de TSM, temperatura ambiente, presión atmosférica, humedad relativa, precipitación, y velocidad del viento. No obstante, las fluctuaciones que se ven en los comportamientos de las variables se deben a la presencia del ENOS.

En el segundo semestre las variables se comportaron de manera contraria a las del primer semestre, demostrando que, para este informe, los datos procesados de las condiciones meteorológicas de la Bahía de Tumaco se asemejan a lo hallado en la revisión bibliográfica.

7.2. Resultados del análisis de la calidad del agua

Históricamente la calidad del agua marina en la Bahía de no es buena, debido a factores externos asociados a actividades socioeconómicas y turísticas. La Bahía de Tumaco, de igual forma, se caracteriza por qué se lleva a cabo la descarga de aguas domésticas e industriales provenientes de los ríos Curay, Mejjicano, Colorado, Patía, Tablones, Chagüí, Rosario y Mira. Ríos que reciben aguas de todo el municipio sin ningún tratamiento. Se resalta la contaminación al medio marino por las actividades agrícolas realizadas por las comunidades costeras (Bonilla Urrutia, N. S., 2022).

Figura 5. Mapa de tributarios que desembocan en la Bahía de Tumaco



Nota. Adaptado de “Variabilidad de parámetros fisicoquímicos en una estación oceánica frente a la Bahía de Tumaco”, por Rosero, R.F. et. al., 2015, Boletín Científico del CIOH 2015.

Estudios demuestran que el área de las desembocaduras de los ríos antes mencionados es donde los niveles de nutrientes son más altos, la TSM toma valores más altos, de igual forma la clorofila y los sólidos suspendidos, parámetro con valores sumamente altos. Lo anterior se ve influenciado por la temporada del año, el primer semestre el año la cantidad de contaminación en la Bahía tiende a disminuir, debido a que las condiciones meteorológicas en el primer semestre son influenciadas por las lluvias, generando que la marea aumente y se produzca una dilución de contaminantes entre el agua proveniente de los ríos y el agua oceánica (Guzmán A, A. I., Selvaraj, J. J., y Martínez A, A., 2012).

En los procesos de dilución de nutrientes y contaminantes en la Bahía de Tumaco es muy importante hablar de las condiciones meteorológicas de la zona y los fenómenos que influyen en esta, la presencia del ENOS en su forma fría genera un aumento en las lluvias, disminución de la TSM y el fortalecimiento de los vientos alisios, generando así un aumento en las mareas del pacifico haciendo que este sea un elemento muy importante y efectivo para que las aguas de la Bahía de Tumaco sean depuradas (Pinzón Bedoya, M. L., García Castellanos, A. K. y Casanova Rosero, R. F. (2007).

El comportamiento del índice de calidad de agua para la Bahía de Tumaco se muestra en la *Gráfica 28*, de los 20 valores del ICAM, el 32% corresponde a la escala de calidad pésima el cual se caracteriza por tener un color rojo como se observa en la *Tabla 8*, el 64% de los índices corresponde a la escala de calidad inadecuada con un color anaranjado y finalmente el 5% equivale a una calidad de agua aceptable el cual es de color amarillo. En la *Gráfica 28* las barras con una trama de líneas verticales hacen referencia a los ICAM del primer semestre, por otro lado, las barras con una trama de líneas horizontales se refieren a los ICAM del segundo semestre.

Gráfica 28. Comportamiento del Índice de Calidad del Agua Marina para la Bahía de Tumaco en el periodo del año 2004 al 2014

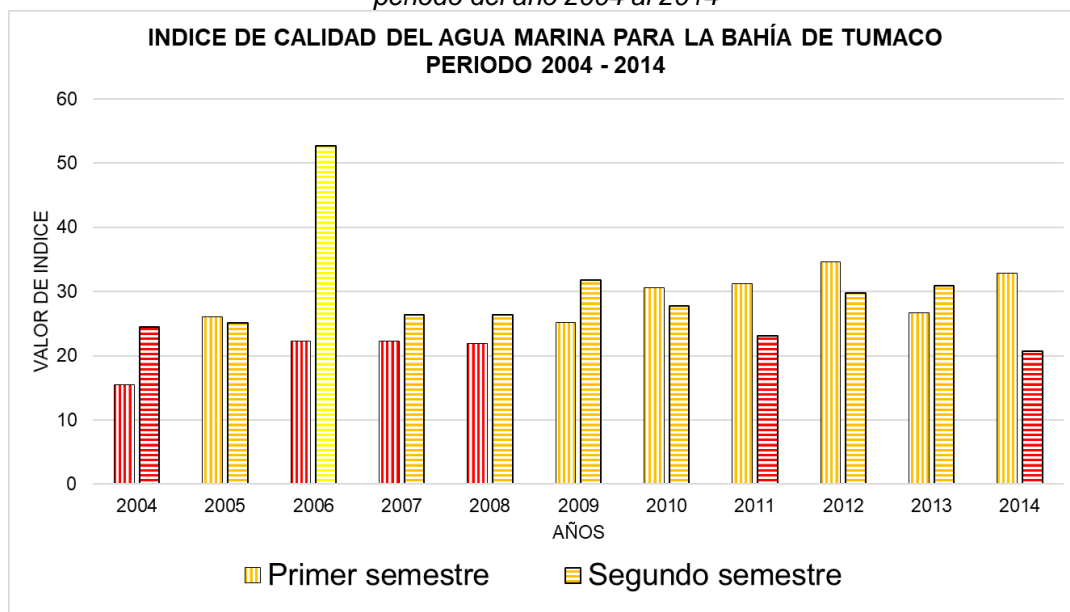


Tabla 8. Escala de valoración del Índice de Calidad de Agua Marina y costera

Escala de calidad	Color	Categoría
Óptima	Azul	100 - 90
Adecuada	Verde	90 - 70
Aceptable	Amarillo	70 - 50
Inadecuada	Anaranjado	50 - 25
Pésima	Rojo	25 - 0

Nota. Adaptado de Protocolo Indicador Calidad de Agua (ICAMPFF), Vivas Aguas, L. J. et. al., 2014

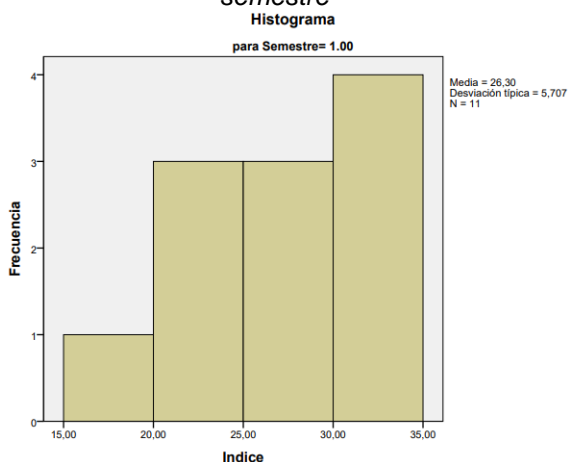
En cuanto a la *Tabla 9* se puede apreciar los valores de la media del ICAM, según la media en el segundo semestre la calidad del agua es mejor, sin embargo, esto se debe a que existe un valor irregular en los ICAM, correspondiendo al índice del año 2006 en el segundo semestre, haciendo que la media de los datos aumente. Los valores de varianza y desviación estándar son mayores en el segundo semestre, lo que dice que para este semestre se tiene una mayor variabilidad de datos. Haciendo referencia a los valores mínimos y máximos se identifica que en el segundo semestre la calidad del agua mejora a comparación del primer semestre.

Tabla 9. Estadística descriptiva del índice de calidad de agua marina para la Bahía de Tumaco en el periodo del año 2004 al 2014

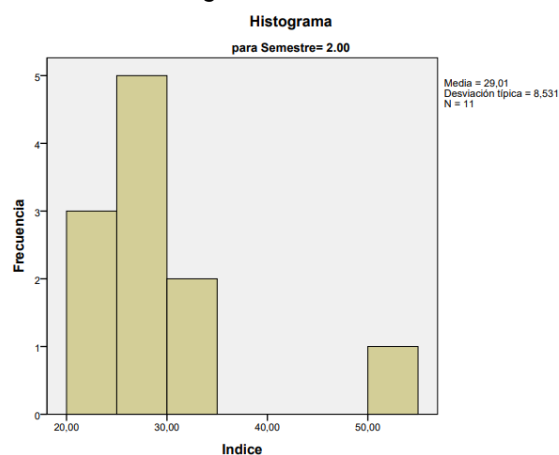
Estadística descriptiva Índice de Calidad de Agua Marina			
Primer semestre		Segundo semestre	
Media	26.2998	Media	29.0142
Mediana	26.1120	Mediana	26.3525
Intervalo de confianza superior	30.1341	Intervalo de confianza superior	34.7454
Intervalo de confianza inferior	22.4654	Intervalo de confianza inferior	23.2830
Varianza	32.575	Varianza	72.778
Desviación estándar	5.70747	Desviación estándar	8.53099
Mínimo	15.48	Mínimo	20.67
Máximo	34.59	Máximo	52.67

En cuanto a la información que se puede recolectar de las *Gráficas 29 y 30* se considera que en el primer semestre se tiene un sesgo a la izquierda, lo que quiere decir que la mayoría de los datos tomaron valores de ICAM altos, por otro lado, en el segundo semestre se tiene un sesgo a la derecha, diciendo que los valores que toma el ICAM en el segundo semestre son menores, sin embargo, al observar la escala en la que se encuentran las dos gráficas es diferente.

Gráfica 29. Histograma de la frecuencia índice de calidad de agua marina en el primer semestre

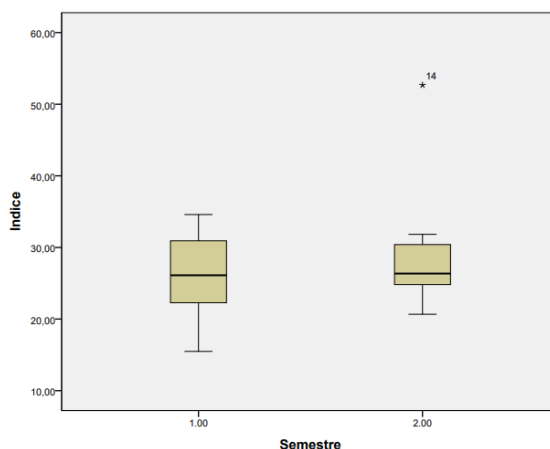


Gráfica 30. Histograma de la frecuencia del índice de calidad de agua marina en el segundo semestre



En cuanto a la Gráfica 31 se aprecia el diagrama de cajas para los valores de ICAM, para empezar los valores del primer semestre son menores a los del segundo, también se logra identificar que la dispersión es mayor y la media es menor a comparación del segundo. Por otro lado, para el segundo semestre la dispersión de los datos es menor, la media está por 3 unidades más alta en contraste con el primer semestre, además de eso, se tiene un valor muy atípico el cual corresponde al del año 2006 con un valor de ICAM de 52.67.

Gráfica 31. Diagrama de cajas de los datos del índice de calidad de agua marina



Se logró corroborar por medio del procesamiento de los datos obtenidos por parte de la Dimar y el INVEMAR que las condiciones de calidad del agua son muy pésimas en la Bahía de Tumaco, información que se respalda por medio de la búsqueda bibliográfica realizada en este informe.

7.3. Correlación multivariable

La correlación multivariable tiene como objetivo el analizar una serie de variables dependientes o respuesta y otras variables que se denominan predictoras las cuales afectan a la variable respuesta, en ese orden, se realizó una correlación multivariable entre los datos de calidad de agua y los datos meteorológicos con el fin de mirar si las variables predictoras (datos meteorológicos) afectan a la variable respuesta (ICAM). Con el fin de hacer efectiva la correlación fue necesario realizar primero una prueba de normalidad para saber qué tipo de distribución tenían los datos (Pendás, L. *et. al.*, 2009).

Lipp, E.K. *et. al.* (2001) en su documento llamado Determinación de los efectos de los eventos de El Niño-Oscilación del Sur sobre la calidad del agua costera realizado en la Bahía de Tampa, Florida, donde se explica que por medio de una correlación estadística se logró llegar a la conclusión que las altas precipitaciones afectan de manera directa las descargas de los ríos y por ende la calidad del agua, con base en el estudio presentado por Lipp, E.K. *et. al.* en el 2001, en este proyecto se quiso establecer las posibles correlaciones que pudieran estar presentes entre las variables climatológicas y la calidad de agua para la Bahía de Tumaco en el periodo del 2004 al 2014.

7.3.3. Prueba de normalidad

La prueba de normalidad indica si la distribución de los datos se comporta de una manera normal o no, para esto se debe plantear una hipótesis de nulidad la cual dice que los datos se distribuyen de manera normal, contra una hipótesis de no normalidad. Para la población de estudio se tienen 22 datos por cada variable, por ende, como lo dice Echeverri, L. I., Arroyave, E. A., & Barajas, F. H. (2015) se usará el test de Shapiro-Wilk debido al tamaño de muestra. Para la prueba de Shapiro-Wilk se usó un nivel de confianza del 95%. Los resultados se pueden observar en la *Tabla 10* donde analizará la columna de significancia; si existe algún valor menor a 5% o 0.05 se rechazará la hipótesis nula, queriendo decir que los datos no tienen una distribución normal y por consiguiente a la hora de realizar la correlación multivariable se usará el coeficiente de correlación de Spearman.

Tabla 10. Resultados prueba de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Indice	,145	22	,200 [*]	,842	22	,002
Direccion_viento [Deg]	,174	22	,081	,878	22	,011
Humedad_relativa [%]	,175	22	,080	,921	22	,079
Precipitacion [mm]	,325	22	,000	,678	22	,000
Presion_atmosferica [Hpa]	,453	22	,000	,456	22	,000
Temperatura_aire [°C]	,156	22	,176	,982	22	,939
Temperatura_superficial_mar [°C]	,142	22	,200 [*]	,933	22	,140
Velocidad_viento [m/s]	,505	22	,000	,354	22	,000

7.3.4. Correlación multivariable

Respondiendo a los objetivos específicos planteados al comienzo de este documento se realizó una correlación múltiple entre las variables meteorológicas y el índice de calidad de agua para la Bahía de Tumaco en el periodo del año 2004 al 2014. Con el fin de analizar los resultados el coeficiente de correlación puede tomar valores desde -1 a 1, donde -1 significa que hay una correlación negativa perfecta, mientras que el valor de 1 demuestra una correlación positiva perfecta.

Teniendo en cuenta lo anterior se analiza la primera columna, donde se puede apreciar el coeficiente de correlación entre la variable de ICAM y cada una de las variables meteorológicas, para comenzar, el valor de coeficiente de correlación entre la dirección del viento y el ICAM es de 0.336 dando así una correlación baja positiva, queriendo decir que a medida que los vientos tienen más al oeste la calidad del agua también aumenta.

En el segundo parámetro meteorológico se encuentra la humedad relativa, donde se tiene un valor de 0.241 queriendo decir que existe una correlación baja positiva, lo que se resalta es que es una correlación positiva queriendo decir que, aunque la relación es baja, a medida que, hay más humedad en el ambiente la calidad del agua tiende a aumentar y tomar valores mayores. En un tercer parámetro se encuentra la precipitación, esta variable cuenta con un coeficiente de correlación de 0.003 queriendo decir que no existe una correlación lineal entre estas dos variables.

La siguiente variable es la presión atmosférica, la cual al igual que la precipitación tiene una correlación positiva muy baja con un valor de 0.168, lo que quiere decir que en una escala muy baja mientras haya un aumento de la presión atmosférica la calidad de agua aumentaría, un valor muy similar tiene la temperatura ambiente con 0.161, el cual da el mismo concepto de una correlación positiva muy baja.

Como sexta variable se tiene la temperatura superficial del mar, en este caso se encuentra un valor negativo de -0.309, esto quiere decir que tiene una correlación negativa moderada, lo que significa que a mayor temperatura superficial del mar menor calidad en el agua marina, esto se puede ver reflejado en que la temperatura del agua es una de las variables que afectan directamente los parámetros medidos para el cálculo del índice de calidad de agua marina, uno de ellos es el oxígeno disuelto ya que a mayor temperatura, el oxígeno al ser un gas, saldrá de la matriz marina, afectando directamente los procesos ecosistémicos dentro del cuerpo de agua, por otro lado, se tiene la variable de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) la cual también se ve afectada por la temperatura, ya que al ser un proceso en el que se descompone la materia orgánica, esta se ve potenciada por la temperatura, al mismo tiempo aumentando la proliferación de microorganismos los cuales son un factor clave para determinar la calidad del agua de cualquier cuerpo de agua.

Finalmente, se tiene la velocidad del viento, esta variable tiene un coeficiente de correlación negativo moderado con un valor de -0.332, queriendo decir que a medida que los vientos estén en calma la calidad del agua aumentaría, esto puede deberse a que los vientos se ven afectados de manera directa por la temperatura superficial del mar como se puede apreciar estas dos variables tienen un coeficiente positivo, por tanto, a mayor temperatura superficial del mar mayores vientos y si se presentan mayores temperaturas la calidad del agua disminuye

Tabla 11. Correlaciones entre los datos meteorológicos y el índice de calidad de agua.

		ICAM	Direccion_viento [Deg]	Humedad_relativa [%]	Precipitacion [mm]	Presion_atmosferica [Hpa]	Temperatura_ aire [°C]	Temperatura_su perfiacial_mar [°C]	Velocidad_viento [m/s]	
Rho de Spearman	ICAM	Coefficiente de correlación	1,000	,336	,241	,003	,168	,161	-,309	-,332
		Sig. (bilateral)	.	,126	,279	,988	,454	,474	,162	,131
		N	22	22	22	22	22	22	22	22
	Direccion_viento [Deg]	Coefficiente de correlación	,336	1,000	,720**	,132	-,040	-,223	,310	-,266
		Sig. (bilateral)	,126	.	,000	,559	,859	,318	,160	,232
		N	22	22	22	22	22	22	22	22
	Humedad_relativa [%]	Coefficiente de correlación	,241	,720**	1,000	,538**	-,001	-,436*	,381	-,522*
		Sig. (bilateral)	,279	,000	.	,010	,998	,042	,080	,013
		N	22	22	22	22	22	22	22	22
	Precipitacion [mm]	Coefficiente de correlación	,003	,132	,538**	1,000	,199	-,458*	,345	-,433*
		Sig. (bilateral)	,988	,559	,010	.	,374	,032	,116	,044
		N	22	22	22	22	22	22	22	22
	Presion_atmosferica [Hpa]	Coefficiente de correlación	,168	-,040	-,001	,199	1,000	-,544**	-,415	-,300
		Sig. (bilateral)	,454	,859	,998	,374	.	,009	,055	,175
		N	22	22	22	22	22	22	22	22
	Temperatura_ aire [°C]	Coefficiente de correlación	,161	-,223	-,436*	-,458*	-,544**	1,000	,029	,333
		Sig. (bilateral)	,474	,318	,042	,032	,009	.	,899	,130
		N	22	22	22	22	22	22	22	22
	Temperatura_superfiacial_mar [°C]	Coefficiente de correlación	-,309	,310	,381	,345	-,415	,029	1,000	,021
		Sig. (bilateral)	,162	,160	,080	,116	,055	,899	.	,926
N		22	22	22	22	22	22	22	22	
Velocidad_viento [m/s]	Coefficiente de correlación	-,332	-,266	-,522*	-,433*	-,300	,333	,021	1,000	
	Sig. (bilateral)	,131	,232	,013	,044	,175	,130	,926	.	
	N	22	22	22	22	22	22	22	22	

7.4. Análisis multivariable de varianza (MANOVA)

Un análisis multivariable de varianza es un procedimiento estadístico para contrastar la hipótesis de que varias medias son iguales y de ser así poder identificar que grupo de medias difiere de las otras (IBM, 2012). En ese orden, para cumplir con los objetivos planteados se realiza un análisis multivariable de varianza con los datos del ICAM, la división de grupos se hizo con respecto a la presencia o no del ENOS ya sea periodo de El Niño o de La Niña.

Para identificarlo se hizo por medio del Índice Oceánico del Niño (ONI) el cual muestra la media móvil de la TSM en temporadas de tres meses, ejemplo: enero, febrero y marzo; el siguiente promedio de la TSM se calcula para febrero, marzo y abril, así cuando los valores que estén por encima de la media de TSM se colorean con color rojo, mostrando los periodos de presencia de El Niño, por otro lado, si el periodo tiene presencia de La Niña los valores del ONI se colorean con azul, finalmente, si el periodo es neutro los valores están en color negro.

Se identifica que hubo presencia del ENOS si el ONI marcado con rojo o azul se repite por un mínimo de 5 temporadas. Como se puede notar en la *Figura 5* se mostró la manera de identificarlos para el periodo de presencia del fenómeno de El Niño

Figura 6. Identificación de periodos de presencia del fenómeno de El Niño.

Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2004	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
2005	0.6	0.6	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3	-0.6	-0.8
2006	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.1	0.0	0.1	0.3	0.5	0.8	0.9	0.9
2007	0.7	0.2	-0.1	-0.3	-0.4	-0.5	-0.6	-0.8	-1.1	-1.3	-1.5	-1.6
2008	-1.6	-1.5	-1.3	-1.0	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	-0.2	-0.4	-0.6	-0.7
2009	-0.8	-0.8	-0.6	-0.3	0.0	0.3	0.5	0.6	0.7	1.0	1.4	1.6
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2010	1.5	1.2	0.8	0.4	-0.2	-0.7	-1.0	-1.3	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6
2011	-1.4	-1.2	-0.9	-0.7	-0.6	-0.4	-0.5	-0.6	-0.8	-1.0	-1.1	-1.0
2012	-0.9	-0.7	-0.6	-0.5	-0.3	0.0	0.2	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.2
2013	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3
2014	-0.4	-0.5	-0.3	0.0	0.2	0.2	0.0	0.1	0.2	0.5	0.6	0.7

Nota. Adaptado de Cold & Warm Episodes by Season, por la NOAA, 2022, <https://tinyurl.com/y255ywhj>

Como resultado de la identificación por periodo se encontraron 4 repeticiones del fenómeno de El Niño, de La Niña y periodos neutros en el tiempo de estudio del 2004 al 2014, en la *Tabla 12* se puede ver la estadística descriptiva para los datos ingresados en la MANOVA, donde se puede observar que según las medias para cada periodo el periodo de El Niño presenta una mejor calidad de agua en comparación a los periodos de La Niña o el periodo neutro. Lo anterior se debe a que el segundo semestre del 2006 se categorizo como periodo del niño, en este mismo año se tiene un dato atípico en los valores del ICAM, este valor es de 52.67 generando que el valor de media sea mayor a los otros periodos de presencia ENOS. Esto mismo genera que el periodo de El Niño presente una mayor dispersión de sus datos en comparación a los otros dos periodos.

Tabla 12. Estadística descriptiva de los datos de ICAM según el periodo de ENOS

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
Niño	4	32,47060	14,138927	7,069464	9,97241	54,96879	20,670	52,667
Niña	4	27,05718	2,544283	1,272141	23,00865	31,10570	24,135	29,505
Neutro	4	26,69431	9,044294	4,522147	12,30282	41,08580	15,483	37,472
Total	12	28,74069	9,284798	2,680290	22,84142	34,63997	15,483	52,667

Con el fin de analizar los resultados de la MANOVA se tiene que saber que el nivel de significancia mostrará si hay una diferencia estadística en las medias de los grupos o no. Si se llegase a tener un valor de significancia menor a 0.05 se estaría aceptando la hipótesis afirmativa la cual quiere decir que hay diferencia estadística entre las medias de los grupos de muestra, en este caso los resultados arrojaron una significancia de 0.660 significando que se rechaza la hipótesis afirmativa. Esto quiere decir que no se encuentra una diferencia significativa entre las medias de la calidad de agua entre periodos de presencia del ENOS en la Bahía de Tumaco para el periodo de estudio.

Tabla 13. Resultados del análisis multivariable de varianza

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	83,737	2	41,868	,436	,660
Intra-grupos	864,546	9	96,061		
Total	948,282	11			

Como conclusiones de este informe de pasantía se tienen las siguientes:

- Se determinó que sí existe una influencia de la Oscilación del Sur (ENOS) en la calidad del agua marina en la bahía de Tumaco en el periodo de 2004 – 2014, esto se hizo por medio de la correlación multivariable ya que este análisis precisó que existe una correlación negativa entre el ICAM y la TSM, queriendo decir que a menor TSM la calidad de agua mejora y a mayor TSM la calidad de agua empeora. Por tanto, en presencia de La Niña, fenómeno que se caracteriza por el enfriamiento de la TSM, la calidad de agua se favorece, mientras que, si hay presencia de El Niño, fenómeno caracterizado por una TSM alta, la calidad de agua se ve perjudicada.
- Se realizó el cálculo del ICAM para el periodo de 2004 – 2014 en la bahía de Tumaco, índice que hace una relación entre 8 parámetros determinantes, lo cual simplifica el análisis de calidad del agua de manera rápida y efectiva y además se pudo constatar que es viable y práctico relacionarlo con parámetros hidroclimatológicos para establecer medidas de manejo para poder prevenir o mitigar posibles alteraciones irreparables al ambiente, una de estas sería el monitoreo continuo de la calidad de agua en todas las costas colombianas, siempre y cuando se cuente con una base de datos completa.
- No se logró determinar diferencia estadísticamente significativa entre los diferentes valores de ICAM para cada uno de los periodos de oscilación por medio de la MANOVA para los datos recolectados durante la pasantía. La MANOVA no arrojó los datos esperados debido a que la cantidad de muestra de datos procesados para este análisis ya que estos eran pocos.

Del mismo modo, se expondrán las siguientes recomendaciones que se determinaron a lo largo de la pasantía, el desarrollo de este informe y para posibles estudios a futuro:

- Se recomienda a la Dimar fortalecer el monitoreo en temática de calidad de agua marina en la Bahía de Tumaco ya que los monitoreos en esta materia se detuvieron en el 2014, esto generaría a la Dimar como autoridad marítima y oceánica un mejor manejo en sus costas y bahías en temas de degradación ecosistémica.
- Se recomienda que para próximos estudios en materia se trabaje con una muestra mayor de datos, ya que en el caso de este informe la muestra fue pequeña y esto podría haber sido el generador de que los resultados de la MANOVA no fueran los esperados.

Finalmente se resalta que esta pasantía permitió aplicar los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera en áreas de calidad del agua, meteorología, estadística y procesamiento de bases de datos extensas.

8. Referencias bibliográficas

- Apple, J. K., Burnett, N. y Bohlmann, H. (2016). Long-term monitoring reveals the combined effects of local conditions and large-scale climatic drivers on water quality in a Salish Sea embayment.
- Azcárate, R. y Mejía-Fajardo, A. (2016). Meteorología, socioeconomía y gestión del riesgo de desastres del evento El Niño-Oscilación del Sur en Colombia. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12010/672>.
- Banco del Occidente. (2002). Golfos y Bahías del Pacífico colombiano. Retirado de <https://publicaciones.banrepcultural.org/index.php/emisor/article/view/7891/8271>
- Banco de la Republica de Colombia. (2014). El fenómeno de El Niño en Colombia: caracterización y posible impacto. Retirado de <https://www.imeseditores.com/banocc/golfos/cap6.htm>
- Bonilla Urrutia, N. S. (2022). Comunidad fitoplanctónica presente en la Bahía de Tumaco. <https://doi.org/10.15472/cayjuj>
- Centro Colombiano de Datos Oceanográficos. (2021). Crucero Oceanográfico Caribe, 2003. Retirado de <https://cecoldo.dimar.mil.co/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/e2ab0fe0-212e-4ec5-9cc2-ba18a7457b7f>
- Centro Colombiano de Datos Oceanográficos. (2021). Perfiles de salinidad y temperatura de la columna de agua obtenidos en la Expedición Científica Seaflower. Colombia. Marzo - abril de 2014. Retirado de <https://cecoldo.dimar.mil.co/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/897e5b1a-89d2-45a8-ae4b-2a26145759a7>
- Centro Colombiano de Datos Oceanográficos. (2022). Acerca del Cecoldo. Retirado de <https://cecoldo.dimar.mil.co/web/acercade>
- Congreso de la República Colombiana. (marzo 6, 2014). Ley 1712 de 2014. *Por medio del cual se crea la ley de transparencia y del derecho de acceso a la información pública nacional*. D.O. 49084
- Devis Morales, A. (2003). Evolución del evento El Niño 2002-2003 y efectos sobre la cuenca del Pacífico colombiana y la Bahía de Tumaco.

- D’Croz, L., Kwiecinski, B., Maté, J., Gómez H., J. y Del Rosario, J. (2003). El Afloramiento Costero Y El Fenómeno De El Niño: Implicaciones Sobre Los Recursos Biológicos Del Pacífico De Panamá. *Tecnociencia*, 5(2), 35-49. Recuperado de <https://revistas.up.ac.pa/index.php/tecnociencia/article/view/632>
- Dirección General Marítima. (2022). Historia de la Dimar. Retirado de <https://www.dimar.mil.co/Conozca-Dimar/Información-General/Historia>
- Echeverri, L. I., Arroyave, E. A., & Barajas, F. H. (2015). Comparación de pruebas de normalidad. *XXI Simp. Int. Estad*, 8-11.
- Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres. (2005). Temporada de Huracanes 2005. Retirado de https://www.eird.org/esp/revista/no_11_2005/art9.htm
- Figueroa, R. (2011). *Meteorología y climatología. Factores climáticos*. Huaraz, Huaraz, Perú.
- Guzmán A, A. I., Selvaraj, J. J., y Martínez A, A. (2012). Variabilidad espacial y temporal de parámetros físico-químicos en la Bahía de Tumaco. *Acta Agronómica*, 61(5), 20–21. Recuperado a partir de https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/41440
- IBM Corporation. (2012). ANOVA de un factor
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2017). Fenómenos del Niño y La Niña. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/web/siac/ninoynina>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2019). *Glosario meteorológico*.
- Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andreis. (2004). *La calidad ambiental marina y costera en Colombia*.
- Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andreis. (2021). *Metodología de la operación estadística índice de calidad de aguas marinas y costeras – OE ICAM*

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Ginebra: IPCC.
- Keener, V. W., Bosch, D. D., Jones, J. W. y Lowrance, R. (2008). An ENSO-Based Multivariate Wavelet-Decomposition Time Series Model for Nitrate Loads in the Little River Watershed. In AGU Fall Meeting Abstracts (Vol. 2008, pp. H13J-03).
- Ledesma Jimeno, M. (2011). *Principios de meteorología y climatología*. Editorial Paraninfo.
- Lipp, E.K., Schmidt, N., Luther, M.E. et al. (2001). Determining the effects of El Niño-Southern Oscillation events on coastal water quality. *Estuaries* 24, 491–497 (2001). <https://doi.org/10.2307/1353251>
- Marcé, R., Rodríguez-Arias, M.À., García, J.C. y Armengol, J. (2010). El Niño Southern Oscillation and climate trends impact reservoir water quality. *Global Change Biology*, 16: 2857-2865. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02163.x>
- Maturana, J., Bello, M. y Manley, M. (2004). Antecedentes históricos y descripción del fenómeno El Niño, Oscilación del Sur. *El Niño-La Niña, 2000*.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (mayo 18, 2018). Decreto 883 de 2018. *Por el cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a los cuerpos de aguas marinas, y se dictan otras disposiciones*.
- Mirhosseini, G. y Srivastava, P. (2016). Effect of Irrigation and Climate Variability on Water Quality of Coastal Watersheds: Case Study in Alabama.
- Montoya-Moreno, Y., Patiño Zapata, E. Y., Ramírez Arango, E. y Yepes Osorio, E. R. (2019). Calidad biológica y fisicoquímica de tres fuentes de agua y su relación con el fenómeno de El Niño y La Niña. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 22(2).
- NASA. (2021). The POWER Project. Retirado de <https://power.larc.nasa.gov/>

- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (2022). Cold & Warm Episodes by Season. Retirado de https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (2023). Multivariate ENSO Index Version 2 (MEI.v2). Retirado de <https://psl.noaa.gov/enso/mei/>
- Ng, C.KC., Goh, CH., Lin, JC. *et al.* (2018). Water quality variation during a strong El Niño event in 2016: a case study in Kampar River, Malaysia. *Environ Monit Assess* 190, 402. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6784-2>
- Observatorio Ambiental de Cartagena de Indias. (2015). Análisis del cálculo de indicadores de calidad de agua. Recuperado de <https://observatorio.epacartagena.gov.co/gestion-ambiental/calidad-ambiental/sistema-de-canos-y-lagos/analisis-del-calculo-de-indicadores-de-calidad-de-agua/>
- Olmedo, E., & Turiel, A. (2022). Tormentas y sequías a la vista: el cambio climático está acelerando el ciclo del agua.
- Pendás, L., Ortega, M., Ortega, R., Abreu, A., & Cánovas, A. (2009). El coeficiente de correlación de los rangos de Spearman caracterización. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 8(2).
- Pérez Ramos, M. Á. y Romero Peña, M. P. (2022). Diagnóstico y monitoreo de la calidad del agua de las playas de La Boquilla sector norte (Cartagena, Colombia), en temporada seca del año 2019.
- Pinzón Bedoya, M. L., García Castellanos, A. K. y Casanova Rosero, R. F. (2007). Seguimiento a la Influencia de la marea, condiciones meteorológicas y factores antropogénicos sobre la variabilidad diaria de parámetros fisicoquímicos en la bahía de Tumaco (Colombia). *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 5(2), 5-16.
- Poveda, G. y Mesa, Ó. J. (1996). Las fases extremas del fenómeno ENSO (El Niño y La Niña) y su influencia sobre la hidrología de Colombia. *Tecnología y ciencias del agua*, 11(1), 21-37.

- Presidencia de la República Colombiana. (junio 26, 1984). Decreto 1594 de 1984. *Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II y el Título III de la Parte III Libro I del Decreto 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.*
- Presidencia de la República Colombiana. (enero 20, 2015). Decreto 103 de 2015. *Por el cual se establecen los lineamientos generales de la política de Gobierno Digital y se subroga el capítulo 1 del título 9 de la parte 2 del libro 2 del Decreto 1078 de 2015, Decreto Único Reglamentario del sector de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.*
- Presidencia de la República Colombiana. (mayo 26, 2015). Decreto 1076 de 2015. *Por medio el cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo sostenible.*
- Presidencia de la República Colombiana. (junio 14, 2018). Decreto 1008 de 2018. *por el cual se reglamenta parcialmente la Ley 1712 de 2014 y se dictan otras disposiciones.* D.O. 49400
- Rosero, R.F., Ortíz, M.M., Solana, S.A., Vargas, N.P., & Illera, C.B. (2015). Variabilidad de parámetros fisicoquímicos en una estación oceánica frente a la Bahía de Tumaco.
- Severiche Sierra, C. A, Barreto Lezama, A. J., Acevedo Barrios, R. L. (2013). Efecto de las Lluvias sobre la Calidad del Agua en La Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *Revista Avances: Investigación en Ingeniería*, 10(1).
- Silvestri, G. E. (2003). Relación entre la temperatura de la superficie del mar en el Océano Pacífico sur subtropical y la precipitación de primavera en el sudeste de Sudamérica durante los eventos ENSO
- Sánchez-R, M. y Riosmena, F. (2021). Cambio climático global, ecología política y migración. *Revista de Estudios Sociales*, (76), 2-6. <https://doi.org/10.7440/res76.2021.01>
- Torres, J. y Cabarcas, J. (2012). Descripción del comportamiento de variables atmosféricas y oleaje en el puerto de Tumaco a partir de observación de datos. *Boletín Científico CIOH*, (30), 75-92.

Torres Puentes, V. M. (2019). Tiempo, clima y los fenómenos atmosféricos: desde torbellinos hasta cambio climático.

United States Geological Survey. (2014). A Primer on Water Quality

Vivas Aguas, L. J. y Navarrete Ramírez, S. M. (2014). Protocolo Indicador Calidad de Agua (ICAMPFF). Indicadores de monitoreo biológico del Subsistema de Áreas Marinas Protegidas (SAMP). Invemar, GEF y PNUD. Serie de Publicaciones Generales del Invemar No. 69, Santa Marta. 32 p.