

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
ESCUELA DE POSGRADO
Programa de Doctorado en Estadística Matemática



UNS
ESCUELA DE
POSGRADO

**“Variables fisicoquímicas y nutrientes del ecosistema marino
costero peruano: un enfoque multivariado ”**

**Tesis para optar el grado de
Doctor en Estadística Matemática**

Autora:

Mg. Adriazola Cruz, Rosa Ysabel
Código Orcid: 0000-0003-2586-123X

Asesora:

Dra. González Castro, Jeanette Baldramina
Código ORCID: 0000-0003-4661-7447
DNI N°. 17907323

Línea de Investigación
Estadística en la industria y los servicios

Nuevo Chimbote - PERÚ
2024



UNS
ESCUELA DE
POSGRADO

CERTIFICACIÓN DEL ASESOR

Yo, **Dra. González Castro, Jeanette Baldramina**, mediante la presente certifico mi asesoramiento de la Tesis de Doctorado titulada: “**Variables fisicoquímicas y nutrientes del ecosistema marino costero peruano: Un enfoque multivariado**”, elaborado por la **Mg. Adriazola Cruz, Rosa Ysabel**, para obtener el Grado de **Doctor en Estadística Matemática**, en la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa.

Nuevo Chimbote, julio del 2024

Dra. González Castro, Jeanette Baldramina

ASESORA

DNI: 17907323

Código ORCID: 0000-0003-4661-7447



AVAL DE CONFORMIDAD DEL JURADO

Tesis de Doctorado titulado: **“Variables fisicoquímicas y nutrientes del ecosistema marino costero peruano: Un enfoque multivariado”**, elaborado por la **Mg. Adriazola Cruz, Rosa Ysabel**

Revisado y Aprobado por el Jurado Evaluador:

Dra. Odar Rosario, América
Presidente

DNI: 17850879

ORCID: 0000-0002-1805-2007

Dr. Pajuelo Gonzáles, Luis Alfredo
Secretario

DNI: 32760325

ORCID 0000-0003-4568-3434

Dra. González Castro, Jeanette Baldramina

Vocal

DNI: 17907323

Código ORCID: 0000-0003-4661-7447



UNS
ESCUELA DE
POSGRADO

ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

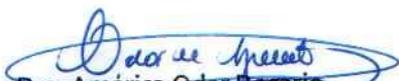
A los diecisiete días del mes de julio del año 2024, siendo las 11:00 horas, en el aula P-01 de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador, designados mediante Resolución Directoral 142-2024-EPG-UNS de fecha 20.03.2024, conformado por los docentes: Dra. América Odar Rosario (Presidenta), Dr. Luis Alfredo Pajuelo Gonzales (Secretario), Dra. Jeanette Baldramina González Castro (Vocal); con la finalidad de evaluar la tesis titulada "**VARIABLES FISICOQUIMICAS Y NUTRIENTES DEL ECOSISTEMA MARINO COSTERO PERUANO: UN ENFOQUE MULTIVARIADO**", presentado por la tesista Rosa Ysabel Adriaola Cruz, egresada del programa de **Doctorado en Estadística Matemática**.

Sustentación autorizada mediante Resolución Directoral N° 346-2024-EPG-UNS de fecha 09 de julio de 2024.

La presidenta del jurado autorizó el inicio del acto académico; producido y concluido el acto de sustentación de tesis, los miembros del jurado procedieron a la evaluación respectiva, haciendo una serie de preguntas y recomendaciones al tesista, quien dio respuestas a las interrogantes y observaciones.

El jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, declara la sustentación como EXCELENTE, asignándole la calificación de 20.

Siendo las 12:30 horas del mismo día se da por finalizado el acto académico, firmando la presente acta en señal de conformidad.


Dra. América Odar Rosario
PRESIDENTA


Dr. Luis Alfredo Pajuelo Gonzales
SECRETARIO


Dra. Jeanette Baldramina González Castro
VOCAL

RECIBO TURNITIN



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega:	Rosa Ysabel ADRIAZOLA CRUZ
Título del ejercicio:	DOCTORADO 2023
Título de la entrega:	Tesis de doctorado por Rosa Ysabel Adriazola Cruz
Nombre del archivo:	TesisDoctoradoRYAC2024.pdf
Tamaño del archivo:	2.58M
Total páginas:	161
Total de palabras:	34,980
Total de caracteres:	164,571
Fecha de entrega:	17-mar.-2024 02:55p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega:	2273895818



REPORTE PORCENTUAL DE TURNITIN

Tesis de doctorado por Rosa Ysabel Adriazola Cruz

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	www.dspace.espol.edu.ec Fuente de Internet	2%
2	industrial.unmsm.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	docplayer.es Fuente de Internet	1%
4	repositorio.uap.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	doaj.org Fuente de Internet	1%
6	idoc.pub Fuente de Internet	1%
7	www.slideshare.net Fuente de Internet	1%
8	bibliotecadigital.aecid.es Fuente de Internet	1%
9	bases.bireme.br Fuente de Internet	1%

Dedicatoria

Dedico este trabajo de investigación en memoria de mi querido hermano José Enrique Adriazola Cruz.

Agradecimiento

Mi sincero agradecimiento a la Dra. Jeanette Baldramina González Castro por su guía y apoyo en todo el proceso de este trabajo de investigación.

ÍNDICE

Aval de asesor de tesis	ii
Conformidad del jurado	iii
Acta de sustentación	iv
Acta de aprobación de originalidad	v
Declaración jurada de autoría	vi
Recibo Turnitín	vii
Reporte porcentual de Turnitín	viii
Dedicatoria	ix
Agradecimiento	x
Lista de tablas	xiii
Lista de figuras	xiv
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
I INTRODUCCIÓN	17
1.1 Descripción y formulación del problema de investigación	17
1.2 Objetivos de la investigación	19
1.2.1 Objetivo general	19
1.2.2 Objetivos específicos	20
1.3 Formulación de la hipótesis de investigación	21
1.3.1 Hipótesis general	22
1.3.2 Hipótesis específicas	22
1.4 Justificación e importancia	23
II MARCO TEÓRICO	25
2.1 Antecedentes de la investigación	25
2.1.1 Antecedentes Internacionales	25
2.1.2 Antecedentes Nacionales	29
2.2 Marco conceptual	30
2.2.1 Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú	30
2.2.2 Crucero oceanográfico	31
2.2.3 Oceanografía	31
2.2.4 Ecosistema marino	32
2.2.5 Variables fisicoquímicas	33
2.2.5.1 Temperatura	33
2.2.5.2 Salinidad	33
2.2.5.3 Oxígeno disuelto	34
2.2.5.4 Potencial de hidronio: pH	36
2.2.6 Nutrientes	37
2.2.6.1 Nitratos	38
2.2.6.2 Nitritos	38
2.2.6.3 Fosfatos	39

	2.2.6.4 Silicatos	40
	2.2.7 Análisis de correlación canónica	41
III	METODOLOGÍA	50
	3.1 Métodos de la investigación	50
	3.2 Diseño de la investigación	51
	3.3 Población y muestra	51
	3.4 Variables en estudio	52
	3.5 Técnicas e instrumentos de la investigación	53
	3.6 Procedimiento para la recolección de datos	53
	3.7 Técnicas de análisis de resultados	70
IV	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	73
	4.1 Resultados	73
	4.1.1 Clúster de las variables fisicoquímicas y nutrientes	73
	4.1.2 Análisis de correlación canónica: Muestreo del año 2012	74
	4.1.3 Análisis de correlación canónica: Muestreo del año 2014	74
	4.1.4 Análisis de correlación canónica: Muestreo del año 2011	84
	4.1.4.1 Análisis de correlación canónica: Muestreo del año 2011. Perfil oceanográfico 5mn.	90
	4.1.4.2 Análisis de correlación canónica: Muestreo del año 2011. Perfil oceanográfico 5mn.	96
	4.2 Discusión	102
V	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	106
	5.1 Conclusiones	106
	5.2 Recomendaciones	108
VI	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109
VII	ANEXOS	118

LISTA DE TABLAS

Tabla 1:	Prueba de hipótesis para contrastar la significancia de las variables canónicas. Muestreo 2012	78
Tabla 2:	Prueba de hipótesis para contrastar la significancia de las variables canónicas. Muestreo 2014	82
Tabla 3:	Prueba de hipótesis para contrastar la significancia de las variables canónicas. Muestreo 2011	88
Tabla 4:	Prueba de hipótesis para contrastar la significancia de las variables canónicas. Muestreo 2011. Perfil oceanográfico 5mn	94
Tabla 5:	Prueba de hipótesis para contrastar la significancia de las variables canónicas. Muestreo 2011. Perfil oceanográfico 200mn	99

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Estaciones oceanográficas	53
Figura 2:	Dendrograma de las variables en estudio	73
Figura 3:	Conjuntos de variables para el ACC	74
Figura 4:	Gráfico de correlación entre las variables del conjunto “físicoquímicas” y el conjunto “nutrientes”. Muestreo año 2012	75
Figura 5:	Gráfico exploratorio de la correlación canónica entre el conjunto de variables “físicoquímicas” y nutrientes. Muestreo año 2012.	79
Figura 6:	Gráfico de correlación entre las variables del conjunto “físicoquímicas” y el conjunto “nutrientes”. Muestreo año 2014	80
Figura 7:	Gráfico exploratorio de la correlación canónica entre el conjunto de variables “físicoquímicas” y nutrientes. Muestreo año 2014	83
Figura 8:	Líneas oceanográficas de 5 a 200 millas náuticas	84
Figura 9:	Gráfico de correlación de las variables del conjunto “temperatura” de las variables del conjunto “salinidad”. Muestreo 2011	85
Figura 10:	Gráfico exploratorio de la correlación canónica entre el conjunto de variables “temperatura” y “salinidad”. Muestreo 2011	90
Figura 11:	Gráfico de Correlación de las variables del conjunto “temperatura” y de las variables del conjunto “salinidad” Muestreo 2011. Perfil oceanográfico 5mn.	91
Figura 12:	Gráfico exploratorio de la correlación canónica entre el conjunto de variables “temperatura” y “salinidad”. Muestreo 2011. Perfil oceanográfico 5mn.	95
Figura 13:	Gráfico exploratorio de la correlación canónica entre el conjunto de variables “físicoquímicas” y nutrientes. Muestreo 2011. Perfil oceanográfico 5mn.	97
Figura 14:	Gráfico exploratorio de la correlación canónica entre el conjunto de variables “temperatura” y “salinidad”. Muestreo 2011. Perfil oceanográfico 200mn.	101

RESUMEN

La presente investigación, con enfoque cuantitativo y con diseño no experimental, transeccional, descriptivo-correlacional, tuvo como propósito determinar la relación entre el conjunto de variables fisicoquímicas y el conjunto de nutrientes en el ecosistema marino costero peruano con enfoque multivariado mediante el análisis de correlación canónica, a partir de los datos obtenidos de la Bitácora del Crucero Oceanográfico Sur de la Marina de Guerra del Perú, en las estaciones localizadas en San Juan, Callao, Chimbote, Chicama, Punta Falsa y Paita en el muestreo realizado en el año 2011, y en las estaciones localizadas en el Callao, Bermejo, Chimbote, Chicama, Punta Falsa y Paita en los muestreos de los años 2012 y 2014 respectivamente.

Se encontró que, en el muestreo del año 2012, el análisis de correlación canónica originó tres pares de variables canónicas donde el primer par tuvo la más alta correlación ($r_1 = 0.7637$), siendo el pH del conjunto de variables fisicoquímicas y los nitritos del conjunto de nutrientes, las variables que mayor contribución tuvieron en esta correlación; la prueba de hipótesis correspondiente reportó correlación altamente significativa en cada uno de los dos primeros pares de variables canónicas ($p < 0.01$); en el muestreo del año 2014, en el primer par de variables canónicas con la más alta correlación ($r_1 = 0.8285$) la mayor carga la originó el pH del conjunto de variables fisicoquímicas y los fosfatos en el conjunto de nutrientes; asimismo, existe correlación altamente significativa en los dos primeros pares de variables canónicas ($p < 0.01$) y correlación significativa ($p < 0.05$) en el tercer par de variables canónicas y para el muestreo del año 2011 en el que se analizaron los conjuntos de variables denominadas *temperatura* y *salinidad* en seis estaciones en estudio, se encontró que en el primer par de variables canónicas con la más alta correlación ($r_1 = 0.9971$) la mayor carga la originó la temperatura de la estación de San Juan en el conjunto de variables *temperatura* y en el conjunto de variables *salinidad* la mayor carga la proporcionó la salinidad de la estación de Paita; a su vez, existe correlación altamente significativa en cada uno de los seis pares de variables canónicas ($p < 0.01$).

Palabras clave: Multivariado, correlación canónica, fisicoquímicas, nutrientes, estaciones oceanográficas.

ABSTRACT

The purpose of this research, with a quantitative approach and a non-experimental, transectional, descriptive-correlational design, was to determine the relationship between the set of physicochemical variables and the set of nutrients in the Peruvian coastal marine ecosystem with a multivariate approach through correlation analysis. canonical, from the data obtained from the Log of the Southern Oceanographic Cruise of the Peruvian Navy, in the stations located in San Juan, Callao, Chimbote, Chicama, Punta Falsa and Paita in the sampling carried out in 2011, and in the stations located in Callao, Bermejo, Chimbote, Chicama, Punta Falsa and Paita in the sampling years 2012 and 2014 respectively.

It was found that, in the 2012 sampling, the canonical correlation analysis originated three pairs of canonical variables where the first pair had the highest correlation ($r_1=0.7637$), being the pH of the set of physicochemical variables and the nitrites of the set. of nutrients, the variables that had the greatest contribution in this correlation; The corresponding hypothesis test reported a highly significant correlation in each of the first two pairs of canonical variables ($p < 0.01$); In the 2014 sampling, in the first pair of canonical variables with the highest correlation ($r_1= 0.8285$), the greatest load was caused by the pH of the set of physicochemical variables and the phosphates in the set of nutrients; Likewise, there is a highly significant correlation in the first two pairs of canonical variables ($p < 0.01$) and a significant correlation ($p < 0.05$) in the third pair of canonical variables and for the 2011 sampling in which the sets of variables were analyzed. called temperature and salinity in six stations under study, it was found that in the first pair of canonical variables with the highest correlation ($r_1 = 0.9971$) the greatest load was caused by the temperature of the San Juan station in the set of variables temperature and In the set of salinity variables, the greatest load was provided by the salinity of the Paita station; In turn, there is a highly significant correlation in each of the six pairs of canonical variables ($p < 0.01$).

Keywords: Multivariate, canonical correlation, physicochemical, nutrients, oceanographic stations.

I. INTRODUCCIÓN

En el año 2015, se aprobó la Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible, que comprende 17 Objetivos, relacionados a la eliminación de la pobreza, disminución de los efectos del cambio climático, la educación, la igualdad de la mujer, la defensa del medio ambiente y el diseño de nuestras ciudades. En particular el Objetivo 14 establece: Conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible (Naciones Unidas, 2020).

La comprensión y análisis de las características del ecosistema marino ha permitido que instituciones especializadas de las Naciones Unidas, institutos de investigación y laboratorios destaquen la importancia de generar conocimientos sobre los procesos oceánicos y el estado del ecosistema marino (Naciones Unidas, 2020). Por ello, dada la naturaleza de las variables fisicoquímicas y los nutrientes del ecosistema marino costero peruano, fue una motivación para realizar la presente investigación que tuvo como propósito relacionar ambos conjuntos de variables mediante el análisis de correlación canónica, identificando previamente el patrón de comportamiento de estos conjuntos de variables a partir de los datos obtenidos de la Bitácora del Crucero Oceanográfico Sur de la Marina de Guerra del Perú, en las estaciones localizadas en San Juan, Callao, Bermejo, Chimbote, Chicama, Punta Falsa y Paita en el muestreo realizado en los años 2011, 2012 y 2014.

1.1 Descripción y formulación del problema de investigación

El medio marino, es uno de los grandes componentes del ecosistema mundial en donde se desarrollan procesos químicos, biológicos y ecológicos de los cuales depende en alto grado del desarrollo de la sociedad global. En efecto, los cambios en los procesos físico, químicos y biogeoquímicos de los océanos

y costas ha implicado cambios en la biodiversidad marina y la estructura ecológica. Esto se ha evidenciado por el aumento de la temperatura del agua, la acidificación y el aumento del nivel del mar en los océanos (IMARPE,2000). La comprensión y análisis de las características del ecosistema marino ha permitido que instituciones especializadas de las Naciones Unidas, institutos de investigación y laboratorios destaquen la importancia de generar conocimientos sobre la evolución océanos y el estado del ecosistema marino.

Las Naciones Unidas ha propuesto para el 2025, prevenir y reducir significativamente todos los tipos de contaminación marina, en particular, de las actividades realizadas en tierra firme, incluidos los desechos marinos y la contaminación por nutrientes.

El Perú, requiere avanzar en el ordenamiento espacial de las áreas marino-costeras, identificando aquellas zonas prioritarias para la conservación y protección de los recursos marinos; así como fortalecer la coordinación intersectorial para un manejo integral de las zonas marino-costeras que permita el desarrollo de las distintas actividades económicas que se realizan en nuestro litoral sin poner en riesgo el aprovechamiento sostenible de los recursos marinos (IMARPE, 2011). Así, dada la naturaleza de las variables fisicoquímicas y los nutrientes del ecosistema marino costero es importante describir la relación que pudiera existir entre ellas mediante un enfoque multivariado (Kaymaz SM., 2018).

Por ello, en el presente estudio de investigación bajo un enfoque multivariado mediante el análisis de correlación canónica se tiene el propósito determinar la correlación existente entre el conjunto de variables fisicoquímicas y el conjunto de nutrientes del ecosistema marino costero peruano; así como, la validez de las mismas, a partir de los datos obtenidos de la Bitácora del Crucero Oceanográfico Sur de la Marina de Guerra del Perú, en las estaciones localizadas en San Juan, Callao, Bermejo, Chimbote, Chicama, Punta Falsa y Paita en el muestreo realizado en los años 2011, 2012 y 2014; así el problema de investigación es el siguiente:

¿Cuál es la correlación entre el conjunto de variables fisicoquímicas y el conjunto de nutrientes en el ecosistema marino costero peruano, mediante el análisis de correlación canónica del enfoque multivariado; a partir de los datos de la Bitácora del Crucero Oceanográfico Sur de la Marina de Guerra del Perú, en las estaciones localizadas en San Juan, Callao, Bermejo, Chimbote, Chicama, Punta Falsa y Paita?

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Determinar la correlación entre el conjunto de variables fisicoquímicas y el conjunto de nutrientes en el ecosistema marino costero peruano, mediante el análisis de correlación canónica del enfoque multivariado; a partir de los datos de la Bitácora del Crucero Oceanográfico Sur de la Marina de Guerra del Perú, en las estaciones localizadas en San Juan, Callao, Bermejo, Chimbote, Chicama, Punta Falsa y Paita.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar la correlación entre el conjunto de variables *fisicoquímicas* y el conjunto de variables *nutrientes*, mediante el análisis de correlación canónica del enfoque multivariado; a partir de los datos obtenidos de la Bitácora del Crucero Oceanográfico Sur de la Marina de Guerra del Perú en las estaciones del Callao, Bermejo, Chimbote, Chicama, Punta Falsa y Paita, en el muestreo del año 2012.
- Determinar la correlación entre el conjunto de variables *fisicoquímicas* con el conjunto de variables *nutrientes*, mediante el análisis de correlación canónica del enfoque multivariado; a partir de los datos obtenidos de la Bitácora del Crucero Oceanográfico Sur de la Marina de Guerra del Perú en las estaciones del Callao, Bermejo, Chimbote, Chicama, Punta Falsa y Paita, en el muestreo del año 2014.
- Determinar la correlación entre el conjunto de variables *temperatura* y el conjunto de variables *salinidad* en forma conjunta en los 8 perfiles oceanográficos (5mn, 20mn, 40mn, 60mn, 90mn, 120mn, 160mn, y 200mn), y en particular en los perfiles oceanográficos a 5mn y 200mn, mediante el análisis de correlación canónica del enfoque multivariado; a partir de los datos de la Bitácora del Crucero Oceanográfico Sur de la Marina de Guerra del Perú en las estaciones de San Juan, Callao, Chimbote, Chicama, Punta Falsa y Paita, en el muestreo del año 2011.

1.3 Formulación de la hipótesis de investigación

Kant explica la noción de hipótesis en los siguientes términos: “Una hipótesis es un tener por verdadero el juicio de la verdad de una causa por la suficiencia de las consecuencias, o más brevemente: el tener por verdadero de un supuesto como fundamento (Grund)”. Según lo dicho en el texto, al formular hipótesis, un determinado sujeto da por verdadera una proposición arguyendo como razón una determinada serie de consecuencias, que son suficientes para el asenso, pero no para convertir ese asenso en saber. Entonces, lo que determina el tener por verdadero de una hipótesis es la conexión o armonía de ésta con los efectos observados, en la medida en que éstos son, a su vez, comprendidos como consecuencias que quedan explicados por la hipótesis (Reyna, 2023).

En el contexto de la presente investigación comprender el medioambiente marino y sus ecosistemas es comprender nuestros océanos y mares, en cierta manera es comprender nuestro planeta. Es decir, se trata de conocer tanto el medio físico como los componentes biológicos que se encuentran en el mismo, así como las relaciones e interacciones entre todos ellos. El conocimiento, por lo tanto, debe ser global y debe hacerse progresivamente. En cualquier caso, se necesitan conocimientos prácticamente de todas las áreas ya que el estudio del medio marino es multidisciplinario. Por citar algunas materias: geología marina, los ciclos biogeoquímicos, química de contaminantes, oceanografía física y operacional, fisiología animal y vegetal, taxonomía, ecología de poblaciones, ecología marina, bioeconomía de explotación de recursos vivos, ingeniería naval, ingeniería en telecomunicación y sensorica submarina, observación desde satélites, análisis de grandes bases datos.

La presente investigación está orientada y delimitada hacia la búsqueda de la solución del problema de investigación, por ello se plantean las siguientes hipótesis.

1.3.1 Hipótesis general

Existe una correlación significativa entre el conjunto de variables *fisicoquímicas* y el conjunto de *nutrientes* en el ecosistema marino costero peruano, mediante el análisis de correlación canónica del enfoque multivariado; a partir de los datos de la Bitácora del Crucero Oceanográfico Sur de la Marina de Guerra del Perú, en las estaciones localizadas en San Juan, Callao, Bermejo, Chimbote, Chicama, Punta Falsa y Paita en el muestreo realizado en los años 2011, 2012 y 2014.

1.3.2 Hipótesis específicas

- Existe correlación significativa entre el conjunto de variables *fisicoquímicas* y el conjunto de *nutrientes*, mediante el análisis de correlación canónica del enfoque multivariado; a partir de los datos de la **Bitácora del Crucero Oceanográfico Sur de la Marina de Guerra del Perú**, en las estaciones del Callao, Bermejo, Chimbote, Chicama, Punta Falsa y Paita en el muestreo del año 2012.
- Existe correlación significativa entre el conjunto de variables *fisicoquímicas* y el conjunto de *nutrientes*, mediante el análisis de correlación canónica del enfoque multivariado; a partir de los datos de la **Bitácora del Crucero Oceanográfico Sur de la Marina de Guerra del Perú**, en las estaciones del Callao, Bermejo, Chimbote, Chicama, Punta Falsa y Paita en el muestreo del año 2014.

- Existe correlación significativa entre el conjunto de variables *temperatura* y el conjunto de variables *salinidad* en forma conjunta en los 8 perfiles oceanográficos (5mn, 20mn, 40mn, 60mn, 90mn, 120mn, 160mn, y 200mn), así como, en los perfiles oceanográficos a 5mn y 200mn, mediante el análisis de correlación canónica del enfoque multivariado; a partir de los datos de la Bitácora del Crucero Oceanográfico Sur de la Marina de Guerra del Perú en las estaciones de San Juan, Callao, Chimbote, Chicama, Punta Falsa y Paita, en el muestreo del año 2011.

1.4 Justificación e importancia

A través del tiempo la necesidad de aumentar la capacidad de observación del ecosistema marino costero para su mejor entendimiento ha impulsado un gran desarrollo instrumental para determinar con mayor precisión las altas densidades en las cercanías de frentes oceánicos y zonas de surgencia (IMARPE,2000). Así como, conocer el estado de salud de los ecosistemas marinos y costeros; este conocimiento debe permitir identificar y priorizar las acciones necesarias para solucionar los problemas diagnosticados; fortalecer o crear los organismos y mecanismos necesarios para lograr la gestión concertada entre las Naciones de la Comunidad Andina para su implementación; establecer mecanismos y sistemas para que la implementación de las acciones necesarias sea exitosa; y, finalmente formar profesionales en las diferentes áreas de las ciencias básicas, sociales, económicas y jurídicas para generar el conocimiento necesario con el propósito de mantener, proteger, conservar, restaurar y monitorear los ecosistemas marinos y costeros, sus especies y funciones ecológicas (Cortes et al, 2020).

La presente investigación tiene una **justificación teórica**, debido a que desde un enfoque multivariante mediante el análisis de correlación canónica se ha encontrado pares de variables canónicas con la más alta correlación entre ellas, evidenciando una correlación significativa entre el conjunto de variables fisicoquímicas y el conjunto de nutrientes. Los estudios encontrados respecto al análisis de las variables fisicoquímicas y nutrientes abordan la correlación entre ellas desde el punto de vista bivariante mediante el coeficiente de correlación de Pearson.

Asimismo, esta investigación tiene una **justificación metodológica**, por el abordaje de la metodología de correlación canónica, estimación y prueba de hipótesis pertinentes para analizar los dos conjuntos de variables: fisicoquímicas (temperatura, salinidad, pH y oxígeno) y nutrientes (silicatos, fosfatos, nitritos y nitratos); el análisis clúster mediante el dendrograma para la validez del conjunto de variables fisicoquímicas y el conjunto de variables nutrientes; así como también, los boxplots del análisis exploratorio de datos para conocer a priori el comportamiento de las variables en estudio.

Respecto a la **justificación práctica**, los métodos estadísticos aplicados en particular los resultados obtenidos mediante el análisis de correlación canónica para determinar la correlación entre las variables fisicoquímicas y nutrientes ha permitido encontrar pares de variables canónicas que evidencian una alta correlación; además, se puede validar la significación de estas correlaciones y ampliar el conocimiento de una relación bivariante a multivariante.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

A continuación, se presentan algunas investigaciones que guardan concordancia con el presente estudio:

2.1.1 Antecedentes Internacionales

- **Kaymaz SM.** (2018), realizó un estudio que tuvo como objetivo monitorear y modelar la calidad ecológica de la bahía de Marmaris, con especial atención en los antropogénicos procedente del medio ambiente, la comprensión de los efectos de la contaminación del ecosistema acuático, marinas y el efecto del turismo en la bahía investigando los principales parámetros fisicoquímicos. Para el análisis de datos utilizaron el análisis de componentes principales y análisis factorial. Asimismo, mediante el análisis de regresión múltiple las determinaron las relaciones entre los parámetros de calidad del agua.
- **Gandini M., Usunoff E.** (2011), realizaron una investigación en la que concluyeron que el análisis de correlación canónica proporciona una aproximación para la interpretación de mapas generados por medio de sensores remotos. En este caso, la variación temporal de una variable usada ampliamente para describir la dinámica de los ecosistemas como el NDVI, se correlaciona con las variables ambientales.
- **Casanova R., Suarez N., Zambrano M.** (2009), realizaron una investigación que les permitió concluir que en las bahías estudiadas la

variabilidad espacial de los niveles para algunos parámetros fisicoquímicos evaluados como el oxígeno disuelto, la salinidad, el pH y la transparencia, aumentaron gradualmente desde la desembocadura de los ríos hacia mar adentro; comportamiento contrario al presentado por los nutrientes, la clorofila-a, los sólidos suspendidos y la demanda bioquímica de oxígeno. Concluyendo que este comportamiento es consecuencia de la interacción entre las actividades antrópicas y los fenómenos meteomarineros que se presentan en el Pacífico colombiano.

- **Yacini (2002)**, en su tesis presentada para obtener el grado de Oceanóloga, encontró que en el mes de marzo, junio y julio la salinidad fue aumentando desde la boca de la bahía hacia los extremos de la misma, lo cual indica que la bahía es un sistema antiestuarino; por otro lado, la variación diurna de la salinidad está correlacionada con el ciclo de la marea. En el mes de marzo los valores de la salinidad se mantuvieron entre 33 y 33.7, con relación a la distribución de pH y el oxígeno se observa como en la zona media de la BSQ el oxígeno aumenta y esto coincide con los máximos de pH en los meses de julio y noviembre. En el mes de junio la máxima concentración de oxígeno se encuentra en la zona intermedia de la BSQ y en la boca de la laguna, en tanto que el máximo valor de pH se localizó en la parte interna de BF; este máximo se puede deber a la remineralización de la materia orgánica que se encuentra en exceso, ya que es la zona de cultivo de ostiones.

La distribución de NO_2^- y NO_3^- en las diferentes estaciones del año reportadas en el presente trabajo, muestran que hay una mayor concentración de NO_3^- que de NO_2^- , por lo que hay una relación inversa

entre ambos. La concentración de PO₄⁻ incrementa desde la boca de la bahía hacia los extremos internos presentando máximos valores de concentración en bahía falsa. La salinidad también dependerá de la marea ya que, sin esta, los tiempos de residencia serían mayores y las concentraciones de salinidad serían aún más altas. Los máximos de pH y O₂ se relacionan con zonas donde es más fuerte el efecto de la fotosíntesis. Las variaciones en la AT se relacionan con la cantidad de materia orgánica acumulada en el sedimento y el tiempo de residencia. Las concentraciones de nutrientes (NO₂, NO₃ y PO₄) indican que estos en su mayoría son controlados por procesos de remineralización. Por otro lado, los nutrientes incluido el SiO se encuentran en mayores concentraciones en el brazo oeste y en la entrada del brazo este, esto nos podría indicar que hay un mayor intercambio de agua con el océano adyacente lo cual provoca una mayor resuspensión de sedimentos. Sin embargo, lo que predomina en Bahía San Quintín son los efectos de surgencia y marea, estos son los que muestran cambios significativos en las variables analizadas.

- **Locarnini**, (2001). WORLD OCEAN DATABASE (2001) Volume 4: Temporal Distribution of Temperature, Salinity and Oxygen Profiles.

Los datos de estaciones oceánicas (OSD) históricamente se han referido a mediciones realizadas a partir de un instrumento de investigación estacionario. En este estudio se utilizaron termómetros inversos para medir la temperatura y realizar mediciones de otros variables como salinidad, oxígeno, nutrientes, clorofila, entre otras en muestras de agua de mar recolectadas mediante botellas especiales. Las dos botellas más utilizadas son las botellas Nansen y Nisken. Se organizaron "Archivo de datos de

botella". WOD01 que incluye la distribución univariante de la temperatura, salinidad, oxígeno, nitrato, fosfato, silicato, pH, alcalinidad, clorofila y plancton; además, de mostrarlo gráficamente.

- **Akselman, R.** (1996), en su tesis presentada para obtener el grado de Doctor en Ciencias Biológicas de la Universidad de Buenos Aires, entre sus conclusiones señaló que en el Golfo San Jorge y adyacencias (Atlántico Sudoccidental) la abundancia y variación estacional del fitoplancton tiene relación con los factores físico-químicos, y una asociación positiva entre salinidad y temperatura. Además, mediante diagramas de dispersión de la temperatura versus la salinidad clasificó la temperatura en tres estratos: (a) temperaturas de 36,37 y 39 que se asocian con valores elevados de salinidad (superiores 33.4 ups) (b) temperaturas de 25, 26, 29, 31, 32, 33, y 35 asociados con valores de salinidad cercanos a 32 ups ($31.5 < S < 32.5$)
- Los valores de correlación calculados en los estratos analizados fueron siempre positivos, sin embargo, en la capa superior entre 0 y 30 m son más homogéneos y tienen un promedio mayor ($r = 0,67$) que en el estrato de 50 m. Esta conducta en dos capas es estadísticamente significativa, indicando una estrecha asociación entre la salinidad y la temperatura en la capa superior, y una correlación no significativa entre las variables en la capa inferior. En la columna de agua y para ambas variables la correlación es baja. Los valores del estrato de fondo se apartan sensiblemente de los del resto de la columna de agua, no permitiendo conclusiones el escaso número de datos.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

– **Flores J.** (2017), realizó una investigación en la que se eligió el análisis factorial y el análisis de clúster jerárquico para analizar la eficacia de la red de monitoreo de calidad del agua de la cuenca del río Jequetepeque y los resultados permitieron plasmar las características esenciales de la calidad del agua en la cuenca, las cuales se pueden resumir en dos grupos de estaciones de monitoreo, un grupo ubicado en la parte alta de la cuenca y otro grupo ubicado en la parte baja de la cuenca, y en cuatro grupos de parámetros, el grupo de metales trazas y el grupo de coliformes fecales distribuidos principalmente en la parte alta de la cuenca, otro grupo de parámetros vinculados a la salinización distribuidos en la parte baja de la cuenca, y los sólidos suspendidos distribuidos en toda la cuenca, concluyeron que guarda relación con las características geológicas y antropogénicas que influyen en las variaciones de la calidad del recurso hídrico en la cuenca del río Jequetepeque.

–**Flores R., Espino M., Luque G. Quispe J.** (2013), realizaron una investigación en la cual describieron los escenarios ambientales existentes en el mar peruano y los patrones de variabilidad imperantes, a partir del análisis de información obtenida in situ en los últimos 50 años por el Instituto del Mar del Perú (IMARPE) en sus cruceros de investigación oceanográfica, cruceros de evaluación de recursos pesqueros, cruceros de investigación internacionales, y otras publicaciones orientadas al conocimiento del mar peruano y sus recursos.

– **Morón, O., Sarmiento,** (2000), realizaron un trabajo a bordo de los BICs José Olaya Balandra y SNP-2 entre el 25 de noviembre y 14 de diciembre de 1999. Se basa principalmente en datos de temperatura y salinidad relacionados con el oxígeno, los mismos que han sido analizados, procesados e integrados durante el recorrido. Realizaron también 5 perfiles oceanográficos entre 80 y 110 mn de la costa y hasta 150m de profundidad frente a Punta Falsa, Pacasmayo, Chimbote, Callao y Pisco obteniéndose información de la temperatura, salinidad y muestras de agua para el análisis de oxígeno, nutrientes, clorofila y fitoplancton cuantitativo de las botellas de Niskin. Además, señalaron que al sur de Huarmey se realizaron un perfil oceanográfico hasta 60mn.

2.2 Marco conceptual

2.2.1 Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina Guerra

En el Perú, la Dirección de Hidrografía y Navegación DIHIDRONAV de la Marina de Guerra del Perú a través del Departamento de Oceanografía y sus divisiones de Oceanografía física, meteorología marina, modelamiento numérico y laboratorio químico desarrolla actividades de recopilación, análisis y procesamiento de información. Los resultados de los trabajos técnicos, investigación y monitoreo de las condiciones oceanográficas, meteorológicas y modelamiento y otras actividades de responsabilidad del Sistema de Información Oceanográfica son de utilidad para el planeamiento operacional de la Institución y sector productivo del país, contribuyendo a la prevención de desastres naturales. Asimismo, los cruceros oceanográficos se realizan con la finalidad de recolectar datos de la temperatura, salinidad,

oxígeno y pH entre otras, así como de los nitritos, nitratos, fosfatos y silicatos en las líneas oceanográficas de Talara, Paita, Pta. Falsa, Pimentel, Chicama, Chimbote, Bermejo, Callao, Pisco, San Juan, Ático e Ilo. Este crucero permitirá realizar el monitoreo de las condiciones oceanográficas del Fenómeno "El Niño", el cual brindará un valioso aporte al Comité Científico del Estudio Nacional del Fenómeno del Niño (ENFEN), encargado de monitorear las variables del fenómeno "El Niño" y "La Niña" para su difusión a la comunidad científica nacional e internacional.

2.2.2 Crucero oceanográfico

Los cruceros oceanográficos se realizan con la finalidad de recolectar datos en las líneas oceanográficas de Talara, Paita, Pta. Falsa, Pimentel, Chicama, Chimbote, Bermejo, Callao, Pisco, San Juan, Ático e Ilo. Este crucero permitirá realizar el monitoreo de las condiciones oceanográficas del Fenómeno "El Niño", el cual brindará un valioso aporte al Comité Científico del Estudio Nacional del Fenómeno del Niño (ENFEN), encargado de monitorear las variables del fenómeno "El Niño" y "La Niña" para su difusión a la comunidad científica nacional e internacional.

2.2.3 Oceanografía

La oceanografía se define como el estudio de todos los procesos químicos, biológicos y físicos que se dan en los océanos y mares del planeta. El estudio abarca el conocimiento de la composición y evolución química del agua del mar y sus procesos químicos; el equilibrio dinámico de los sistemas químicos, los ciclos químicos, las relaciones entre los fenómenos físicos, geológicos y

biológicos con la química del mar, la relación entre los componentes químicos del agua del mar con la abundancia de organismos, el intercambio entre el océano y la atmósfera y los efectos de la eliminación de desechos al mar. Los conceptos y métodos de esta ciencia están experimentando cambios trascendentales en la actualidad debido al avance científico y tecnológico que permite que la información recibida puede ser usada para modelar las características estructurales y físicas de las capas y determinar su composición (DIHIDRONAV-Dirección de Hidrografía y Navegación).

2.2.4 Ecosistema marino

Un ecosistema es un sistema dinámico constituido por una comunidad de organismos, como las plantas y animales, con su medio ambiente. Los ecosistemas marinos están formados por plantas y animales que viven en el agua del mar e interaccionan entre sí, desde los más pequeños o microscópicos, hasta los más grandes. Las personas también formamos parte de los ecosistemas, y tenemos que proteger y respetar las interacciones de vida para que no se dañen y exista un balance saludable de especies y florezca la vida. Puede mencionarse algunas actividades que representan una amenaza a los distintos ecosistemas marinos: Lanzar desperdicios como botellas y bolsas plásticas, la sobrepesca, construir cerca del mar sin considerar el ecosistema, usar fertilizantes, deforestación, incumplimiento de reglas establecidas en las reservas marinas. El Instituto del Mar del Perú (IMARPE), cuenta con un Área Funcional de Investigación Marino Costera (AFIMC) que contribuye con estudios de los diversos usos de los ecosistemas marinos costeros, bajo un enfoque ecosistémico (IMARPE, 2000).

2.2.5 Variables fisicoquímicas

2.2.5.1 Temperatura

Es una cantidad física que caracteriza el movimiento randómico medio de las moléculas en un cuerpo físico. También sabemos por la Ley 0 de la termodinámica que 2 cuerpos que están en contacto térmico tienden a equilibrar su temperatura. Por lo tanto, la temperatura representa el estado termodinámico de un cuerpo y su valor es determinado por la dirección del flujo neto de calor entre dos cuerpos. Sin embargo, el estado térmico de un cuerpo no es medible, pero si tiene un orden (menor, mayor). Para solucionar esto es que se define una escala. Se llama escala de temperaturas y el número asignado a cada estado térmico será la temperatura correspondiente (IMARPE, 2011). Para definir la escala de temperaturas necesitamos determinar puntos fijos y para ello generalmente se utiliza el cambio de estado de sustancias. En general se usan el punto de ebullición a presión normal y el de fusión del agua destilada a presión normal. El primero corresponde en la escala centígrada a una temperatura de 100 °C y el segundo a 0°C. Una vez que se han fijado los niveles de la columna de mercurio en estos puntos, se divide en 100 partes iguales, donde cada una de estas representa un cambio de temperatura equivalente a un grado Celsius. Así se define una escala de temperatura llamada escala centígrada o escala Celsius (Morón, 2000).

2.2.5.2 Salinidad

Es una medida de la cantidad de sales disueltas en el agua del océano; definido en términos de la conductividad de una solución salina definida; no tiene unidades, pero es casi igual al peso en gramos de sales disueltas por

kilogramo de agua de mar. La concentración natural de sales en el agua. Esto está influenciado por las formaciones geológicas subyacentes al área. La salinidad es menor en áreas sustentadas por formaciones ígneas y mayor en áreas sustentadas por formaciones sedimentarias. Las concentraciones de sal más altas también son más probables en las regiones áridas donde el agua se evapora dejando la misma cantidad de sal en menos agua y, por lo tanto, aumentando la salinidad (Morón, 2000).

2.2.5.3 Oxígeno disuelto

Es la medida de la concentración de oxígeno bajo el agua usando como referencia el 100% de saturación de oxígeno en el aire. La cantidad de oxígeno disuelto en agua tiene una gran incidencia en el desarrollo de la vida y de muchos procesos biológicos en la vida acuática. Los organismos acuáticos necesitan de oxígeno para desarrollar sus funciones vitales y su captación se realiza a través de la respiración. Este es uno de los parámetros más indispensables en los estudios de la calidad del agua. El oxígeno disuelto en agua varía de forma inversamente proporcional a la temperatura, implica menor concentración de oxígeno disuelto en el agua. Este hecho podría explicar la mayor mortalidad de peces en verano (IMARPE,2011).

El oxígeno es un oxidante que se encuentra en la atmósfera y juega un papel muy importante en las reacciones de oxidación- reducción acuosas, así como también en la respiración microbiana. Este parámetro es un indicador de la capacidad de un cuerpo de agua para mantener la vida acuática. El oxígeno disuelto debe expresarse en porcentaje de saturación, ya que el oxígeno disuelto varía mucho en función de la temperatura y de la altitud, es decir el oxígeno para una temperatura ambiente oscila en un rango de 9.2

mg/l a nivel del mar, 8.6 mg/l para 500 m de altitud y 7.4 mg/L para 100m de altitud. Se considera agua de muy mala calidad en el rango de 0 a 4 mg/L y es aceptable entre los valores de 4.1- 7.9 mg/L y los valores óptimos entre 8 y 12 mg/l.

Debe señalarse además que, el oxígeno disuelto es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios, así como para otras formas de vida. Sin embargo, el oxígeno es sólo ligeramente soluble en agua. La cantidad real de oxígeno y otros gases que pueden estar presentes en la solución viene acondicionada por los siguientes aspectos: solubilidad del gas, presión parcial del gas en la atmósfera; temperatura, y pureza del agua. Dado que evita la formación de olores desagradables en las aguas residuales, es deseable y conveniente disponer de cantidades suficientes de oxígeno disuelto (Morón,2000). Las deficiencias de oxígeno disuelto posibilitan el desprendimiento de hierro y manganeso y su disolución causando, posibles problemas en el tratamiento de las aguas. El sabor y olor son también un riesgo en ausencia de oxígeno disuelto, a causa de la potencial producción de sulfuro de hidrogeno y otros compuestos de azufre. La putrefacción de la materia orgánica en el agua produce una disminución de la cantidad de oxígeno (la cual es evaluada mediante la Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO) que causa graves daños a la flora y fauna acuática, pero que desaparece al término del proceso de putrefacción (DIHIDRONAV).

2.2.5.4 Potencial de hidronio: pH

El conocimiento del pH del agua del mar tiene importancia en biología marina, debido a que muchos fenómenos biológicos están regulados por este parámetro, llegando incluso a influenciar en la migración de muchas de

ellas. Los valores de pH del agua de mar oscilan generalmente entre 7.5 y 8.4 es decir, el agua de mar es un poco alcalina, cuyos valores más altos es frecuente encontrarlos en superficie. En la superficie, dada una situación de equilibrio entre el CO₂ disuelto y el atmosférico, es decir, sin posibilidad de incremento del primero, los valores del pH suelen oscilar entre 8.1 y 8.3 en la cual si en esas condiciones, hay además una activa función fotosintética, con el consiguiente decrecimiento del CO₂, el pH puede subir aún más. Por debajo de la zona eufótica (zona en la que penetra la luz), en la que el O₂ ha sido consumido y las cantidades de CO₂ alcanzan su máximo valor, a unos 800 m de profundidad, se alcanzan los mínimos valores normales de pH, que son de 7.5, solo superados en ausencia total de O₂ y en determinados tipos de agua y fondos donde hay producción de ácido sulfhídrico, llegándose entonces hasta valores de 7.0. El valor de pH del agua de mar depende fundamentalmente de la cantidad total de CO₂, temperatura, salinidad, presión y actividad biológica como la función fotosintética (Flores, 2021).

2.2.6 Nutrientes

En el medio marino, los nutrientes más importantes son las sales inorgánicas de nitrógeno y fósforo, aunque existen otras que, incluso, se convierten en elementos fundamentales para el desarrollo de determinados organismos marinos (microorganismos), como es el silicato para las diatomeas y flagelados (IMARPE, 2011). La presencia de nutrientes en el agua de mar es otro importante indicador para evaluar la calidad del agua y la presencia o ausencia de vegetación marina. El abastecimiento a las capas superficiales de grandes cantidades de nutrientes está limitado por la aparición de la

picnoclina o capa de cambio brusco de densidad. Entre los principales nutrientes tenemos: fosfatos, silicatos, nitratos y nitritos. En la costa peruana, existe una gran concentración de nutrientes proveniente del transporte de agua de mezcla, pero principalmente a la regeneración de nutrientes en la zona eufótica y al afloramiento de aguas profundas ricas en nutrientes (DIHIDRONAV).

El principal elemento de estos nutrientes es el nitrógeno, cuyo ciclo en el mar es complejo. Este elemento se encuentra en estado gaseoso en la atmósfera y parte de este se encuentra disuelto en el agua del mar; químicamente es muy estable y el que está en el mar responde con facilidad a una multitud de reacciones químicas y biológicas, encontrándose, generalmente, en forma de nitritos y de nitratos gracias a la acción de las bacterias; estos compuestos son fácilmente asimilables por los vegetales verdes. Este nitrógeno asimilado representa el 35% del total del océano y el otro 65% se presenta en forma de nitrógeno gaseoso. La provisión y distribución del total de nitrógeno se lleva a cabo por los aportes continentales, por las corrientes oceánicas y por las excreciones y muerte de los vegetales y animales marinos. El nitrógeno llega en forma de compuestos nitrogenados no asimilables, pero gracias a la acción de las bacterias y de las algas verde-azules, durante el proceso llamado nitrificación, se transforman en nitrógeno soluble, que es fijado por los vegetales verdes para formar nuevamente materia orgánica, la que es aprovechada por ellos o por los animales cuando se los comen, repitiéndose el ciclo (Morón, 2000).

2.2.6.1 Nitratos

Los nitratos adquieren mucha importancia, cuando las costas presentan reducida la plataforma continental, debido a que los vientos predominantes originan afloramientos de aguas profundas ricas en nutrientes. Frente a la costa peruana, el rango de concentración de nitratos es de 0,5 a 20 $\mu\text{g/l}$ hasta las 50 millas náuticas de la costa y más allá los valores disminuyen hasta casi cero. El afloramiento costero controla la distribución de los nutrientes, coincidiendo áreas aisladas con valores altos de nitratos con áreas de afloramiento costero. La distribución estacional de los nitratos coincide con la de los fosfatos, presentándose valores altos para el invierno, mayores a 20 $\mu\text{g/l}$ y valores menores a 1,0 $\mu\text{g/l}$ en verano, valores de 5 $\mu\text{g/l}$ de nitratos se presentan en aguas homogéneas en la costa peruana (IMARPE, 2011).

2.2.6.2 Nitritos

Otro nutriente de importancia en la productividad marina es el nitrito, compuesto indispensable para mantener a las poblaciones de fitoplancton. La cantidad de nitritos en el agua de mar es pequeña en comparación con los nitratos y algo menor que el amoníaco, en la cual, el nitrito ocupa un lugar intermedio entre el amoníaco y el nitrato. La concentración de nitrito puede ser un indicador de la inestabilidad del sistema. El nitrito se forma por oxidación del amoníaco o por reducción del nitrato (IMARPE, 2011)

La distribución superficial del nitrito está influenciada por la excreción de nitrito extracelular del fitoplancton, la que es intensa cuando las células deficientes en nitrógeno se hallan en un exceso de nitrato, ante

una reducida intensidad de luz. En el mar peruano las concentraciones de nitritos disminuyen a medida que se van alejando de la costa, manteniéndose con un rango de 0.1 a 1.6 $\mu\text{g/l}$ dentro de las 50 millas, encontrándose valores por debajo de los límites de detección, a mayor distancia de la costa (Flores, 2021).

2.2.6.3 Fosfatos

Los fosfatos, se encuentran disueltos en el agua marina, en la forma de metafosfato cálcico. Para el agua con una salinidad de 35,0639 partes por mil se tiene 0.0156 g/l de metafosfato cálcico. Su presencia es importante porque es un elemento imprescindible en la síntesis de la materia orgánica en el mar y es muy utilizado por el fitoplancton (plancton vegetal). La escasez de fosfatos en zonas de actividad fotosintética limitaría la productividad primaria, sobre todo en el verano, incidiendo directamente en la vida marina. La distribución de los fosfatos en el mar es muy variada, en dependencia con las fluctuaciones en la producción fitoplanctónica y consecuentemente con la profundidad. Frente a las costas peruanas se produce el fenómeno del afloramiento a la superficie de aguas profundas; la renovación de los fosfatos es más intensa y como consecuencia de ello existe una mayor producción del fitoplancton (producción primaria) y, consecuentemente, del resto de las especies dentro del ciclo de vida acuática o la cadena trófica (IMARPE, 2011).

Generalmente existen dos afloramientos anuales que coinciden con las estaciones de primavera y otoño. Este periodo de explosión fitoplanctónica trae como consecuencia una disminución del fósforo

existente en el mar, ya que el intenso consumo no puede ser compensado por nuevos aportes a la misma velocidad.

2.2.6.4 Silicatos

Los compuestos de silicio son importantes para las diatomeas y radiolarios, también forman parte del plancton quienes concentran los silicatos para formar sus estructuras sólidas (caparazones y conchas). El silicio entra en combinaciones diversas en el agua de mar (silicatos), presentando proporciones variadas. El silicio, al igual que el nitrógeno y el fósforo, también está ampliamente distribuido en el océano y se presenta mayoritariamente en forma de silicato disuelto y como componente de partículas arcillosas (IMARPE, 2011). Sin embargo, efectos físicos como la precipitación y descomposición de organismos muertos y fenómenos de surgencia, provocan la redistribución de estos compuestos en la columna de agua. Gran parte de la fracción particulada es aquella producida por la erosión climática sobre las rocas, siendo éstas transportadas hacia el mar por los ríos o el viento. A medida que estas partículas se precipitan hacia el fondo del mar reaccionan con el sedimento presente para formar minerales. El mar contiene varios grupos de vegetales, como diatomeas, y animales como radiolarios y esponjas, que tienen esqueletos o estructuras silíceas y, por lo tanto, consumen sílice del agua. Al morir se precipitan y sus restos blandos se disuelven lentamente a medida que caen. Algún mecanismo debe proteger la sílice de los organismos vivos, ya que ésta es insoluble en agua de mar mientras

los organismos viven, pero tan pronto como mueren sus estructuras se disuelven (IMARPE,2011).

La distribución de los silicatos presenta valores bajos en la superficie y aumenta su concentración con la profundidad. En la superficie del mar, se encuentran concentraciones de hasta 40 $\mu\text{g/l}$, en los ciclones de grandes latitudes, de 12 $\mu\text{g/l}$ en las áreas de afloramiento de California y de 20 $\mu\text{g/l}$ en las áreas de afloramiento del Perú. Frente a la costa peruana, el rango es de 20 a 0 $\mu\text{g/l}$, al oeste de los 86° latitud oeste; para las franjas costeras del norte se mantiene entre 20 y 4 $\mu\text{g/l}$. Las concentraciones promedio estacional de los silicatos, muestran valores mayores de 25 $\mu\text{g/l}$ en invierno, mientras que, en el verano y el otoño los valores se presentan bajos, fluctuando entre 1 a 10 $\mu\text{g/l}$. En todos los registros, las más altas concentraciones se encuentran cerca de la costa y en las áreas de afloramiento costero (DIHIDRONAV).

2.2.7 Análisis de Correlación Canónica

El análisis de correlación canónica (ACC) es una técnica estadística que identifica una secuencia de pares de patrones en dos conjuntos de datos multivariados, y construye conjuntos de variables proyectando los datos originales en estos patrones (Mardia, 1980). Por tanto, el enfoque tiene alguna similitud con PCA, que busca patrones dentro de un único conjunto de datos multivariados que representan cantidades máximas de variación en los datos. En el ACC, los patrones se eligen tal que las nuevas variables definidas por la proyección de los dos conjuntos de datos sobre ellas exhiban una correlación máxima, mientras que no está correlacionada con las

proyecciones de los datos en cualquier de los otros patrones identificados. Es decir, ACC identifica nuevas variables que maximizan la interrelaciones entre dos conjuntos de datos, en contraste con los patrones que describen la variabilidad dentro de un único conjunto de datos identificado en PCA (Anderson, 2003a).

El ACC también puede verse como una extensión de la regresión múltiple. La regresión encuentra un promedio ponderado, o patrón, del vector de variables predictoras X . En este escenario, el vector X contiene observaciones de una variable en una colección de puntos de cuadrícula o ubicaciones, y el vector y contiene observaciones de diferentes variables en un conjunto de ubicaciones que pueden o no ser las mismas que las representadas en X . Normalmente, los datos consisten en series de tiempo de observaciones de los dos campos (Mardia, 1980).

El ACC involucra la partición de un grupo de variables en dos conjuntos, un conjunto X y un conjunto Y . El objetivo es encontrar una combinación $\eta = a'X$ y $\phi = b'Y$ tal que η y ϕ tienen la más alta correlación posible. Tales combinaciones lineales dan una visión de las relaciones entre los dos conjuntos de variables.

El ACC tiene ciertas propiedades que son similares a aquellas que se cumplen en el análisis de componentes principales. Sin embargo, mientras que en el análisis de componentes principales se considera interrelaciones dentro de un conjunto de variables, el análisis de correlación canónica se enfoca en la relación entre dos grupos de variables.

Desarrollo matemático

Análisis de correlación canónica poblacional.

Se considera que \mathbf{x} es un vector aleatorio q-dimensional y \mathbf{y} un vector aleatorio p-dimensional. Bajo el supuesto que \mathbf{x} y \mathbf{y} tienen medias $\boldsymbol{\mu}$ y $\boldsymbol{\nu}$, y que,

$$E\{(\mathbf{X} - \boldsymbol{\mu})(\mathbf{X} - \boldsymbol{\mu})'\} = \boldsymbol{\Sigma}_{11},$$

$$E\{(\mathbf{Y} - \boldsymbol{\nu})(\mathbf{Y} - \boldsymbol{\nu})'\} = \boldsymbol{\Sigma}_{22},$$

$$E\{(\mathbf{X} - \boldsymbol{\mu})(\mathbf{Y} - \boldsymbol{\nu})'\} = \boldsymbol{\Sigma}_{12} = \boldsymbol{\Sigma}'_{21}.$$

Se considera ahora las dos combinaciones lineales $\eta = \mathbf{a}'\mathbf{X}$ y $\phi = \mathbf{b}'\mathbf{Y}$. La correlación entre η y ϕ está dada por,

$$\rho(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = \frac{\mathbf{a}'\boldsymbol{\Sigma}_{12}\mathbf{b}}{(\mathbf{a}'\boldsymbol{\Sigma}_{11}\mathbf{a}\mathbf{b}'\boldsymbol{\Sigma}_{22}\mathbf{b})^{1/2}}$$

Se utiliza la notación $\rho(\mathbf{a}, \mathbf{b})$ para enfatizar el hecho que esta correlación varía de acuerdo con los valores de \mathbf{a} y \mathbf{b} .

La pregunta ahora sería cuáles son los valores de \mathbf{a} y \mathbf{b} que maximizan $\rho(\mathbf{a}, \mathbf{b})$. El problema consiste en solucionar,

$$\max_{\mathbf{a}, \mathbf{b}} \mathbf{a}'\boldsymbol{\Sigma}_{12}\mathbf{b} \text{ sujeto a } \mathbf{a}'\boldsymbol{\Sigma}_{11}\mathbf{a} = \mathbf{b}'\boldsymbol{\Sigma}_{22}\mathbf{b} = 1$$

Porque no depende de la escala de medición de \mathbf{a} y \mathbf{b} .

La solución para este problema está dada mediante el Teorema 1.1.1. Primero es necesario tener en cuenta la siguiente notación.

Se considera que $\boldsymbol{\Sigma}_{11}$ y $\boldsymbol{\Sigma}_{22}$ son no singulares y que:

$$\mathbf{K} = \boldsymbol{\Sigma}_{11}^{-1/2} \boldsymbol{\Sigma}_{12} \boldsymbol{\Sigma}_{22}^{-1/2} .$$

Entonces,

$$\mathbf{N}_1 = \mathbf{K}\mathbf{K}', \quad \mathbf{N}_2 = \mathbf{K}'\mathbf{K}$$

y

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{M}_1 &= \boldsymbol{\Sigma}_{11}^{-1/2} \mathbf{N}_1 \boldsymbol{\Sigma}_{11}^{1/2} = \boldsymbol{\Sigma}_{11}^{-1} \boldsymbol{\Sigma}_{12} \boldsymbol{\Sigma}_{22}^{-1} \boldsymbol{\Sigma}_{21} \\ \mathbf{M}_2 &= \boldsymbol{\Sigma}_{22}^{-1/2} \mathbf{N}_2 \boldsymbol{\Sigma}_{22}^{1/2} = \boldsymbol{\Sigma}_{22}^{-1} \boldsymbol{\Sigma}_{21} \boldsymbol{\Sigma}_{11}^{-1} \boldsymbol{\Sigma}_{12} \end{aligned} \right]$$

Debe observarse que las matrices \mathbf{N}_1 y \mathbf{M}_1 son de orden $(q \times q)$, y que las matrices \mathbf{N}_2 y \mathbf{M}_2 son de orden $(p \times p)$. De acuerdo con el Teorema A.6.2 (Mardia, 1982), $\mathbf{M}_1, \mathbf{N}_1, \mathbf{M}_2$ y \mathbf{N}_2 tienen los mismos autovalores diferentes de cero. Además, $\mathbf{N}_1 = \mathbf{K}\mathbf{K}'$ es una matriz definida positiva lo cual implica que sus autovalores son estrictamente mayores que cero. Entonces,

$$k = \text{rango}(\mathbf{K}) = \text{rango}(\boldsymbol{\Sigma}_{12})$$

Por simplicidad se considerará que todos los autovalores son diferentes y que se cumple:

$$\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_k > 0.$$

Por el Teorema de descomposición de valor singular, \mathbf{K} puede ser escrita de la siguiente forma:

$$\mathbf{K} = (\boldsymbol{\alpha}_1, \dots, \boldsymbol{\alpha}_k) \mathbf{D} (\boldsymbol{\beta}_1, \dots, \boldsymbol{\beta}_k)'$$

Donde $\boldsymbol{\alpha}_i$ y $\boldsymbol{\beta}_i$ son los autovalores estandarizados de \mathbf{N}_1 y \mathbf{N}_2 respectivamente, para λ_i , y $\mathbf{D} = \text{diag}(\lambda_1^{1/2}, \dots, \lambda_k^{1/2})$. Puesto que los λ_i son distintos, los autovectores son únicos. (los signos de los autovectores son

elegidos de tal forma que la raíz cuadrada en \mathbf{D} sean positivas). Además, puesto que N_1 y N_2 son simétricas los autovectores son ortogonales. Así,

$$\alpha'_i \alpha_j = \delta_{ij}, \quad \beta'_i \beta_j = \delta_{ij},$$

donde δ_{ij} es el delta de Kronecker, tal que: $\delta_{ij} = \begin{cases} 1, & i = j \\ 0, & \text{otro caso} \end{cases}$

Definición. De acuerdo a la notación anterior:

$$\mathbf{a}_i = \Sigma_{11}^{-1/2} \alpha_i, \quad \mathbf{b}_i = \Sigma_{22}^{-1/2} \beta_i, \quad i = 1, 2, \dots, k.$$

Entonces:

(a) los vectores \mathbf{a}_i y \mathbf{b}_i son llamados los i -ésimos vectores de correlación canónica para \mathbf{x} y \mathbf{y} respectivamente;

(b) las variables aleatorias $\eta_i = \mathbf{a}'_i \mathbf{x}$ y $\phi_i = \mathbf{b}'_i \mathbf{y}$ son llamadas los i -ésimas variables de correlación canónica;

(c) $\rho_i = \lambda_1^{1/2}$, es llamado el i -ésimo coeficiente de correlación canónica.

Debe observarse que,

$$\left. \begin{aligned} C(\eta_i, \eta_j) &= \mathbf{a}'_i \Sigma_{11} \mathbf{a}_j = \alpha'_i \alpha_j \\ C(\phi_i, \phi_j) &= \mathbf{b}'_i \Sigma_{22} \mathbf{b}_j = \beta'_i \beta_j \end{aligned} \right] = \delta_{ij}$$

De esta forma la i -ésima variable de correlación canónica para \mathbf{x} están incorrelacionadas y son estandarizadas para obtener una varianza igual a 1; similarmente para i -ésima variable de correlación canónica de \mathbf{y} . Las propiedades más importantes del análisis de correlación canónica están dadas por el siguiente teorema.

Teorema. Usando la notación anterior, se fija r , donde $1 \leq r \leq k$ y

$$f_r = \max_{a,b} \mathbf{a}' \boldsymbol{\Sigma}_{12} \mathbf{b}$$

Sujeto a

$$\begin{bmatrix} \mathbf{a}' \boldsymbol{\Sigma}_{11} \mathbf{a} \\ \mathbf{b}' \boldsymbol{\Sigma}_{22} \mathbf{b} \end{bmatrix} = \mathbf{1}, \quad \text{y} \quad \mathbf{a}'_i \boldsymbol{\Sigma}_{11} \mathbf{a} = \mathbf{0}, \quad i = 1, 2, \dots, r-1$$

Entonces el máximo está dado por $f_r = \rho_r$, y es alcanzado cuando $\mathbf{a} = \mathbf{a}_r$, $\mathbf{b} = \mathbf{b}_r$.

Teorema. Se considera que

$$g_r = \max_{a,b} \mathbf{a}' \boldsymbol{\Sigma}_{12} \mathbf{b}$$

sujeto a

$$\begin{bmatrix} \mathbf{a}' \boldsymbol{\Sigma}_{11} \mathbf{a} \\ \mathbf{b}' \boldsymbol{\Sigma}_{22} \mathbf{b} \end{bmatrix} = \mathbf{1} \quad \text{y} \quad \begin{bmatrix} \mathbf{a}'_i \boldsymbol{\Sigma}_{11} \mathbf{a} \\ \mathbf{b}'_i \boldsymbol{\Sigma}_{22} \mathbf{b} \end{bmatrix} = \mathbf{0}, \quad i = 1, 2, \dots, r-1$$

Entonces $f_r = \rho_r$ y el máximo es alcanzado cuando $\mathbf{a} = \mathbf{a}_r$ y $\mathbf{b} = \mathbf{b}_r$.

Las correlaciones entre las variables de correlación canónica son presentadas en el siguiente teorema.

Teorema.

Sean η_i y ϕ_i son las i -ésimas variables de correlación canónica, $i = 1, 2, \dots, k$ y sean:

$\boldsymbol{\eta} = (\eta_1, \dots, \eta_k)'$ y $\boldsymbol{\phi} = (\phi_1, \dots, \phi_k)'$. Entonces:

$$V \begin{pmatrix} \boldsymbol{\eta} \\ \boldsymbol{\phi} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I & \Lambda^{1/2} \\ \Lambda^{1/2} & I \end{pmatrix}$$

El siguiente teorema muestra la importancia de la propiedad de invarianza.

Teorema. Si $\mathbf{x}^* = \mathbf{U}'\mathbf{x} + \mathbf{u}$ y $\mathbf{y}^* = \mathbf{V}'\mathbf{y} + \mathbf{v}$, donde \mathbf{U}_{qxq} y \mathbf{V}_{pxp} son matrices no singulares y \mathbf{u}_{qx1} y \mathbf{v}_{px1} son vectores fijos, entonces,

(a) las correlaciones canónicas entre \mathbf{x}^* y \mathbf{y}^* son iguales a las correlaciones canónicas entre \mathbf{x} y \mathbf{y} .

(b) los vectores de la correlación canónica para \mathbf{x}^* y \mathbf{y}^* están dados por $\mathbf{a}_i^* = \mathbf{U}^{-1}\mathbf{a}_i$ y $\mathbf{b}_i^* = \mathbf{V}^{-1}\mathbf{b}_i$ $i = 1, 2, \dots, k$, donde \mathbf{a}_i y \mathbf{b}_i son los vectores de la correlación canónica para \mathbf{x} y \mathbf{y} .

Análisis de correlación canónica muestral

Lo presentado anteriormente para una población puede ser desarrollado para el análisis de datos muestrales. Todo ello requiere que \mathbf{S}_{ij} pueda ser sustituido por $\mathbf{\Sigma}_{ij}$ según corresponda ($i = 1, 2$ y $j = 1, 2$); y l_i para λ_i , r_i para ρ_i , etc. Si los datos tienen distribución normal, entonces \mathbf{S} es el estimador máximo verosímil de $\mathbf{\Sigma}$, de esta forma las correlaciones canónicas muestrales son los estimadores máximos verosímiles para los correspondientes parámetros poblacionales.

Propiedades muestrales y test de hipótesis.

Las distribuciones muestrales asociadas con el análisis de correlación canónica son muy complicadas, aquí se describirá brevemente un test de hipótesis (Mardia, 1980).

Primero, se formula la hipótesis en la cual los dos conjuntos de variables están incorrelacionadas. Es decir,

$$H_0: \mathbf{\Sigma}_{12} = \mathbf{0}$$

Bajo el supuesto de normalidad, la estadística de razón de verosimilitud para contrastar H_0 está dada por

$$\lambda^{2/n} = |I - \mathbf{S}_{22}^{-1/2} \mathbf{S}_{21} \mathbf{S}_{11}^{-1/2} \mathbf{S}_{12}| = \prod_{i=1}^k (1 - r_i^2),$$

La cual tiene una distribución de Wilks con $\Lambda(p, n - 1 - q, q)$. Aquí, r_1, \dots, r_k son los coeficientes de correlación canónica muestral y $k = \min(p, q)$. Usando la aproximación de Bartlett (Mardia Pag. 84) se obtiene que,

$$-\left\{n - \frac{1}{2}(p + q + 3)\right\} \log \prod_{i=1}^k (1 - r_i^2) \sim \chi_{(pq)}^2,$$

Distribución asintótica asintóticamente para n grande.

Bartlett (1939) propuso una estadística similar para contrastar la hipótesis que sólo de los coeficientes de las correlaciones canónicas poblacionales son diferentes de cero. Este test está basado en la estadística:

$$-\left\{n - \frac{1}{2}(p + q + 3)\right\} \log \prod_{i=s+1}^k (1 - r_i^2) \sim \chi_{(p-s)(q-s)}^2$$

Scoring y predicción.

Se considera que (X, Y) es la matriz de datos relacionada a n casos sobre $(q + p)$ variables donde \mathbf{a}_i y \mathbf{b}_i representan \mathbf{a} los i -ésimos vectores de la correlación canónica. Entonces los n -vectores $\mathbf{X}\mathbf{a}_i$ y $\mathbf{Y}\mathbf{b}_i$ representan los scores de los n casos sobre las i -ésimas variables de correlaciones canónicas de \mathbf{x} y \mathbf{y} . En términos de los valores de las variables para un caso particular, estos scores toman la siguiente forma:

$$\eta_i = \mathbf{a}'_i \mathbf{x}, \quad \phi_i = \mathbf{b}'_i \mathbf{y}$$

Puesto que las correlaciones son inalterables a las transformaciones lineales, es conveniente en algunos casos reemplazar estos scores por unos nuevos scores dados por:

$$\eta_i^* = c_1 \mathbf{a}'_i \mathbf{x} + d_1, \quad \phi_i^* = c_2 \mathbf{b}'_i \mathbf{y} + d_2$$

Donde $c_1, c_2 > 0$ y d_1, d_2 son números reales. Puesto que cada \mathbf{Xa}_i y \mathbf{Yb}_i tienen una varianza muestral igual a 1.

Estos scores son más importantes para el primer vector de correlación canónica y ellos pueden ser calculados para cada uno de los n casos.

El i-ésimo coeficiente de la correlación canónica es r_i . Si las variables x y y son interpretadas como las variables “predictoras” y el “predichas” respectivamente, entonces el score η_i puede ser usado para predecir un valor de los scores ϕ_i mediante una regresión mínimo-cuadrática. Dado que cada \mathbf{Xa}_i y \mathbf{Yb}_i tienen varianza muestral igual a 1, el valor predicho de ϕ_i dado η_i es,

$$\hat{\phi}_i = r_i(\eta_i - \mathbf{a}'_i \bar{\mathbf{x}}) + \mathbf{b}'_i \bar{\mathbf{y}}$$

r_i^2 , representa la proporción de varianza de ϕ_i la cual es “explicada” por la regresión sobre \mathbf{X} . De hecho, la predicción es más importante para la primera variable de la correlación canónica.

III. METODOLOGÍA

3.1 Métodos de la investigación

La presente investigación empleó el modelo hipotético-deductivo dado que este modelo consiste en la generación de hipótesis a partir de dos premisas, una universal y otra empírica, para llevarla a la contrastación empírica (Popper, 1980). Este modelo tiene la finalidad de comprender los fenómenos y explicar el origen o las causas que la generan; sus otros objetivos son la predicción y el control, que serían las aplicaciones más importantes con sustento; asimismo, en las leyes y teorías científicas.

En el modelo hipotético-deductivo se parte de premisas generales para llegar a una conclusión particular, que sería la hipótesis a falsar para contrastar su veracidad, en caso de que lo fuera no solo permitiría el incremento de la teoría de la que partió, sino también el planteamiento de soluciones a problemas tanto de corte teórico o práctico, y en tanto que no, bien podría impulsar su reformulación hasta agotar los intentos para hacerla veraz, o abandonarla y replantearla sobre la base de otros preceptos teóricos que indiquen una orientación distinta o alternativa a la anterior. Su camino deductivo es uno común a todas las ciencias fácticas basadas en hechos y con sustento ineludible en la medición o cuantificación, en la objetividad de los procedimientos (dejando de lado las convicciones subjetivas, o creencias del investigador) y en la experiencia para el contraste de sus hipótesis, que tendrían como finalidad primera y última, tanto la ampliación del conocimiento a través de la pretensión de universalidad de los resultados encontrados, como de la generación de leyes científicas que permitan tanto la explicación de las causas de los fenómenos como la predicción de su ocurrencia.

3.2 Diseño de la investigación

El diseño de la presente investigación fue no experimental, transversal y correlacional, basado fundamentalmente en la observación de fenómenos tal y como se dan en su contexto natural para después analizarlos. Este diseño se basa en categorías, conceptos, variables, sucesos que ya ocurrieron o se dieron sin la intervención directa del investigador y su propósito es describir variables y analizar su influencia e interrelación.

3.3 Población y muestra

El mar, dado que es un ambiente natural homogéneo, es considerado como la población en estudio; en tanto que la muestra estuvo constituida por la red de estaciones oceanográficas localizadas en el Callao, Bermejo, Chimbote, Chicama, Punta Falsa y Paita en los muestreos de los años 2012 y 2014 y para el año 2011 las estaciones de Paita, Punta Falsa, Chicama, Chimbote, Callao y San Juan a partir de los datos de la Bitácora del Crucero Oceanográfico Sur de la Marina de Guerra del Perú.

3.3 Variables en estudio

VARIABLE	DEFINICIÓN	INDICADOR
Temperatura superficial del agua de mar. (TSM)	Es la medida de la energía cinética molecular media que tienen las moléculas de agua. (Morón, 2000). http://ghrsst-pp.metoffice.gov.uk/ostia-website/index.html .	La temperatura del agua de mar generalmente oscila entre 2°C y 30°C y con valores extremos entre -4°C y +42°C.
Número de iones hidrógeno. (pH)	Es el valor que determina si una sustancia es ácida, neutra o básica, mediante el cálculo del número iones hidrogeno presentes (Morón, 2000).	Se mide en una escala a partir de 0 a 14
Oxígeno (O ₂)	El oxígeno es un componente clave en la respiración celular tanto para la vida acuática como para la vida terrestre (Morón, 2000).	Valores mayores a 4.0 mg/L es sinónimo de ambiente saludable
Fosfatos (PO ₄)	El fosfato es un fertilizante que influye grandemente en el crecimiento de organismos fitoplanctónicos (Morón, 2000).	El valor máximo es de 0.062 mg/L
Silicatos (SiO ₃)	Los silicatos son sales formada por combinación del ácido silícico y una base, que se puede obtener por fusión conjunta de la sílice con un carbonato de metal alcalino (Morón, 2000).	Concentraciones entre 0.1 umol/L hasta 140umol/L.
Nitritos (NO ₂)	Los nitritos son sales del ácido nitroso. El ion nitrito es el NO ₂ (Morón, 2000).	0.1 - 0.9 mg/l
Nitratos (NO ₃)	Los nitratos son sales o ésteres del ácido nítrico NO ₃ (Morón, 2000).	200 mg/L
Perfil oceanográfico	Distancia a la costa en millas náuticas (m n) (Akselman, 1996).	5mn,20mn,40mn,60mn,90mn,120mn,160mn,200mn

3.5 Técnicas e instrumentos de la investigación

Una investigación es científicamente válida al estar sustentada en información verificable, que responda lo que se pretende demostrar con la hipótesis formulada. Para ello, es imprescindible realizar un proceso de recolección de datos en forma planificada y teniendo claros objetivos sobre el nivel y profundidad de la información a recolectar. Dadas las características de las variables del ecosistema marino costero y los objetivos de la presente investigación se contó con los datos de fuente secundaria obtenidos de la Bitácora del Crucero Oceanográfico Sur de la Marina de Guerra del Perú, en las estaciones localizadas en San Juan, Callao, Bermejo, Chimbote, Chicama, Punta Falsa y Paita. En cada una de las estaciones se desplegaron de equipos oceanográficos, con la finalidad de obtener información en la columna de agua; principalmente la, temperatura del agua, salinidad, oxígeno disuelto, nutrientes entre otros (HIDRONAV.2022).

3.6 Procedimiento para la recolección de datos

Para la presente investigación se estructuraron bases de datos en función a la información de la Bitácora del Crucero Oceanográfico Sur de la Marina de Guerra del Perú, los datos corresponden a las variables fisicoquímicas consideradas en este estudio: temperatura, salinidad, oxígeno y pH; y de nutrientes: nitritos, nitratos, silicatos y fosfatos, en las estaciones localizadas en el Callao, Bermejo, Chimbote, Chicama, Punta Falsa y Paita en los muestreos de los años 2012 y 2014. Para el muestreo del año 2011, se consideraron la temperatura y salinidad en las estaciones de Paita, Punta Falsa, Chicama, Chimbote, Callao y San Juan en los 8 perfiles oceanográficos en forma conjunta y en forma individual en los perfiles a 5mn y 200mn.

- De los datos de la Bitácora del Crucero Oceanográfico Sur de la Marina de Guerra del Perú, en las estaciones localizadas en el Callao, Bermejo, Chimbote, Chicama, Punta Falsa y Paita del muestreo realizado del 3 de setiembre al 21 de setiembre del año 2012, que contiene 15 páginas, se seleccionaron 8 registros para cada una de las seis estaciones de muestreo (48 filas) para las 7 variables de estudio: temperatura, oxígeno, pH, nitritos, nitratos, fosfatos y silicatos, constituyendo esta la matriz de datos para el análisis de correlación canónica del muestreo del año 2012.

Datos de la Bitácora del Crucero Oceanográfico Sur de la Marina de Guerra del Perú. Muestreo 2012

Matriz de datos para el análisis de correlación canónica del muestreo del año 2012: **BD48L7V12**

LINEA	TSM	O2	pH	PO4	SIO3	NO2	NO3
CALLAO	16.6	5.3	7.8	1.9333	1.5001	1.2066	21.813
CALLAO	17.2	7.5	8.08	1.5647	1.2372	0.7922	14.269
CALLAO	17	6.55	8.05	2.2709	4.8288	1.1479	17.55
CALLAO	17.1	6.25	8.06	4.4403	4.3901	3.0038	17.054
CALLAO	17.6	6.4	8.1	4.1837	3.501	2.5752	16.101
CALLAO	18.1	6.4	7.95	4.301	2.5507	3.1	16.336
CALLAO	18.1	6.55	8.09	4.3252	3.9757	2.5174	12.48
CALLAO	18.6	6.35	8.17	3.8873	3.1325	3.2186	17.646
BERMEJO	18.7	6.25	8.08	4.1848	5.5104	2.1393	17.408
BERMEJO	18.62	6.4	8.09	3.966	5.9571	1.836	13.83
BERMEJO	18.8	5.9	8.09	4.2874	6.4108	2.4164	15.399
BERMEJO	18.4	6.55	8.03	4.5293	8.3481	2.7067	18.389
BERMEJO	19.2	6.2	8.04	4.2132	11.481	2.8334	19.769
BERMEJO	18.4	5.75	8.02	3.9387	8.7731	2.2425	20.925
BERMEJO	18.2	6.05	8	4.2396	11.6086	2.164	18.424
BERMEJO	16.7	4.45	7.91	7.7569			
CHIMBOTE	16.6	3.95	7.84	5.2096			

- De los datos de la Bitácora del Crucero Oceanográfico Sur de la Marina de Guerra del Perú, en las estaciones localizadas en el Callao, Bermejo, Chimbote, Chicama, Punta Falsa y Paita del muestreo realizado del 27 de julio al 10 de agosto del año 2014, se seleccionaron 6 registros de las estaciones del Callao y Bermejo y 8 registros de las estaciones de Chimbote, Chicama, Punta Falsa y Paita (44 filas) para las 7 variables de estudio: temperatura, oxígeno, pH, nitritos, nitratos, fosfatos y silicatos, constituyendo esta la matriz de datos para el análisis de correlación canónica del muestreo del año 2014.

Datos de la Bitácora del Crucero Oceanográfico Sur de la Marina de Guerra del Perú. Muestreo 2014

LÍNEA	EST	LAT.°	min	seg.	LONG.°	min	seg.	PROF. Pto(m)	TSM (°C)	Salini. S°/oo	Disco Secchi	Oxígeno (mg/L)	pH	PO4 ug-mol/L	SiO3 ug-mol/L	NO2 ug-mol/L	NO3 ug-mol/L
CALLAO	1	12	8.00	12	77	17.00	23	85	21.5	35.22		5.55	8.13	3.28	4.58	2.54	3.18
CALLAO	2	12	15.00	5	77	32.00	0	120	22	35.34		5.75	8.2	3.18	3.62	3.47	2.20
CALLAO	3	12	25.87		77	48.24		720	22.6	35.45		5.7	8.23	3.01	4.13	2.42	2.22
CALLAO	4	12	35.70		78	6.16		1950	22.5	35.36		5.75	8.26	3.13	3.21	2.19	1.38
CALLAO	5	12	50.00	30	78	33.00	8	5620	22.5	35.26	12	5.7	8.23	3.29	3.48	3.41	2.81
CALLAO	6	12	59.00	26	78	59.43		4200	21.5	35.41	13	5.9	8.21	3.56	4.11	2.85	0.49
TRAYBERM	1	12	33.20		79	7.90			22.3	35.29		5.9	8.25	3.15	3.73	2.32	1.27
TRAYBERM	2	11	59.56		79	29.38			22.5	35.12		5.95	8.2	3.06	3.35	1.95	0.20
BERMEJO	1	10	36.00	13	77	59.00	6.7	100	21.2	35.01		5.5	8.09	3.56	6.39	3.54	9.03
BERMEJO	2	10	44.00	8	78	12.00	16	500	22.6	35.2	10	5.75	8.17	3.31	6.81	3.07	6.30
BERMEJO	3	10	53.96		78	29.85		1260	23.8	35.4	12	5.9	8.18	3.37	4.76	3.11	1.05
BERMEJO	4	11	4.18		78	48.19		1200	23.1	35.26	12	5.85	8.17	3.12	4.78	2.47	2.78
BERMEJO	5	11	21.82		79	13.19		4937	22.8	35.33		5.85	8.17	3.44	3.75	2.38	2.19
BERMEJO	6	11	34.00	12	79	40.00	9.4	4621	22.2	35.43		5.75	8.16	3.19	3.72	2.09	1.23
CHIMBOTE	1	9	9.00	34	78	42.00	15.6	35	22.8	35.02		5.55	8.16	3.47	5.60	2.75	3.27
CHIMBOTE	2	8	16.00		78	51.60		100	23	35.05		6	8.21	3.51	6.04	3.17	4.31
CHIMBOTE	3	8	25.00	14	79	6.00	44	142	23.8	34.93		6.2	8.22	3.38	4.40	2.10	4.71
CHIMBOTE	4	9	35.00	55	79	27.00	17.6	145	24	34.94		5.65	8.23	3.10	4.40	1.93	3.11

Matriz de datos para el análisis de correlación canónica del muestreo del año 2014: **BD44L7V14**

LÍNEA	TSM	O2	pH	PO4	SiO3	NO2	NO3
CALLAO	21.5	5.55	8.13	3.28	4.58	2.54	3.18
CALLAO	22	5.75	8.2	3.18	3.62	3.47	2.20
CALLAO	22.6	5.7	8.23	3.01	4.13	2.42	2.22
CALLAO	22.5	5.75	8.26	3.13	3.21	2.19	1.38
CALLAO	22.5	5.7	8.23	3.29	3.48	3.41	2.81
CALLAO	21.5	5.9	8.21	3.56	4.11	2.85	0.49
BERMEJO	21.2	5.5	8.09	3.56	6.39	3.54	9.03
BERMEJO	22.6	5.75	8.17	3.31	6.81	3.07	6.30
BERMEJO	23.8	5.9	8.18	3.37	4.76	3.11	1.05
BERMEJO	23.1	5.85	8.17	3.12	4.78	2.47	2.78
BERMEJO	22.8	5.85	8.17	3.44	3.75	2.38	2.19
BERMEJO	22.2	5.75	8.16	3.19	3.72	2.09	1.23
CHIMBOTE	22.8	5.55	8.16	3.47	5.60	2.75	3.27
CHIMBOTE	23	6	8.21	3.51			
CHIMBOTE	23.8	6.2	8.22				

- De los datos de la Bitácora del Crucero Oceanográfico Sur de la Marina de Guerra del Perú, en las estaciones localizadas en el Callao, Chimbote, Chicama, Punta Falsa, Paita y San Juan en el muestreo realizado del 15 de setiembre al 15 de octubre del año 2011, se seleccionaron 3430 registros de cada una de las estaciones muestreadas para las 12 variables en estudio, seis relacionadas a la temperatura: Temperatura del Callao (Tcallao), Temperatura de Chimbote (Tchimbote), Temperatura de Chicama (Tchicama), Temperatura de Punta Falsa (Tfalsa), Temperatura de Paita (Tpaita) y Temperatura de San Juan (Tsanjuan); y seis relacionadas a la salinidad: Salinidad del Callao (Scallao), Salinidad de Chimbote (Schimbote), Salinidad de Chicama (Schicama), Salinidad de Punta Falsa (Sfalsa), Salinidad de Paita (Spaita) y Salinidad de San Juan (Ssanjuan), en los 8 perfiles oceanográficos (5mn, 20mn,40mn,60mn,90mn, 120mn, 160mn, 200mn).

Datos de la Bitácora del Crucero Oceanográfico Sur de la Marina de Guerra del Perú. Muestreo 2011

linea	estacion	Fecha	G	M	LATITUD	G1	M1	longitud	profundidad	distancia	temperatura	salinidad
Chimbote	1	15/09/2011	9	9.4	-8.15666667	70	38.1	-78.635	0	5	15.03	34.93
Chimbote	1	15/09/2011	9	9.4	-8.15666667	70	38.1	-78.635	5	5	15.0261	34.9247
Chimbote	1	15/09/2011	9	9.4	-8.15666667	70	38.1	-78.635	6	5	14.8448	34.9498
Chimbote	1	15/09/2011	9	9.4	-8.15666667	70	38.1	-78.635	7	5	14.6367	34.9763
Chimbote	1	15/09/2011	9	9.4	-8.15666667	70	38.1	-78.635	8	5	14.5735	34.9795
Chimbote	1	15/09/2011	9	9.4	-8.15666667	70	38.1	-78.635	9	5	14.5452	34.9822
Chimbote	1	15/09/2011	9	9.4	-8.15666667	70	38.1	-78.635	10	5	14.5365	34.9816
Chimbote	1	15/09/2011	9	9.4	-8.15666667	70	38.1	-78.635	11	5	14.5315	34.9809
Chimbote	1	15/09/2011	9	9.4	-8.15666667	70	38.1	-78.635	12	5	14.5198	34.9814
Chimbote	1	15/09/2011	9	9.4	-8.15666667	70	38.1	-78.635	13	5	14.5128	34.979
Chimbote	1	15/09/2011	9	9.4	-8.15666667	70	38.1	-78.635	14	5	14.4976	34.9753
Chimbote	1	15/09/2011	9	9.4	-8.15666667	70	38.1	-78.635	15	5	14.4772	34.9573
Chimbote	1	15/09/2011	9	9.4	-8.15666667	70	38.1	-78.635	16	5	14.4177	34.9691
Chimbote	1	15/09/2011	9	9.4	-8.15666667	70	38.1	-78.635	17	5	14.3454	34.979
Chimbote	1	15/09/2011	9	9.4	-8.15666667	70	38.1	-78.635	18	5	14.3165	34.976
Chimbote	1	15/09/2011	9	9.4	-8.15666667	70	38.1	-78.635	19	5	14.2948	34.9796
Chimbote	1	15/09/2011	9	9.4	-8.15666667	70	38.1	-78.635	20	5	14.2932	34.9797
Chimbote	1	15/09/2011	9	9.4	-8.15666667	70	38.1	-78.635	21	5	14.282	34.9782
Chimbote	1	15/09/2011	9	9.4	-8.15666667	70	38.1	-78.635	22	5	14.2913	34.9792
Chimbote	1	15/09/2011	9	9.4	-8.15666667	70	38.1	-78.635	23	5	14.2892	34.9784

Matriz de datos para el análisis de correlación canónica del muestreo del año 2011: *BDACC11*

Tcallao	Tchicama	Tchimbote	Tfalsa	Tsanjuan	Tpaita	Scallao	Schicama	Schimbote	Sfalsa	Ssanjuan	Spaita
14.94	15.10	15.03	15.70	14.17	17.90	34.97	34.99	34.93	35.02	34.86	35.06
14.94	15.00	15.03	15.69	14.17	17.88	34.92	34.96	34.92	35.19	34.86	35.05
14.86	14.97	14.84	15.65	14.17	17.78	34.92	34.98	34.95	35.18	34.86	35.05
14.56	14.92	14.64	15.64	14.17	17.61	34.91	34.99	34.98	35.02	34.86	34.92
14.48	14.91	14.57	15.68	14.17	16.75	34.91	34.99	34.98	35.02	34.86	35.02
14.53	14.90	14.55	15.67	14.17	16.26	34.92	34.99	34.98	35.02	34.86	35.06
14.33	14.85	14.54	15.68	14.17	16.01	34.92	34.99	34.98	35.02	34.86	35.02
14.01	14.83	14.53	15.68	14.16	15.80	34.92	34.99	34.98	35.02	34.86	35.05
14.02	14.81	14.52	15.68	14.16	15.74	34.93	34.99	34.98	35.02	34.85	35.05
14.05	14.81	14.51	15.65	14.16	15.67	34.93	34.98	34.98	35.00	34.85	35.06

.....

- De forma equivalente, los datos de la Bitácora del Crucero Oceanográfico Sur de la Marina de Guerra del Perú, en las estaciones localizadas en el Callao, Chimbote, Chicama, Punta Falsa, Paita y San Juan en el muestreo realizado del 15 de setiembre al 15 de octubre del año 2011, se seleccionaron 22 registros de cada una de las estaciones muestreadas para las 12 variables en estudio, seis relacionadas a la temperatura: Tcallao, Tchimbote, Tchicama, Tfalsa, Tpaita y Tsanjuan; y seis relacionadas a la salinidad: Scallao, Schimbote, Schicama, Sfalsa, Spaita y Ssanjuan, en el perfil oceanográficos a 5mn y se seleccionaron 716 registros de cada una de las estaciones muestreadas para las 12 variables en estudio en el perfil oceanográficos a 200mn.

En resumen, las siguientes bases de datos han sido utilizadas en la presente investigación para cumplir con los objetivos propuestos.

Año	Base de datos	Matriz
2011	BDACC11	3430 filas y 12 columnas
	BDE1	22 filas y 12 columnas
	BDE8	716 filas y 12 columnas
2012	BD48L7V12	48 filas y 6 columnas
2014	BD44L7V14	44 filas y 6 columnas

3.7 Técnicas de procesamiento y análisis de los datos

Previamente al análisis de correlación canónica, se realizó un análisis exploratorio de datos mediante boxplot y distribuciones empíricas que permitieron observar el patrón de comportamiento de las variables en estudio, resultados que se presentan en el Anexo 1. Asimismo, se realizó el análisis clúster mediante el cual se obtuvieron dos clústeres, uno correspondiente a las variables fisicoquímicas y el otro a los nutrientes ratificándose así el agrupamiento de estos dos conjuntos de variables.

Entonces, se realizó el análisis de correlación canónica con las bases de datos de los muestreos 2011, 2012 y 2014; de la siguiente forma:

- Obtención de la matriz de correlación, R , de las variables del conjunto temperatura y del conjunto nutrientes.
- Partición de la matriz de correlación R en las submatrices R_{11} , R_{12} , R_{21} y R_{22} , que permiten obtener los autovalores de las matrices:
$$A = R_{11}^{-1}R_{12}R_{22}^{-1}R_{21} \quad \text{y} \quad B = R_{22}^{-1}R_{21}R_{11}^{-1}R_{12}.$$
- Obtención de las correlaciones canónicas relacionadas a los autovalores de las matrices A y B .
- Obtención de los autovectores de las matrices A y B .
- Obtención de las variables canónicas y se identifica la variable que más aporta a la variable canónica.
- Contraste de la significancia de las variables canónicas.
- Presentación de gráfico exploratorio de la correlación canónica entre los dos conjuntos de variables en estudio.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

4.1.1 Clúster de las variables fisicoquímicas y nutrientes.

En la Figura 1, se presenta el agrupamiento de las variables fisicoquímicas y nutrientes que intervienen en el análisis de correlación canónica.

Variables fisicoquímicas: Temperatura superficial del mar (TSM), oxígeno (O₂) y potencial de hidrógeno (pH).

Variables nutrientes: Fosfatos (PO₄), silicatos (SiO₃), nitritos (NO₂) y nitratos (NO₃).

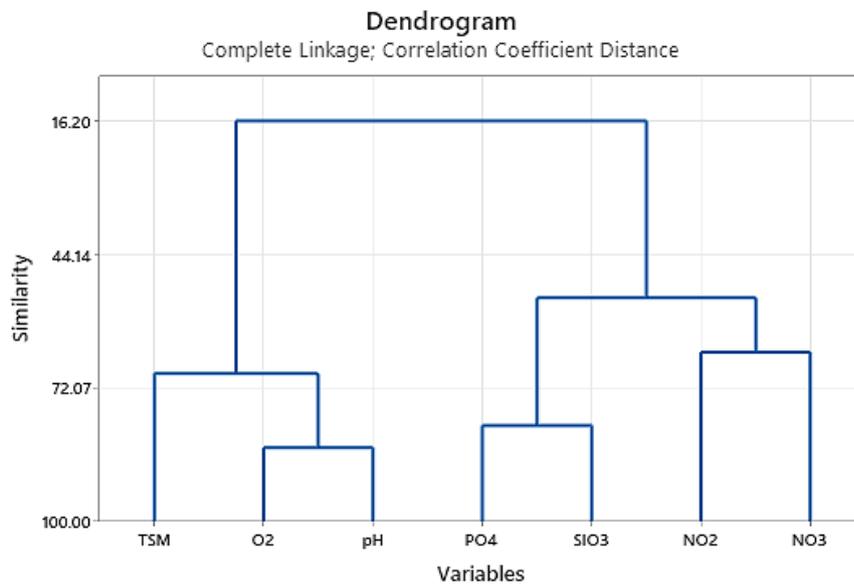


Figura 1:
Dendrograma de las variables en estudio

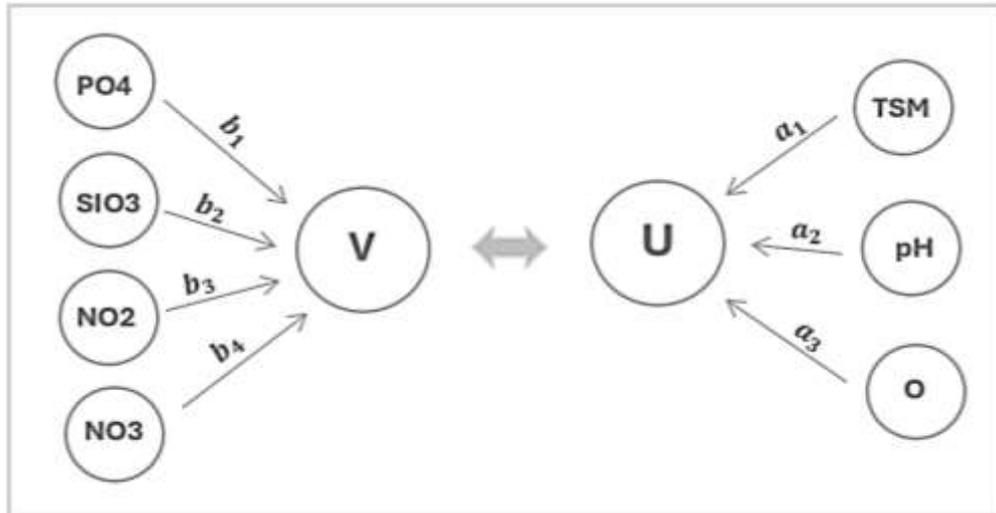


Figura 2:
Conjuntos de variables para el ACC

4.1.2 Análisis de correlación canónica: muestreo del año 2012

Procedimiento:

- (i) **Obtención de la matriz de correlación R .** La matriz R de orden 7×7 , es la matriz de correlación de las variables temperatura, oxígeno, pH, fosfatos, silicatos, nitritos y nitratos del muestreo del año 2012 en las estaciones localizadas en el Callao, Bermejo, Chimbote, Chicama, Punta Falsa y Paita.

	TSM	O2	pH	PO4	SIO3	NO2	NO3
TSM	1.00000	0.50343	0.37300	-0.00352	-0.18507	0.05710	-0.41768
O2	0.50343	1.00000	0.73210	-0.35499	-0.59967	-0.52526	-0.63115
pH	0.37300	0.73210	1.00000	-0.00264	-0.32851	-0.27985	-0.52670
PO4	-0.00352	-0.35499	-0.00264	1.00000	0.62593	0.49072	0.30551
SIO3	-0.18507	-0.59967	-0.32851	0.62593	1.00000	0.45013	0.57050
NO2	0.05710	-0.52526	-0.27985	0.49072	0.45013	1.00000	0.32825
NO3	-0.41768	-0.63115	-0.52670	0.30551	0.57050	0.32825	1.00000

La Figura 3, representa las correlaciones de la matriz R .

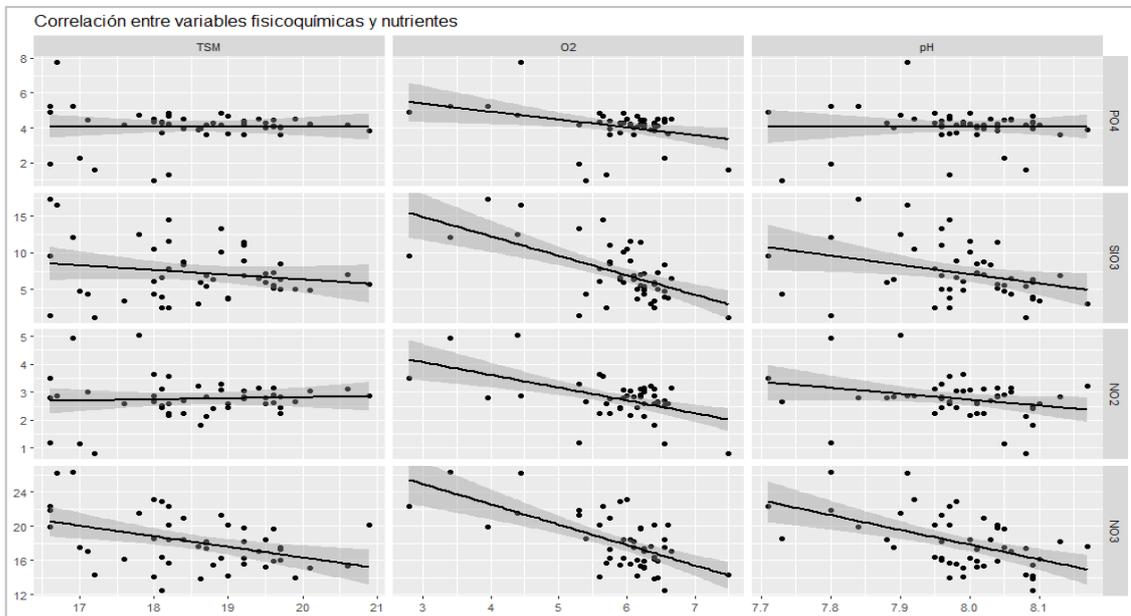


Figura 3:
Correlación de las variables temperatura, oxígeno y pH versus fosfatos, silicatos, nitritos y nitratos. Muestreo año 2012.

(ii) **Partición de la matriz R** . Para la obtención de las matrices $A = R_{11}^{-1}R_{12}R_{22}^{-1}R_{21}$ y $B = R_{22}^{-1}R_{21}R_{11}^{-1}R_{12}$, la matriz R se particiona de la siguiente forma:

	R_{11}			R_{12}			
	TSM	O2	pH	PO4	SIO3	NO2	NO3
TSM	1.00000	0.50343	0.37300	-0.00352	-0.18507	0.05710	-0.41768
O2	0.50343	1.00000	0.73210	-0.35499	-0.59967	-0.52526	-0.63115
pH	0.37300	0.73210	1.00000	-0.00264	-0.32851	-0.27985	-0.52670
PO4	-0.00352	-0.35499	-0.00264	1.00000	0.62593	0.49072	0.30551
SIO3	-0.18507	-0.59967	-0.32851	0.62593	1.00000	0.45013	0.57050
NO2	0.05710	-0.52526	-0.27985	0.49072	0.45013	1.00000	0.32825
NO3	-0.41768	-0.63115	-0.52670	0.30551	0.57050	0.32825	1.00000
	R_{21}			R_{22}			

Así,

$$R_{11} = \begin{matrix} & \text{TSM} & \text{O2} & \text{pH} \\ \begin{matrix} \text{TSM} \\ \text{O2} \\ \text{pH} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1.00000 & 0.50343 & 0.37300 \\ 0.50343 & 1.00000 & 0.73210 \\ 0.37300 & 0.73210 & 1.00000 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$R_{12} = R'_{21} = \begin{matrix} & \text{PO4} & \text{SIO3} & \text{NO2} & \text{NO3} \\ \begin{matrix} \text{TSM} \\ \text{O2} \\ \text{pH} \end{matrix} & \begin{bmatrix} -0.00352 & -0.18507 & 0.05710 & -0.41768 \\ -0.35499 & -0.59967 & -0.52526 & -0.63115 \\ -0.00264 & -0.32851 & -0.27985 & -0.52670 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

y,

$$R_{22} = \begin{matrix} & \text{PO4} & \text{SIO3} & \text{NO2} & \text{NO3} \\ \begin{matrix} \text{PO4} \\ \text{SIO3} \\ \text{NO2} \\ \text{NO3} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1.00000 & 0.62593 & 0.49072 & 0.30551 \\ 0.62593 & 1.00000 & 0.45013 & 0.57050 \\ 0.49072 & 0.45013 & 1.00000 & 0.32825 \\ 0.30551 & 0.57050 & 0.32825 & 1.00000 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

(iii) **Obtención: Autovalores, correlaciones y variables canónicas.**

El número de autovalores es igual al mínimo entre $p = 3$ y $q = 4$ (tres variables fisicoquímicas y cuatro variables nutrientes) obtenidos como soluciones de la ecuación $|A - \lambda I| = 0$.

Entonces, los **autovalores** de la matriz $A = R_{11}^{-1}R_{12}R_{22}^{-1}R_{21}$ son los siguientes:

$$\lambda_1 = 0.58330164 \quad , \quad \lambda_2 = 0.29932450 \quad , \quad \lambda_3 = 0.07424311;$$

y las correspondientes correlaciones **canónicas** son calculadas tomando la raíz cuadrada de estos autovalores:

$$r_1 = 0.7637419 \quad , \quad r_2 = 0.5471056 \quad , \quad r_3 = 0.2724759$$

Asimismo, los siguientes son los **autovectores** de la matriz de **A**:

$$a_1 = \begin{bmatrix} -0.3009 \\ 1.4946 \\ -2.0233 \end{bmatrix}, \quad a_2 = \begin{bmatrix} 0.7144 \\ -0.9914 \\ 10.4565 \end{bmatrix}, \quad a_3 = \begin{bmatrix} -0.7580 \\ -0.5497 \\ 10.8210 \end{bmatrix}$$

y, los siguientes son los **autovectores** de la matriz **B**:

$$b_1 = \begin{bmatrix} 0.0482 \\ -0.1156 \\ -0.7433 \\ -0.1010 \end{bmatrix}, \quad b_2 = \begin{bmatrix} 0.5888 \\ 0.0053 \\ 0.4711 \\ -0.2875 \end{bmatrix}, \quad b_3 = \begin{bmatrix} 0.9562 \\ -0.0318 \\ -1.2504 \\ 0.1086 \end{bmatrix}$$

Con a_1 primer autovector de la matriz A y b_1 el primer autovector de la matriz B se construye las dos combinaciones lineales que corresponden al primer par de **variables canónicas**, las cuales tienen la más alta correlación:

$$\eta_1 = -0.3009 \text{ TSM} + 1.4946 \text{ O}_2 - 2.0233 \text{ pH}$$

$$\phi_1 = 0.0482 \text{ PO}_4 - 0.1156 \text{ SiO}_3 - 0.7433 \text{ NO}_2 - 0.1010 \text{ NO}_3$$

En la primera variable canónica, η_1 , asociada a las variables fisicoquímicas se observa que el mayor aporte es del pH y en la primera variable canónica, ϕ_1 , asociada a los nutrientes el mayor aporte es de los nitritos.

(iv) **Prueba de hipótesis:** Significancia de la correlación entre los pares de variables canónicas. Se considera que: $\rho_i = \rho(\eta_i, \phi_i), i = 1, 2, 3$.

Tabla 1:

Prueba de hipótesis para contrastar la significancia de los pares de variables canónicas.

Muestreo: Año 2012.

Hipótesis	Estadístico de prueba Estadístico de Wilks	Criterio de decisión Se rechaza H_0 , si: $p\text{-valor} \leq \alpha$	Conclusión
$H_0: \rho_1 = 0$ $H_1: \rho_1 \neq 0$ $\alpha = 0.05$	$\lambda = 0.2703$	$p\text{-valor}=0.00000$ $p\text{-valor} < 0.05$ \therefore Se rechaza H_0 .	La correlación entre el primer par de variables canónicas es significativa.
$H_0: \rho_2 = 0$ $H_1: \rho_2 \neq 0$ $\alpha = 0.05$	$\lambda = 0.6487$	$p\text{-valor}=0.0049$ $p\text{-valor} < 0.05$ \therefore Se rechaza H_0 .	La correlación entre el segundo par de variables canónicas es significativa.
$H_0: \rho_3 = 0$ $H_1: \rho_3 \neq 0$ $\alpha = 0.05$	$\lambda = 0.9258$	$p\text{-valor}=0.190$ $p\text{-valor} > 0.05$ \therefore No se rechaza H_0 .	La correlación entre el tercer par de variables canónicas no es significativa.

Entonces, al 5% de significación de acuerdo con los resultados de la prueba de hipótesis existe correlación entre el primer par y entre el segundo par de variables canónicas, por el contrario, en el tercer par de variables canónicas la correlación no es significativa.

En la Figura 4, se representa el comportamiento de los dos conjuntos de variables considerando dos dimensiones.

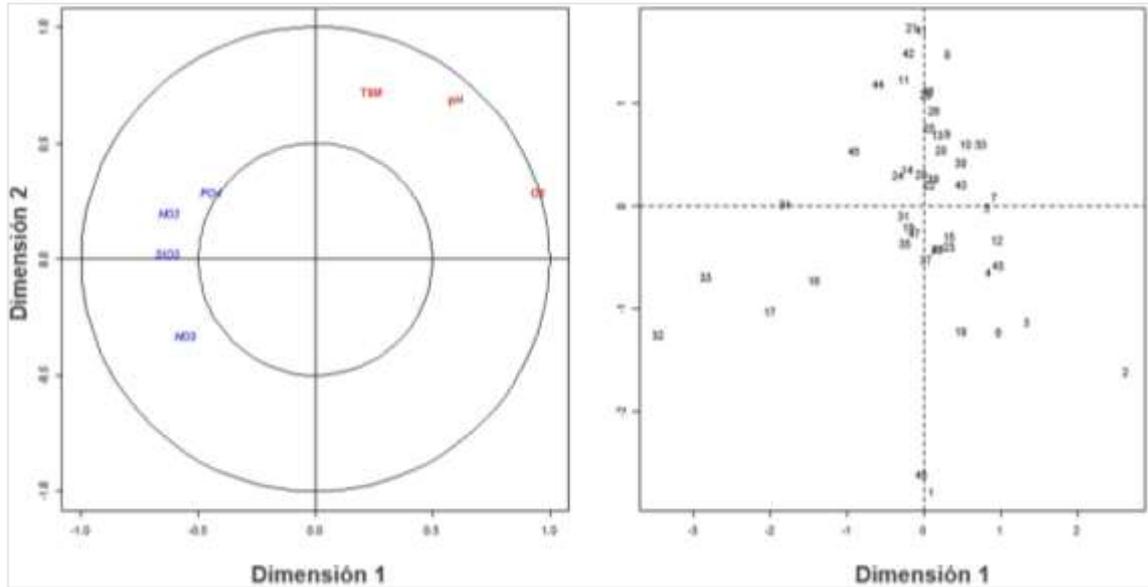


Figura 4:
 Gráfico exploratorio de la correlación canónica entre el conjunto de variables “físicoquímicas” y nutrientes. Muestreo del año 2012.

4.1.3 Análisis de correlación canónica: Muestreo año 2014

Procedimiento:

(i) **Obtención de la matriz de correlación R .** La matriz R de orden 7×7 , es la matriz de correlación de las variables temperatura, oxígeno, pH, fosfatos, silicatos, nitritos y nitratos del muestreo del año 2014 en las estaciones localizadas en el Callao, Bermejo, Chimbote, Chicama, Punta Falsa y Paita.

$$R = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{TSM} & \text{O2} & \text{pH} & \text{PO4} & \text{SiO3} & \text{NO2} & \text{NO3} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{TSM} \\ \text{O2} \\ \text{pH} \\ \text{PO4} \\ \text{SiO3} \\ \text{NO2} \\ \text{NO3} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1.00000 & 0.37439 & 0.49974 & -0.28153 & -0.51707 & -0.31812 & -0.25732 \\ 0.37439 & 1.00000 & 0.70348 & 0.22478 & -0.26749 & -0.13156 & -0.55289 \\ 0.49974 & 0.70348 & 1.00000 & -0.01857 & -0.24914 & 0.09516 & -0.72048 \\ -0.28153 & 0.22478 & -0.01857 & 1.00000 & 0.38564 & -0.28600 & 0.23014 \\ -0.51707 & -0.26749 & -0.24914 & 0.38564 & 1.00000 & 0.47726 & 0.09823 \\ -0.31812 & -0.13156 & 0.09516 & -0.28600 & 0.47726 & 1.00000 & -0.46298 \\ -0.25732 & -0.55289 & -0.72048 & 0.23014 & 0.09823 & -0.46298 & 1.00000 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

La Figura 5, representa las correlaciones de la matriz R .

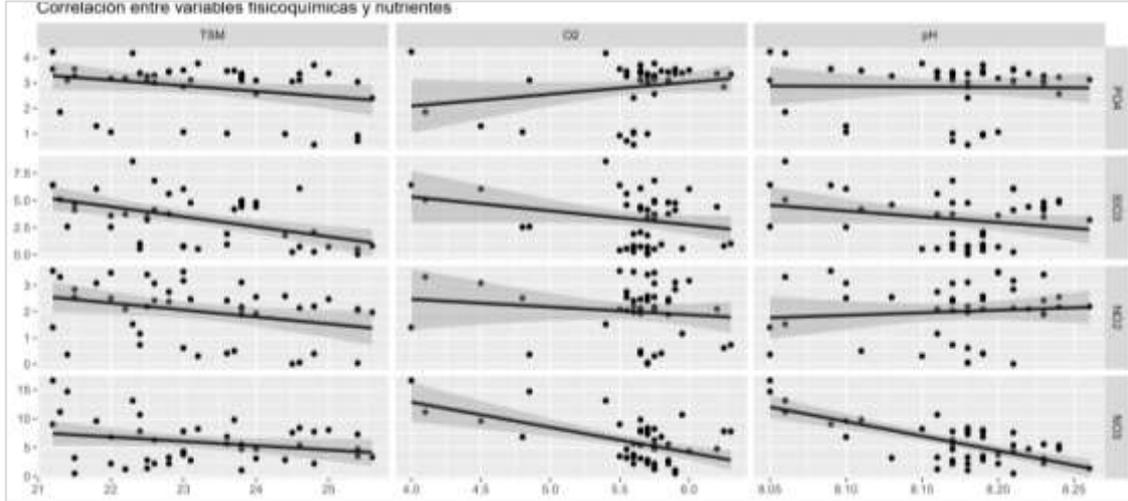


Figura 5:
Correlación de las variables temperatura, oxígeno y pH versus fosfatos, silicatos, nitritos y nitratos. Muestreo año 2014.

(ii) Partición de la matriz R para la obtención de las matrices $A = R_{11}^{-1}R_{12}R_{22}^{-1}R_{21}$

y $B = R_{22}^{-1}R_{21}R_{11}^{-1}R_{12}$.

	R_{11}			R_{12}			
	TSM	O2	pH	PO4	SIO3	NO2	NO3
TSM	1.00000	0.37439	0.49974	-0.28153	-0.51707	-0.31812	-0.25732
O2	0.37439	1.00000	0.70348	0.22478	-0.26749	-0.13156	-0.55289
pH	0.49974	0.70348	1.00000	-0.01857	-0.24914	0.09516	-0.72048
PO4	-0.28153	0.22478	-0.01857	1.00000	0.38564	-0.28600	0.23014
SIO3	-0.51707	-0.26749	-0.24914	0.38564	1.00000	0.47726	0.09823
NO2	-0.31812	-0.13156	0.09516	-0.28600	0.47726	1.00000	-0.46298
NO3	-0.25732	-0.55289	-0.72048	0.23014	0.09823	-0.46298	1.00000
	R_{21}			R_{22}			

Donde:

$$R_{11} = \begin{matrix} & \text{TSM} & \text{O2} & \text{pH} \\ \text{TSM} & \left[\begin{array}{ccc} 1.00000 & 0.37439 & 0.49974 \\ 0.37439 & 1.00000 & 0.70348 \\ 0.49974 & 0.70348 & 1.00000 \end{array} \right] \\ \text{O2} & \\ \text{pH} & \end{matrix}$$

$$R_{12} = R'_{21} = \begin{matrix} & \text{PO4} & \text{SIO3} & \text{NO2} & \text{NO3} \\ \text{TSM} & \left[\begin{array}{cccc} -0.28153 & -0.51707 & -0.31812 & -0.25732 \\ 0.22478 & -0.26749 & -0.13156 & -0.55289 \\ -0.01857 & -0.24914 & 0.09516 & -0.72048 \end{array} \right] \\ \text{O2} & \\ \text{pH} & \end{matrix}$$

$$R_{22} = \begin{matrix} & \text{PO4} & \text{SIO3} & \text{NO2} & \text{NO3} \\ \text{PO4} & \left[\begin{array}{cccc} 1.00000 & 0.38564 & -0.28600 & 0.23014 \\ 0.38564 & 1.00000 & 0.47726 & 0.09823 \\ -0.28600 & 0.47726 & 1.00000 & -0.46298 \\ 0.23014 & 0.09823 & -0.46298 & 1.00000 \end{array} \right] \\ \text{SIO3} & \\ \text{NO2} & \\ \text{NO3} & \end{matrix}$$

(iii) Obtención: Autovalores, correlaciones y variables canónicas.

El número de autovalores es igual al mínimo entre $p = 3$ y $q = 4$ (tres variables fisicoquímicas y cuatro variables nutrientes) obtenidos como soluciones de la ecuación

$$|A - \lambda I| = 0.$$

Entonces, los **autovalores** de la matriz $A = R_{11}^{-1}R_{12}R_{22}^{-1}R_{21}$ son los siguientes:

$$\lambda_1 = 0.6863975 \quad , \quad \lambda_2 = 0.3842325 \quad , \quad \lambda_3 = 0.1520006$$

y las correspondientes correlaciones **canónicas** son calculadas tomando la raíz cuadrada de estos autovalores:

$$r_1 = 0.8284911 \quad , \quad r_2 = 0.6198649 \quad , \quad r_3 = 0.3898726$$

Asimismo, los siguientes son los **autovectores** de la matriz de **A**:

$$a_1 = \begin{bmatrix} -0.0750 \\ 1.0972 \\ 11.5811 \end{bmatrix}, \quad a_2 = \begin{bmatrix} -0.9047 \\ -0.0527 \\ 9.9183 \end{bmatrix}, \quad a_3 = \begin{bmatrix} -0.0238 \\ 2.7899 \\ -24.0347 \end{bmatrix}$$

y, los siguientes son los **autovectores** de la matriz **B**:

$$b_1 = \begin{bmatrix} 0.4520 \\ -0.1234 \\ -0.1703 \\ -0.2710 \end{bmatrix}, \quad b_2 = \begin{bmatrix} 0.7462 \\ -0.0004 \\ 0.9105 \\ 0.0449 \end{bmatrix}, \quad b_3 = \begin{bmatrix} 0.8107 \\ -0.1074 \\ -0.2642 \\ 0.0604 \end{bmatrix}$$

Con el primer autovector de la matriz A y de la matriz B respectivamente se construyen las siguientes dos combinaciones lineales que corresponden al primer par de **variables canónicas**, las cuales tienen la más alta correlación:

$$\eta_1 = -0.0750 \text{ TSM} + 1.0972 \text{ O2} + 11.5811 \text{ pH}$$

$$\phi_1 = 0.4520 \text{ PO4} - 0.1234 \text{ SIO3} - 0.1703 \text{ NO2} - 0.2710 \text{ NO3}$$

La primera variable canónica, η_1 , asociada a las variables fisicoquímicas se observa que el mayor aporte es del pH y en la primera variable canónica, ϕ_1 , asociada a los nutrientes el mayor aporte es de los fosfatos.

(iv) **Prueba de hipótesis:** Significancia de la correlación entre los pares de variables canónicas. Se considera que: $\rho_i = \rho(\eta_i, \phi_i), i = 1,2,3$.

Tabla 2:

Prueba de hipótesis para contrastar la significancia de las variables canónicas. Muestreo del año 2014.

Hipótesis	Estadístico de prueba Estadístico de Wilks	Criterio de decisión Se rechaza H_0 , si: $p\text{-valor} \leq \alpha$	Conclusión
$H_0: \rho_1 = 0$ $H_1: \rho_1 \neq 0$ $\alpha = 0.05$	$\lambda = 0.1638$	$p\text{-valor}=0.00000$ $p\text{-valor} < 0.05$ \therefore Se rechaza H_0 .	La correlación entre el primer par de variables canónicas es significativa.
$H_0: \rho_2 = 0$ $H_1: \rho_2 \neq 0$ $\alpha = 0.05$	$\lambda = 0.522$	$p\text{-valor}=0.0003$ $p\text{-valor} < 0.05$ \therefore Se rechaza H_0 .	La correlación entre el segundo par de variables canónicas es significativa.
$H_0: \rho_3 = 0$ $H_1: \rho_3 \neq 0$ $\alpha = 0.05$	$\lambda = 0.8480$	$p\text{-valor}=0.0402$ $p\text{-valor} < 0.05$ \therefore Se rechaza H_0 .	La correlación entre el tercer par de variables canónicas es significativa.

Entonces, al 5% de significación se concluye que existe correlación significativa entre los tres pares de variables canónicas. En este caso, hay tres dimensiones canónicas y las tres son significativas.

En la Figura 6, se representa el comportamiento de los dos conjuntos de variables considerando dos dimensiones.

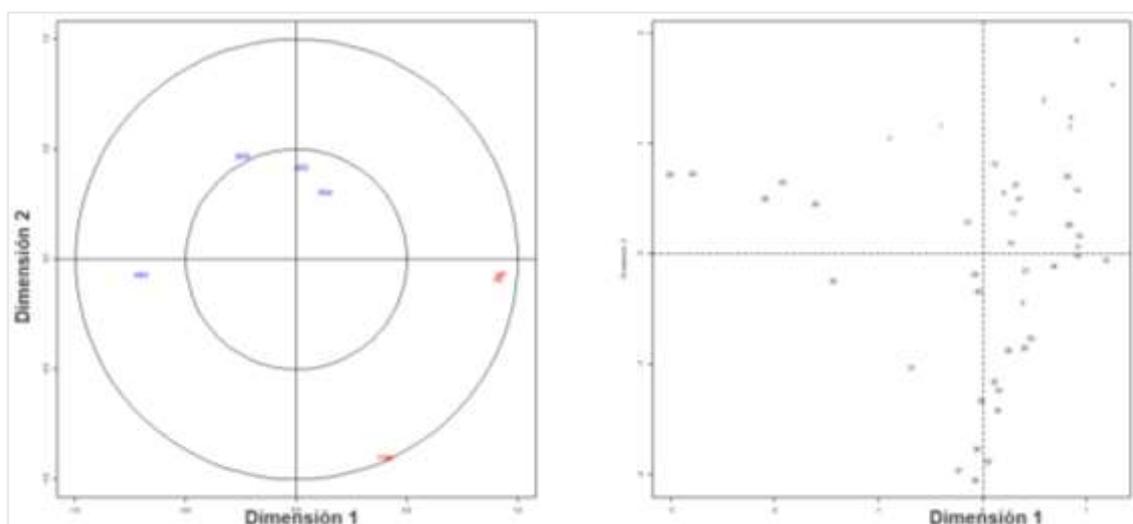


Figura 6:

Gráfico exploratorio de la correlación canónica entre el conjunto de variables “físicoquímicas” y nutrientes. Muestreo año 2014.

4.1.4 Análisis de correlación canónica: Muestreo del año 2011

La Figura 7, muestra las líneas oceanográficas de 5 a 200 millas náuticas del litoral peruano.



Figura 7:

Líneas oceanográficas de 5 a 200 Millas náuticas (1 mn= 1852 m)

FUENTE: Figura adaptada de <https://www.dhn.mil.pe/files/pdf/normas-tecnicas/NormasTecnicasHidrograficasN02.pdf>

Procedimiento:

- (i) **Obtención de la matriz de correlación R .** La matriz R de orden 12x12, es la matriz de correlación del conjunto de variables “temperatura” y el conjunto de variables “salinidad” del muestreo del año 2011 en las estaciones localizadas en San Juan, Callao, Chimbote, Chicama, Punta Falsa, y Paíta.

$$R = \begin{matrix} & \begin{matrix} Tcallao & Tchicama & Tchimbote & Tfalsa & Tsanjuan & Tpaita & Scallao & Schicama & Schimbote & Sfalsa & Ssanjuan & Spaita \end{matrix} \\ \begin{matrix} Tcallao \\ Tchicama \\ Tchimbote \\ Tfalsa \\ Tsanjuan \\ Tpaita \\ Scallao \\ Schicama \\ Schimbote \\ Sfalsa \\ Ssanjuan \\ Spaita \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & -0.2 & 0.35 & 0.53 & 0.46 & -0.14 & 0.99 & -0.24 & 0.39 & 0.58 & 0.47 & -0.18 \\ -0.2 & 1 & -0.08 & -0.18 & -0.13 & 0.31 & -0.21 & 0.99 & -0.12 & -0.21 & -0.09 & 0.3 \\ 0.35 & -0.08 & 1 & 0.6 & 0 & -0.27 & 0.31 & -0.07 & 0.99 & 0.59 & 0.04 & -0.33 \\ 0.53 & -0.18 & 0.6 & 1 & 0.21 & -0.22 & 0.49 & -0.19 & 0.61 & 0.99 & 0.27 & -0.28 \\ 0.46 & -0.13 & 0 & 0.21 & 1 & 0.2 & 0.5 & -0.18 & 0.05 & 0.26 & 0.98 & 0.23 \\ -0.14 & 0.31 & -0.27 & -0.22 & 0.2 & 1 & -0.09 & 0.31 & -0.28 & -0.2 & 0.25 & 0.94 \\ 0.99 & -0.21 & 0.31 & 0.49 & 0.5 & -0.09 & 1 & -0.26 & 0.36 & 0.55 & 0.51 & -0.14 \\ -0.24 & 0.99 & -0.07 & -0.19 & -0.18 & 0.31 & -0.26 & 1 & -0.12 & -0.23 & -0.14 & 0.3 \\ 0.39 & -0.12 & 0.99 & 0.61 & 0.05 & -0.28 & 0.36 & -0.12 & 1 & 0.61 & 0.08 & -0.34 \\ 0.58 & -0.21 & 0.59 & 0.99 & 0.26 & -0.2 & 0.55 & -0.23 & 0.61 & 1 & 0.32 & -0.26 \\ 0.47 & -0.09 & 0.04 & 0.27 & 0.98 & 0.25 & 0.51 & -0.14 & 0.08 & 0.32 & 1 & 0.27 \\ -0.18 & 0.3 & -0.33 & -0.28 & 0.23 & 0.94 & -0.14 & 0.3 & -0.34 & -0.26 & 0.27 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

La Figura 8, representa las correlaciones de la matriz R .



Figura 8:
Correlación de las variables del conjunto “temperatura” y de las variables del conjunto “salinidad”. Muestreo del año 2011 con los 8 perfiles oceanográficos: 5mn, 20mn, 40mn, 60mn, 90 mn, 120mn, 160mn y 200mn.

(ii) Partición de la matriz R para la obtención de las matrices $A = R_{11}^{-1}R_{12}R_{22}^{-1}R_{21}$ y $B = R_{22}^{-1}R_{21}R_{11}^{-1}R_{12}$.

	R_{11}						R_{12}					
	Tcallao	Tchicama	Tchimbote	Tfalsa	Tsanjuan	Tpaita	Scallao	Schicama	Schimbote	Sfalsa	Ssanjuan	Spaita
Tcallao	1	-0.2	0.35	0.53	0.46	-0.14	0.99	-0.24	0.39	0.58	0.47	-0.18
Tchicama	-0.2	1	-0.08	-0.18	-0.13	0.31	-0.21	0.99	-0.12	-0.21	-0.09	0.3
Tchimbote	0.35	-0.08	1	0.6	0	-0.27	0.31	-0.07	0.99	0.59	0.04	-0.33
Tfalsa	0.53	-0.18	0.6	1	0.21	-0.22	0.49	-0.19	0.61	0.99	0.27	-0.28
Tsanjuan	0.46	-0.13	0	0.21	1	0.2	0.5	-0.18	0.05	0.26	0.98	0.23
Tpaita	-0.14	0.31	-0.27	-0.22	0.2	1	-0.09	0.31	-0.28	-0.2	0.25	0.94
Scallao	0.99	-0.21	0.31	0.49	0.5	-0.09	1	-0.26	0.36	0.55	0.51	-0.14
Schicama	-0.24	0.99	-0.07	-0.19	-0.18	0.31	-0.26	1	-0.12	-0.23	-0.14	0.3
Schimbote	0.39	-0.12	0.99	0.61	0.05	-0.28	0.36	-0.12	1	0.61	0.08	-0.34
Sfalsa	0.58	-0.21	0.59	0.99	0.26	-0.2	0.55	-0.23	0.61	1	0.32	-0.26
Ssanjuan	0.47	-0.09	0.04	0.27	0.98	0.25	0.51	-0.14	0.08	0.32	1	0.27
Spaita	-0.18	0.3	-0.33	-0.28	0.23	0.94	-0.14	0.3	-0.34	-0.26	0.27	1

Así,

	Tcallao	Tchicama	Tchimbote	Tfalsa	Tsanjuan	Tpaita
$R_{11} =$	1.00	-0.20	0.35	0.53	0.46	-0.14
	-0.20	1.00	-0.08	-0.18	-0.13	0.31
	0.35	-0.08	1.00	0.60	0.00	-0.27
	0.53	-0.18	0.60	1.00	0.21	-0.22
	0.46	-0.13	0.00	0.21	1.00	0.20
	-0.14	0.31	-0.27	-0.22	0.20	1.00

	Scallao	Schicama	Schimbote	Sfalsa	Ssanjuan	Spaita
$R_{22} =$	1.00	-0.26	0.36	0.55	0.51	-0.14
	-0.26	1.00	-0.12	-0.23	-0.14	0.30
	0.36	-0.12	1.00	0.61	0.08	-0.34
	0.55	-0.23	0.61	1.00	0.32	-0.26
	0.51	-0.14	0.08	0.32	1.00	0.27
	-0.14	0.30	-0.34	-0.26	0.27	1.00

y,

	Scallao	Schicama	Schimbote	Sfalsa	Ssanjuan	Spaita
$R_{12} = R_{21} =$	0.99	-0.24	0.39	0.58	0.47	-0.18
	-0.21	0.99	-0.12	-0.21	-0.09	0.3
	0.31	-0.07	0.99	0.59	0.04	-0.33
	0.49	-0.19	0.61	0.99	0.27	-0.28
	0.5	-0.18	0.05	0.26	0.98	0.23
	-0.09	0.31	-0.28	-0.2	0.25	0.94

(iii) Obtención de los autovalores, correlaciones y variables canónicas.

El número de autovalores es igual al mínimo entre $p = 6$ y $q = 6$ (seis variables *temperaturas* y seis variables *salinidades*) obtenidos como soluciones de la ecuación $|A - \lambda I| = 0$.

Entonces, los **autovalores** de la matriz $A = R_{11}^{-1}R_{12}R_{22}^{-1}R_{21}$ son los siguientes:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= 0.9941211 & \lambda_2 &= 0.9908025 & \lambda_3 &= 0.9837027 \\ \lambda_4 &= 0.9652078 & \lambda_5 &= 0.9454029 & \lambda_6 &= 0.8554475 \end{aligned}$$

y las correspondientes correlaciones **canónicas** (raíz cuadrada de autovalores):

$$\begin{aligned} r_1 &= 0.9970562 & r_2 &= 0.9953906 & r_3 &= 0.9918179 \\ r_4 &= 0.9824499 & r_5 &= 0.9723183 & r_6 &= 0.9249041 \end{aligned}$$

Asimismo, los **autovectores** de la matriz de A son los siguientes:

	$[\mathbf{a}_1]$	$[\mathbf{a}_2]$	$[\mathbf{a}_3]$	$[\mathbf{a}_4]$	$[\mathbf{a}_5]$	$[\mathbf{a}_6]$
Tcallao	0.06	-0.04	-0.30	0.15	-0.23	0.08
Tchicama	0.07	0.26	-0.09	-0.04	0.00	-0.10
Tchimbote	0.16	0.03	0.13	0.27	0.13	0.04
Tfalsa	0.13	-0.03	0.06	-0.36	-0.03	0.02
Tsanjuan	-0.01	-0.03	-0.07	-0.02	0.34	-0.18
Tpaita	-0.01	0.00	-0.01	-0.01	0.05	0.32

y, los siguientes son los **autovectores** de la matriz **B**:

	$[\mathbf{b}_1]$	$[\mathbf{b}_2]$	$[\mathbf{b}_3]$	$[\mathbf{b}_4]$	$[\mathbf{b}_5]$	$[\mathbf{b}_6]$
Scallao	0.86	-0.61	-5.78	2.92	-4.14	1.73
Schicama	1.51	4.84	-1.70	-0.72	-0.31	-1.63
Schimbote	2.81	0.48	2.32	4.88	2.30	1.01
sfalsa	2.68	-0.54	1.17	-7.18	-1.17	1.13
Ssanjuan	-0.30	-0.37	-1.52	-0.61	7.26	-4.58
Spaita	-0.20	0.09	0.14	0.11	0.95	7.11

Las siguientes dos combinaciones lineales corresponden al primer par de **variables canónicas**, estas tienen la más alta correlación:

$$\eta_1 = 0.06 T_{callao} + 0.07 T_{chicama} + \mathbf{0.16 T_{chimbote}} +$$

$$0.13 T_{falsa} - 0.01 T_{sanjuan} - 0.01 T_{paita}$$

$$\phi_1 = 0.86 S_{callao} + 1.51 S_{chicama} + \mathbf{2.81 S_{chimbote}} +$$

$$2.68 S_{falsa} - 0.30 S_{sanjuan} - 0.20 S_{paita}$$

La primera variable canónica, η_1 , asociada al conjunto de variables “temperatura”; el mayor aporte es el de la temperatura de la estación de Chimbote. Del mismo modo, en la primera variable canónica, ϕ_1 , del conjunto “salinidad” el mayor aporte es el de la salinidad de la misma estación de Chimbote.

- (iv) **Prueba de hipótesis:** Significancia de la correlación entre los pares de variables canónicas. Se establece que $\rho_i = \rho(\eta_i, \phi_i)$, $i = 1, \dots, 6$.

Tabla 3:

Prueba de hipótesis para contrastar la significancia de las variables canónicas. Muestreo del año 2011.

Hipótesis	Estadístico de prueba Estadístico de Wilks	Criterio de decisión Se rechaza H_0 , si: $p\text{-valor} \leq \alpha$	Conclusión
$H_0: \rho_1 = 0$ $H_1: \rho_1 \neq 0$ $\alpha = 0.05$	$\lambda = 64145.26$	p-valor=0.00 p – valor < 0.05 ∴Se rechaza H_0 .	La correlación entre el primer par de variables canónicas es significativa.
$H_0: \rho_2 = 0$ $H_1: \rho_2 \neq 0$ $\alpha = 0.05$	$\lambda = 48930.97$	p-valor=0.00 p – valor < 0.05 ∴Se rechaza H_0 .	La correlación entre el segundo par de variables canónicas es significativa.
$H_0: \rho_3 = 0$ $H_1: \rho_3 \neq 0$ $\alpha = 0.05$	$\lambda = 36150.54$	p-valor=0.00 p – valor < 0.05 ∴Se rechaza H_0 .	La correlación entre el tercer par de variables canónicas es significativa.
$H_0: \rho_4 = 0$ $H_1: \rho_4 \neq 0$ $\alpha = 0.05$	$\lambda = 25959.69$	p-valor=0.00 p – valor < 0.05 ∴Se rechaza H_0 .	La correlación entre el cuarto par de variables canónicas es significativa.
$H_0: \rho_5 = 0$ $H_1: \rho_5 \neq 0$ $\alpha = 0.05$	$\lambda = 17548.83$	p-valor=0.00 p – valor < 0.05 ∴Se rechaza H_0 .	La correlación entre el quinto par de variables canónicas es significativa.
$H_0: \rho_6 = 0$ $H_1: \rho_6 \neq 0$ $\alpha = 0.05$	$\lambda = 20256.98$	p-valor=0.00 p – valor < 0.05 ∴Se rechaza H_0 .	La correlación entre el sexto par de variables canónicas es significativa.

Entonces, al 5% de significación se concluye que existe correlación significativa entre los seis pares de variables canónicas. En este caso, hay seis dimensiones canónicas y las seis son significativas.

En la Figura 9, se representa el comportamiento de los dos conjuntos de variables “temperatura” y “salinidad” considerando dos dimensiones.

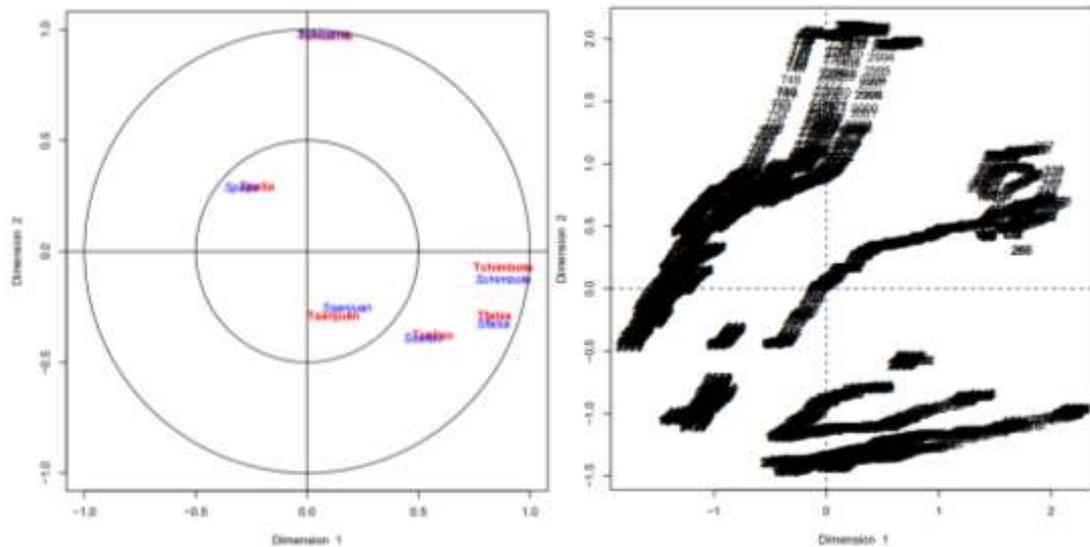


Figura 9:
Gráfico exploratorio de la correlación canónica entre el conjunto de variables “temperatura” y “salinidad”. Muestreo del año 2011 con los 8 perfiles oceanográficos: 5mn, 20mn, 40mn, 60mn, 90 mn, 120mn, 160mn y 200mn.

4.1.4.1 **Análisis de correlación canónica:** Muestreo del año 2011. Perfil oceanográfico 5mn.

Procedimiento:

- (i) **Obtención de la matriz de correlación R .** La matriz R de orden 12x12, es la matriz de correlación de las variables del conjunto “temperatura”: Tcallao, Tchicama, Tchimbote, Tfalsa, Tsanjuan y Tpaita, con las variables del conjunto “salinidad”: Scallao, Schicama, Schimbote, Sfalsa, Ssanjuan y Spaita del muestreo del año 2011 en el perfil oceanográfico 5mn.

	Tchicame	Tchimbote	Tcallao	Tpaita	Tfalsa	Tsanjuan	Schicame	Schimbot	Scallao	Spaita	Sfalsa	Ssanjuan	
R=	1.00	0.95	0.96	0.95	0.83	0.69	-0.22	-0.71	0.06	-0.01	0.51	0.81	
Tchicame	0.95	1.00	0.94	0.94	0.80	0.65	-0.39	-0.82	0.10	0.06	0.64	0.78	
Tchimbote	0.96	0.94	1.00	0.97	0.81	0.66	-0.30	-0.66	-0.04	-0.04	0.61	0.81	
Tcallao	0.95	0.94	0.97	1.00	0.71	0.60	-0.31	-0.70	-0.04	-0.18	0.63	0.75	
Tpaita	0.83	0.80	0.81	0.71	1.00	0.80	-0.14	-0.43	-0.03	0.14	0.32	0.90	
Tfalsa	0.69	0.65	0.66	0.60	0.80	1.00	-0.02	-0.32	-0.27	0.00	0.23	0.85	
Tsanjuan	-0.22	-0.39	-0.30	-0.31	-0.14	-0.02	1.00	0.53	0.24	-0.12	-0.70	-0.11	
Schicame	-0.71	-0.82	-0.66	-0.70	-0.43	-0.32	0.53	1.00	-0.25	-0.25	-0.70	-0.36	
Schimbot	0.06	0.10	-0.04	-0.04	-0.03	-0.27	0.24	-0.25	1.00	0.33	-0.25	-0.21	
Scallao	-0.01	0.06	-0.04	-0.18	0.14	0.00	-0.12	-0.25	0.33	1.00	0.19	-0.07	
Spaita	0.51	0.64	0.61	0.63	0.32	0.23	-0.70	-0.70	-0.25	0.19	1.00	0.32	
Sfalsa	0.81	0.78	0.81	0.75	0.90	0.85	-0.11	-0.36	-0.21	-0.07	0.32	1.00	
Ssanjuan													

La Figura 10, representa las correlaciones de la matriz **R**.

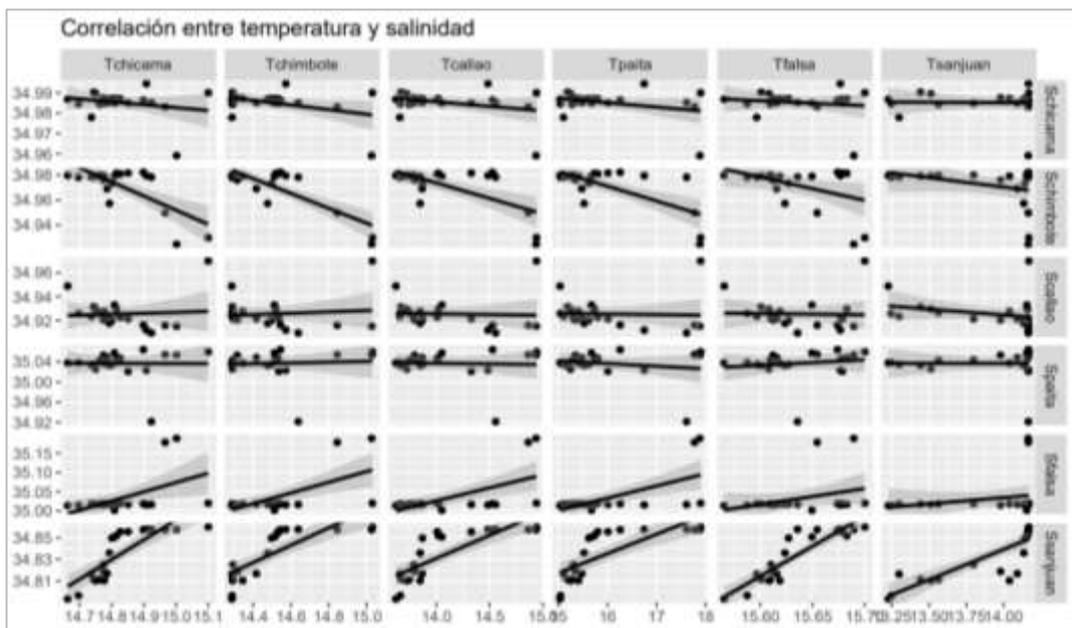


Figura 10:

Correlación entre las variables del conjunto “temperatura” y las variables del conjunto “salinidad”. Muestreo del año 2011 -Perfil oceanográfico: 5mn.

(ii) Partición de la matriz **R**, para la obtención de las matrices:

$$A = R_{11}^{-1}R_{12}R_{22}^{-1}R_{21} \text{ y } B = R_{22}^{-1}R_{21}R_{11}^{-1}R_{12}.$$

$$R_{11} = \begin{matrix} & \text{Tcallao} & \text{Tchicama} & \text{Tchimbote} & \text{Tfalsa} & \text{Tsanjuan} & \text{Tpaita} \\ \begin{matrix} \text{Tchicama} \\ \text{Tchimbote} \\ \text{Tcallao} \\ \text{Tpaita} \\ \text{Tfalsa} \\ \text{Tsanjuan} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1.00 & 0.95 & 0.96 & 0.95 & 0.83 & 0.69 \\ 0.95 & 1.00 & 0.94 & 0.94 & 0.80 & 0.65 \\ 0.96 & 0.94 & 1.00 & 0.97 & 0.81 & 0.66 \\ 0.95 & 0.94 & 0.97 & 1.00 & 0.71 & 0.60 \\ 0.83 & 0.80 & 0.81 & 0.71 & 1.00 & 0.80 \\ 0.69 & 0.65 & 0.66 & 0.60 & 0.80 & 1.00 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$R_{22} = \begin{matrix} & \text{Schicama} & \text{Schimbote} & \text{Scallao} & \text{Spaita} & \text{Sfalsa} & \text{Ssanjuan} \\ \begin{matrix} \text{Schicama} \\ \text{Schimbote} \\ \text{Scallao} \\ \text{Spaita} \\ \text{Sfalsa} \\ \text{Ssanjuan} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1.00 & 0.53 & 0.24 & -0.12 & -0.70 & -0.11 \\ 0.53 & 1.00 & -0.25 & -0.25 & -0.70 & -0.36 \\ 0.24 & -0.25 & 1.00 & 0.33 & -0.25 & -0.21 \\ -0.12 & -0.25 & 0.33 & 1.00 & 0.19 & -0.07 \\ -0.70 & -0.70 & -0.25 & 0.19 & 1.00 & 0.32 \\ -0.11 & -0.36 & -0.21 & -0.07 & 0.32 & 1.00 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$R_{12} = R_{21} = \begin{matrix} & \text{Schicama} & \text{Schimbote} & \text{Scallao} & \text{Spaita} & \text{Sfalsa} & \text{Ssanjuan} \\ \begin{matrix} \text{Tchicama} \\ \text{Tchimbote} \\ \text{Tcallao} \\ \text{Tpaita} \\ \text{Tfalsa} \\ \text{Tsanjuan} \end{matrix} & \begin{bmatrix} -0.22 & -0.71 & 0.06 & -0.01 & 0.51 & 0.81 \\ -0.39 & -0.82 & 0.10 & 0.06 & 0.64 & 0.78 \\ -0.30 & -0.66 & -0.04 & -0.04 & 0.61 & 0.81 \\ -0.31 & -0.70 & -0.04 & -0.18 & 0.63 & 0.75 \\ -0.14 & -0.43 & -0.03 & 0.14 & 0.32 & 0.90 \\ -0.02 & -0.32 & -0.27 & 0.00 & 0.23 & 0.85 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

(iii) **Obtención de los autovalores, correlaciones y variables canónicas.**

El número de autovalores es igual al mínimo entre $p = 6$ y $q = 6$ (seis variables *temperaturas* y seis variables *salinidades*) obtenidos como soluciones de la ecuación

$$|A - \lambda I| = 0.$$

Entonces, $\lambda_i, i = 1,2,3,4,5,6$ son los **autovalores** de la matriz $A =$

$$R_{11}^{-1}R_{12}R_{22}^{-1}R_{21}:$$

$$\lambda_1 = 0.98675499 \quad \lambda_2 = 0.89286808 \quad \lambda_3 = 0.80297016$$

$$\lambda_4 = 0.50577489 \quad \lambda_5 = 0.17430158 \quad \lambda_6 = 0.04203824$$

y las correspondientes correlaciones *canónicas* son calculadas tomando la raíz cuadrada de estos autovalores:

$$r_1 = 0.9933554 \quad r_2 = 0.9449170 \quad r_3 = 0.8960860$$

$$r_4 = 0.7111785 \quad r_5 = 0.4174944 \quad r_6 = 0.2050323$$

Los siguientes son los *autovectores* de la matriz de **A**:

	$[, \mathbf{a}_1]$	$[, \mathbf{a}_2]$	$[, \mathbf{a}_3]$	$[, \mathbf{a}_4]$	$[, \mathbf{a}_5]$	$[, \mathbf{a}_6]$
Tchicama	-7.59	-19.85	6.90	31.45	-9.12	-20.25
Tchimbote	-6.76	-5.97	6.52	-5.16	5.01	8.44
Tcallao	0.82	-2.12	-1.57	-5.84	8.34	-7.24
Tpaita	0.82	4.35	-0.40	0.75	-2.99	2.32
Tfalsa	6.56	11.89	-28.72	-25.30	-58.06	18.20
Tsanjuan	0.12	0.28	-1.73	2.14	3.56	1.61

y, los siguientes son los *autovectores* de la matriz **B**:

	$[, \mathbf{b}_1]$	$[, \mathbf{b}_2]$	$[, \mathbf{b}_3]$	$[, \mathbf{b}_4]$	$[, \mathbf{b}_5]$	$[, \mathbf{b}_6]$
Schicama	5.63	39.21	-13.79	112.41	59.83	-180.46
Schimbote	40.21	21.87	-29.01	-93.44	-42.63	-24.54
Scallao	-16.04	8.89	27.39	-63.27	-86.48	-31.16
Spaita	-0.63	-31.50	-11.17	-7.40	18.34	-5.49
Sfalsa	0.49	20.39	4.21	-21.17	2.54	-25.43
Ssanjuan	-21.60	0.24	-38.08	-14.39	-22.42	2.90

Con el primer autovector de la matriz A y de la matriz B respectivamente se construyen las siguientes dos combinaciones lineales que corresponden al primer par de **variables canónicas**, las cuales tienen la más alta correlación:

Las siguientes dos combinaciones lineales corresponden al primer par de **variables canónicas**, estas tienen la más alta correlación.

$$\eta_1 = -7.59 T_{chicama} - 6.76 T_{chimbote} + 0.82 T_{callao} + 0.82 T_{paita} - 6.56 T_{falsa} + 0.12 T_{sanjuan}$$

$$\phi_1 = 5.63 S_{chicama} + 40.21 S_{chimbote} - 16.04 S_{callao} - 0.63 S_{paita} + 0.49 S_{falsa} - 21.60 S_{sanjuan}$$

En la primera variable canónica, η_1 , asociada a las variables “temperatura” se observa que el mayor aporte es el de la temperatura de la estación de Chicama. Del mismo modo, en la primera variable canónica, ϕ_1 , del conjunto “salinidad” el mayor aporte es el de la salinidad de la estación de Chimbote.

(iv) **Prueba de hipótesis:** Significancia de la correlación entre los pares de variables canónicas. Se considera que: $\rho_i = \rho(\eta_i, \phi_i), i = 1,2,3,4,5,6$.

Tabla 4:

Prueba de hipótesis para contrastar la significancia de las variables canónicas.

Muestreo del año 2011 -Perfil oceanográfico: 5mn.

Hipótesis	Estadístico de prueba Estadístico de Wilks	Criterio de decisión Se rechaza H_0 , si: $p\text{-valor} \leq \alpha$	Conclusión
$H_0: \rho_1 = 0$ $H_1: \rho_1 \neq 0$ $\alpha = 0.05$	$\lambda = 9.0518974$	p-valor=0.00 $p - \text{valor} < 0.05$ \therefore Se rechaza H_0 .	La correlación entre el primer par de variables canónicas es significativa.
$H_0: \rho_2 = 0$ $H_1: \rho_2 \neq 0$ $\alpha = 0.05$	$\lambda = 4.4701456$	p-valor=0.00 $p - \text{valor} < 0.05$ \therefore Se rechaza H_0 .	La correlación entre el segundo par de variables canónicas es significativa.
$H_0: \rho_3 = 0$ $H_1: \rho_3 \neq 0$ $\alpha = 0.05$	$\lambda = 3.0640326$	p-valor=0.002 $p - \text{valor} < 0.05$ \therefore Se rechaza H_0 .	La correlación entre el tercer par de variables canónicas es significativa.
$H_0: \rho_4 = 0$ $H_1: \rho_4 \neq 0$ $\alpha = 0.05$	$\lambda = 1.6635378$	p-valor=0.140 $p - \text{valor} > 0.05$ \therefore No se rechaza H_0 .	La correlación entre el cuarto par de variables canónicas no es significativa.
$H_0: \rho_5 = 0$ $H_1: \rho_5 \neq 0$ $\alpha = 0.05$	$\lambda = 17548.83$	p-valor=0.494 $p - \text{valor} > 0.05$ \therefore No se rechaza H_0 .	La correlación entre el quinto par de variables canónicas no es significativa.
$H_0: \rho_6 = 0$ $H_1: \rho_6 \neq 0$ $\alpha = 0.05$	$\lambda = 20256.98$	p-valor=0.430 $p - \text{valor} > 0.05$ \therefore No se rechaza H_0 .	La correlación entre el sexto par de variables canónicas no es significativa.

Entonces, al 5% de significación se concluye que existe correlación significativa entre los tres primeros pares de variables canónicas. En este caso, hay seis dimensiones canónicas y tres de las seis son significativas.

En la Figura 11, se representa el comportamiento de los dos conjuntos de variables “temperatura” y “salinidad” considerando dos dimensiones.

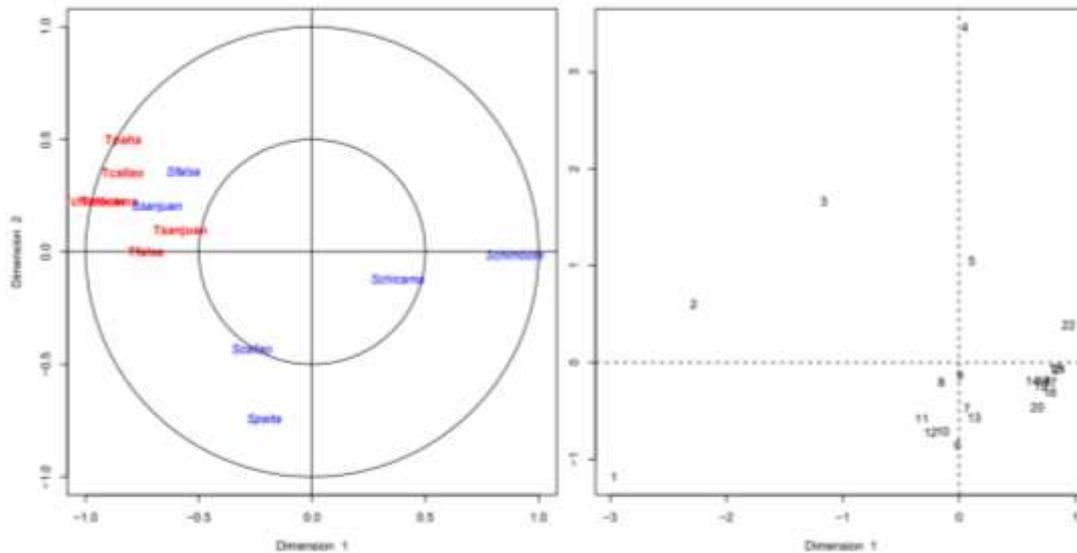


Figura 11:
Gráfico exploratorio de la correlación canónica entre el conjunto de variables “temperatura” y “salinidad”. Muestreo del año 2011- Perfil oceanográfico: 5mn.

4.1.4.2 Análisis de correlación canónica: Muestreo año 2011. Perfil oceanográfico 200 mn.

Se obtiene la matriz de correlación de las variables consideradas en el análisis.

	Tcallao	Tchicama	Tchimbote	Tpaite	Tfalsa	Tsanjuan	Scallao	Schicama	Schimbote	Spaita	Sfalsa	Ssanjuan
R= Tcallao	1.000	0.980	0.990	0.977	0.964	0.993	0.986	0.979	0.972	0.972	0.971	0.893
Tchicama	0.980	1.000	0.976	0.994	0.992	0.979	0.965	0.995	0.961	0.977	0.989	0.891
Tchimbote	0.990	0.976	1.000	0.974	0.972	0.993	0.989	0.970	0.994	0.957	0.969	0.914
Tpaite	0.977	0.994	0.974	1.000	0.989	0.984	0.968	0.994	0.964	0.990	0.993	0.904
Tfalsa	0.964	0.992	0.972	0.989	1.000	0.973	0.959	0.983	0.963	0.963	0.991	0.893
Tsanjuan	0.993	0.979	0.993	0.984	0.973	1.000	0.989	0.981	0.986	0.979	0.981	0.920
Scallao	0.986	0.965	0.989	0.968	0.959	0.989	1.000	0.962	0.985	0.955	0.959	0.940
Schicama	0.979	0.995	0.970	0.994	0.983	0.981	0.962	1.000	0.955	0.988	0.990	0.888
Schimbote	0.972	0.961	0.994	0.964	0.963	0.986	0.985	0.955	1.000	0.945	0.959	0.934
Spaita	0.972	0.977	0.957	0.990	0.963	0.979	0.955	0.988	0.945	1.000	0.981	0.889
Sfalsa	0.971	0.989	0.969	0.993	0.991	0.981	0.959	0.990	0.959	0.981	1.000	0.887
Ssanjuan	0.893	0.891	0.914	0.904	0.893	0.920	0.940	0.888	0.934	0.889	0.887	1.000

En la siguiente Figura 12, se representa la magnitud de las relaciones entre las variables.

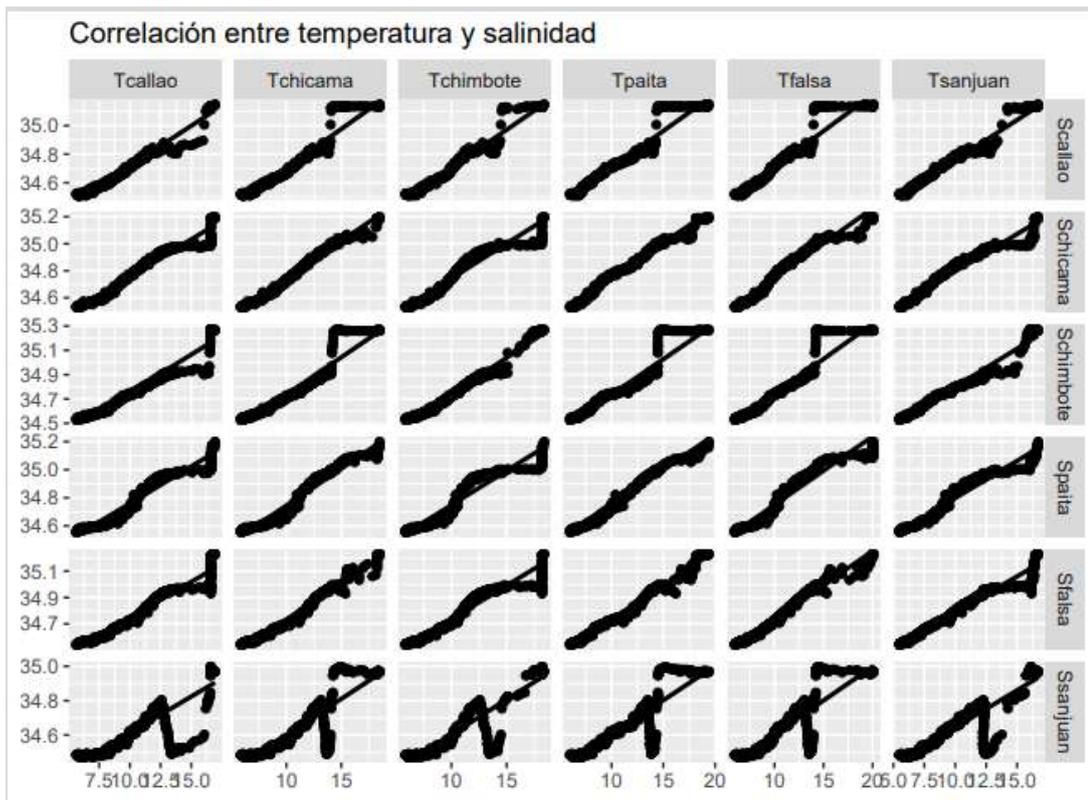


Figura 12:

Correlación entre las variables del conjunto “temperatura” y las variables del conjunto “salinidad”. Muestreo del año 2011 -Perfil oceanográfico: 200 mn.

(ii) Partición de la matriz R , para la obtención de las matrices $A = R_{11}^{-1}R_{12}R_{22}^{-1}R_{21}$ y $B = R_{22}^{-1}R_{21}R_{11}^{-1}R_{12}$.

	Tcallao	Tchicama	Tchimbote	Tpaita	Tfalsa	Tسانjuan
Tcallao	1.000	0.980	0.990	0.977	0.964	0.993
Tchicama	0.980	1.000	0.976	0.994	0.992	0.979
Tchimbote	0.990	0.976	1.000	0.974	0.972	0.993
Tpaita	0.977	0.994	0.974	1.000	0.989	0.984
Tfalsa	0.964	0.992	0.972	0.989	1.000	0.973
Tسانjuan	0.993	0.979	0.993	0.984	0.973	1.000

$$\mathbf{R}_{22} = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{Scallao} & \text{Schicama} & \text{Schimbot} & \text{Spaita} & \text{Sfalsa} & \text{Ssanjuan} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{Scallao} \\ \text{Schicama} \\ \text{Schimbote} \\ \text{Spaita} \\ \text{Sfalsa} \\ \text{Ssanjuan} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1.000 & 0.962 & 0.985 & 0.955 & 0.959 & 0.940 \\ 0.962 & 1.000 & 0.955 & 0.988 & 0.990 & 0.888 \\ 0.985 & 0.955 & 1.000 & 0.945 & 0.959 & 0.934 \\ 0.955 & 0.988 & 0.945 & 1.000 & 0.981 & 0.889 \\ 0.959 & 0.990 & 0.959 & 0.981 & 1.000 & 0.887 \\ 0.940 & 0.888 & 0.934 & 0.889 & 0.887 & 1.000 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

y,

$$\mathbf{R}_{12} = \mathbf{R}_{21} = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{Scallao} & \text{Schicama} & \text{Schimbot} & \text{Spaita} & \text{Sfalsa} & \text{Ssanjuan} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{Tcallao} \\ \text{Tchicama} \\ \text{Tchimbote} \\ \text{Tpaíta} \\ \text{Tfalsa} \\ \text{Tsanjuan} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.986 & 0.979 & 0.972 & 0.972 & 0.971 & 0.893 \\ 0.965 & 0.995 & 0.961 & 0.977 & 0.989 & 0.891 \\ 0.989 & 0.970 & 0.994 & 0.957 & 0.969 & 0.914 \\ 0.968 & 0.994 & 0.964 & 0.990 & 0.993 & 0.904 \\ 0.959 & 0.983 & 0.963 & 0.963 & 0.991 & 0.893 \\ 0.989 & 0.981 & 0.986 & 0.979 & 0.981 & 0.920 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

(iii) **Obtención de los autovalores, correlaciones y variables canónicas.** El número de autovalores es igual al mínimo entre $p = 6$ y $q = 6$ (seis variables *temperaturas* y seis variables *salinidades*) obtenidos como soluciones de la ecuación $|\mathbf{A} - \lambda \mathbf{I}| = 0$.

Entonces, $\lambda_i, i = 1,2,3,4,5,6$ son los **autovalores** de la matriz $\mathbf{A} = \mathbf{R}_{11}^{-1} \mathbf{R}_{12} \mathbf{R}_{22}^{-1} \mathbf{R}_{21}$:

$$\begin{array}{lll}
 \lambda_1 = 0.99874557 & \lambda_2 = 0.94864607 & \lambda_3 = 0.77712790 \\
 \lambda_4 = 0.72522743 & \lambda_5 = 0.62414097 & \lambda_6 = 0.04510663
 \end{array}$$

y las correspondientes correlaciones **canónicas** son calculadas tomando la raíz cuadrada de estos autovalores:

$$\begin{array}{lll}
 r_1 = 0.9993726 & r_2 = 0.9739846 & r_3 = 0.8815486 \\
 r_4 = 0.8516029 & r_5 = 0.7900259 & r_6 = 0.2123832
 \end{array}$$

Los siguientes son los **autovectores** de la matriz de **A**:

$$\begin{array}{l}
 [\mathbf{a}_1] \quad [\mathbf{a}_2] \quad [\mathbf{a}_3] \quad [\mathbf{a}_4] \quad [\mathbf{a}_5] \quad [\mathbf{a}_6] \\
 \begin{array}{l}
 Tcallao \\
 Tchicama \\
 Tchimbote \\
 Tpaita \\
 Tfalsa \\
 Tsanjuan
 \end{array}
 \left[\begin{array}{cccccc}
 -0.071 & 0.577 & -0.411 & -1.899 & -2.851 & 1.622 \\
 0.077 & 0.698 & 1.758 & -0.596 & 3.257 & -2.952 \\
 0.005 & -1.758 & -0.359 & -0.219 & 1.520 & 1.857 \\
 0.119 & 0.578 & -1.913 & 0.516 & 0.184 & 3.264 \\
 -0.043 & -0.410 & 0.899 & 0.428 & -2.683 & 0.522 \\
 0.202 & 0.393 & 0.103 & 1.702 & 0.617 & -4.609
 \end{array} \right]
 \end{array}$$

y, los siguientes son los **autovectores** de la matriz **B**:

$$\begin{array}{l}
 [\mathbf{b}_1] \quad [\mathbf{b}_2] \quad [\mathbf{b}_3] \quad [\mathbf{b}_4] \quad [\mathbf{b}_5] \quad [\mathbf{b}_6] \\
 \begin{array}{l}
 scallao \\
 schicama \\
 schimbote \\
 spaita \\
 sfalsa \\
 ssanjuan
 \end{array}
 \left[\begin{array}{cccccc}
 0.517 & 0.518 & -7.616 & -19.987 & -26.325 & -12.211 \\
 0.965 & 7.643 & 25.656 & -24.246 & 30.905 & -7.033 \\
 1.039 & -16.562 & -2.118 & 4.338 & 17.203 & 15.801 \\
 1.638 & 9.980 & -30.949 & 8.559 & 2.231 & 11.364 \\
 0.942 & -1.131 & 12.380 & 23.095 & -31.597 & 1.190 \\
 0.103 & 2.610 & 2.365 & 10.820 & 6.524 & -13.711
 \end{array} \right]
 \end{array}$$

Con el primer autovector de la matriz A y de la matriz B respectivamente se construyen las siguientes dos combinaciones lineales que corresponden al primer par de **variables canónicas**, las cuales tienen la más alta correlación:

$$\eta_1 = -0.071 Tcallao + 0.077 Tchicama + 0.005Tchimbote + 0.119 Tpaita - 0.043 Tfalsa + \mathbf{0.202 Tsanjuan}$$

$$\phi_1 = 0.517 Scallao + 0.965 Schicama + 1.039 Schimbote + \mathbf{1.638 Spaita} + 0.942 Sfalsa + 0.103 Ssanjuan$$

En la primera variable canónica, η_1 , asociada a las variables “temperatura” se observa que el mayor aporte es el de la temperatura de la estación de San Juan. Del mismo modo, en la primera variable canónica, ϕ_1 , del conjunto “salinidad” el mayor aporte es el de la salinidad de la estación de Paita.

(iv) **Prueba de hipótesis:** Significancia de la correlación entre los pares de variables canónicas. Se considera que: $\rho_i = \rho(\eta_i, \phi_i), i = 1,2,3,4,5,6$.

Tabla 5:

Prueba de hipótesis para contrastar la significancia de las variables canónicas.

Muestreo del año 2011 -Perfil oceanográfico: 200mn.

Hipótesis	Estadístico de prueba Estadístico de Wilks	Criterio de decisión Se rechaza H_0 , si: $p\text{-valor} \leq \alpha$	Conclusión
$H_0: \rho_1 = 0$ $H_1: \rho_1 \neq 0$ $\alpha = 0.05$	$\lambda = 1759.8921$	$p\text{-valor} = 0.00$ $p\text{-valor} < 0.05$ \therefore Se rechaza H_0 .	La correlación entre el primer par de variables canónicas es significativa.
$H_0: \rho_2 = 0$ $H_1: \rho_2 \neq 0$ $\alpha = 0.05$	$\lambda = 546.5936$	$p\text{-valor} = 0.00$ $p\text{-valor} < 0.05$ \therefore Se rechaza H_0 .	La correlación entre el segundo par de variables canónicas es significativa.
$H_0: \rho_3 = 0$ $H_1: \rho_3 \neq 0$ $\alpha = 0.05$	$\lambda = 335.6309$	$p\text{-valor} = 0.00$ $p\text{-valor} < 0.05$ \therefore Se rechaza H_0 .	La correlación entre el tercer par de variables canónicas es significativa.
$H_0: \rho_4 = 0$ $H_1: \rho_4 \neq 0$ $\alpha = 0.05$	$\lambda = 304.0946$	$p\text{-valor} = 0.00$ $p\text{-valor} < 0.05$ \therefore Se rechaza H_0 .	La correlación entre el cuarto par de variables canónicas es significativa.
$H_0: \rho_5 = 0$ $H_1: \rho_5 \neq 0$ $\alpha = 0.05$	$\lambda = 236.8991$	$p\text{-valor} = 0.00$ $p\text{-valor} < 0.05$ \therefore Se rechaza H_0 .	La correlación entre el quinto par de variables canónicas es significativa.
$H_0: \rho_6 = 0$ $H_1: \rho_6 \neq 0$ $\alpha = 0.05$	$\lambda = 33.4913$	$p\text{-valor} = 0.00$ $p\text{-valor} < 0.05$ \therefore Se rechaza H_0 .	La correlación entre el sexto par de variables canónicas es significativa.

Entonces, al 5% de significación se concluye que existe correlación significativa entre los seis pares de variables canónicas. En este caso, hay seis dimensiones canónicas y todas son significativas.

A continuación, en la Figura 13, se representa exploratoriamente la correlación canónica entre dos conjuntos de variables “temperatura” y “salinidad”.

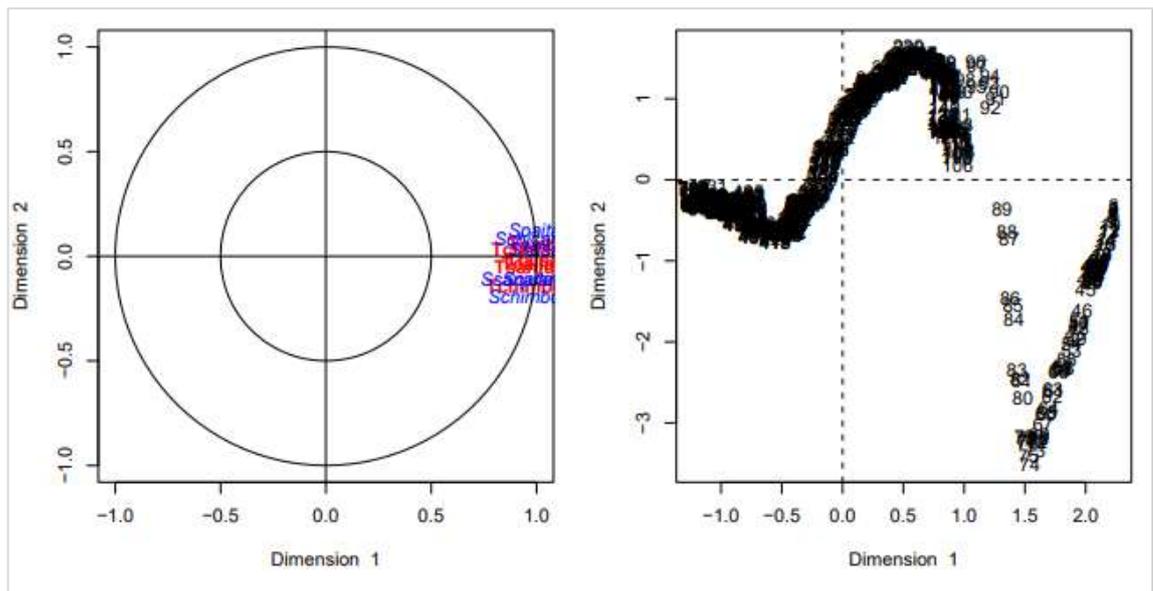


Figura 13:

Gráfico exploratorio de la correlación canónica entre el conjunto de variables “temperatura” y “salinidad”. Muestreo del año 2011- Perfil oceanográfico: 200 mn.

En el Anexo 3, se presentan los pares de variables canónicas con la más alta correlación en todos los perfiles oceanográficos.

4.2 Discusión

Previamente al ACC, se realizó un agrupamiento de las variables identificándose los dos conjuntos definidos inicialmente: Variables fisicoquímicas y nutrientes. Con este resultado que ratifica la agrupación de variables a correlacionar.

En la presente investigación, se formuló como primer objetivo específico determinar la correlación entre el conjunto de variables *fisicoquímicas* (temperatura, oxígeno y pH) y el conjunto de variables *nutrientes* (nitritos, nitratos, silicatos y fosfatos) , mediante el análisis de correlación canónica; a partir de los datos de la Bitácora del Crucero Oceanográfico Sur de la Marina de Guerra del Perú en las estaciones del Callao, Bermejo, Chimbote, Chicama, Punta Falsa y Paita, en el muestreo del año 2012.

Del análisis de datos se encontró que el ACC generó tres pares de variables canónicas donde en el primer par con la más alta correlación ($r = 0.7637$) se encontró que en la primera variable canónica del conjunto “fisicoquímica” la mayor carga se presentó en el pH y en la primera variable canónica del conjunto “nutrientes” la mayor carga la aportaron los nitritos.

Según Yacini (2002), en su tesis “Cambios estacionales de las variables oceanográficas físicas y biogeoquímicas de cinco campañas durante el período 2019-2020 en la laguna costera de Bahía San Quintín (BSQ), Baja California, México, presentada para obtener el grado de Oceanóloga, señala que el estudio de las variables físicas y biogeoquímicas dentro de las lagunas costeras permite conocer mejor la relación que hay entre estas y su intercambio con el océano adyacente. Así mismo, encontró que la distribución de pH y el oxígeno en la zona media de la BSQ aumenta y esto coincide con los máximos de pH en los meses de julio y noviembre. Además, precisa que la distribución de nitritos (NO₂) y nitratos (NO₃) en las diferentes estaciones del año reportadas en su tesis, muestran que hay una mayor concentración de NO₃ que de NO₂, por lo que hay una relación inversa entre ambos. También señala que los máximos de pH y O₂ se relacionan con zonas donde es más fuerte el efecto de la fotosíntesis. En esta tesis se aborda el análisis en forma univariante y bivariante.

Como segundo objetivo específico se propuso determinar la correlación entre el conjunto de variables *fisicoquímicas* con el conjunto de variables *nutrientes*, mediante el análisis de correlación canónica del enfoque multivariado; a partir de los datos obtenidos de la Bitácora del Crucero Oceanográfico Sur de la Marina de Guerra del Perú en las estaciones del Callao, Bermejo, Chimbote, Chicama, Punta Falsa y Paita, en el muestreo del año 2014.

Del análisis de datos se encontró que el ACC generó tres pares de variables canónicas, observándose que en el primer par con la más alta correlación ($r = 0.8285$) se encontró que en la primera variable canónica del conjunto “fisicoquímica” la mayor carga se presentó en el pH y en la primera variable canónica del conjunto “nutrientes” la mayor carga se presentó en los fosfatos.

Según Kaymaz SM. (2018), que realizó el monitoreo y modelamiento de la calidad ecológica de la bahía de Marmaris, con especial atención en la comprensión de los efectos de la contaminación del ecosistema acuático, marinos y el efecto del turismo en la bahía investigando los principales parámetros fisicoquímicos mediante el análisis de componentes principales y el análisis factorial. Asimismo, mediante el análisis de regresión múltiple determinaron las relaciones entre los parámetros de calidad del agua.

Debido al aporte del pH en la primera variable canónica del primer par de variables canónicas en el muestreo del año 2012 y 2014 se considera lo señalado por el Ing. Rodolfo Rodríguez, de la Universidad de Piura, quien expuso el tema: “Seguimiento climático y ecológico de la costa norte del Perú”, durante la conferencia: “Research and Innovation Seminars” (2015), en la cual manifestó su preocupación con respecto a los efectos negativos que están experimentando los océanos debido al cambio climático, uno de ellos es su acidificación (pH), que tiene un efecto en el mar de la

costa norte del país, que implicaría escasa reproducción de concha de abanico y bajo crecimiento de especies marinas como la anchoveta.

Como tercer objetivo específico se planteó determinar la correlación entre el conjunto de variables *temperatura* y el conjunto de variables *salinidad*, en forma conjunta considerando 8 perfiles oceanográficos y en particular en los perfiles oceanográficos a 5 mn y 200 mn, mediante el análisis de correlación canónica del enfoque multivariado; a partir de los datos obtenidos de la Bitácora del Crucero Oceanográfico Sur de la Marina de Guerra del Perú en las estaciones de San Juan, Callao, Chimbote, Chicama, Punta Falsa y Paita, en el muestreo realizado en el año 2011.

Del análisis de datos se encontró que el ACC aplicado en forma conjunta en los 8 perfiles oceanográficos (millas náuticas); evidenció que en la primera variable canónica del conjunto “temperatura” y en la primera variable canónica del conjunto “salinidad” la mayor carga se presentó de la estación de Chimbote. Es decir, la temperatura y salinidad de esta estación son las que más aportan a la correlación entre el primer par de variables canónicas ($r = 0.9971$).

Además, se encontró que en el perfil oceanográfico a 5 mn, en la primera variable canónica del conjunto “temperatura”; la mayor carga se presentó en la temperatura de la estación de Chicama; y en la primera variable canónica del conjunto “salinidad” la mayor carga se presenta en la salinidad de la estación de Chimbote.

Asimismo, en el perfil oceanográfico a 200 mn, en la primera variable canónica del conjunto “temperatura”; la mayor carga se presentó en la estación de San Juan y en la primera variable canónica del conjunto “salinidad” la mayor carga se presenta en la estación de Paita.

Estos tres últimos resultados guardan relación con el estudio realizado por Akselman, R. (1996), que concluyó que en el Golfo de San Jorge y adyacencias (Atlántico Sudoccidental) existe una asociación positiva entre la salinidad y la temperatura. Además, mediante diagramas de dispersión de la temperatura versus la salinidad clasificó la temperatura en dos estratos: (a) temperaturas de 36,37 y 39 que se asocian con valores elevados de salinidad (superiores 33.4 ups) (b) temperaturas de 25, 26, 29, 31, 32, 33, y 35 asociados con valores de salinidad cercanos a 32 ups ($31.5 < S < 32.5$). En la investigación de Morón, O. & Sarmiento, (2000), realizado a bordo de los BICs José Olaya Balandra y SNP-2 entre el 25 de noviembre y 14 de diciembre de 1999 analizaron principalmente la temperatura y salinidad relacionadas con el oxígeno considerando 5 perfiles oceanográficos entre 80 y 110 mn de la costa y hasta 150m de profundidad frente a Punta Falsa, Pacasmayo, Chimbote, Callao y Pisco.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

En el muestreo del año 2012, realizado en las estaciones localizadas en el Callao, Bermejo, Chimbote, Chicama, Punta Falsa y Paita, el ACC generó tres pares de variables canónicas donde en el primer par con la más alta correlación ($r = 0.7637$) se encontró que en la primera variable canónica del conjunto “físicoquímica” la mayor carga se presentó en el pH y en la primera variable canónica del conjunto “nutrientes” la mayor carga la aportaron los nitritos. Es decir, el pH y los nitritos son las variables que más contribuyen en la correlación entre las primeras variables canónicas del conjunto “físicoquímica” y “nutrientes”. Además, al 5% de significación solo la correlación de los dos primeros pares de variables canónicas resultó significativa.

En relación con el muestreo del año 2014, realizado en las estaciones localizadas en el Callao, Bermejo, Chimbote, Chicama, Punta Falsa y Paita, el ACC generó tres pares de variables canónicas, observándose que en el primer par con la más alta correlación ($r = 0.8285$) se encontró que en la primera variable canónica del conjunto “físicoquímica” la mayor carga se presentó en el pH y en la primera variable canónica del conjunto “nutrientes” la mayor carga se presentó en los fosfatos. Entonces, el pH y los fosfatos son las variables que más contribuyen en la correlación entre las primeras variables canónicas del conjunto “físicoquímica” y “nutrientes”. En este caso, al 5% de significación la correlación de los tres pares de variables canónicas resultó significativa.

Respecto al muestreo del año 2011, realizado en las estaciones de San Juan, Callao, Chimbote, Chicama, Punta Falsa y Paita en el que se consideró en forma conjunta 8

perfiles oceanográficos (millas náuticas); el ACC evidenció que en la primera variable canónica del conjunto “temperatura” y en la primera variable canónica del conjunto “salinidad” la mayor carga se presentó de la estación de Chimbote. Es decir, la temperatura y salinidad de esta estación son las que más aportan a la correlación entre el primer par de variables canónicas ($r = 0.9971$). Además,

- En el perfil oceanográfico a 5 mn, en la primera variable canónica del conjunto “temperatura”; la mayor carga se presenta en la temperatura de la estación de Chicama; y en la primera variable canónica del conjunto “salinidad” la mayor carga se presenta en la salinidad de la estación de Chimbote. Además, al 5% de significación se concluye que existe correlación significativa entre los tres primeros pares de variables canónicas. Es decir, hay seis dimensiones canónicas y tres de las seis son significativas.
- En el perfil oceanográfico a 200 mn, en la primera variable canónica del conjunto “temperatura”; la mayor carga se presenta en la estación de San Juan y en la primera variable canónica del conjunto “salinidad” la mayor carga se presenta en la estación de Paita. Además, al 5% de significación se concluye que existe correlación significativa entre los seis pares de variables canónicas. Es decir, hay seis dimensiones canónicas y las seis son significativas.

De esta forma a partir de los datos de la Bitácora del Crucero Oceanográfico Sur de la Marina de Guerra del Perú, en las estaciones localizadas en San Juan, Callao, Bermejo, Chimbote, Chicama, Punta Falsa y Paita, en los muestreos realizado en los años 2012 y 2014; mediante el ACC se encontraron las variables canónicas con la más alta correlación entre los conjuntos de variables físicoquímicas y nutrientes; asimismo, en

el muestreo del año 2011 se encontraron las variables canónicas con la más alta correlación entre los conjuntos de variables temperatura y salinidad.

5.2 Recomendaciones

- El enfoque multivariado en el estudio del ecosistema marino costero peruano ha permitido correlacionar un conjunto específico de variables fisicoquímicas y un conjunto de nutrientes que permite sugerir estudios en los cuales se consideren otras variables oceanográficas y la participación conjunta de especialistas en el área de oceanografía y estadísticos.
- Además, en este tipo de investigación sería importante tener conocimiento de los equipos disponibles e instrumentos de medición que se utilizan en los Cruceros de Navegación de la Marina de Guerra del Perú, tales como termómetros reversibles, botellas Nansen y Niskin, así como tener conocimiento de la tecnología satelital.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdelmonem Afifi , Susanne May, Robin A. Donatello, Virginia A. Clark.

(2020). *Practical Multivariate Analysis. Sixth Edition.*

ACOFI. (2011). *Instrumentación para la medición de salinidad, temperatura y corrientes en océanos.*

Akselman, Rut. (1996). Estudios ecológicos en el Golfo San Jorge y adyacencias (Atlántico Sudoccidental) : Distribución, abundancia y variación estacional del fitoplancton en relación a factores Físico-químicos y la dinámica hidrológica. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.
http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_2857_Akselman.pdf

Anderson, T. W. (2003a). *An introduction to multivariate statistic analysis.* (3.^a ed.). Nueva Jersey: Wiley.

Anderson, T. W. (2003b). *An introduction to multivariate statistical analysis* (3rd ed.). John Wiley & Sons.

Argo, an array of profiling floats observing the ocean in real-time. (2006).

Badii, M. H., & Castillo, J. (2017). Análisis de correlación canónica (ACC) e investigación científica. *Innovaciones de Negocios*, 4(8).
<https://doi.org/10.29105/rinn4.8-9>

Badii, M. H., Pazhakh, A. R., & Abreu Y R, J. L. (2004). Fundamentos del método científico (Fundamentals of the scientific methodology). *InnOvaciOnes de NegOciOs*, 1(1), 89–107.

- Bartlett, M. S. (1941). The statistical significance of canonical correlations. *Biometrika*, 32(1), 29. <https://doi.org/10.2307/2332247>
- Bartlett, M. S. (1947). Multivariate analysis. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B, Statistical Methodology*, 9(2), 176–190. <https://doi.org/10.2307/2984113>
- Burnham, K. P., & Efron, B. (1983). The jackknife, the bootstrap and other resampling plans. *Biometrics*, 39(3), 816. <https://doi.org/10.2307/2531123>
- Canonical Correlation Analysis. (2017). In *Applied Multivariate Research: Design and Interpretation* (pp. 278–286). SAGE Publications, Inc.
- Chacko, H., 1986. An example of the use of canonical correlation analysis University of New Orleans 70148 Paper presented at the annual meeting of the Mid-South Educational Research Association, Memphis, November 19, 1986.
- Cortés, J., A. Villamizar, G.J. Nagy, P.O. Girot, K.S.B. Miglioranza y S. Villasante, 2020: Ecosistemas marino-costeros. En: Adaptación frente a los riesgos del cambio climático en los países iberoamericanos – Informe RIOCCADAPT [Moreno, J.M., C. Laguna-Defior, V. Barros, E. Calvo Buendía, J.A. Marengo y U. Oswald Spring (eds.)]. McGraw-Hill, Madrid, España (pp. 131-160, ISBN: 9788448621643).
- Cuervo, X. (2018). *Sea Surface Temperature Retrievals from Remote Sensing*.
- Daniel. (1990). *Applied Nonparametric Statistics*.
- De, D. (2021). *Aseguramiento y control de calidad para la toma de muestras en terreno del Programa e Observación del Ambiente Litoral (POAL)*.

- de Datos E Información Oceanográfica, C. C. (2011). *Instructivo para la normalización de conjuntos de datos oceanográficos y de meteorología marina (2011, marzo). CENTRO COLOMBIANO DE DATOS E INFORMACIÓN OCEANOGRÁFICA.*
- de Rubín (2004) Enrique Wulff Barreiro, J. P. (Ed.). (2015). *90° Aniversario. El Instituto Español de Oceanografía: sus orígenes y primeras investigaciones. Juan Pérez de Rubín (2004) Enrique Wulff Barreiro.*
- Diaz, S. A. V. (1996). *Sistema de Información sobre los desembarques de los recursos marinos en el litoral peruano.*
- Draper, N.R., and H. Smith. (1998). *Applied Regression Analysis. Wiley.*
- Drushka, K., Asher, W. E., Sprintall, J., Gille, S. T., & Hoang, C. (2019). Global patterns of submesoscale surface salinity variability. *Journal of Physical Oceanography*, 49(7), 1669–1685. <https://doi.org/10.1175/jpo-d-19-0018.1>
- Efron, B. (1992). Bootstrap methods: Another look at the jackknife. In *Springer Series in Statistics* (pp. 569–593). Springer New York.
- Efron, B., & Gong, G. (1983). A leisurely look at the bootstrap, the jackknife, and cross-validation. *The American Statistician*, 37(1), 36–48. <https://doi.org/10.1080/00031305.1983.10483087>
- Efron, B., & Tibshirani, R. J. (1993). Better bootstrap confidence intervals. In *An Introduction to the Bootstrap* (pp. 178–201). Springer US.
- Facundo X. Palacio-María José Apodaca - Jorge V. Crisc. (2020). *Análisis multivariado para datos biológicos. AZARA.*

- Fassbender, A. J. (2021). *Technical note: Interpreting pH changes*.
- Fassbender, A. J., Orr, J. C., & Dickson, A. G. (2020). *Technical note: Interpreting pH changes*. <https://doi.org/10.5194/bg-2020-348>
- Fassbender, A. J., Orr, J. C., & Dickson, A. G. (2021). Technical note: Interpreting pH changes. *Biogeosciences*, 18(4), 1407–1415. <https://doi.org/10.5194/bg-18-1407-2021>
- Fisher (Ed.). (1929a). *tests-of-significance-in-harmonic-analysis*.
- Fisher, R. A. (1929b). Tests of significance in harmonic analysis. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 125(796), 54–59. <https://doi.org/10.1098/rspa.1929.0151>
- Flores, C. (14 de enero de 2015) “La acidificación de los océanos afecta la reproducción de las especies marinas”. <https://www.udep.edu.pe/hoy/2015/01/la-acidificacion-oceanos-afecta-reproduccion-especies-marinas/>
- Flores, G., Carhuapoma, W., Beltrán, L., Domínguez, N., & Sarmiento, M. (2021). *Condiciones hidroquímicas del mar peruano entre Talara y Bahía Independencia*.
- HIDRONAV (2022). *Normas Técnicas Hidrográficas N° 2. Trabajos en estaciones oceanográficas en cruceros de investigación*. HIDRONAV-5131
- Georg Olms Verlag. Reyna, R. (2020). *Lo discreto y lo continuo en las metafísicas de Suárez y Kant*.
- Global Patterns of Submesoscale Surface Salinity Variability KYLA DRUSHKA AND WILLIAM E.* (n.d.).

- Gómez, P. J. (2004). *Aplicación de análisis multivariantes para la obtención y estandarización de esfuerzos pesqueros en pesquerías multispecíficas. Las pesquerías demersales del golfo de Cádiz.*
- Gower, J. C. (Ed.). (1966). A Q-Technique for the Calculation of Canonical Variates. *J. C. Gower.*
- Gruber, L. G. A. (2020). *OceanSODA-ETHZ: a global gridded data set of the surface ocean carbonate system for seasonal to decadal studies of ocean acidification.*
- Hair, J., Anderson, R. Tatham, R., Black, W. (1999). *Análisis Multivariante. Prentice Hall Iberia, Madrid. 1999 5ta edición.*
- Hajigholizadeh, M. (2016). *Water Quality Modelling Using Multivariate Statistical Analysis and Remote Sensing in South Florida Mohammad Hajigholizadeh.*
- Haro, D., Aguayo-Lobo, A., & Acevedo, J. (2013). Características oceanográficas y biológicas DE Las comunidades Del plancton y necton Del área Marina Costera protegida Francisco Coloane: Una revisión. *Anales Del Instituto de La Patagonia, 41(1), 77–90.* <https://doi.org/10.4067/s0718-686x2013000100007>
- Hernández, J., & Salgado, S. (2010). El racionalismo de Descartes. La preocupación por el Método. *Duererías Cuadernos de Filosofía, 3–13.*
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. d. (2010). *Metodología de la investigación (5ª ed.). McGraw-Hill.*
- IMARPE. (2011). *BOLETÍN INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ ISSN 0458 – 7766.*
- IMARPE. (2000). *BOLETÍN INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ ISSN. Vol.19 N°s 1 y 2 0458 – 7766.*
- Jiménez, G. M. H. (2006a). “*Diseño e Implementación de una aplicación de Sistema de Información Geográfica para Estudios Paleoceanográficos frente a la Costa Central-Sur del Perú.*”

- Jiménez, G. M. H. (2006b). *Diseño e Implementación de una aplicación de Sistema de Información Geográfica para Estudios Paleoceanográficos frente a la Costa Central-Sur del Perú*. Universidad Nacional Federico Villarreal.
- Kosempa, M. (2017). *Southern Ocean Transport by Combining Satellite Altimetry and Temperature/Salinity Profile Data*.
- Lawley, D. N. (1959). Tests of significance in canonical analysis. *Biometrika*, 46(1/2), 59. <https://doi.org/10.2307/2332808>
- Locarnini, R. A. , Conkright, M. E., Boyer, T. P. , Antonov, J. I , O. K. Baranova, H. E. Garcia, R. Gelfeld, D. Johnson, P. P. Murphy, T. D. O'Brien, I. Smolyar, C. Stephens, 2002: World Ocean Database 2001, Volume 4: Temporal Distribution of Temperature, Salinity and Oxygen Profiles. S. Levitus, Ed., NOAA Atlas NESDIS 45, U.S. Government Printing Office, Wash., D.C., 332 pp., CD-ROMs.
- Mardia K. V., Kent J. T., Bibby J. M. (1980). *Multivariate Analysis*.
- Meneses, J. (2019). *Introducción al análisis multivariante*.
- Mevik BH, Wehrens R (2007). “The pls Package: Principal Component and Partial Least Squares Regression in R.” *Journal of Statistical Software*, 18(2). ISSN 1548-7660. URL <http://www.jstatsoft.org/v18/i02/>.
- Miguel-Fernández, D., & Constantino, V.-T. Y. M. O. D. L. N. Y. S. I. E. L. P. D. L. A. (2006). *Vásquez-Taset Yaniel Misael*.
- Montero P. 2013. Calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos de la Región Tumbes, 2007. *Inf Inst Mar Perú*. 40(3-4): 240-253
- Mora. (2022). *Introducción ala bioestadística con R*. Universidad de Cordova.
- Mora-Escalante, R. E., Lizano, O. G., Alfaro, E. J., & Rodríguez, A. (2020). Distribución de temperatura y salinidad en campañas oceanográficas recientes en el Pacífico Tropical Oriental de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 68(S1), S177–S197. <https://doi.org/10.15517/rbt.v68is1.41180>

Morón, O., Sarmiento., (2000). Temperatura y salinidad del mar durante el Crucero Pelágico BICs José Olaya Balandra y SNP-29911-12. *Inf. Inst. Mar Perú* 157: 63-71.

Naciones Unidas (2020). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible*.
<http://www.un.org/publications>

Nobre, Carolina. 2016. OceanPaths: Visualizing Multivariate Oceanography Data. Master's thesis, Harvard Extension School. (Ed.). (2016). *OceanPaths: Visualizing Multivariate Oceanography Data*.

Norton, B., & Pearson, E. S. (1976). A note on the background to, and refereeing of, R. A. Fisher's 1918 paper "On the correlation between relatives on the supposition of Mendelian inheritance." *Notes and Records of the Royal Society of London*, 31(1), 151–162. <https://doi.org/10.1098/rsnr.1976.0005>

On the Interpretation of Canonical Analysis. Mark I. Alpert and Robert A. Peterson. (1972). *Journal of Marketing Research*, 9(2), 187–192.

Papadimitriou, A., & Tsoukala, V. (2024). Evaluating and enhancing the performance of the K-Means clustering algorithm for annual coastal bed evolution applications. *Oceanologia*, 66(2), 267–285.
<https://doi.org/10.1016/j.oceano.2023.12.005>

Pérez, C. (2004). *Técnicas de análisis multivariante de datos. Aplicaciones con SPSS*. Pérez, C. (2004). Técnicas de análisis multivariante de datos. Aplicaciones con SPSS. Madrid: Pearson.

Posada, N. L. et al. (2011). Instrumentación para la medición de salinidad, temperatura y corrientes en océanos. *Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería*.

Popper K. (1980). La lógica de la investigación científica.
<http://psikolibro.blogspot.com>

Q-Technique for the Calculation of Canonical Variates. (1966). *J. C. Gower. Biometrika*, 53(3), 588–590.

Revista Internacional de Filosofía. Hipótesis y tener por verdadero en Kant. (n.d.).

Revista Internacional de Filosofía, no 88. (2023). *Revista Internacional de Filosofía*, N^o, 88, 137–151.

Reyna Fortes, R. (2023). Hipótesis y tener por verdadero en Kant. *Daimon Revista Internacional de Filosofía*, (88), 137–151.
<https://doi.org/10.6018/daimon.448991>

Ricardo A. Locarnini Margarita E. Conkright Timothy P. Boyer John I. Antonov
Olga K. Baranova Hernan E. Garcia Robert Gelfeld Daphne Johnson Paulette
P. Murphy Todd D. O'Brien Igor Smolyar Cathy Stephens. (2002). *NOAA Atlas NESDIS 45 WORLD OCEAN DATABASE 2001 Volume 4: Temporal Distribution of Temperature, Salinity and Oxygen Profiles.*

Samet, H. (2005). *IV Multidimensional and Spatial Structures.*

Samuels, S. M., & Feller, W. (1973). An introduction to probability theory and its applications. *Technometrics: A Journal of Statistics for the Physical, Chemical, and Engineering Sciences*, 15(2), 420.
<https://doi.org/10.2307/1267002>

Simar, W. K. H. (2014). *Applied Multivariate Statistical Analysis.* Springer.

Spring, S. (Ed.). (2002). *ATLAS OF TEMPERATURE-SALINITY FREQUENCY DISTRIBUTIONS: North Atlantic Ocean.*

Takahashi, T., Sutherland, S. C., Chipman, D. W., Goddard, J. G., Ho, C., Newberger, T., Sweeney, C., & Munro, D. R. (2014). Climatological distributions of pH, pCO₂, total CO₂, alkalinity, and CaCO₃ saturation in the global surface ocean, and temporal changes at selected locations. *Marine Chemistry*, 164, 95–125. <https://doi.org/10.1016/j.marchem.2014.06.004>

Temperature, S., Oxygen, D., & Channel, C. (n.d.). CIMAR 9 FIORDOS CRUISE) NELSON SILVA DANITZA GUERRA Escuela de Ciencias del Mar. *Casilla*, 1020.

The Correlation between Relatives on the Supposition of Mendelian Inheritance.
(n.d.).

The Correlation between Relatives on the Supposition of Mendelian Inheritance.
(1918).

Unidad conceptual y síntesis objetiva en Kant. Un estudio sobre la función de los conceptos en la síntesis objetiva. (n.d.).

Vazquez-Cuervo, J., & Li, X. (Eds.). (n.d.). *Sea Surface Temperature Retrievals from Remote Sensing.*

Verlag, G. O., & Reyna, R. (2020). *Lo discreto y lo continuo en las metafísicas.*

Yacini T. (2022) Cambios estacionales de las variables oceanográficas físicas y biogeoquímicas de cinco campañas durante el período 2019-2020 en la laguna costera de Bahía San Quintín, Baja California, México.

Wilks D.S., (2006). *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences (Second Edition)*
ELSEVIER.

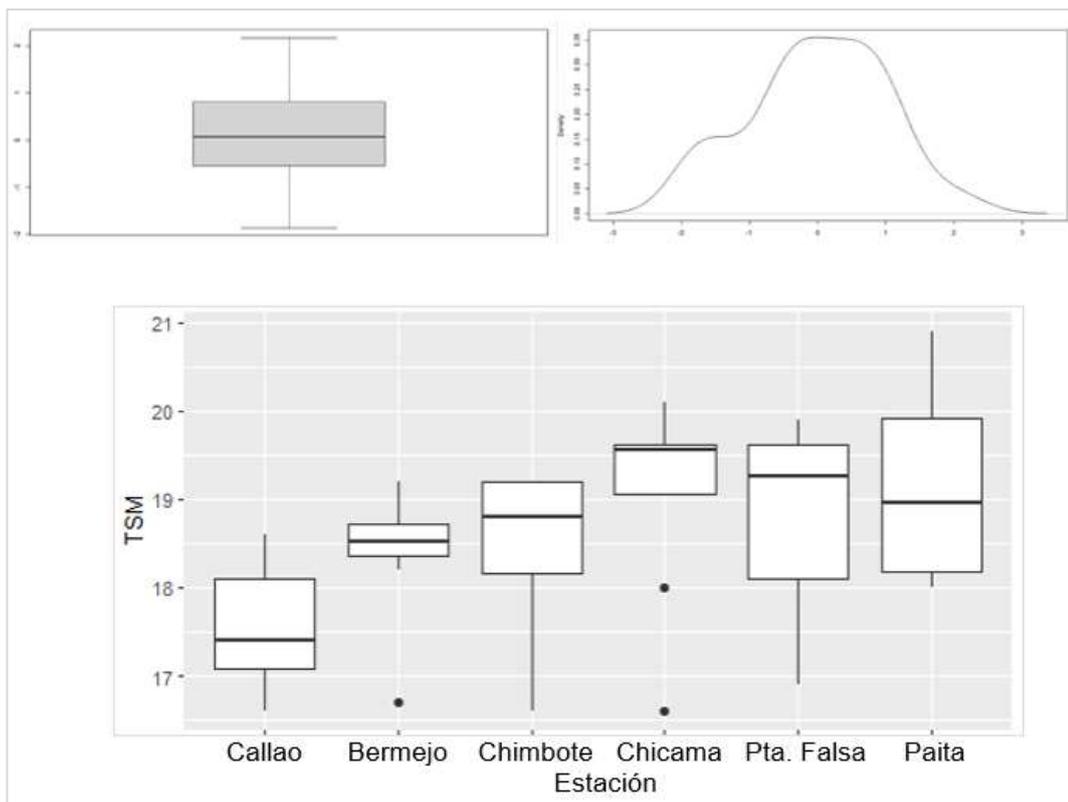
VII. ANEXOS

Anexo 1:

Análisis exploratorio de datos de las variables fisicoquímicas y nutrientes. Muestreo 2012.

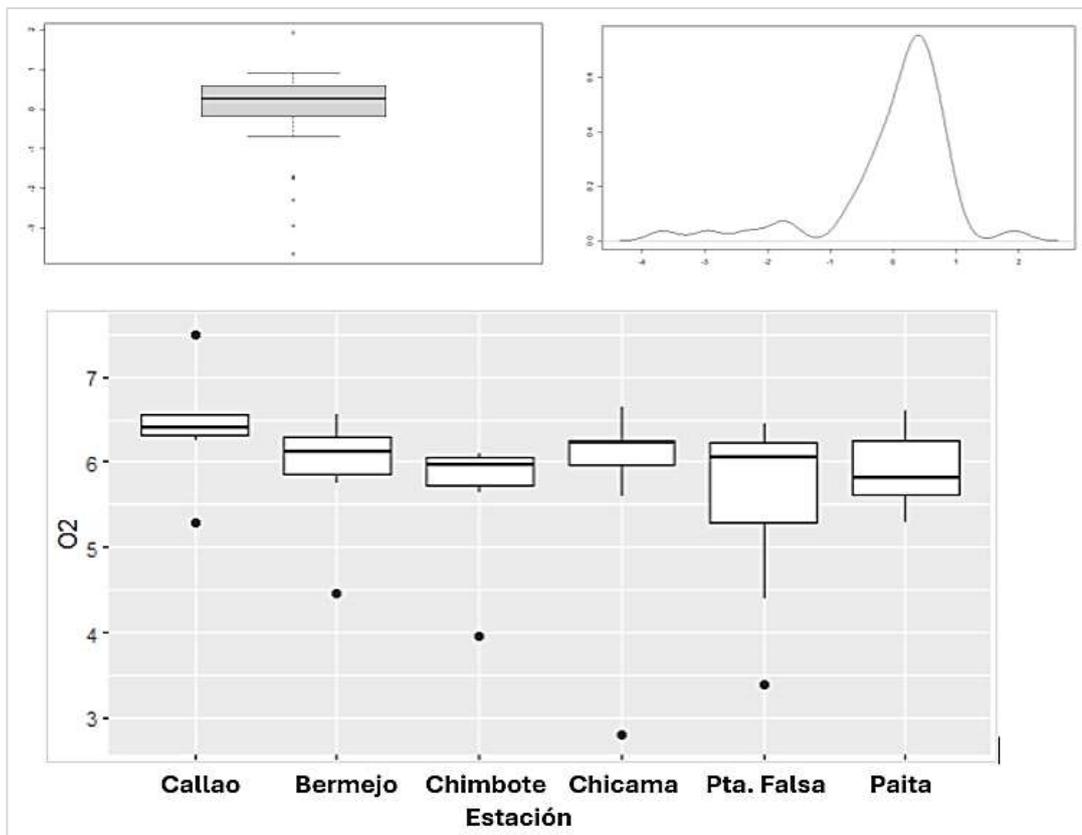
Temperatura

La temperatura representada mediante un boxplot y su función de densidad empírica permite observar una distribución aproximadamente simétrica. Asimismo, considerando la distribución de la temperatura por estación se observa asimetría y en particular la presencia de outliers en las estaciones de Bermejo y Chicama.



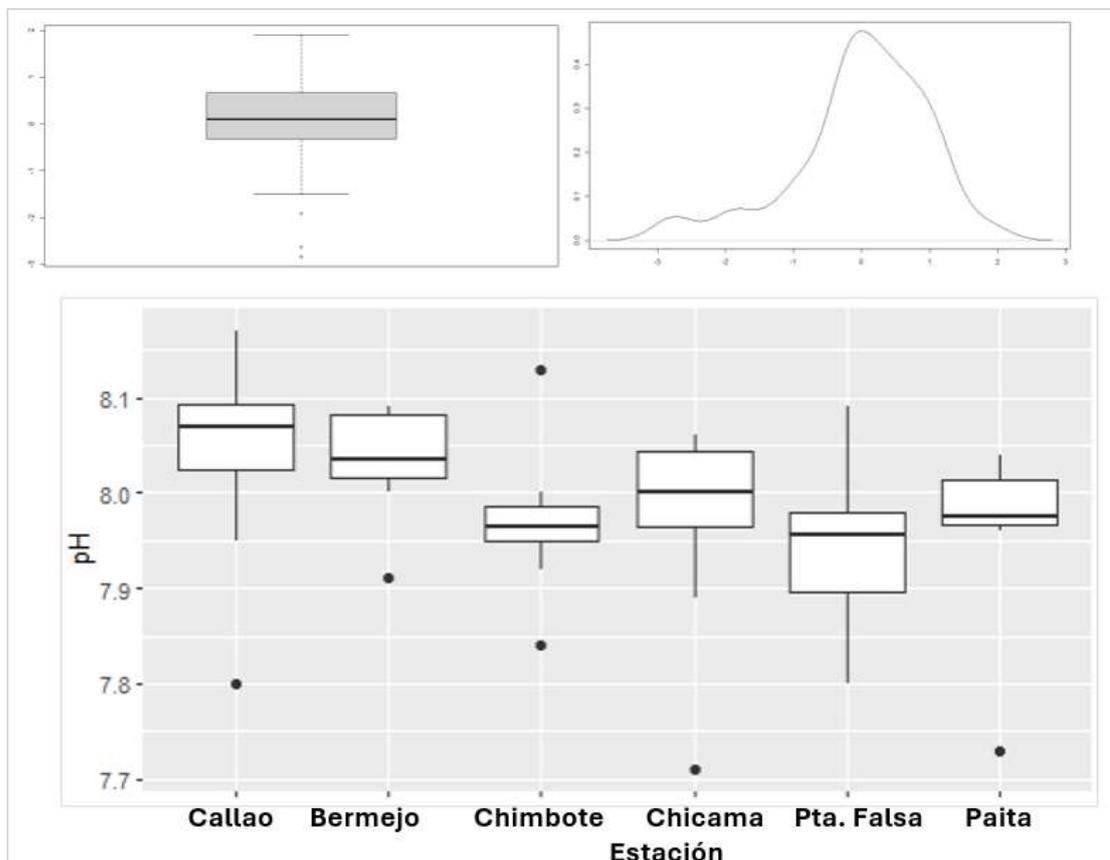
Oxígeno

Respecto al oxígeno, a través de un boxplot y su función de densidad empírica se observa presencia de outliers y asimetría. Asimismo, la distribución del oxígeno por estación permite observar asimetría y presencia de outliers en todas estaciones excepto en Paíta.



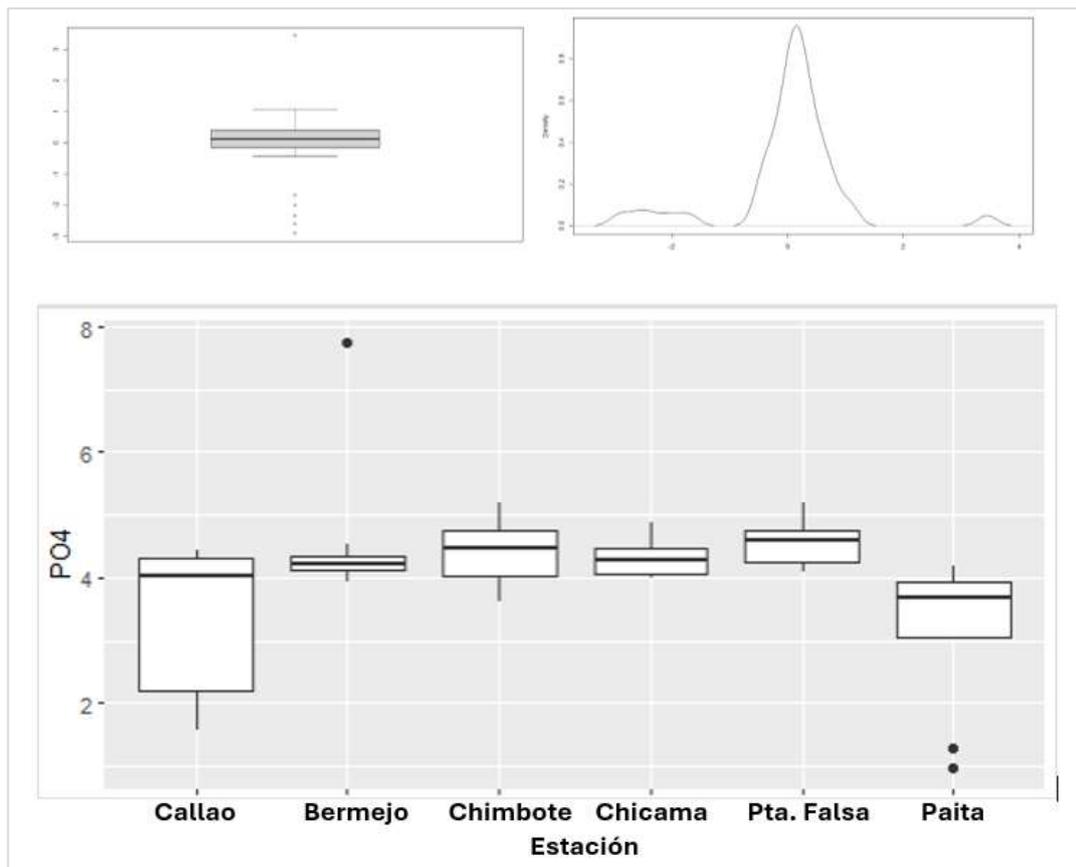
Potencial de hidrógeno: pH

En el caso del pH, en la siguiente figura, se representa su distribución mediante un boxplot y su función de densidad empírica y se observa asimetría y presencia de outliers en los valores mínimos. Asimismo, el pH por estación presenta outliers en todas las estaciones, además en todos los casos se observa una distribución asimétrica.



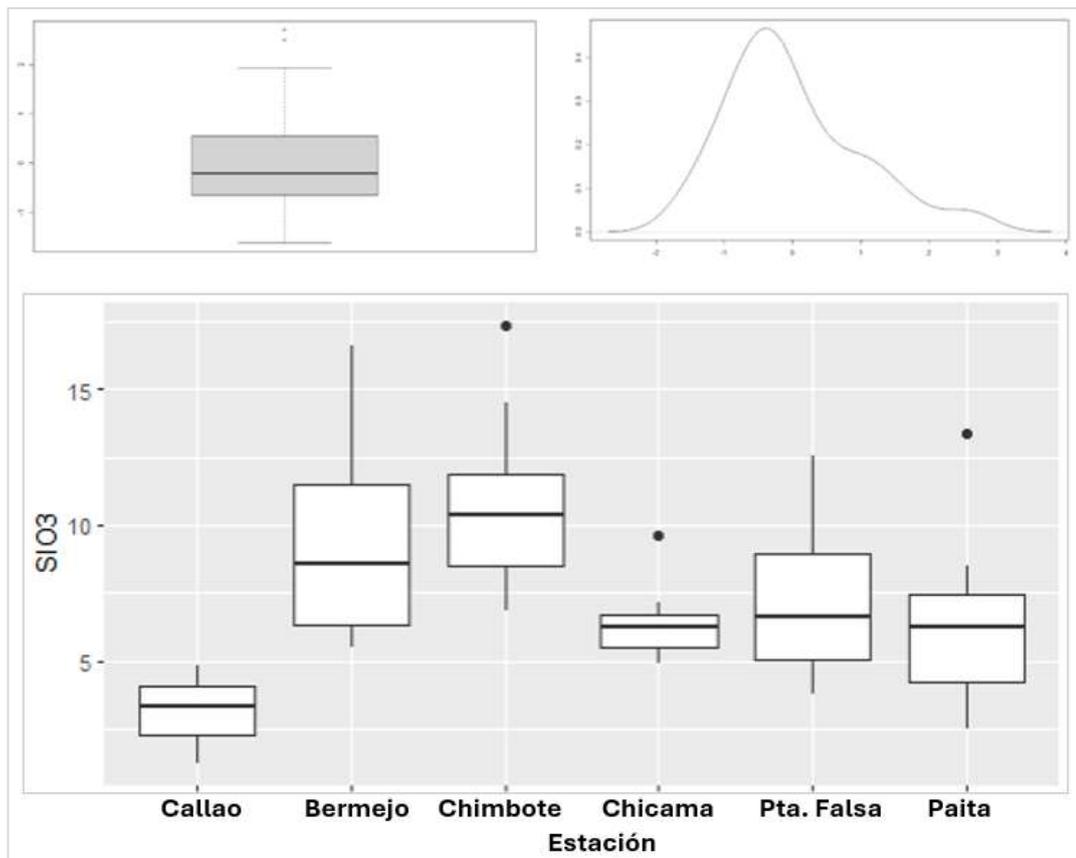
Fosfatos

En el caso de los fosfatos, el boxplot muestra la presencia de outliers en los valores mínimos y uno en los valores más altos. Asimismo, considerando la distribución por estaciones, se observa un outliers en la estación de Bermejo y en Paita se evidencia outliers en los valores mínimos.



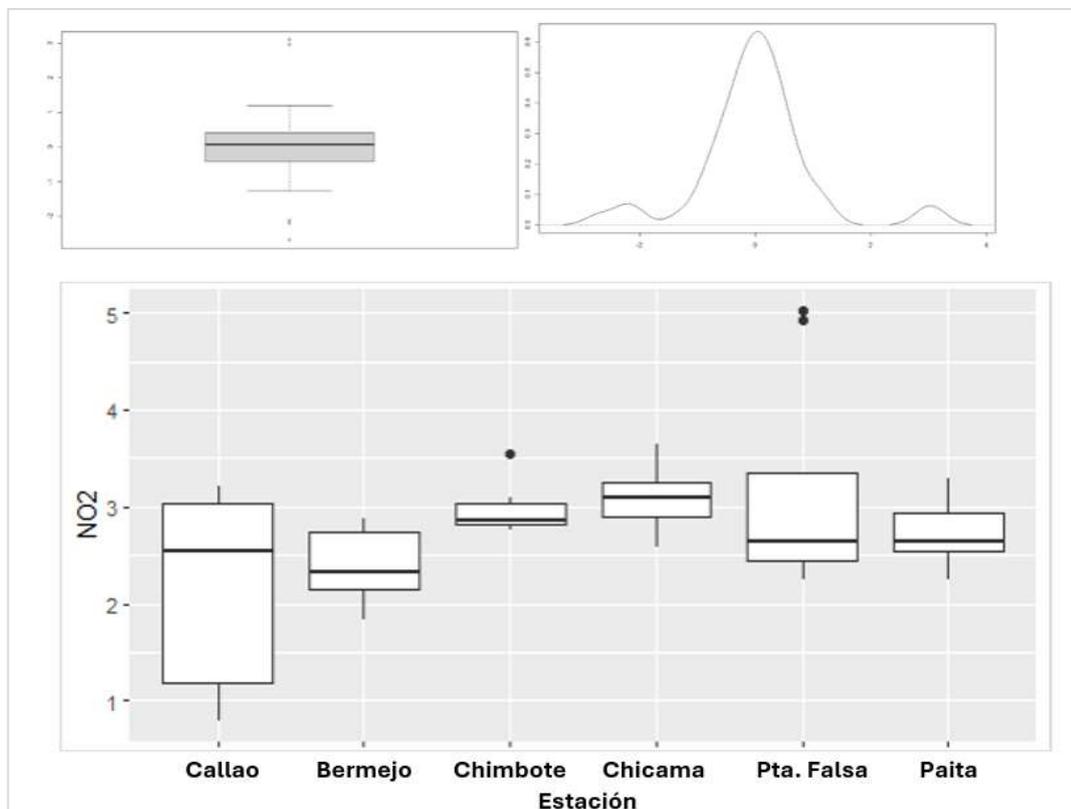
Silicatos

En relación con los silicatos, el boxplot muestra la presencia de outliers los valores superiores y el boxplot por estación muestra outliers en las estaciones de Chimbote, Chicama y Paíta.



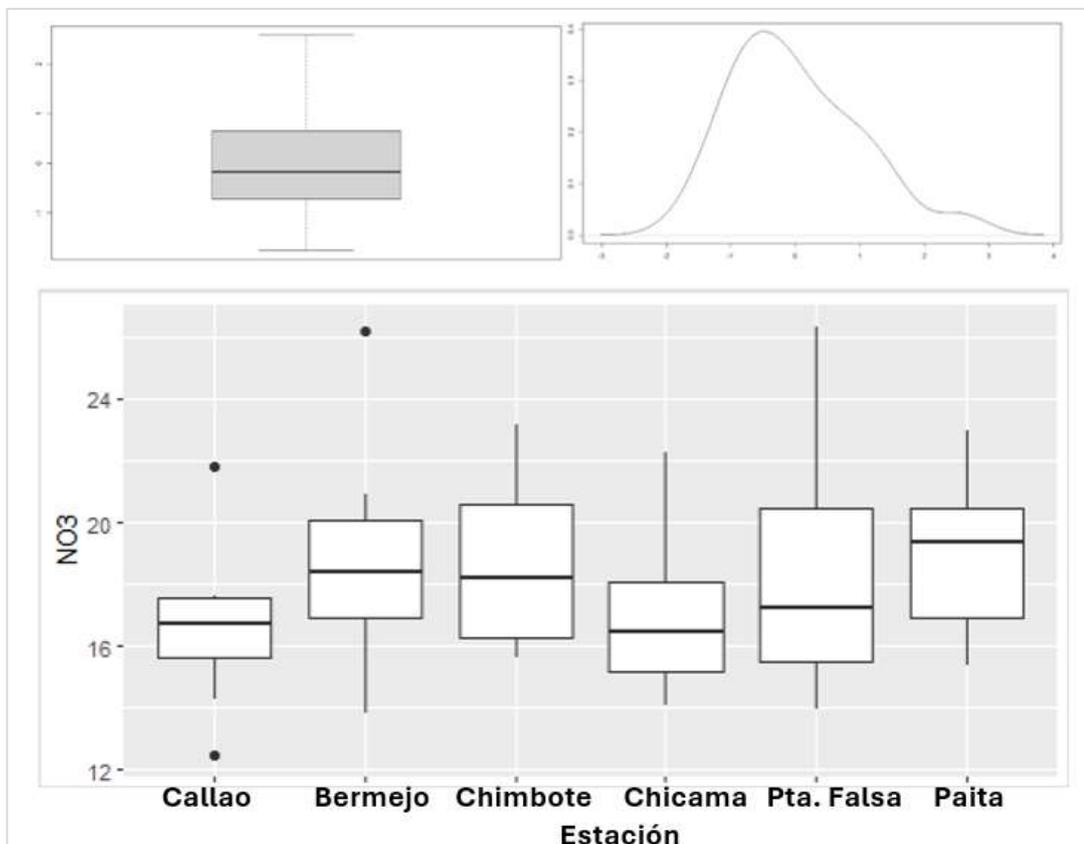
Nitritos

Mediante el boxplot y su función de densidad empírica en los nitritos se observa una distribución asimétrica con presencia de outliers en los valores superiores e inferiores de los datos; asimismo, considerando a la estación como variable de clasificación se observa la presencia de outliers en los valores superiores de las estaciones de Chimbote y Punta Falsa.



Nitratos

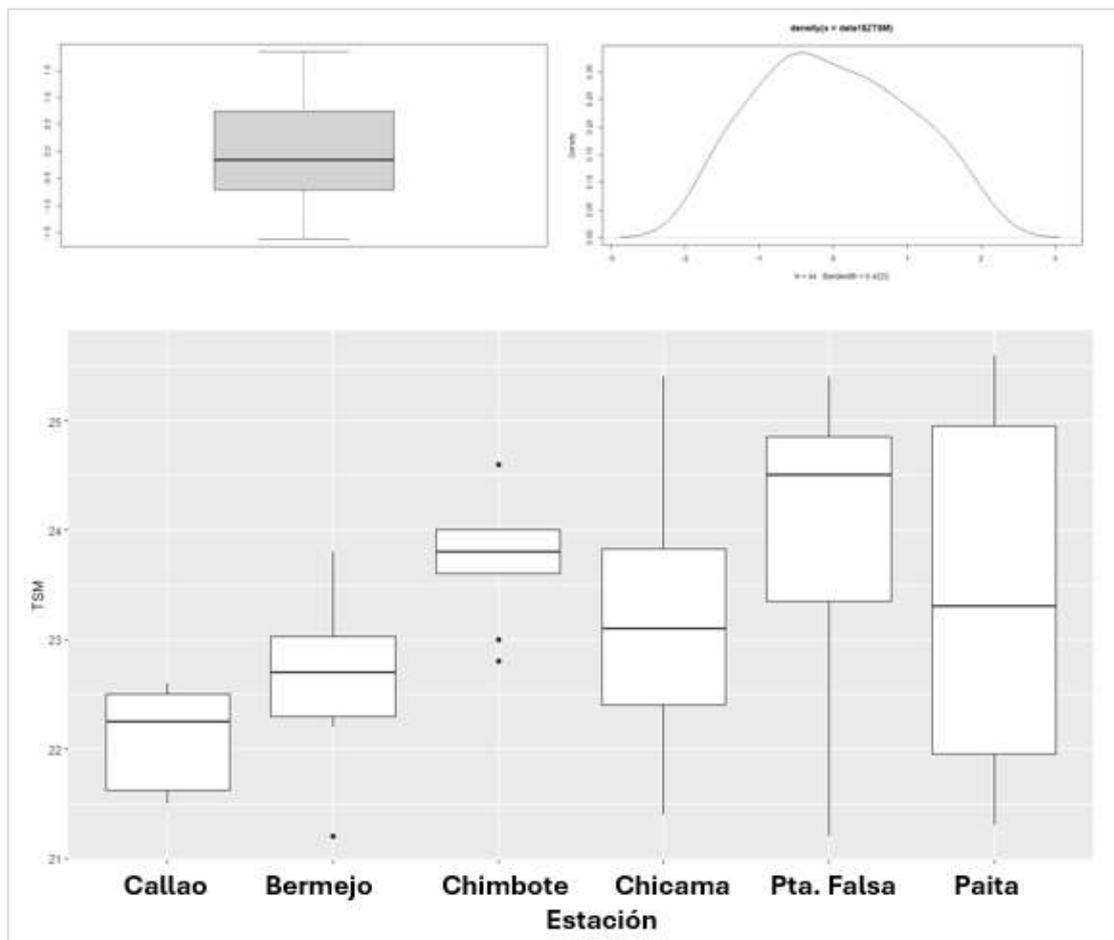
Los nitratos mediante un boxplot general y su función de densidad empírica, muestra asimetría sin presencia de outliers cuando se grafica todos los datos. Asimismo, cuando se considera como variable de clasificación a la estación, en la estación del Callao se observa presencia de outliers mínimo y máximo, y en la estación de Bermejo se observa un outliers en los valores superiores.



Análisis exploratorio de datos de las variables fisicoquímicas y nutrientes. Muestreo 2014

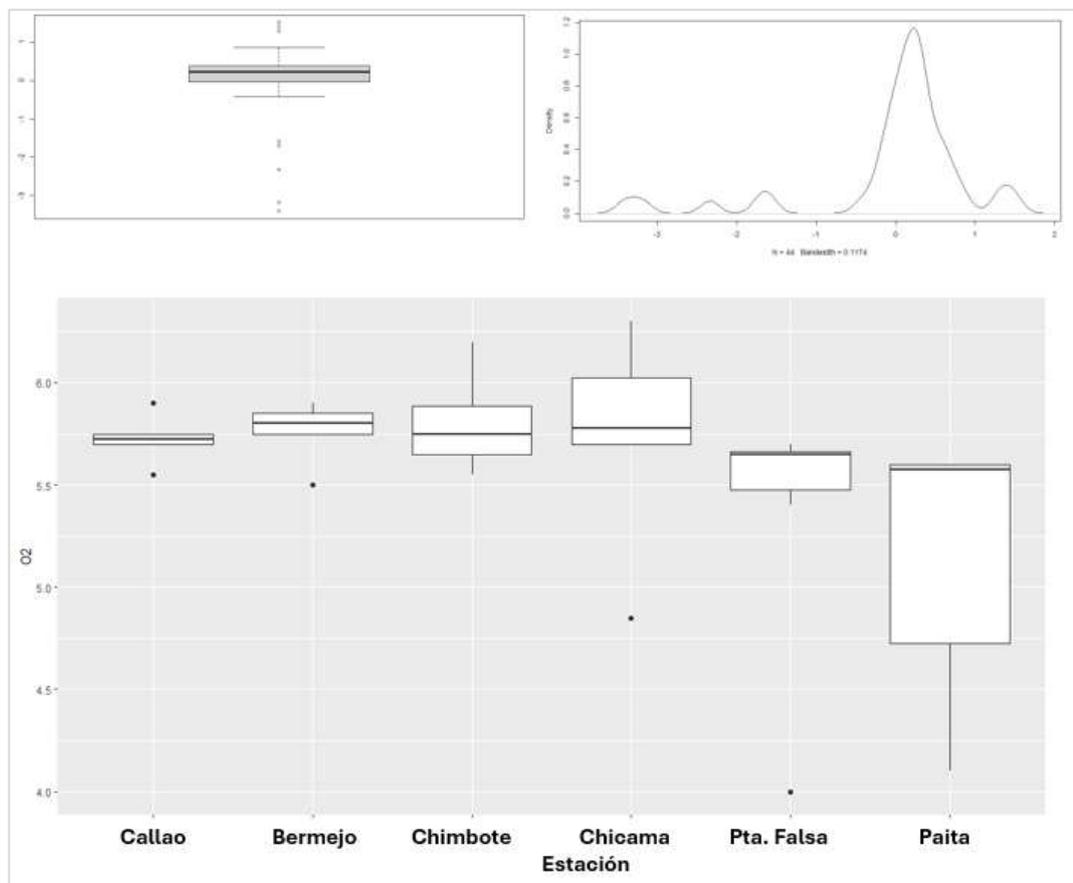
Temperatura

La distribución de la temperatura representada mediante un boxplot y su función de densidad empírica observándose una distribución aproximadamente simétrica. Asimismo, considerando como variable de clasificación a la estación, se observa asimetría en todas las estaciones. Asimismo, la estación que presenta una distribución aproximadamente simétrica es Paita y en particular se observa la presencia de outliers en las estaciones de Bermejo y Chimbote.



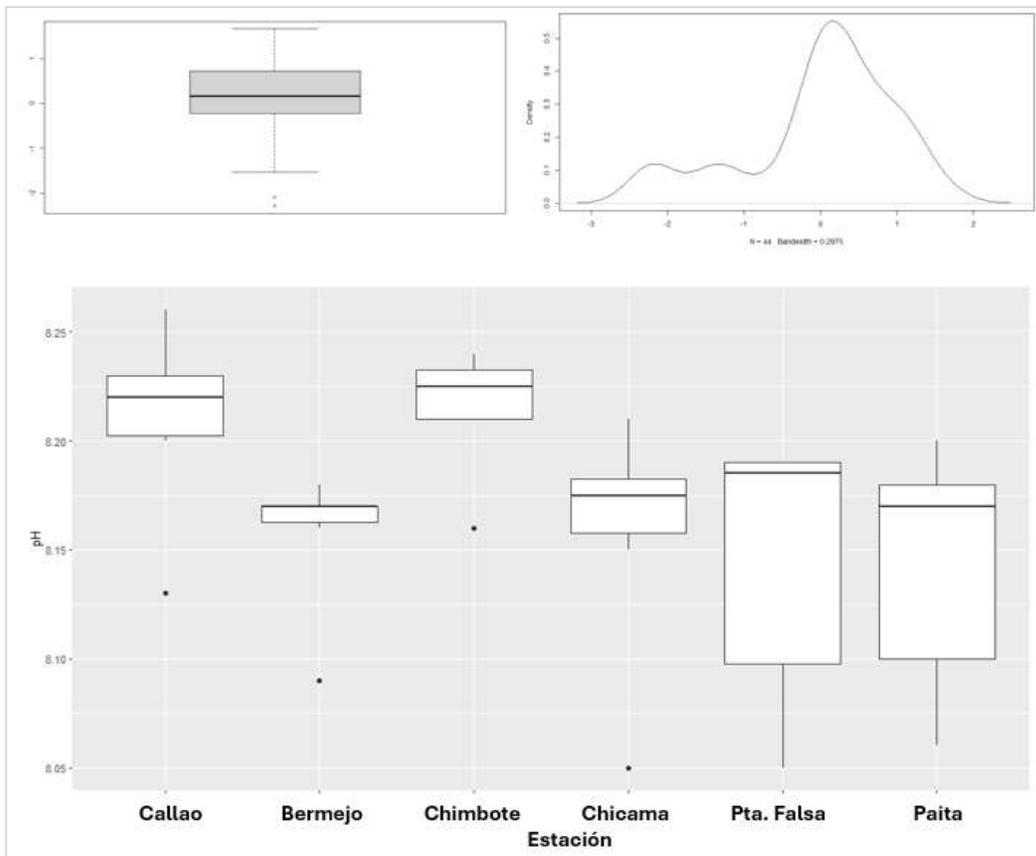
Oxígeno

Se representa la distribución del oxígeno a través de un boxplot y su función de densidad empírica observándose presencia de outliers y asimetría. Asimismo, su distribución por estación permite observar asimetría e identificar los outliers en las estaciones de Callao, Bermejo, Chicama y Punta Falsa.



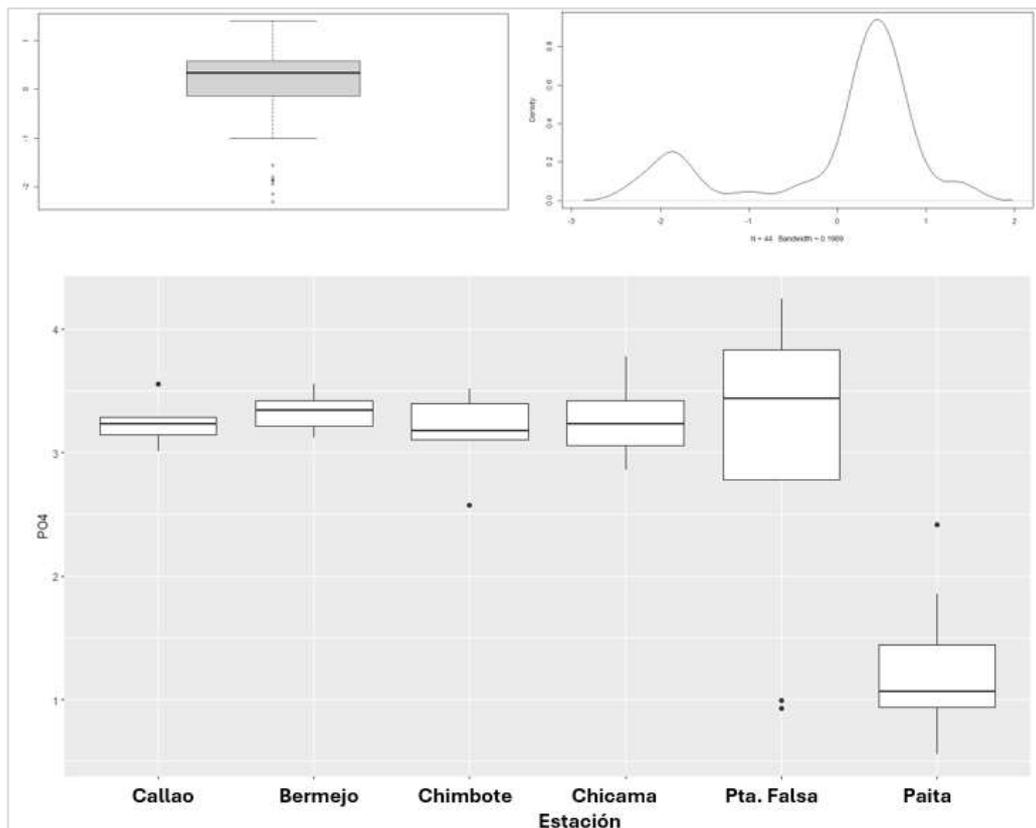
Potencial de hidrógeno: pH

El boxplot y la función de densidad empírica del pH permite observar asimetría y presencia de outliers en los valores mínimos. Asimismo, en la distribución del pH por estación se identifica los outliers en las estaciones del Callao, Bermejo, Chicama y Pta. Falsa respectivamente, también se evidencia asimetría en todas las estaciones.



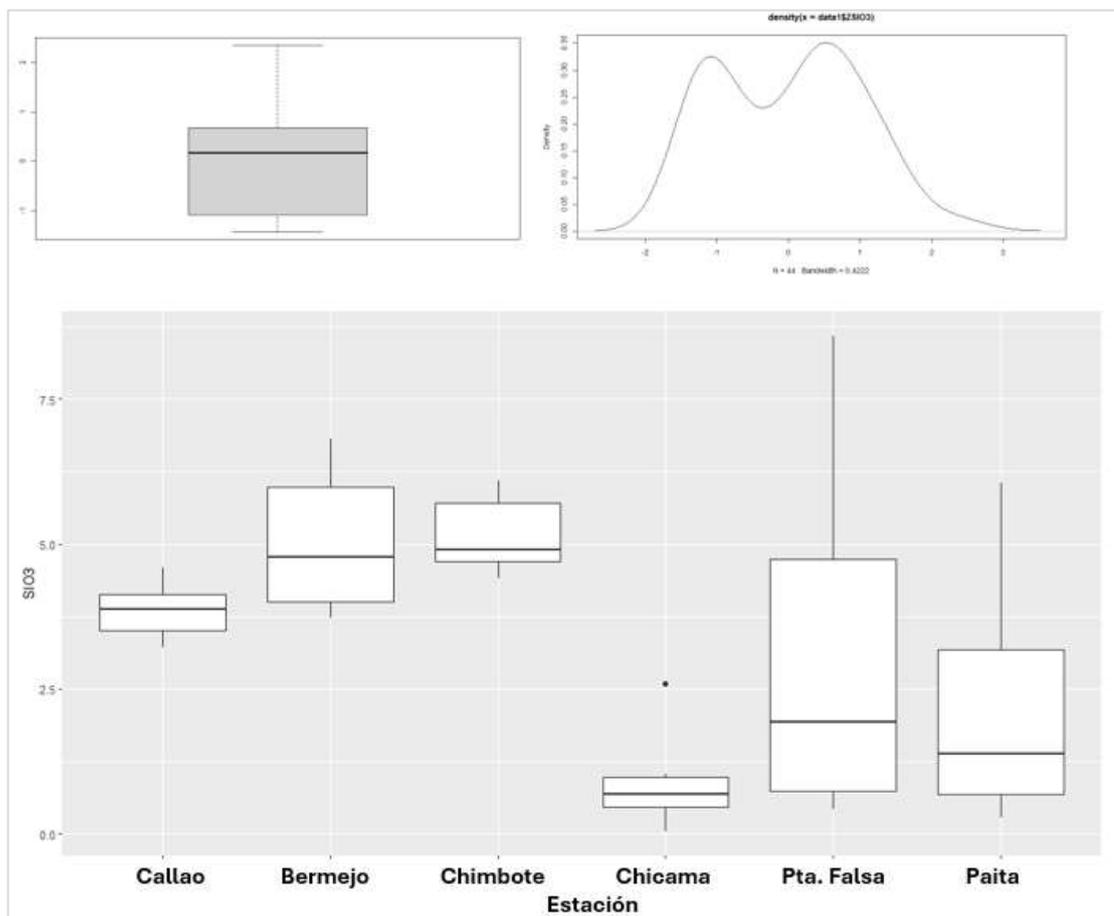
Fosfatos

En relación con los fosfatos, se observa presencia de outliers en los valores mínimos. Asimismo, considerando la distribución por estaciones, se puede identificar los outliers en las estaciones del Callao, Chimbote, Punta Falsa y Paíta. Además, en este caso se aprecia que los fosfatos están por debajo de los valores de las otras estaciones.



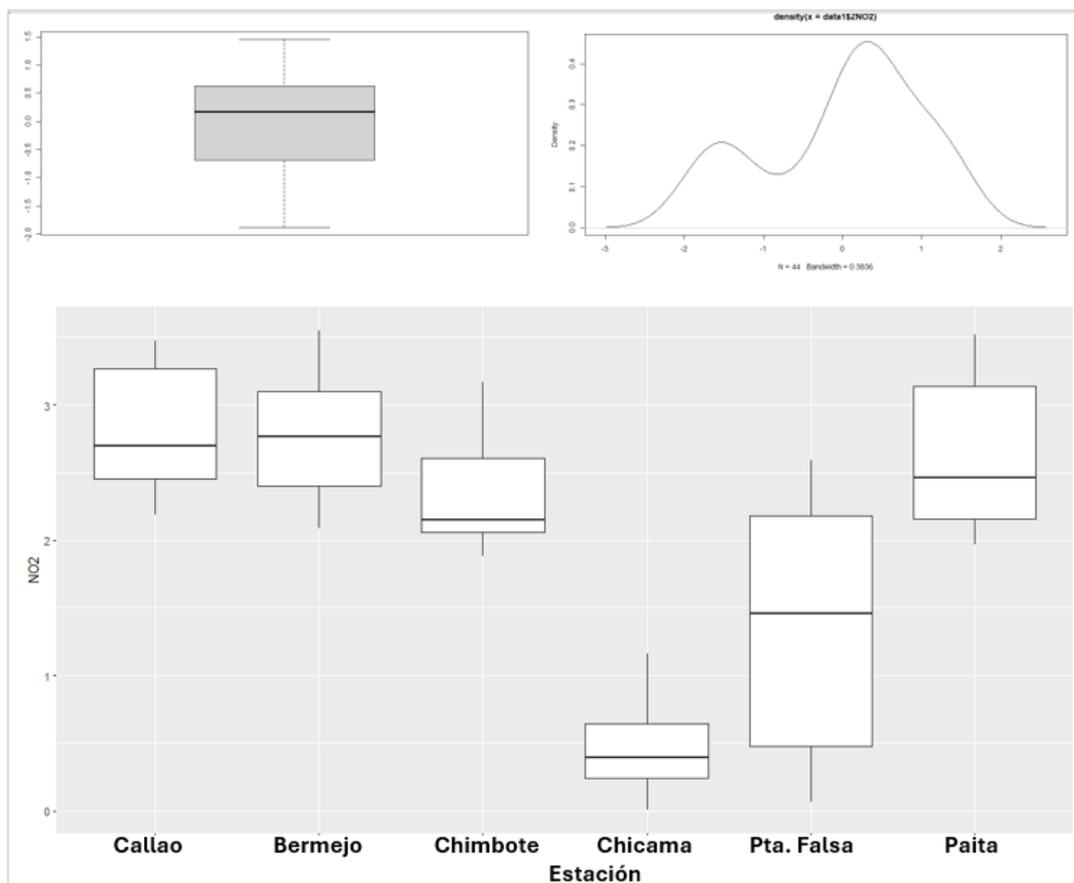
Silicatos

Los silicatos presentan una distribución asimétrica y sin presencia de outliers en general. Sin embargo, la distribución de los silicatos por estación permite identificar un outliers en la estación de Chicama. También, se observa una distribución bimodal y puede decirse que se conforman dos conglomerados, uno conformado por las estaciones del Callao, Bermejo y Chimbote, y el otro conformado por las estaciones de Chicama, Punta Falsa y Paita.



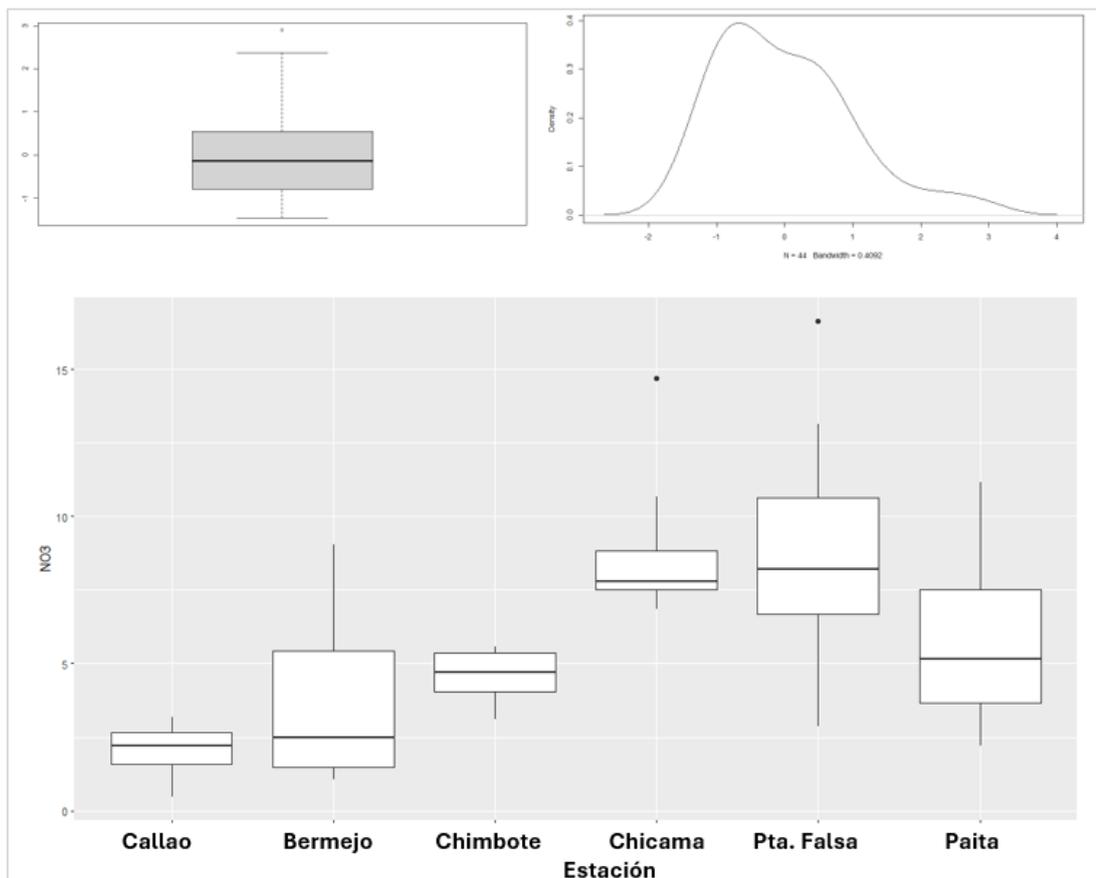
Nitritos

Mediante el boxplot y su función de densidad empírica se observa una distribución asimétrica sin presencia de outliers en los valores superiores e inferiores de todo el conjunto; asimismo, su distribución por estación se observa asimetría y un comportamiento bimodal. En este caso también se conforman dos conglomerados, uno conformado por las estaciones del Callao, Bermejo y Chimbote, y el otro conformado por las estaciones de Chicama, Punta Falsa y Paita.



Nitratos

Mediante un boxplot general y la función de densidad empírica los nitratos presentan asimetría con la presencia de un outliers en los valores superiores de los datos. Asimismo, considerando la distribución por estación, se observa que en las estaciones de Chicama y Punta Falsa existe la presencia de un outliers en cada caso y se posicionan en los valores superiores de los datos. También, puede observarse que se conforman los mismos dos conglomerados como ocurrió con los silicatos y nitritos. Es decir, uno conformado por las estaciones del Callao, Bermejo y Chimbote, y el otro conformado por las estaciones de Chicama, Punta Falsa y Paíta.

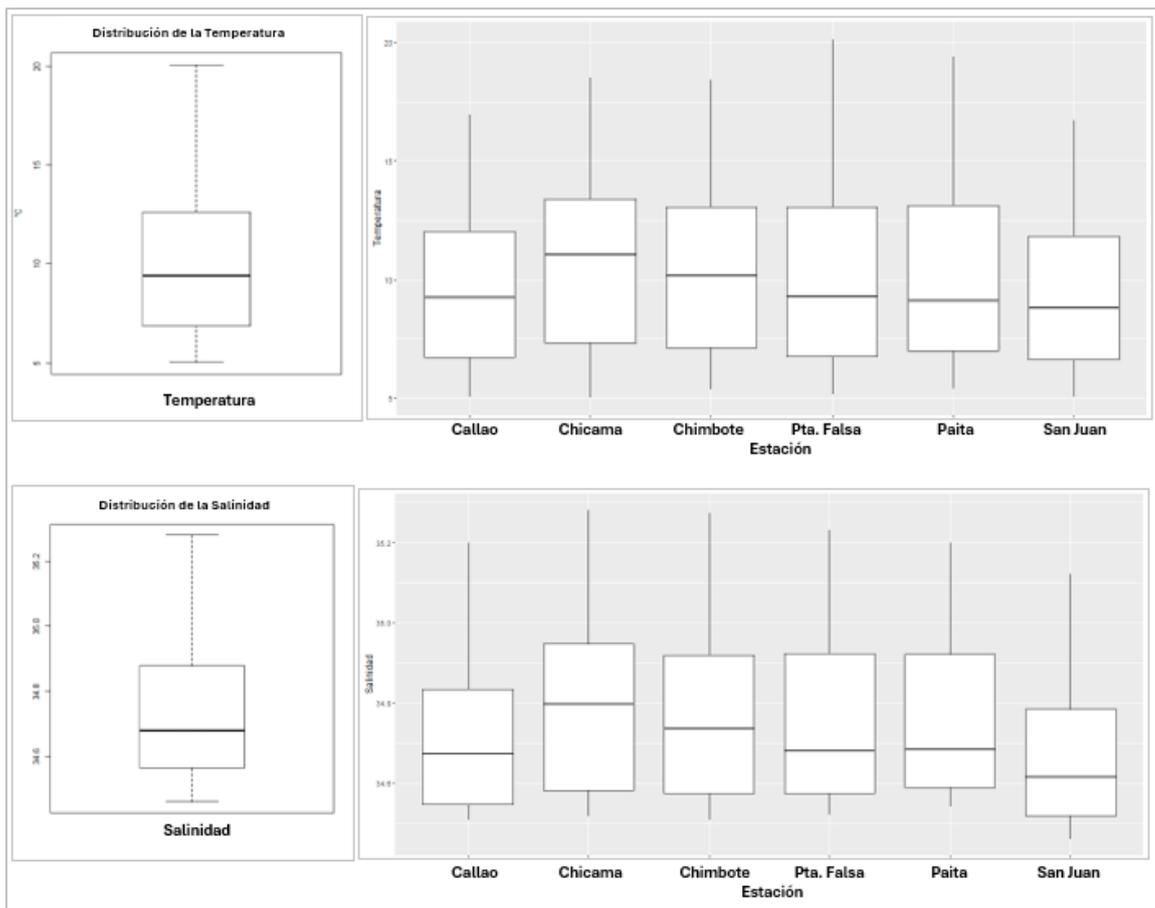


Análisis exploratorio de datos de la temperatura y salinidad: Muestreo del año

2011

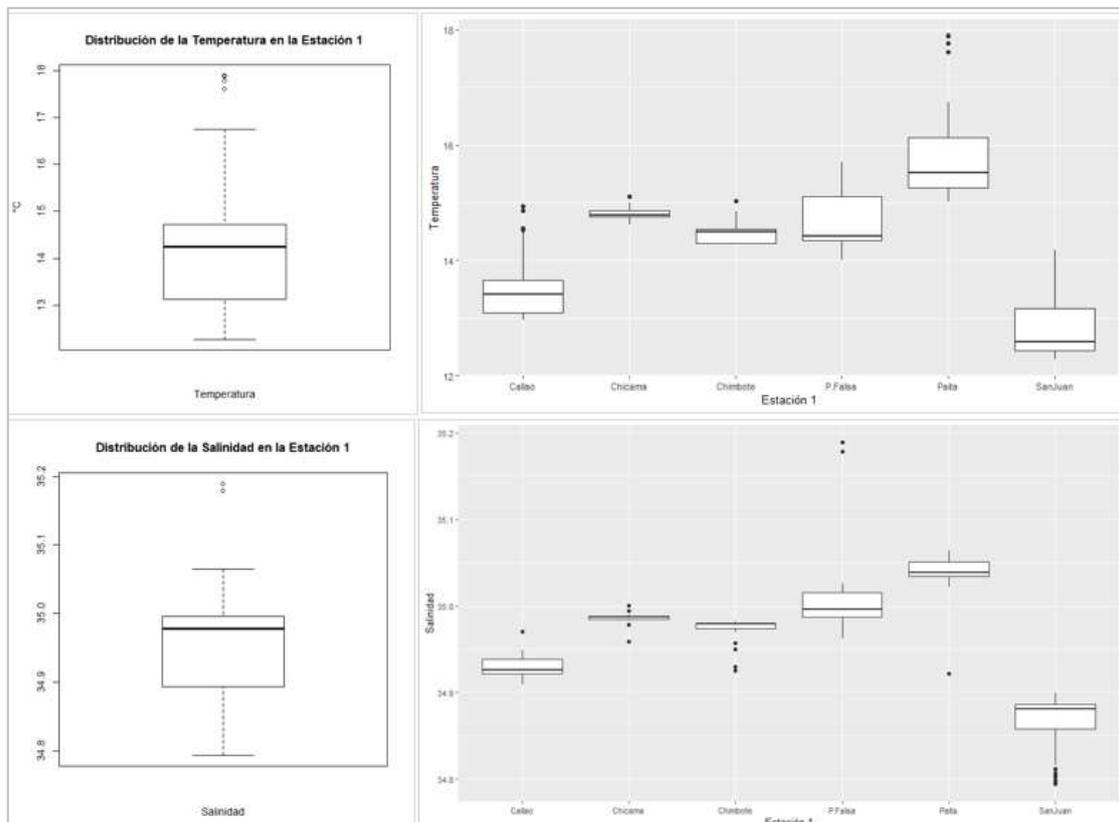
Temperatura y salinidad: En conjunto las 8 estaciones oceanográficas (5mn, 20mn, 40mn, 60mn, 90mn, 120mn, 160mn, 200mn)

A continuación, se representa la distribución de la temperatura y salinidad para los 29107 datos, se observa una distribución asimétrica en ambas variables. Asimismo, considerando la distribución de la temperatura considerando como factor a las estaciones oceanográficas se observa asimetría y sin presencia de outliers; las mismas características se aprecia en la distribución de la salinidad.



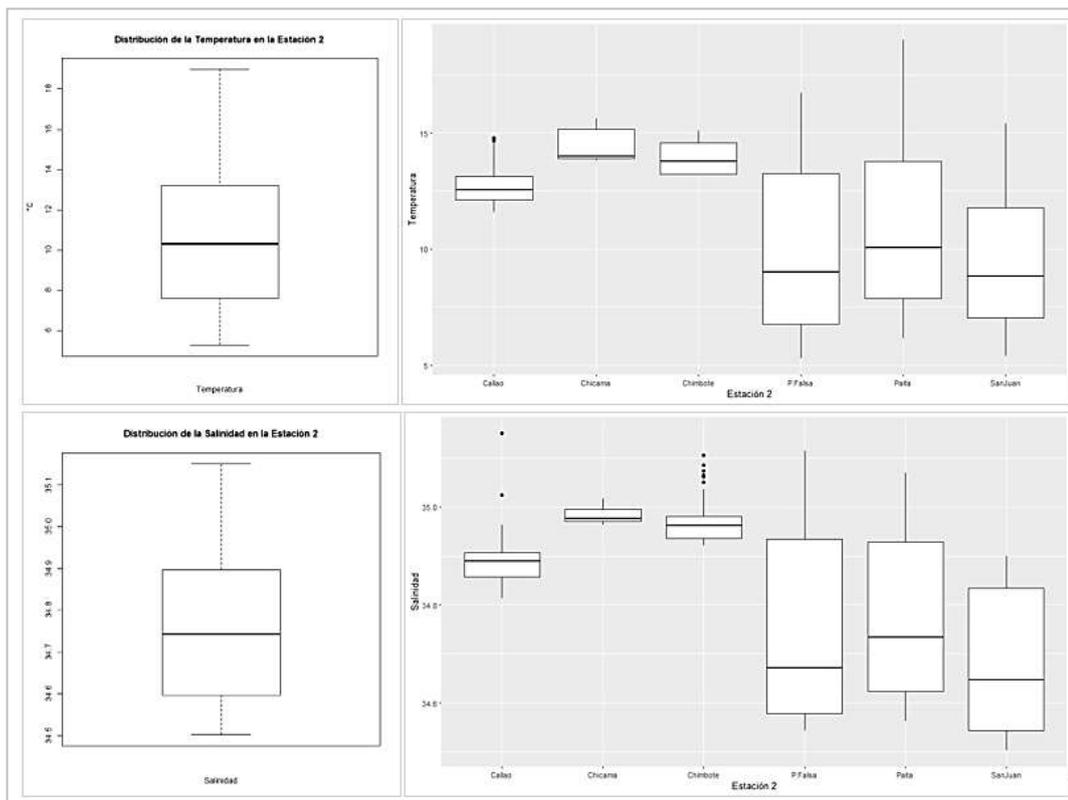
Temperatura y salinidad: Estación oceanográfica a 5mn

En la distribución de la temperatura y de la salinidad a 5 millas náuticas, se observa una distribución asimétrica en ambas variables y con presencia de outliers. Asimismo, considerando la distribución de la temperatura considerando como factor a la estación oceanográfica se observa asimetría y con presencia de outliers en todas las estaciones excepto en San Juan. Por otro lado, en la distribución de la salinidad por estación oceanográfica se observa poca variabilidad, asimetría y presencia de outliers en todas las estaciones; así también, se observa que la temperatura y la salinidad en la estación de San Juan son los más bajos en relación con las otras estaciones.



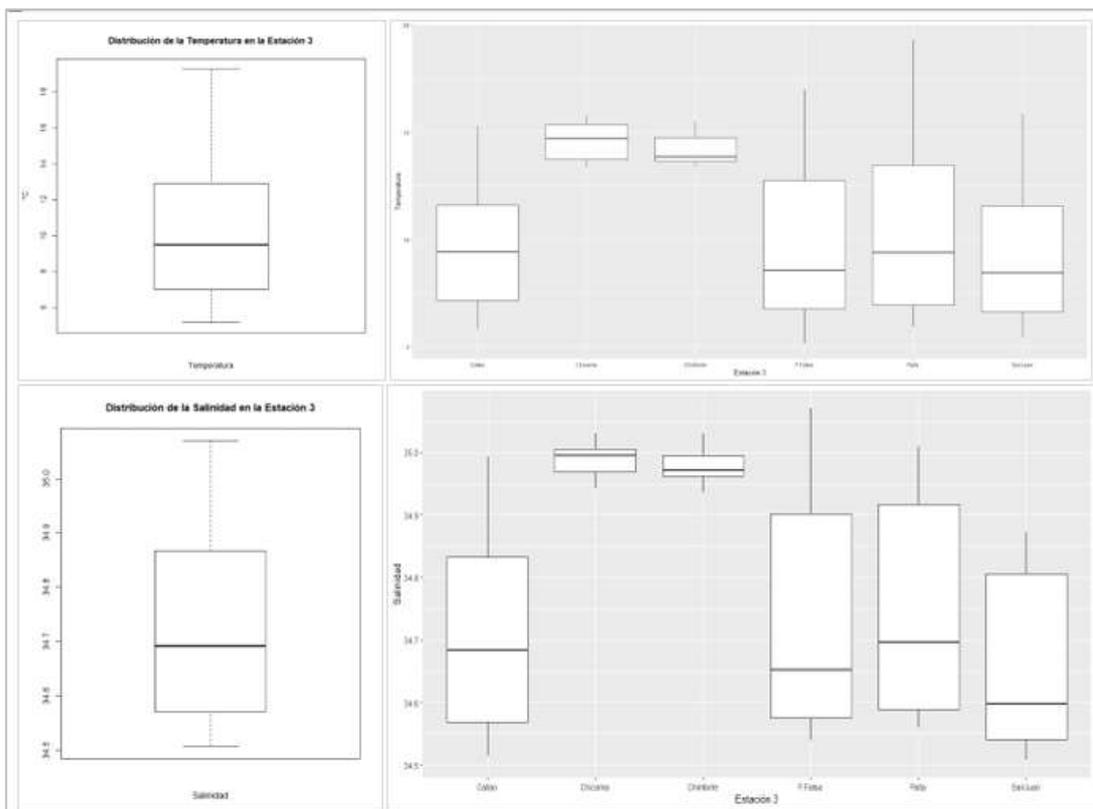
Temperatura y salinidad: Estación oceanográfica a 20mn

La distribución de la temperatura y de la salinidad en la estación oceanográfica ubicada a 20 millas náuticas, se observa una distribución asimétrica en ambas variables y sin presencia de outliers. En este caso, en la distribución de la temperatura por estación oceanográfica se puede destacar la conformación de dos grupos; uno conformado por las estaciones del Callao, Chicama y Chimbote, mientras que el otro grupo está conformado por las estaciones de Punta Falsa, Paita y San Juan. Por otro lado, en la distribución de la salinidad por estación oceanográfica también se conforman los mismos grupos de estaciones; pero en este caso hay outliers en el primer grupo.



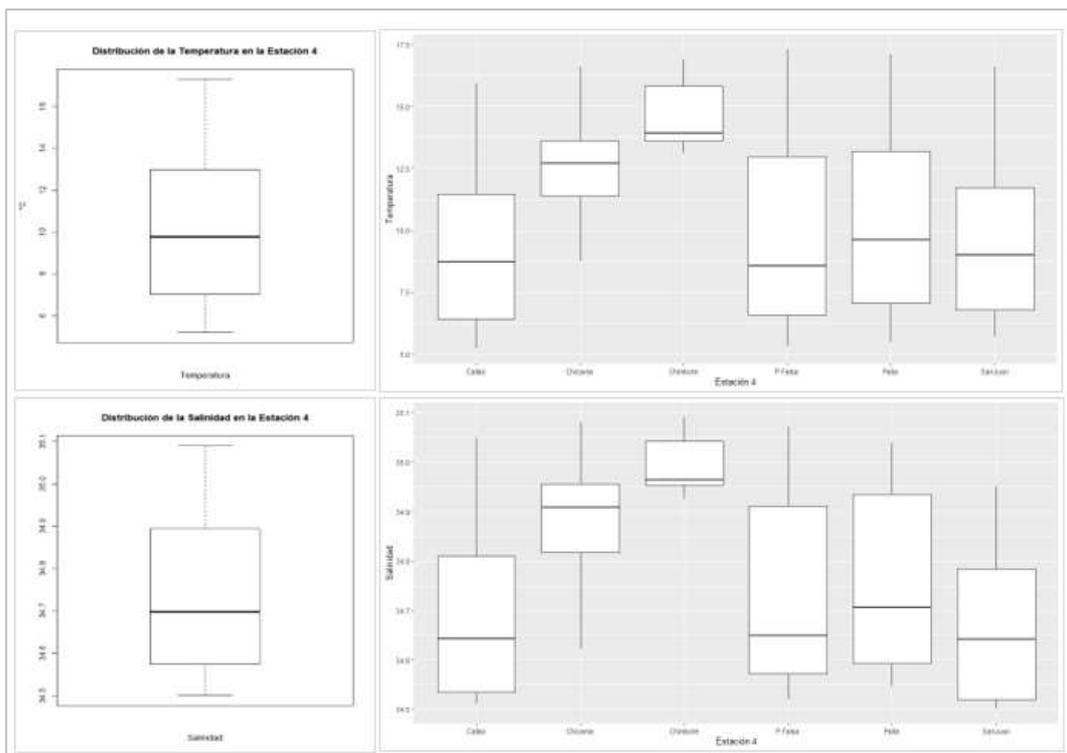
Temperatura y salinidad: Estación oceanográfica a 40mn

La distribución de la temperatura y de la salinidad en la estación oceanográfica ubicada a 40 millas náuticas, se observa una distribución asimétrica en ambas variables y sin presencia de outliers. En esta estación, la distribución de la temperatura por estación oceanográfica se observa claramente la conformación de dos grupos; uno conformado por las estaciones del Callao, Punta Falsa, Paita y San Juan, mientras que el otro grupo está conformado por las estaciones de Chicama y Chimbote. Del mismo modo, en la distribución de la salinidad por estación oceanográfica se conforman los mismos grupos de estaciones.



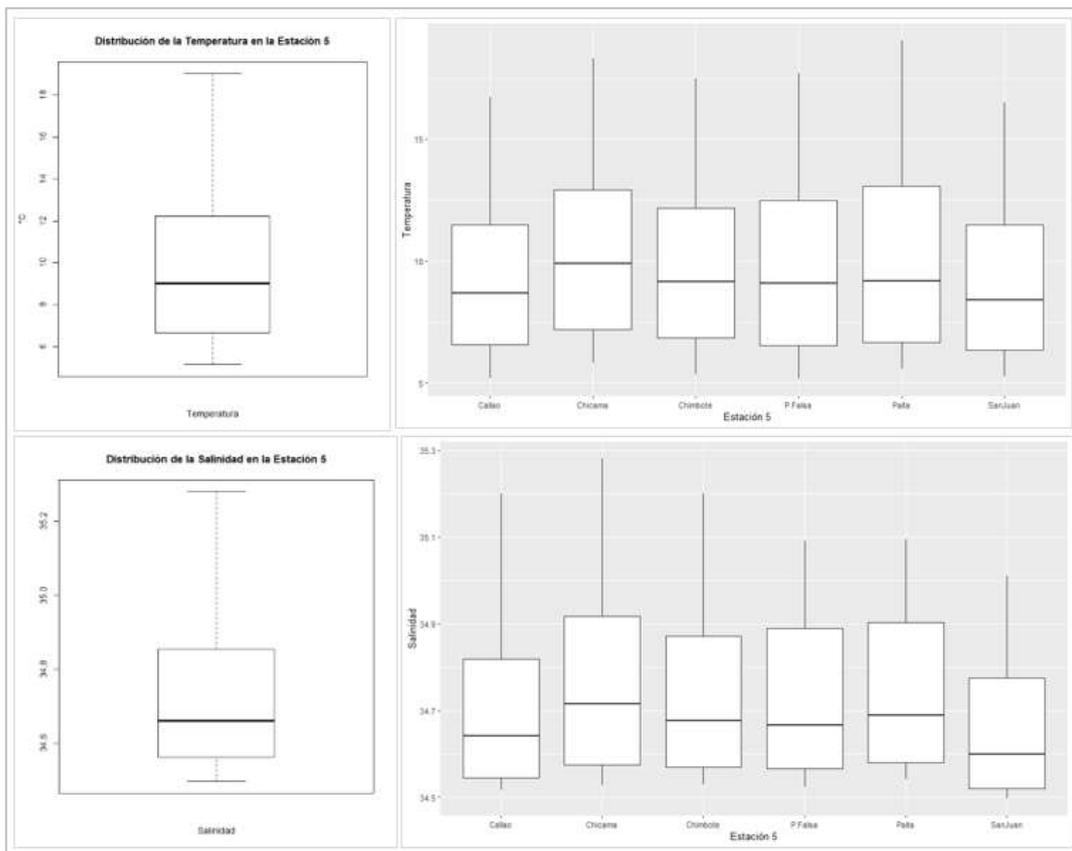
Temperatura y salinidad: Estación oceanográfica a 60mn

la distribución de la temperatura y de la salinidad en el muestreo realizado a 60 millas náuticas, se observa una distribución asimétrica en ambas variables y sin presencia de outliers. En esta ubicación, al igual que en el muestreo realizado a 40 millas náuticas, la distribución de la temperatura por estación oceanográfica se observa la conformación de dos grupos; uno integrado por las estaciones del Callao, Punta Falsa, Paita y San Juan, mientras que el otro grupo está conformado por las estaciones de Chicama y Chimbote. Del mismo modo sucede con la distribución de la salinidad por estación oceanográfica conformándose los mismos grupos que en la temperatura.



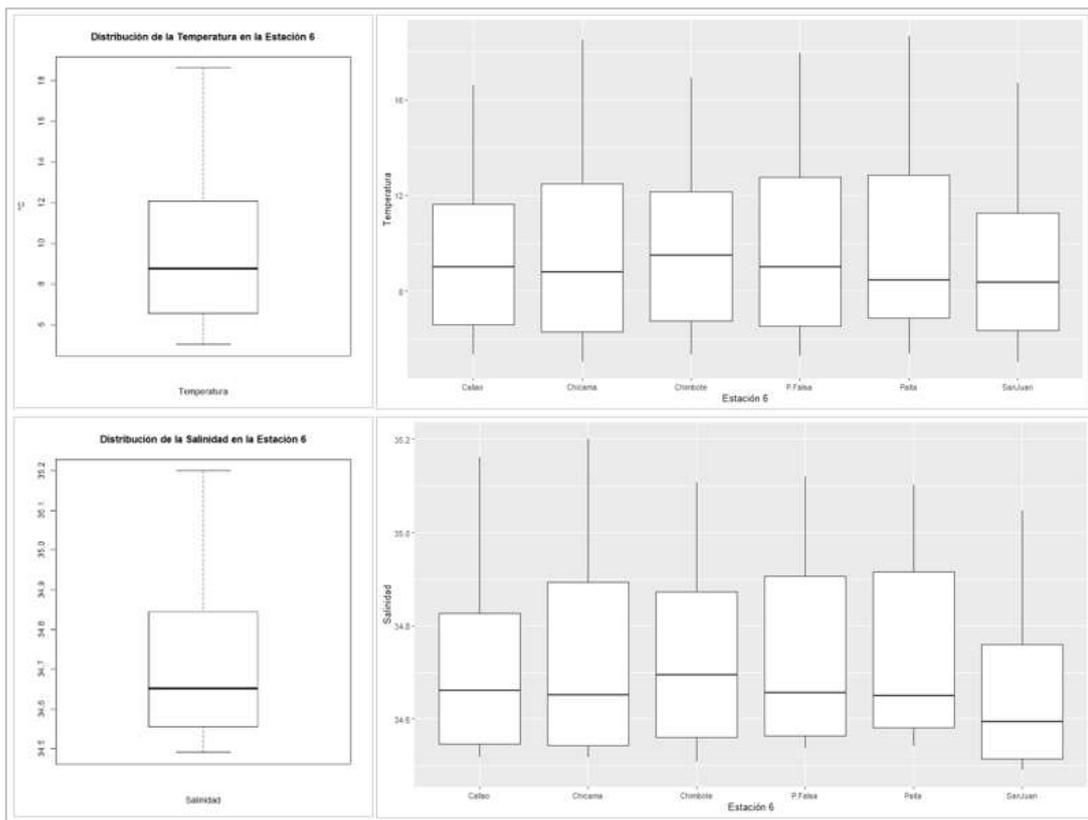
Temperatura y salinidad: Estación oceanográfica a 90mn

La distribución de la temperatura y de la salinidad en el muestreo realizado a 90 millas náuticas, es asimétrica en ambas variables y sin presencia de outliers. En esta ubicación, la distribución de la temperatura por estación presenta una distribución asimétrica en todos los casos. Del mismo modo sucede con la distribución de la salinidad.



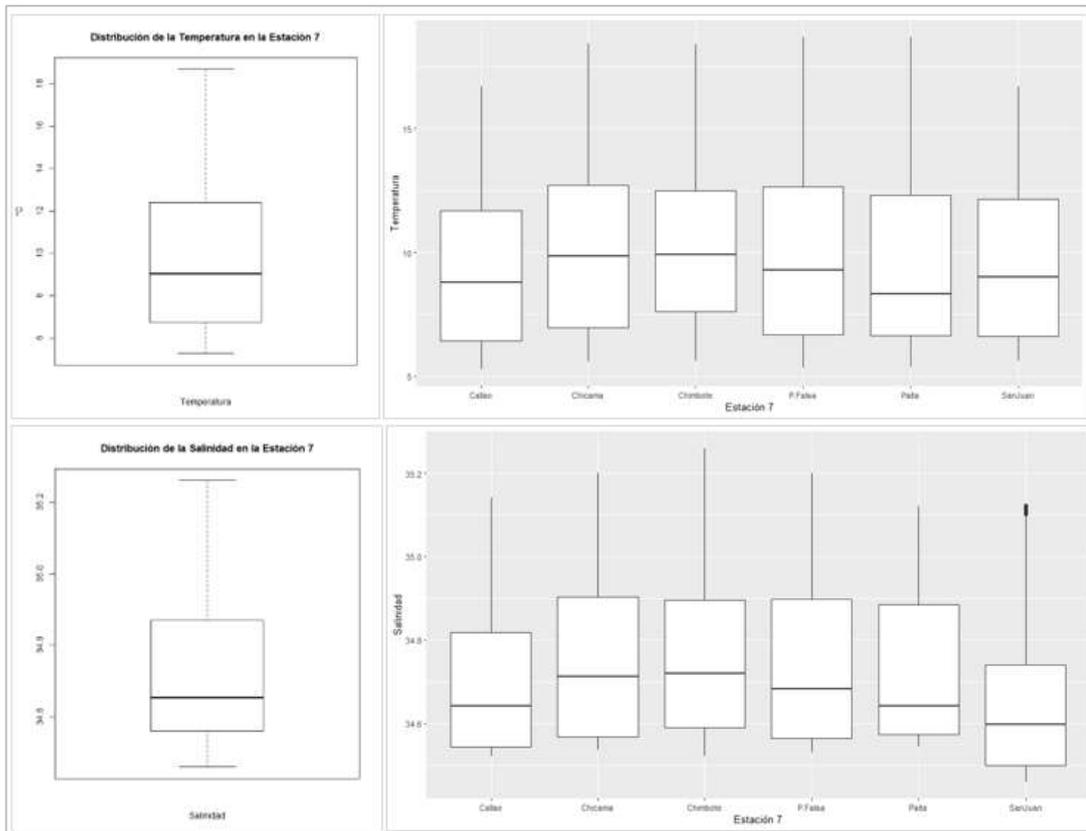
Temperatura y salinidad: Estación oceanográfica a 120mn

La distribución de la temperatura y de la salinidad en el muestreo realizado a 120 millas náuticas, es asimétrica en ambas variables y sin presencia de outliers. En esta ubicación, la distribución de la temperatura por estación oceanográfica presenta una distribución asimétrica en todos los casos. Del mismo modo sucede con la distribución de la salinidad.



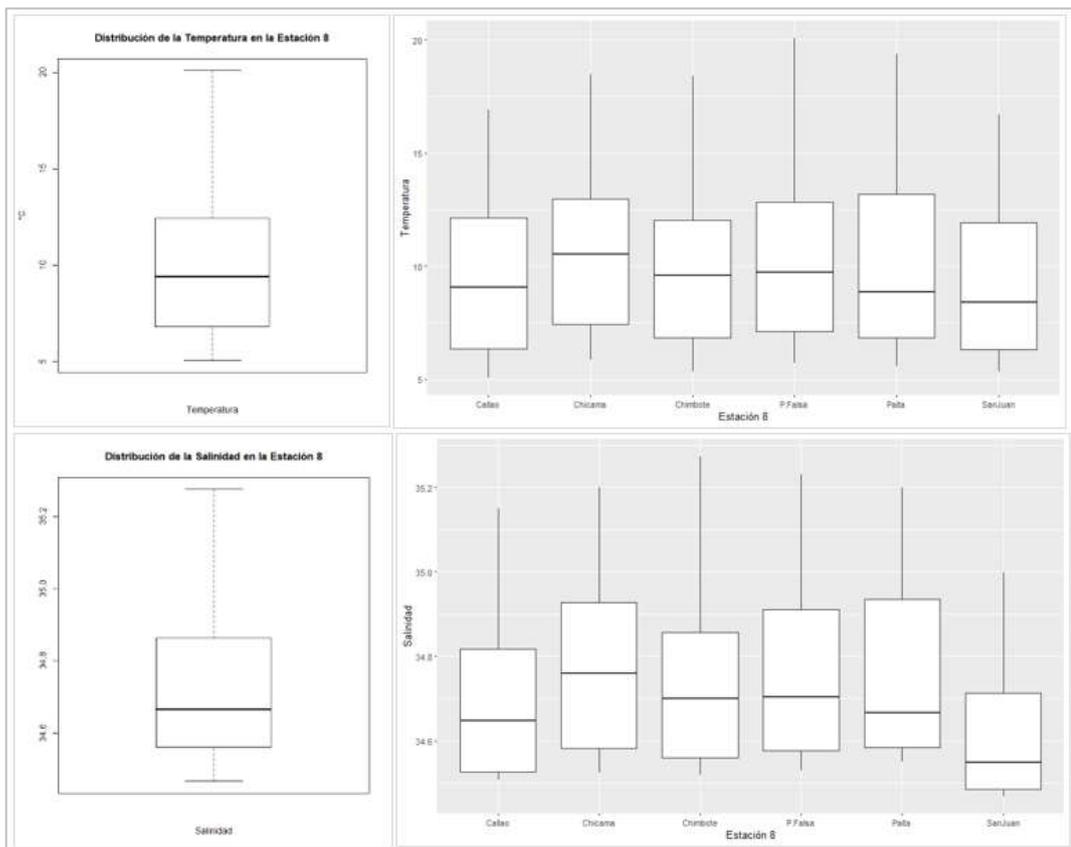
Temperatura y salinidad: Estación oceanográfica a 160mn

La distribución de la temperatura y de la salinidad en el muestreo realizado a 160 millas náuticas, es asimétrica en ambas variables y sin presencia de outliers. En esta ubicación, al igual que en el muestreo realizado a 90 y 120 millas náuticas respectivamente, la distribución de la temperatura por estación oceanográfica presenta una distribución asimétrica en todos los casos; análogamente como sucede con la distribución de la salinidad.



Temperatura y salinidad: Estación oceanográfica a 200mn

La distribución de la temperatura y de la salinidad en el muestreo realizado a 200 millas náuticas, se observa una distribución asimétrica en ambas variables y sin presencia de outliers. En esta ubicación, la distribución de la temperatura por estación oceanográfica presenta una distribución asimétrica en todos los casos; análogamente como sucede con la distribución de la salinidad.



ANEXO 2:

Descripción de las distribuciones de las variables en estudio.

DESCRIPCIÓN					
Muestreo 2012	Distribución		Outliers		
	General	Por estación	General	Por estación	
	Fisicoquímicas				
Temperatura	Asimétrica	Todas	No	Si	Bermejo Chicama
Oxígeno	Asimétrica	Todas	si		Todas estaciones
pH	Asimétrica	Todas	si	Si	Todas (Excepto Pta. Falsa)
Nutrientes					
PO4	Asimétrica	Todas	Si	Si	Bermejo Paita
SIO3	Asimétrica	Todas	Si	Si	Chimbote Chicama Paita
NO2	Asimétrica	Todas	Si	Si	Chimbote Pta.Falsa
NO3	Asimétrica	Todas	No	Si	Callao Bermejo
Muestreo 2014	Distribución		Outliers		
	General	Por estación	General	Por estación	
	Fisicoquímicas				
Temperatura	Asimétrica	Todas	No	Si	Bermejo Chimbote
Oxígeno	Asimétrica	Todas	Si	Si	Callao Bermejo Chicama Pta. Falsa
pH	Asimétrica	Todas	Si	Si	Callao Bermejo Chimbote Chicama
Nutrientes					
PO4	Asimétrica	Todas	Si	Si	Callao Chimbote Pta. Falsa Paita
SIO3	Asimétrica	Todas	No	Si	Chicama
NO2	Asimétrica	Todas	No	No	
NO3	Asimétrica	Todas	Si	Si	Chicama Pta.falsa

Muestreo año 2011					
Física	Distribución		Outliers		
	General	Por estación	General	Por estación	
Temperatura general	Asimétrica	Asimétrica	No	No	
Química	Distribución		Outliers		
	General	Por estación	General	Por estación	
Salinidad general	Asimétrica	Asimétrica	No	No	
Física	Distribución		Outliers		
	General	Por estación	General	Por estación	
Temperatura D1: 5mn	Asimétrica	Asimétrica	Si	Si	Chicama Chimbote Paita
Temperatura D2:20mn	Asimétrica	Asimétrica	No	Si	Callao
Temperatura D3:40mn	Asimétrica	Asimétrica	No	No	
Temperatura D4:60 mn	Asimétrica	Asimétrica	No	No	
Temperatura D5: 90mn	Asimétrica	Asimétrica	No	No	
Temperatura D6:120mn	Asimétrica	Asimétrica	No	No	
Temperatura D7:160mn	Asimétrica	Asimétrica	No	No	
Temperatura D8:200mn	Asimétrica	Asimétrica	No	No	
Química	Distribución		Outliers		
	General	Por estación	General	Por estación	
Salinidad D1: 5mn	Asimétrica	Asimétrica	Si	Si	Todas estaciones
Salinidad D2:20mn	Asimétrica	Asimétrica	No	Si	Callao Chimbote
Salinidad D3:40mn	Asimétrica	Asimétrica	No	No	
Salinidad D4:60 mn	Asimétrica	Asimétrica	No	No	
Salinidad D5: 90mn	Asimétrica	Asimétrica	No	No	
Salinidad D6:120mn	Asimétrica	Asimétrica	No	No	
Salinidad D7:160mn	Asimétrica	Asimétrica	No	Si	San Juan
Salinidad D8:200mn	Asimétrica	Asimétrica	No	No	

ANEXO 3:

Resultados del análisis de correlación canónica

ANÁLISIS DE CORRELACIÓN CANÓNICA			
Muestreo 2012	Variable canónica		
	Primera	Segunda	Tercera
	Significativa		
	Si	Si	No
	Correlación canónica		
	0.7637	0.5471	0.2725
Fisicoquímicas	Carga canónica		
Temperatura	-0.3009	0.7144	-0.7580
Oxígeno	1.4946	-0.9913	-0.5497
pH	-2.0233	10.4565	10.8210
Nutrientes	Carga canónica		
PO4	0.0482	0.5888	0.9562
SIO3	-0.1156	0.0053	-0.0318
NO2	-0.7433	0.4711	-1.2504
NO3	-0.1010	-0.2875	0.1086
Muestreo 2014	Variable canónica		
	Primera	Segunda	Tercera
	Significativa		
	Si	Si	Si
	Correlación canónica		
	0.8285	0.6199	0.3899
Fisicoquímicas	Carga canónica		
Temperatura	-0.0750	-0.9047	-0.0238
Oxígeno	1.0972	-0.0527	2.7899
pH	11.5811	9.9183	-24.0347
Nutrientes	Carga canónica		
PO4	0.4520	0.7462	0.8107
SIO3	-0.1234	-0.0004	-0.1074
NO2	-0.1703	0.9105	-0.2642
NO3	-0.2710	0.0449	0.0604

ANÁLISIS DE CORRELACIÓN CANÓNICA							
	Todas las estaciones y distancias	Variable canónica					
		Primera	Segunda	Tercera	Cuarta	Quinta	Sexta
		Significativa					
		Si	Si	Si	Si	Si	Si
		Correlación canónica					
		0.9971	0.9954	0.9918	0.9824	0.9723	0.9249
	Temperatura	Carga canónica					
	Tcallao	0.0583	-0.0448	-0.3013	0.1501	-0.2279	0.0822
	Tchicama	0.0689	0.2592	-0.0922	-0.0413	-0.0036	-0.1022
	Tchimbote	0.1584	0.0310	0.1259	0.2672	0.1290	0.0429
	Tfalsa	0.1278	-0.0269	0.0640	-0.3629	-0.0261	0.0229
	Tsanjuan	-0.0078	-0.0287	-0.0744	-0.0222	0.3375	-0.1764
	Tpaita	-0.0061	0.0026	-0.0074	-0.0052	0.0530	0.3221
	Salinidad	Carga canónica					
	Scallao	0.8568	-0.6085	-5.7773	2.9247	-4.1447	1.7321
	Schicama	1.5069	4.8440	-1.7036	-0.7219	-0.3074	-1.6339
	Schimbote	2.8072	0.4788	2.3155	4.8762	2.3004	1.0094
	Sfalsa	2.6848	-0.5418	1.1664	-7.1792	-1.1744	1.1322
	Ssanjuan	-0.3006	-0.3704	-1.5226	-0.6058	7.2635	-4.5844
	Spaita	-0.2027	0.0859	0.1402	0.1094	0.9546	7.1097

	Todas las estaciones distancia 5mn	Variable canónica					
		Primera	Segunda	Tercera	Cuarta	Quinta	Sexta
		Significativa					
		Si	Si	Si	No	No	No
		Correlación canónica					
		0.9934	0.9449	0.8961	0.7112	0.4175	0.2050
	Temperatura	Carga canónica					
	Tchicama	-7.5921	-19.8506	6.8962	31.4544	-9.1235	-20.2539
	Tchimbote	-6.7588	-5.9657	6.5236	-5.1645	5.0106	8.4446
	Tcallao	0.8199	-2.1169	-1.5741	-5.8397	8.3420	-7.2410
	Tpaita	0.8186	4.3470	-0.4035	0.7476	-2.9892	2.3161
	Tfalsa	6.5650	11.8873	-28.7169	-25.2968	-58.0580	18.1991
	Tsanjuan	0.1195	0.2790	-1.7317	2.1422	3.5586	1.6120
	Salinidad	Carga canónica					
	Schicama	5.6279	39.2096	-13.7941	112.4132	59.8333	-180.4589
	Schimbote	40.2143	21.8654	-29.0089	-93.4368	-42.6301	-24.5426
	Scallao	-16.0381	8.8917	27.3904	-63.2696	-86.4752	-31.1561
	Spaita	-0.6320	-31.5042	-11.1681	-7.3994	18.3425	-5.4876
	Sfalsa	0.4894	20.3902	4.2086	-21.1737	2.5372	-25.4302
	Ssanjuan	-21.6005	0.2441	-38.0764	-14.3887	-22.4241	2.8977

	Todas las estaciones distancia 20mn	Variable canónica					
		Primera	Segunda	Tercera	Cuarta	Quinta	Sexta
		Significativa					
		Si	Si	Si	No	No	No
		Correlación canónica					
		0.9947	0.9381	0.8130	0.6413	0.3158	0.2276
	Temperatura	Carga canónica					
2	Tcallao	-0.3838	-0.1530	-8.1978	0.0846	8.5710	2.1112
	Tchicama	0.3205	-2.4213	5.0594	3.7307	4.0030	-16.8316
	Tchimbote	-0.3295	3.5941	0.3113	0.5042	-20.1074	22.2212
	Tpaita	-0.4445	0.5475	1.8257	-0.3494	4.7524	-1.9500
	Tfalsa	0.6597	-3.0177	-0.7075	-0.1741	-1.1593	-1.3332
	Tsanjuan	-0.6453	0.3448	0.8806	-2.7447	-1.3179	-2.8098
	Salinidad	Carga canónica					
	Scallao	-1.1789	5.4152	-4.0306	-8.7288	-14.9276	30.5885
	Schicama	-16.4283	-17.1397	114.4016	98.9669	#####	72.8943
	Schimbote	-1.6924	-2.2911	-13.6413	15.6950	44.0217	30.9427
	Spaita	3.6260	-9.9421	-9.2333	17.9237	-3.8226	24.5767
	Sfalsa	-1.9608	-28.9955	-0.1101	-45.4829	1.0850	-13.3958
	Ssanjuan	17.7941	8.4425	90.3340	-14.7659	-26.4807	34.9490

	Todas las estaciones distancia 40mn	Variable canónica					
		Primera	Segunda	Tercera	Cuarta	Quinta	Sexta
		Significativa					
		Si	Si	Si	Si	Si	Si
		Correlación canónica					
		0.9934	0.8976	0.7944	0.7155	0.3281	0.2780
	Temperatura	Carga canónica					
3	Tcallao	-0.5922	1.0603	2.2812	4.6509	-1.8422	-7.3871
	Tchicama	0.0229	1.2852	-3.6775	1.0033	-4.9859	-1.0519
	Tchimbote	-0.4246	-1.1774	-1.6156	-0.2675	4.6221	-10.3020
	Tpaita	-0.1309	-1.1806	0.4006	1.5197	-2.5252	0.8523
	Tfalsa	0.6387	2.6417	5.2295	-13.2765	0.7778	8.6902
	Tsanjuan	-0.4182	-1.2421	-4.4593	4.0977	5.4782	4.6084
	Salinidad	Carga canónica					
	Scallao	-12.6205	-7.2264	15.2585	45.1816	-31.4774	-30.8646
	Schicama	-4.2832	27.6431	-33.2470	-29.7098	-5.5038	-86.6977
	Schimbote	-4.1689	-2.7267	-21.8501	-56.3561	-82.5638	58.1222
	Spaita	2.2280	13.7061	-3.2736	8.0928	-9.3246	-0.8447
	Sfalsa	-6.2253	29.8582	1.1402	-1.2316	88.4186	63.2567
	Ssanjuan	0.1915	-1.6153	-82.4206	60.9048	26.1027	59.4182

4	Todas las estaciones distancia 60mn	Variable canónica					
		Primera	Segunda	Tercera	Cuarta	Quinta	Sexta
		Significativa					
		Si	Si	Si	Si	Si	No
		Correlación canónica					
		0.9976	0.9550	0.8464	0.7925	0.4910	0.1632
	Temperatura	Carga canónica					
	Tcallao	-0.2238	0.1149	0.8679	0.2601	-8.8045	8.4355
	Tchicama	-0.0634	1.2584	1.0061	1.4605	2.1210	-6.4151
	Tchimbote	-0.4140	-0.4223	-1.3449	-3.0278	-5.0959	-4.5521
	Tpaita	-0.1025	-1.3332	3.0319	-0.2899	-1.3223	1.3165
	Tfalsa	0.0147	-0.1979	-0.8120	4.3934	6.1230	2.4543
	Tsanjuan	-0.0488	0.2489	-1.4294	-1.9128	6.5524	-0.3792
	Salinidad	Carga canónica					
	Scallao	-3.1720	12.2392	-11.9001	5.0669	53.6708	33.1331
	Schicama	-5.8882	16.6842	34.1807	-4.9404	-17.1663	-92.6279
	Schimbote	-3.0425	-17.1844	-20.5632	43.8056	-1.6500	-32.6469
	Spaita	-0.6737	12.1478	-31.1514	-0.3094	-30.4674	-11.2075
	Sfalsa	-6.6754	-7.5932	38.7884	31.9165	-21.2486	136.8583
	Ssanjuan	-5.9859	-17.3406	-13.7093	-87.8581	-60.0009	-12.5102

5	Todas las estaciones distancia 90mn	Variable canónica					
		Primera	Segunda	Tercera	Cuarta	Quinta	Sexta
		Significativa					
		Si	Si	Si	Si	Si	Si
		Correlación canónica					
		0.9987	0.9111	0.8945	0.7801	0.4636	0.2048
	Temperatura	Carga canónica					
	Tcallao	0.1393	4.2371	0.2503	-2.3577	3.9716	3.0807
	Tchicama	-0.0338	0.3856	2.1083	-0.7921	-3.4497	1.3796
	Tchimbote	-0.2899	0.2688	-1.3505	3.3371	-1.9347	-3.7000
	Tpaita	-0.1022	-0.0799	-0.7275	-0.1246	-1.3081	2.7047
	Tfalsa	0.1023	-2.7688	-1.0487	-3.5446	1.2747	-2.4368
	Tsanjuan	-0.1253	-1.5244	0.6027	3.7670	2.0756	-0.9932
	Salinidad	Carga canónica					
	Scallao	-1.8982	36.4867	-4.7100	-30.5468	33.7000	-0.6573
	Schicama	-0.5257	-7.6758	31.1725	-4.4395	-43.7989	-17.1361
	Schimbote	-2.5537	-4.2463	-30.2008	20.0841	-33.6231	-20.7792
	Spaita	-0.3009	3.1087	-3.8309	-1.2417	7.4149	-34.3250
	Sfalsa	-0.8016	-15.6710	-2.8059	-27.3236	16.0181	56.5981
	Ssanjuan	0.3054	-10.1235	5.4774	48.8317	32.6796	17.5976

	Todas las estaciones distancia 120mn	Variable canónica					
		Primera	Segunda	Tercera	Cuarta	Quinta	Sexta
		Significativa					
		Si	Si	Si	Si	Si	Si
		Correlación canónica					
		0.9990	0.9230	0.8687	0.7675	0.5177	0.2249
	Temperatura	Carga canónica					
6	Tcallao	-0.0783	-0.2941	-0.9822	-1.9834	6.0089	9.1663
	Tchicama	-0.2341	1.7053	-0.5679	3.9359	2.3964	2.0208
	Tchimbote	0.2092	-2.1012	-2.1923	-1.1885	-3.8000	-5.1821
	Tpaita	-0.0877	-0.5897	0.2187	-0.0572	2.0343	-0.8403
	Tfalsa	-0.1310	-1.8041	2.4885	0.3602	-3.7423	-1.4285
	Tsanjuan	0.0707	3.2019	0.7318	-1.7747	-2.9171	-3.6580
	Salinidad	Carga canónica					
	Scallao	-1.8898	-3.6036	3.9435	-30.7336	26.2668	46.1627
	Schicama	-0.7417	2.3937	-3.9267	45.9331	43.6462	0.8711
	Schimbote	-0.8003	-15.5232	-49.0237	-13.0202	-25.4284	-10.6749
	Spaita	0.0790	-4.6333	5.9670	-13.6411	25.8257	-15.8871
	Sfalsa	-2.0183	-6.8097	31.6841	10.9441	-57.3864	20.4785
	Ssanjuan	-0.1561	32.3865	11.5855	-8.0891	-16.9346	-49.8809

	Todas las estaciones distancia 160mn	Variable canónica					
		Primera	Segunda	Tercera	Cuarta	Quinta	Sexta
		Significativa					
		Si	Si	Si	Si	Si	No
		Correlación canónica					
		0.9991	0.9586	0.9100	0.8635	0.7029	0.2619
	Temperatura	Carga canónica					
7	Tcallao	-0.0138	-1.8906	0.3930	-2.2953	-0.3926	-0.1075
	Tchicama	-0.2067	0.1193	-0.2167	-0.7868	5.0330	-1.2802
	Tchimbote	0.1150	-0.5731	1.9617	3.0464	1.4823	0.0420
	Tpaita	-0.0852	-0.2802	0.3958	-0.1157	-0.1973	-2.3312
	Tfalsa	-0.0477	2.2615	-1.4501	-1.3493	-6.8422	3.4054
	Tsanjuan	-0.0446	0.2067	-0.9983	1.3456	0.8132	0.1798
	Salinidad	Carga canónica					
	Scallao	-0.1203	-19.9614	9.1211	-19.3446	-1.7308	1.1751
	Schicama	-1.1898	12.7218	-2.2393	-22.8381	48.8718	-21.0022
	Schimbote	-0.4827	9.0643	21.3350	27.6152	0.1297	-5.4574
	Spaita	-0.1258	-5.5851	-7.3648	7.4843	-3.3242	-24.6201
	Sfalsa	-3.1063	3.1113	-16.7602	-1.2232	-52.1554	42.5806
	Ssanjuan	-0.1922	-1.8610	-6.4569	6.9065	6.4127	5.1154

8	Todas las estaciones distancia 200mn	Variable canónica					
		Primera	Segunda	Tercera	Cuarta	Quinta	Sexta
		Significativa					
		Si	Si	Si	Si	Si	No
		Correlación canónica					
		0.9994	0.9740	0.8815	0.8516	0.7900	0.2124
	Temperatura	Carga canónica					
	Tcallao	-0.0709	0.5772	-0.4113	-1.8993	-2.8514	1.6221
	Tchicama	0.0767	0.6977	1.7578	-0.5960	3.2566	-2.9517
	Tchimbote	0.0049	-1.7577	-0.3589	-0.2190	1.5202	1.8573
	Tpaita	0.1185	0.5779	-1.9135	0.5163	0.1836	3.2643
	Tfalsa	-0.0434	-0.4103	0.8987	0.4280	-2.6829	0.5223
	Tsanjuan	0.2022	0.3929	0.1035	1.7020	0.6174	-4.6087
	Salinidad	Carga canónica					
	Scallao	0.5166	0.5180	-7.6164	-19.9875	-26.3252	-12.2106
	Schicama	0.9648	7.6433	25.6561	-24.2465	30.9050	-7.0329
	Schimbote	1.0389	-16.5619	-2.1183	4.3383	17.2034	15.8009
	Spaita	1.6382	9.9804	-30.9492	8.5587	2.2309	11.3638
	Sfalsa	0.9422	-1.1314	12.3798	23.0953	-31.5972	1.1899
	Ssanjuan	0.1029	2.6098	2.3647	10.8196	6.5240	-13.7106

ANEXO 4:

Dispersión relativa de las variables en estudio según estación oceanográfica.

CV(%) TSM	5.75					
TSM por estación oceanográfica	Callao	Bermejo	Chimbote	Chicama	Pta. Falsa	Paita
CV(%)	3.88	4.04	4.84	6.13	5.73	5.84
CV(%) O2	14.29					
O2 por estación oceanográfica	Callao	Bermejo	Chimbote	Chicama	Pta. Falsa	Paita
CV(%)	9.30	11.05	12.70	21.36	19.72	7.84
CV(%) pH	1.21					
pH por estación oceanográfica	Callao	Bermejo	Chimbote	Chicama	Pta. Falsa	Paita
CV(%)	1.41662	0.746224	1.019327	1.467906	1.099329	1.21986
CV(%) PO4	26.17					
PO4 por estación oceanográfica	Callao	Bermejo	Chimbote	Chicama	Pta. Falsa	Paita
CV(%)	36.215523	27.44288	13.017176	6.961583	8.464777	40.523132
CV(%) SIO3	51.05					
SIO3 por estación oceanográfica	Callao	Bermejo	Chimbote	Chicama	Pta. Falsa	Paita
CV(%)	41.53136	40.04659	33.39359	23.11134	43.89325	51.43819
CV(%) NO2	26.49					
NO2 por estación oceanográfica	Callao	Bermejo	Chimbote	Chicama	Pta. Falsa	Paita
CV(%)	44.93329	15.55664	8.78625	11.06248	36.09774	12.81478
CV(%) NO3	17.51					
NO3 por estación oceanográfica	Callao	Bermejo	Chimbote	Chicama	Pta. Falsa	Paita
CV(%)	16.37611	19.9265	15.16776	15.87557	23.01403	14.298

ANEXO 5:

Análisis descriptivo de los datos de la temperatura y salinidad por distancia (mn).

Distancia a 5 mn

Data Summary										
Name	Values dato1[, 1:12]									
Number of rows	22									
Number of columns	12									
Column type frequency:										
numeric	12									
Group variables										
None										
Variable type: numeric										
skim_variable	n_missing	complete_rate	mean	sd	p0	p25	p50	p75	p100	hist
1 Tchicama	0	1	14.8	0.104	14.7	14.8	14.8	14.9	15.1	
2 Tchimbote	0	1	14.5	0.226	14.3	14.3	14.5	14.5	15.0	
3 Tcallao	0	1	14.1	0.441	13.6	13.8	13.9	14.4	14.9	
4 Tpaita	0	1	16.0	0.977	15.0	15.3	15.6	16.2	17.9	
5 Tfalsa	0	1	15.6	0.0378	15.6	15.6	15.6	15.7	15.7	
6 Tsanjuan	0	1	13.9	0.352	13.2	13.6	14.1	14.2	14.2	
7 Schicama	0	1	35.0	0.00662	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	
8 Schimbote	0	1	35.0	0.0164	34.9	35.0	35.0	35.0	35.0	
9 Scallao	0	1	34.9	0.0130	34.9	34.9	34.9	34.9	35.0	
10 Spaita	0	1	35.0	0.0285	34.9	35.0	35.0	35.1	35.1	
11 Sfalsa	0	1	35.0	0.0494	35.0	35.0	35.0	35.0	35.2	
12 Ssanjuan	0	1	34.8	0.0232	34.8	34.8	34.8	34.9	34.9	

Distancia a 200 mn

Data Summary										
Name	Values dato1[, 1:12]									
Number of rows	716									
Number of columns	12									
Column type frequency:										
numeric	12									
Group variables										
None										
Variable type: numeric										
skim_variable	n_missing	complete_rate	mean	sd	p0	p25	p50	p75	p100	hist
1 Tcallao	0	1	10.3	3.41	5.64	7.36	9.95	12.4	16.9	
2 Tchicama	0	1	10.6	3.44	5.86	7.42	10.5	13.0	18.5	
3 Tchimbote	0	1	10.6	3.61	5.87	7.52	10.2	12.3	18.4	
4 Tpaita	0	1	10.6	3.62	6.02	7.31	9.84	13.3	19.4	
5 Tfalsa	0	1	10.6	3.66	5.97	7.42	9.95	12.9	20.1	
6 Tsanjuan	0	1	9.59	3.42	5.50	6.55	8.85	12.0	16.7	
7 Scallao	0	1	34.7	0.195	34.5	34.6	34.7	34.8	35.2	
8 Schicama	0	1	34.8	0.193	34.5	34.6	34.8	34.9	35.2	
9 Schimbote	0	1	34.8	0.220	34.5	34.6	34.7	34.9	35.3	
10 Spaita	0	1	34.8	0.185	34.6	34.6	34.7	34.9	35.2	
11 Sfalsa	0	1	34.8	0.190	34.5	34.6	34.7	34.9	35.2	
12 Ssanjuan	0	1	34.6	0.161	34.5	34.5	34.6	34.7	35.0	

ANEXO 6:

Estándares de calidad de medio marino costero peruano.

Bitácora de setiembre del año 2012 de la Marina de Guerra del Perú					
Variable		CV(%)	Mínimo	Máximo	Estándares
Temperatura	TSM	5.75	16.60	20.90	△
Oxígeno disuelto	O2	14.29	2.80	7.50	≥ 4
Concentración de iones de hidrógeno	pH	1.21	7.71	8.17	6.8-8.5
Fosfatos	PO4	26.17	0.96	7.76	
Silicatos	SIO3	51.05	1.24	17.34	20-0
Nitritos	NO2	26.49	0.79	5.03	0.1 a 1.6
Nitratos	NO3	17.51	12.48	26.32	
Callao					
Variable		CV(%)	Mínimo	Máximo	Estándares
Temperatura	TSM	3.88	16.60	18.60	△
Oxígeno disuelto	O2	9.30	5.30	7.50	≥ 4
Concentración de iones de hidrógeno	pH	1.41662	7.80	8.17	6.8-8.5
Fosfatos	PO4	36.2155	1.56	4.44	
Silicatos	SIO3	41.5314	1.24	4.83	20-0
Nitritos	NO2	44.9333	0.79	3.22	0.1 a 1.6
Nitratos	NO3	16.3761	12.48	21.81	
Bermejo					
Variable		CV(%)	Mínimo	Máximo	Estándares
Temperatura	TSM	4.04	16.70	19.20	△
Oxígeno disuelto	O2	11.05	4.45	6.55	≥ 4
Concentración de iones de hidrógeno	pH	0.74622	7.91	8.09	6.8-8.5
Fosfatos	PO4	27.4429	3.94	7.76	
Silicatos	SIO3	40.0466	5.51	16.55	20-0
Nitritos	NO2	15.5566	1.84	2.88	0.1 a 1.6
Nitratos	NO3	19.9265	13.83	26.16	
Chimbote					
Variable		CV(%)	Mínimo	Máximo	Estándares
Temperatura	TSM	4.84	16.60	19.20	△
Oxígeno disuelto	O2	12.70	3.95	6.10	≥ 4
Concentración de iones de hidrógeno	pH	1.01933	7.84	8.13	6.8-8.5
Fosfatos	PO4	13.0172	3.60	5.21	
Silicatos	SIO3	33.3936	6.88	17.34	20-0
Nitritos	NO2	8.78625	2.76	3.55	0.1 a 1.6
Nitratos	NO3	15.1678	15.60	23.13	
Chicama					
Variable		CV(%)	Mínimo	Máximo	Estándares
Temperatura	TSM	6.13	16.60	20.10	△
Oxígeno disuelto	O2	21.36	2.80	6.65	≥ 4
Concentración de iones de hidrógeno	pH	1.46791	7.71	8.06	6.8-8.5
Fosfatos	PO4	6.96158	3.99	4.87	
Silicatos	SIO3	23.1113	4.89	9.64	20-0
Nitritos	NO2	11.0625	2.58	3.64	0.1 a 1.6
Nitratos	NO3	15.8756	14.10	22.27	
Pta. Falsa					
Variable		CV(%)	Mínimo	Máximo	Estándares
Temperatura	TSM	5.73	16.90	19.90	△
Oxígeno disuelto	O2	19.72	3.40	6.45	≥ 4
Concentración de iones de hidrógeno	pH	1.09933	7.80	8.09	6.8-8.5
Fosfatos	PO4	8.46478	4.08	5.21	
Silicatos	SIO3	43.8933	3.75	12.55	20-0
Nitritos	NO2	36.0977	2.25	5.03	0.1 a 1.6
Nitratos	NO3	23.014	13.97	26.32	
Paita					
Variable		CV(%)	Mínimo	Máximo	Estándares
Temperatura	TSM	5.84	18.00	20.90	△
Oxígeno disuelto	O2	7.84	5.30	6.60	≥ 4
Concentración de iones de hidrógeno	pH	1.21986	7.73	8.04	6.8-8.5
Fosfatos	PO4	40.5231	0.96	4.19	
Silicatos	SIO3	51.4382	2.54	13.36	20-0
Nitritos	NO2	12.8148	2.25	3.30	0.1 a 1.6
Nitratos	NO3	14.298	15.35	22.95	

ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD

				
ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD				
Yo, Dra. Jeanete Baldramina González Castro				
asesor / presidente de la Unidad de Investigación de la				
Facultad	Ciencias		Educación	Ingeniería
Departamento Académico				
Escuela de Posgrado	Maestría		Doctorado	x
Programa: Doctorado en Estadística Matemática				
De la Universidad Nacional del Santa. Asesor / Unidad de Investigación revisora del trabajo de Investigación titulado:				
Variables fisicoquímicas y nutrientes del ecosistema marino costero peruano:				
Un enfoque multivariado				
Del estudiante / docente: Rosa Ysabel Adriazola Cruz				
De la escuela / departamento académico:				
Constato que la investigación presentada tiene un porcentaje de similitud del ...14... % el cual se verifica con el reporte de originalidad de la aplicación Turnitin adjunto.				
Quién suscribe la presente, declaro el haber analizado dicho reporte y concluyo que las coincidencias detectadas no se conforman como plagio. A mi claro saber y entender, la investigación cumple con las normas de citas y referencias establecidas por la Universidad Nacional del Santa.				
Nuevo Chimbote, 18 de marzo de 2024.				
Firma: 				
Nombres y Apellidos del Asesor/Presidente UIF:				
Dni: 17907232				



DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA

 DECLARACION JURADA DE AUTORÍA					
Yo, Rosa Ysabel Adriazola Cruz					
estudiante / docente de la					
Facultad	Ciencias		Educación		Ingeniería
Escuela Profesional					
Departamento Académico					
Escuela de Posgrado	Maestría		Doctorado	X	
Programa:					
De la Universidad Nacional del Santa; Declaro que el trabajo de investigación intitulado:					
Variables fisicoquímicas y nutrientes del ecosistema marino costero peruano: Un enfoque multivariado					
presentado en folios, para la obtención del Grado académico					
					(X)
Título profesional	()	Investigación anual		()	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ He citado todas las fuentes empleadas, no he utilizado otra fuente distinta a las declaradas en el presente trabajo. ➤ Este trabajo de investigación no ha sido presentado con anterioridad ni completa ni parcialmente para la obtención de grado académico o título profesional. ➤ Comprendo que el trabajo de investigación será público y por lo tanto sujeto a ser revisado electrónicamente para la detección de plagio por el VRIN. ➤ De encontrarse uso de material intelectual sin el reconocimiento de su fuente o autor, me someto a las sanciones que determinan el proceso disciplinario. 					
Nuevo Chimbote, 18 de marzo de 2024.					
Firma:					
					
Nombres y Apellidos: Rosa Ysabel Adriazola Cruz					
DNI: 06826398					

