

**MARINA DE GUERRA DEL PERÚ
ESCUELA SUPERIOR DE GUERRA NAVAL
ESCUELA DE POST GRADO**



**Trabajo académico presentado para obtener el
Título de Segunda Especialidad Profesional de Hidrografía**

**“ESTUDIO DE LAS TELECONEXIONES CLIMÁTICAS DEL ENSO
PARA EL PRONÓSTICO OCÉANO METEOROLÓGICO DE LA
DIHIDRONAV”**

**Presentado por
ALFÉREZ DE FRAGATA
SERGIO LUIS LAURA PEZO**

**Lic. Carmen Francia Espinoza
Asesor Metodológico**

**Mg. Gerardo Ramírez Rosario
Asesor Técnico - Especialista**

Chucuito – 2020

Dedicatoria

A Dios que siempre resguarda
mis pasos, mis padres que
siempre son mi apoyo y amigos
que siempre cubren mi espalda.

AGRADECIMIENTO

A la Dirección de Hidrografía y navegación , todos los señores oficiales, personal subalterno y civil de la DIHIDRONAV que apoyaron el presente trabajo de investigación, en especial a mis asesores, el Mg. Gerardo Ramírez , Lic. Carmen Francia, por su importante y dedicada asesoría, así como por su permanente orientación y consejo.

ÍNDICE

	pág.
Índice.....	iv
Lista de tablas.....	vi
Lista de figuras	vii
Resumen	viii
Abstract	x
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
1.1 Situación problemática.....	12
1.2. Formulación del problema.....	13
1.2.1 Problema general.....	13
1.2.2 Problemas secundarios.....	13
1.3 Objetivos de la investigación.....	13
1.3.1 Objetivo general.....	13
1.3.2 Objetivos específicos.....	13
1.4 Justificación de la Investigación.....	13
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	15
2.1 Antecedentes de la Investigación.....	15
2.2 Bases teóricas.....	17
2.3 Definiciones operacionales.....	22
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	24
3.1 Diseño Metodología.....	24

3.3 Variables, dimensiones e indicadores.....	24
3.5 Técnicas de recolección de datos.....	25
CAPÍTULO IV: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	26
4.1 Análisis de los resultados	26
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
5.1 Conclusiones	29
5.2 Recomendaciones	30
Referencias bibliográficas	31
Anexos.....	35
Anexo 1 Índices ONI histórico de la NOAA	35

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización de variables.....	24
---	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Columna izquierda Mapas homogéneos de SST). Columna derecha Mapas heterogéneos de lluvia anómala sobre la precipitación regional anómala del Sahel.....	16
Figura 2: Circulación de Walker generalizada (diciembre-febrero) durante condiciones ENSO-neutrales. NOAA Climate.gov dibujo de Fiona Martin.	17
Figura 3: Anomalía generalizada de la circulación de Walker (diciembre-febrero) durante los eventos de El Niño. Se observa un calentamiento en la zona del pacífico ecuatorial que se extiende hasta la zona oriental (anaranjado).	18
Figura 4: : Las células de Hadley, las células de Ferrel (latitud media) y las células polares caracterizan la dinámica atmosférica actual.....	18
Figura 5: a, d fuente de onda de Rossby total para EP El Niño y EP La Niña, respectivamente (Feng, Juan & Chen, Wen & Li, Yanjie. 2016).	19
Figura 6: Circulación de ondas Kelvin del Este a través del pacífico ecuatorial.....	19
Figura 7: Interacciones entre las ondas Kelvin y Rossby a lo largo del Pacífico (Krauss, 1966)	20
Figura 8: Zonas el Niño. La zona 3.4 es donde se analiza el ONI. Si existen cinco o mas grupos de tres meses consecutivos se presentará un episodio Niño. La zona Niño 1+2 es donde se presenta el Niño Costero	21
Figura 9: Teleconexiones de la Niña al rededor del mundo (NOAA, s.f.).....	26
Figura 10: Teleconexiones del Niño al rededor del mundo (NOAA, s.f.).....	26
Figura 11: Anomalías en la Temperatura superficial del mar durante septiembre (NOAA, s.f.).....	27

RESUMEN

La presente investigación esta basada en el tema de las teleconexiones del ENSO. En la actualidad, es importante tener conocimientos sobre la relación espacio-tiempo de este fenómeno con indicadores que se encuentren más allá del Perú y el continente. Los análisis de Jorge López Parages y Belén Rodríguez-Fonseca sobre el Niño demostró cómo las teleconexiones con este fenómeno aparecen moduladas por oscilaciones multidecadales de la temperatura anómala de la superficie del mar (SST) sobre las cuencas del Atlántico y el Pacífico.

Conforme a lo expresado anteriormente el objetivo general del presente ensayo de investigación es Determinar cómo las teleconexiones climáticas del Niño Oscilación del Sur (ENSO) ayudarían al pronóstico océano-meteorológico de la Dirección de Hidrografía y Navegación del Perú (DIHIDRONAV). La idea central de la investigación se aborda a partir del estudio de relación de variables climáticas, cuyos datos son recolectados en áreas distantes al Océano Pacífico, con el ENSO y cuyo análisis se debería plantear para mejorar el pronóstico océano-meteorológico que emite la DIHIDRONAV ; de allí la importancia del presente trabajo.

Se utilizo como técnica de recolección de datos la observación directa sobre las fuentes recopiladas de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos (NOOA) sobre los episodios frío y caliente ocurridos por estación (Anexo I). Así como Artículos de investigación sobre teleconexiones climáticas de la NOAA y otros autores que se encuentran disponibles en el repositorio web de “climate.gov”.

La investigación puede ser de utilidad para futuros estudios sobre el tema consolidando la importancia que tienen las teleconexiones climáticas. La estructura de la investigación está organizada por cuatro capítulos. En el capítulo I, se describe el planteamiento del problema, los objetivos, la justificación e importancia; en el capítulo II, se explica el marco teórico; a continuación, en el capítulo III, se ubica a la metodología utilizada; luego en el capítulo IV se describe el análisis de los resultados. Finalmente, se culmina con las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y los anexos necesarios.

Palabras claves: ENSO, Fenómeno del Niño, Fenómeno de la Niña, Teleconexión, SST, ONI, Sahel, Circulación de Hadley y Walker, Ondas Rossby y Kelvin.

ABSTRACT

This research is based on the topic of ENSO teleconnections. At present, it is important to have knowledge about the space-time relationship of this phenomenon with indicators that are beyond Peru and the continent. The analyzes of Jorge López Parages and Belén Rodríguez-Fonseca on El Niño demonstrated how teleconnections with this phenomenon appear modulated by multidecade oscillations of anomalous sea surface temperature (SST) over the Atlantic and Pacific basins.

As stated above, the general objective of this research essay is to determine how the climatic teleconnections of the Niño Southern Oscillation (ENSO) would help the ocean-meteorological forecast of the Directorate of Hydrography and Navigation of Peru (DIHIDRONAV). The central idea of the research is approached from the study of the relationship of climatic variables, whose data are collected in areas distant to the Pacific Ocean, with the ENSO and whose analysis should be proposed to improve the ocean-meteorological forecast issued by DIHIDRONAV; hence the importance of this work.

The data collection technique used was direct observation of the sources collected from the National Office of Oceanic and Atmospheric Administration of the United States (NOOA) on the hot and cold episodes that occurred by season (Annex I). As well as Research articles on climate teleconnections from NOAA and other authors that are available in the web repository of “climate.gov”.

The research may be useful for future studies on the subject, consolidating the importance of climate teleconnections. The structure of the investigation is organized by four chapters. In chapter I, the problem statement, the objectives, the justification and importance are described; in chapter II, the theoretical framework is explained; then, in chapter III, the methodology used is located; then in chapter IV the analysis of the results is described. Finally, it ends with the conclusions, recommendations, bibliographic references and the necessary annexes.

Keywords: ENSO, El Niño phenomenon, La Niña phenomenon, Teleconnection, SST, ONI, Sahel, Hadley and Walker circulation, Rossby and Kelvin waves.

CAPÍTULO I

Planteamiento del problema

1.1 Situación problemática

El Niño Oscilación del Sur es un modulador dominante en la región tropical y subtropical de América con mayor impacto en el Perú, en particular en la zona costera. Consiste en una elevación de la temperatura del mar en la región ecuatorial de América del Sur a causa de la reducción de la fuerza de los vientos del este.

A lo largo de la historia el clima ha estado en constante cambio en todas partes del planeta por lo que su análisis y comprensión es muy complejo. Por esta razón es que se han desarrollado numerosos enfoques de estudio y hoy en día los cambios pueden ser evaluados a través de la variabilidad climática (IPCC, 2007; García-Páez y Cruz-Medina, 2009). La variabilidad se da a grandes escalas (global, continental, regional), separadas por grandes distancias que guardan relación entre sí, estas relaciones reciben el nombre de teleconexiones.

El Perú, cuenta con la Comisión del Estudio Nacional del Fenómeno del Niño (ENFEN) que es el ente científico y técnico, no lucrativo con carácter permanente, encargado del Estudio Nacional del Fenómeno “El Niño” (ENFEN, s. f.). Siendo la DIHIDRONAV parte de la comisión y a su vez, la institución encargada del estudio de las variables oceanometereológicas, obtiene la data principalmente de la red de monitoreo meteo-oceanográfico dentro del territorio nacional (estaciones mareográficas, boyas NAYLAMP, estaciones meteorológicas de la costa y cruceros de investigación oceanográficos). Si bien es cierto también se utiliza información recaudada por la NOAA y del Sistema de monitoreo global COPERNICUS, se ha planteado el estudio de teleconexiones para mejorar el pronóstico que la institución emite siendo esta la razón principal para el presente trabajo de investigación.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1 Problema general

¿Cómo las teleconexiones climáticas asociadas al ENSO ayudarían al pronóstico océano meteorológico de la DIHIDRONAV?

1.2.2 Problemas específicos

- A. ¿Qué teleconexiones océano meteorológicas están relacionadas al ENSO?
- B. ¿Cómo se integra las teleconexiones con el pronóstico del ENSO en el planeamiento operacional de la DIHIDRONAV?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General:

Determinar las teleconexiones climáticas asociadas al ENSO ayudarían al pronóstico océano meteorológico de la DIHIDRONAV

1.3.2 Objetivos Específicos:

- A. Determinar cuales son las teleconexiones del ENSO que afectan el territorio peruano.
- B. Determinar de qué manera se integran las teleconexiones el pronóstico del ENSO con el planeamiento operacional de la DIHIDRONAV.

1.4 Justificación de la Investigación

1.4.1 Para la Dirección de Hidrografía y Navegación

La misión de la Dirección de Hidrografía y Navegación es administrar, operar e investigar las actividades relacionadas con las ciencias del ambiente en el ámbito acuático, con el fin de contribuir al desarrollo nacional, brindar apoyo y seguridad en la navegación a las Unidades Navales y a los navegantes en general y contribuir al cumplimiento de los objetivos institucionales (Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú, 2020). En este contexto es necesario desarrollar el máximo nivel de eficiencia en el monitoreo de las variables que afectan el ambiente y ámbito oceánico. Siendo el ENSO un modulador que afecta a todo el Perú y con mayor incidencia a la zona costera del norte del

país, una investigación como la propuesta permitirá aumentar información a la base de datos manejadas por la institución que mejorarían no solo el pronóstico, sino que además desarrollaría investigación con perspectiva oceanográfica que se aplique en un mejor planeamiento institucional, administrando eficientemente el recurso humano y económico de la Dirección.

1.4.2 Para el Departamento de Oceanografía

Siendo el departamento de oceanografía el encargado directo del desarrollo de actividades de recopilación, análisis, procesamiento y distribución de la información oceanográfica, meteorológica y modelamiento numérico; el presente trabajo de investigación permitirá reforzar el análisis de la data necesaria para el pronóstico del ENSO. Contribuirá con el modelamiento numérico aportando mayor volumen de información tanto en variables oceánicas como meteorológicas. Dando como resultado un mejor análisis y procesamiento de la información que cumplen con los objetivos de eficiencia de la DIHIDRONAV.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes

Rafael Loyo Melchor en su investigación (2015) “Teleconexiones de índices océano atmosféricos de El Niño/Oscilación del Sur (ENSO) a las anomalías de precipitación y temperatura en México” planteó su tema de estudio a raíz del calentamiento o enfriamiento en la zona de los océanos pacífico ecuatorial central que es un modulador climático en esa región e impacta considerablemente en los sectores productivos de México causando pérdidas mayores a los 2000 millones de dólares. Tuvo como primer objetivo el de evaluar las teleconexiones climáticas de temperatura máxima y mínima con los índices Oceanic Niño Index (ONI) y Trans Niño Index (TNI) empleando la técnica de correlación de Pearson desde cero hasta dos años para determinar ocurrencia e intensidad a escala mensual, anual y espacial. El segundo objetivo fue el de analizar el comportamiento histórico de teleconectividad ONI y TNI con Precipitación (PP), Temperatura máxima (TMAX) y temperatura mínima (TMIN) entre 1951 y 2010. Los resultados demostraron mayor ocurrencia de la conexión desde cero años (16,26%) para el ONI y de dos años (17,64%) para el TNI incluyendo precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima.

Roberto Suarez Moreno en su tesis “Cambios Interdecadales en las Teleconexiones oceánicas con el Sahel” (2019) informa que estudios recientes muestran que los cambios interdecadales en la temperatura superficial del mar (SST) responden al West African Monsoon (WAM) (Janicot et al. 1996; Fontaine et al. 1998; Mohino et al. 2011b; Rodriguez-Fonseca et al. 2011, 2015; Losada et al. 2012) sin embargo, las causas de estas teleconexiones y sus consecuencias en las predicciones de las lluvias en el Sahel no han sido abordadas. Como resultado presentó el modelo “S4CAST” que fue creado como una herramienta para conducir estudios de predicción basados en la influencia potencial de cambios de la SST en las teleconexiones. Además, se demostró como los cambios en la SST en escalas de décadas puede modificar potencialmente las teleconexiones interanuales.

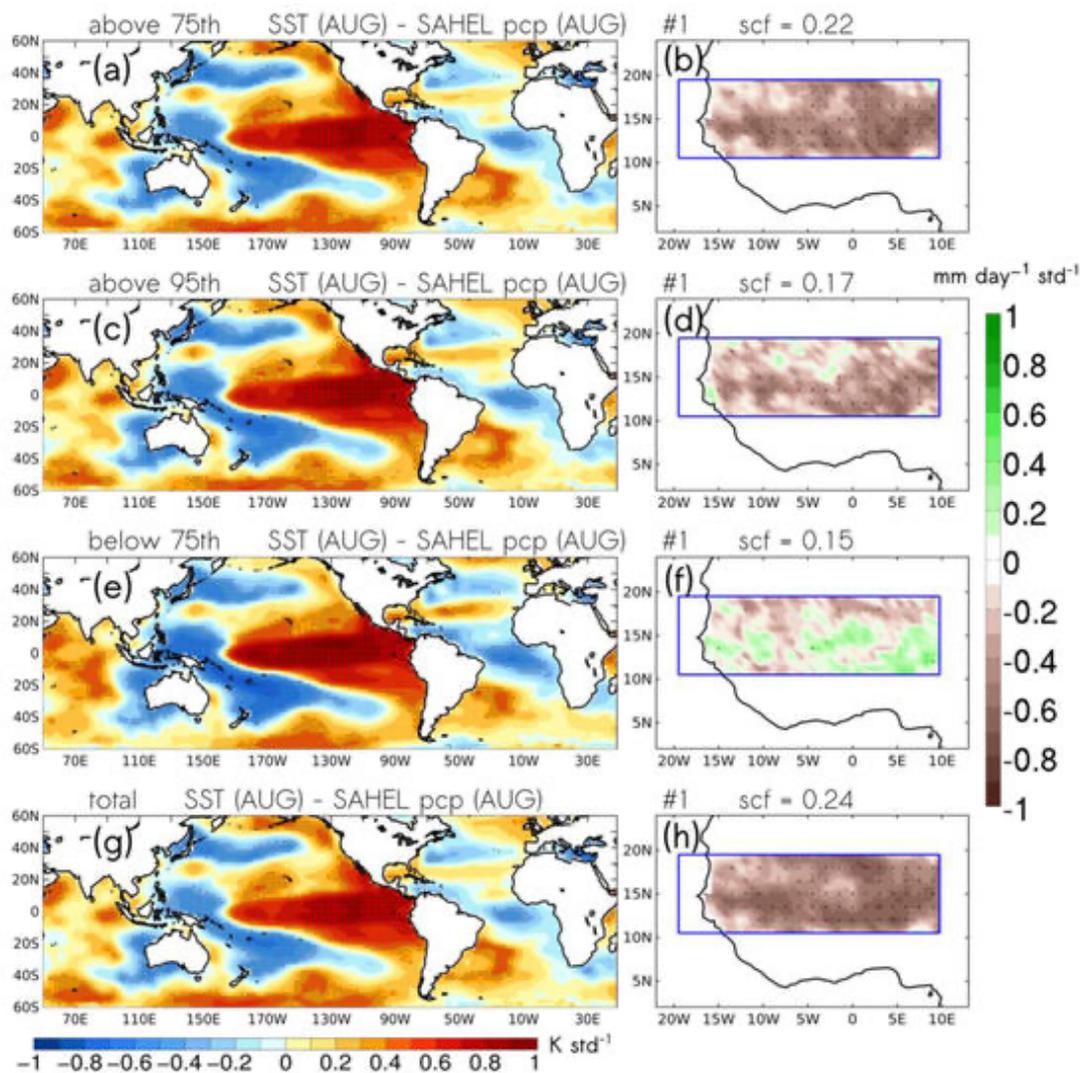


Figura 1: Columna izquierda Mapas homogéneos de SST). Columna derecha Mapas heterogéneos de lluvia anómala sobre la precipitación regional anómala del Sahel. Adaptado de “*Interdecadal Changes in Ocean Teleconnections with the Sahel* (Suarez, R. 2018)

C, Quispe-Ccallauri, J Tam, H. Demarq, A. Chamorro, D. Espinoza-Morriberón, C. Romero, N. Dominguez, J. Ramos y R. Oliveros-Ramos en su trabajo de investigación titulado “Índice de los efectos de la temperatura Costera del ENSO en el Ecosistema de Afloramiento Peruano” desarrollaron un índice de temperatura costera que representa el 87.7% de la variación total de la Temperatura Superficial del Mar (SST) del Ecosistema Peruano de Afloramiento (PUE). Luego de comparar diferentes índices, estos permitieron detectar cuatro periodos donde ocurrieron condiciones neutrales en el PUE (1993, 2008, 2012 y 2014) y un periodo donde un episodio caliente ocurrió en el Océano Pacifico Ecuatorial mientras una condición neutral ocurrió en el Ecosistema de afloramiento peruano.

2.2 Base teórica

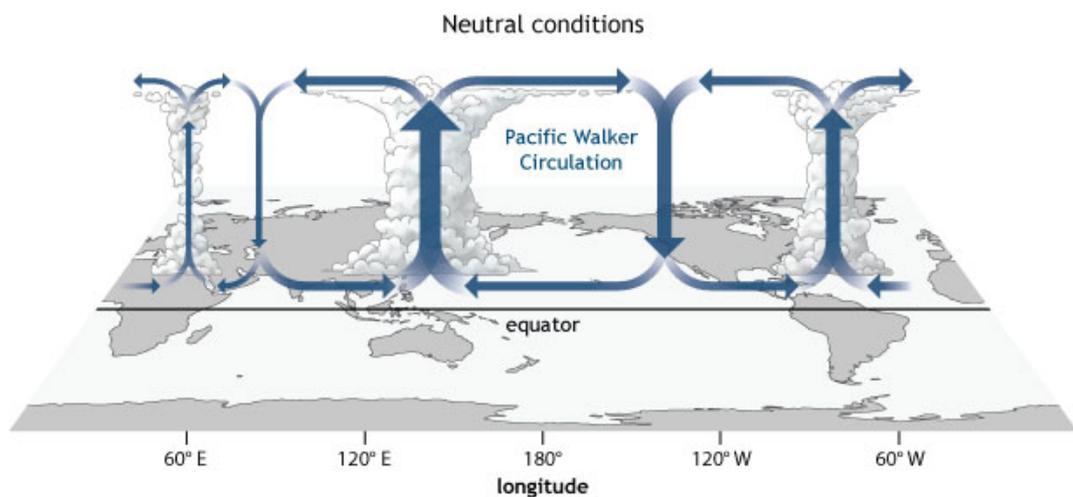
A lo largo de la historia, la comunidad científica ha reconocido la importancia de las teleconexiones climáticas y su vinculación con la variabilidad del clima en las distintas regiones del planeta, así como su influencia sobre diversos moduladores climáticos. Es necesario definir algunos conceptos claves para que el lector comprenda el presente trabajo de investigación.

2.2.1 Teorías explicativas del ENSO

2.2.1.1 Circulación de Walker

La circulación de Walker, consiste en la circulación de aire que en la zona del Pacífico occidental se calienta por la temperatura de esa zona. Sube lleno de humedad a grandes alturas y es transportado hacia el este para descender sobre las aguas más frías del Pacífico Sur. El ciclo se inicia nuevamente cuando los vientos Alisos transportan nuevamente el aire frío hacia el Oeste (Lino Naranjo Díaz, 2002).

Este proceso es constante y se repite no solo en la Zona del Pacífico sino en todos los Océanos del mundo con distintas temperaturas, es decir es la interacción entre la atmósfera y los océanos.



NOAA Climate.gov

Figura 2: Circulación de Walker generalizada (diciembre-febrero) durante condiciones ENSO-neutrales. NOAA (s.f.). Recuperado de Climate.gov.

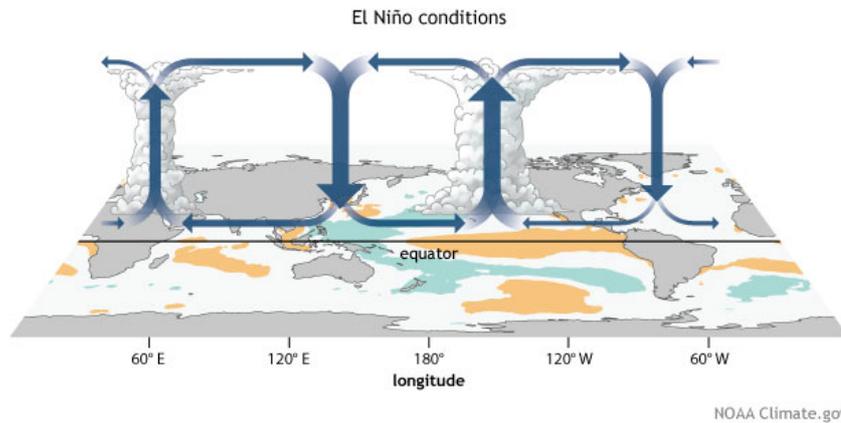


Figura 3: Anomalía generalizada de la circulación de Walker (diciembre-febrero) durante los eventos de El Niño. Se observa un calentamiento en la zona del pacífico ecuatorial que se extiende hasta la zona oriental (anaranjado).

2.2.1.2 Celdas de Hadley

Las celdas de Hadley, proponen que las mayores temperaturas del ecuador respecto a los polos deberían crear una circulación térmica, desplazando el aire frío de los polos hacia el Ecuador y así sucesivamente (Poveda, 1998). Son responsables de los vientos alisios en los trópicos y controlan los patrones climáticos de baja latitud (Piana, s. f.). Entonces, las celdas de Hadley son un patrón de circulación que domina la atmósfera tropical con movimientos de ascenso cerca del ecuador y de descenso en latitudes medias (entre 30 grados de latitud norte y 30 grados de latitud sur). Esta circulación redistribuye el exceso de energía recibida en la zona ecuatorial y la lleva hacia latitudes altas. Se debe principalmente al calentamiento (entre el Ecuador y latitudes altas) y la rotación de la Tierra.

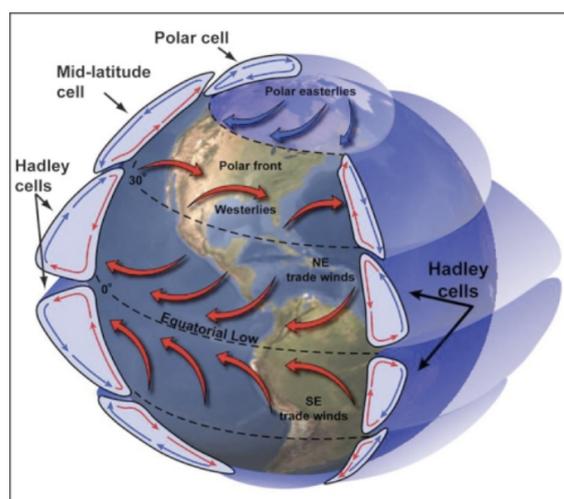


Figura 4: Las células de Hadley, las células de Ferrel (latitud media) y las células polares caracterizan la dinámica atmosférica actual. Recuperado de <https://www.climate.gov>

2.2.1.3 Ondas Rossby

A diferencia de las olas que rompen a lo largo de la costa, las ondas de Rossby son enormes movimientos ondulantes del océano que se extienden horizontalmente a través del planeta durante cientos de kilómetros en dirección oeste. (What is a Rossby wave?, s. f.). La velocidad horizontal depende directamente de la latitud de la onda, en el pacífico mientras más cerca es este el Ecuador dura entre meses y un año, en cambio en latitudes medias demoran entre 10 a 20 años.

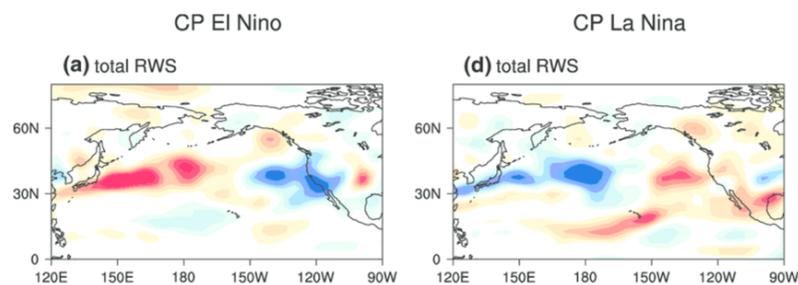


Figura 5: a, d fuente de onda de Rossby total para EP El Niño y EP La Niña, respectivamente (Feng, Juan & Chen, Wen & Li, Yanjie. 2016).

2.2.1.4 Ondas Kelvin

Son un tipo especial de ondas de gravedad que es afectada por la rotación de la Tierra y atrapada en el Pacífico ecuatorial. Se propaga hacia las costas de Sudamérica y en el Pacífico Oriental profundiza la termoclina, teniendo como consecuencia calentamientos transitorios en el ecosistema marino del afloramiento peruano (Ondas Kelvin : Instituto del Mar del Perú, s. f.). Hay dos tipos de ondas de Kelvin, costeras y ecuatoriales, y son impulsadas por la gravedad. A menudo son excitadas por un cambio abrupto en el campo de viento suprayacente, como el cambio en los vientos alisios al comienzo de El Niño (Naval Post Graduate School, 2019).

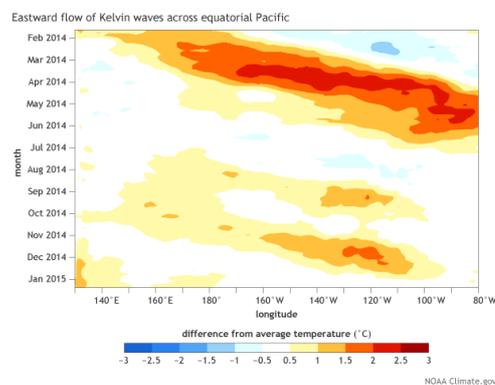


Figura 6: Circulación de ondas Kelvin del Este a través del pacífico ecuatorial (NOAA, 2020) Recuperado de <https://www.climate.gov>

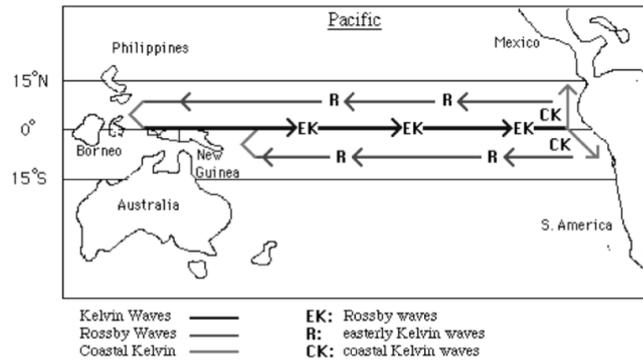


Figura 7: Interacciones entre las ondas Kelvin y Rossby a lo largo del Pacífico (Krauss, 1966)

2.2.1.4 ENSO

El Niño Oscilación del Sur, es un fenómeno que se presenta en la zona americana con más intensidad. En el ámbito nacional, Quinn W., Neal V., y Antúnez de Mayolo S. (1986, 1987; IMARPE, 1999; INDECI, 2002) evidencian que, tras recopilación de décadas de estudios, en los últimos 500 años han sucedido al menos 120 Fenómenos del Niño siendo sus efectos devastadores en el sector social y económico.

Es un patrón climático que envuelve cambios en la temperatura del agua del Océano Pacífico central y este tropical. En periodos que oscilan entre tres a siete años la temperatura superficial del mar aumenta su temperatura entre 1°C y 3 °C comparada la temperatura normal (NOAA, 2020)

El ENSO tiene dos fases; el niño y la niña. Según la NOAA, el fenómeno del niño es un patrón climático que envuelve elevación de la temperatura del agua del océanos pacífico central y este tropical que provocan el aumento de lluvias en esa zona. En Indonesia las lluvias disminuyen mientras que aumentan en el pacífico central y este. Los vientos del este se debilitan y en ocasiones hacen su recorrido hacia el oeste. Según la NOAA, La Niña es el fenómeno por el cual se enfría la superficie del océano en el pacífico central y este tropical. En la zona de Indonesia las lluvias aumentan mientras que en la zona del pacífico centro y este disminuyen. Los vientos del este en el Ecuador se vuelven más fuertes.

En el zona costera peruana se presenta un fenómeno del niño extra, el fenómeno del niño costero. Según IMARPE, el "El Niño costero" es un evento climático el cual, independientemente de los procesos físicos que lo puedan originar, está relacionado a la presencia de aguas anómalamente cálidas en forma persistente durante varios meses en la región del Océano Pacífico, principalmente a lo largo de la costa norte del Perú y de Ecuador (IMARPE, 2020). Es este ultimo el que causa mas estragos a nivel económico y social en la Costas peruanas.

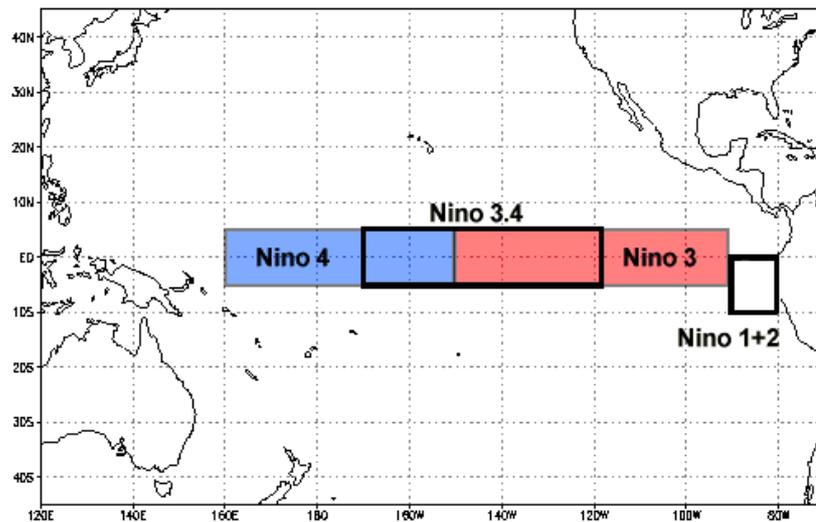


Figura 8: Zonas el Niño. La zona 3.4 es donde se analiza el ONI. Si existen cinco o mas grupos de tres meses consecutivos mayores a 0,5 °C se presentará un episodio Niño. La zona Niño 1+2 es donde se presenta el Niño Costero. Recuperado CRRH (s.f.) Regiones Niño. Recuperado de <https://centroclima.org/estado-actual-del-enos/>

2.2.3 Teleconexiones climáticas

El Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile (2014), afirma que entienden como teleconexiones climáticas a las alteraciones climáticas simultáneas en regiones distantes debido a cambios en la circulación atmosférica a nivel planetario o hemisférico.

El calentamiento de la atmósfera sobre el Pacífico ecuatorial central durante los eventos El Niño es una de las causas de estos cambios en la dinámica de la atmósfera global que producen las teleconexiones. La Sociedad Americana de Meteorología (American Meteorological Society, AMS 2000) definen a las teleconexiones como , (AMS 2000) son:

1. Un enlace entre cambios climáticos que ocurren en regiones del globo terráqueo.
2. Una correlación significativa, positiva o negativa, en las fluctuaciones de un campo en puntos separados por grandes distancias. Normalmente aplicado a la variabilidad en escalas de tiempo mensuales y mayores, el nombre se refiere al hecho de que tales correlaciones sugieren que la información se está propagando entre los puntos distantes por la atmósfera.

2.3 Definiciones operacionales

- Zona profunda: Capa profunda de la columna de agua donde la temperatura es muy baja y se mantiene constante hasta estar muy cerca del fondo marino.
- Teleconexión: relación entre dos variables océano meteorológicas.
- Fenómeno del Niño: Fenómeno que se produce en las costas de Ecuador y Perú que consiste en el calentamiento del agua del mar.
- ONI: Índice Oceánico del Niño

- TNI: Índice del Niño Trans-oceánico
- ENFEN: Comité de Estudio nacional del Fenómeno del Niño
- ENSO: El Niño Oscilación del Sur
- NAO: Oscilación del Atlántico Norte
- SST: Temperatura Superficial del Mar
- PP: Precipitación
- TMAX: Temperatura máxima
- TMIN: Temperatura mínima
- COPERNICUS: Proyecto de la Agencia Espacial Europea y la Unión Europea para obtener una constante observación terrestre a través de los satélites y que las imágenes sean de libre acceso para los usuarios interesados.
- Atmósfera terrestre: Capa externa del planeta Tierra, es de estado gaseoso y por ende la menos densa.
- Capa de mezcla: Primera franja de la columna de agua cuya temperatura es relativamente constante y se ve afectada por las condiciones climáticas del medio ambiente
- Napa: Zona en la columna de agua donde se producen cambios bruscos de temperatura
- Termoclina: Área de la columna de agua donde la temperatura cambia constantemente a medida que aumenta la profundidad.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Diseño metodológico

Según el tipo de investigación el trabajo corresponde a un diseño descriptivo en vista que el resultado y las conclusiones se hallarán luego de recopilar información sobre estudios de teleconexiones meteorológicas. Según Tamayo (2003, Pag. 46) una investigación descriptiva comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual y la composición o procesos de los fenómenos. El enfoque está dado sobre conclusiones dominantes o como un ser, grupo o cosa se desarrolla o funciona en el presente. El presente trabajo trabaja sobre realidades y hechos proporcionando una interpretación.

Según el manejo de resultados en el tiempo el diseño es transaccional por que la recopilación de información para el logro de los resultados se ejecuta en una sola vez. Además tiene como fin indagar en los valores e incidencia de las variables (Sampieri, 2001 pag. 98).

3.2 Variables e indicadores

Tabla 1: Operacionalización de variables

N o	Variable	Definición	Dimensiones	Indicadores
1	ENSO	Es un patrón climático que envuelve cambios en la temperatura del agua del Océano Pacífico central y este tropical. En periodos que oscilan entre tres a siete años la temperatura superficial del mar aumenta su temperatura entre 1°C y 3 °C comparada la temperatura normal	<p><u>Dimensión 1:</u> Fenómeno del Niño</p> <p><u>Dimensión 2:</u> Fenómeno de la Niña</p> <p><u>Dimensión 3:</u> Niño Costero</p>	<p>ONI</p> <p>SST</p> <p>Anomalía del Nivel del Mar</p> <p>Magnitud y Dirección del Viento</p> <p>Presión Atmosférica</p> <p>Precipitación</p>
2	Teleconexión Climática	Alteraciones climáticas simultáneas en regiones distantes debido a cambios en la circulación atmosférica a nivel planetario o hemisférico.	<p><u>Dimensión 1:</u> Temperatura</p> <p><u>Dimensión 2:</u> P. Atmosférica</p> <p><u>Dimensión 3:</u> Precipitación</p>	

3.3 Técnicas de recolección de datos

Observación directa sobre las fuentes recopiladas de la NOAA sobre los episodios frío y caliente ocurridos por estación (Anexo I). Así como Artículos de investigación sobre teleconexiones climáticas de la NOAA y otros autores que se encuentran disponibles en el repositorio web de “climate.gov” de la NOAA.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 Resultados

4.1.1 Las variables asociadas a las teleconexiones del ENSO son la Temperatura Superficial del Mar, precipitación y temperatura atmosférica (Suarez , 2019; Lopez-Parages, Rodriguez-Fonseca 2016; Melchor R. 2015).

4.1.2 Toda la información de las variables asociadas a las teleconexiones del ENSO se podrían analizar con modelos estadísticos para emitir un pronósticos mas confiable.

4.2 Análisis

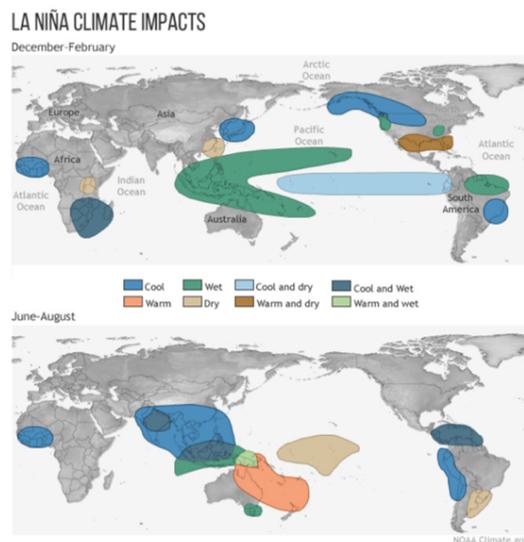


Figura 9: Teleconexiones de la Niña al redor del mundo. NOAA (s.f.). Recuperado de <https://www.climate.gov/>

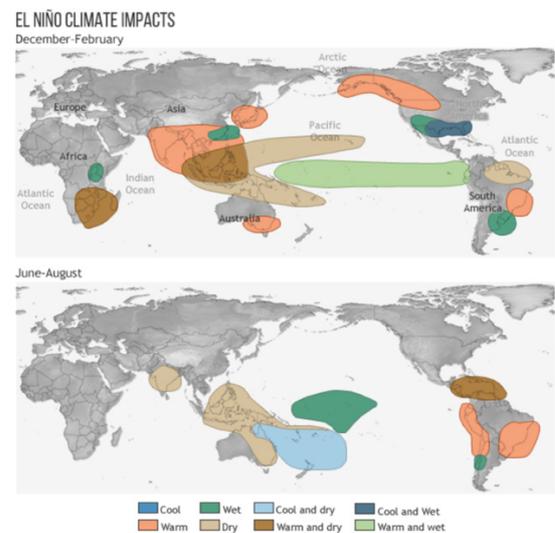


Figura 10: Teleconexiones del Niño al redor del mundo. NOAA (s.f.). Recuperado de <https://www.climate.gov/>

El fenómeno de la niña siendo un modulador climático a escala global, causa dos cambio climáticos muy definidos que se resumen en : una fase humedad y una seca. Mientras que la zona de Australia y el norte de Brasil presentan lluvias, existe un clima seco en la zona norte entre Ecuador y Perú debido a las bajas temperaturas por causas de la Niña.

Habiendo entendido las teleconexiones de la niña, abarcaremos el fenómeno del niño que se caracteriza por la elevación de la temperatura del agua de mar cercana a las costas de Perú y Ecuador. Esta elevación de temperatura está producida, entre otros factores, por las anomalías térmicas de las ondas kelvin. En la imagen dos podemos apreciar como ha ido aumentando la temperatura del mar a largo de los meses de julio agosto y septiembre del año 2020.

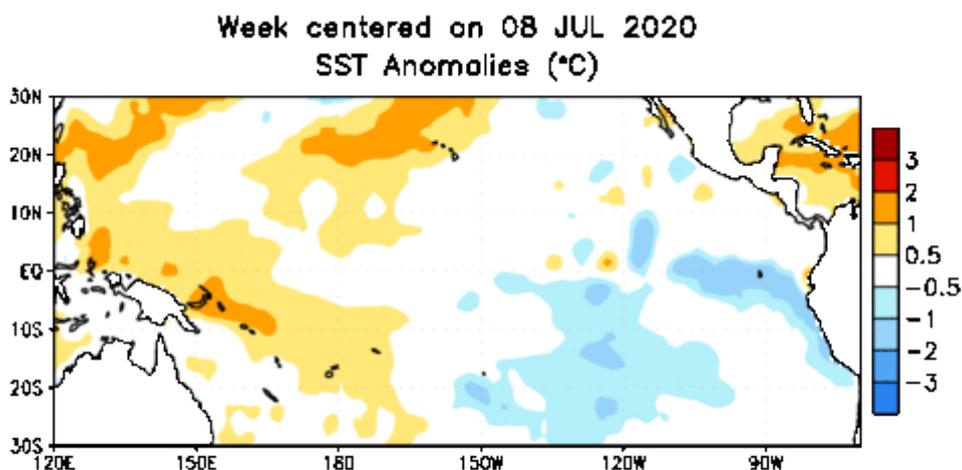


Figura 11: Anomalías en la Temperatura superficial del mar durante septiembre. NOAA (s.f.). Recuperado de <https://www.climate.gov/>

Como se ha explicado, el ENSO (en sus dos fases) abarca un área muy extensa. Dentro de esta área existen muchas variables que modifican el comportamiento final del fenómeno. Para el caso del Perú el Fenómeno del Niño que produce el niño costero, causa grandes estragos en la población tanto en carácter económico como social.

Se ha analizado publicaciones científicas sobre el tema como “Modulación Interdecadal de la influencia del Niño en la precipitación Euro-Mediterránea” de Jorge López Parages y Belén Rodríguez-Fonseca cuyos análisis del Niño demostró cómo las teleconexiones con este fenómeno aparecen moduladas por oscilaciones multidecadales de la temperatura anómala de la superficie del mar (SST) sobre las cuencas del Atlántico y el Pacífico. El estudio presenta evidencias estadísticamente significativas sobre cómo la Oscilación Multidecadal Atlántica (AMO) parece modular la Teleconexión de El Niño para fines de invierno-primavera, mientras que la modulación en otoño podría ser controlada por la Oscilación Decadal del Pacífico (DOP). Los autores analizaron las variables de

precipitación presión del nivel del mar y temperatura del nivel del mar. En un estudio preliminar, se analiza la variabilidad de las precipitaciones de las 12 posibles temporadas de 3 meses del año, desde JFM hasta DJF. En un segundo paso, los patrones espacialmente coherentes que maximizan la varianza del “Índice de influencia en la recitación Euro-Mediterránea (iEMedR)” se determinan de forma lineal aplicando un análisis estadístico de componentes principales. Habiendo una diferencia de tiempo de cuatro meses entre las lluvias y el Niño.

Suarez en el 2019 estudia la influencia de la variabilidad global de la SST en el West African Monsoon (WAM) en escalas de tiempo interanuales, encontrando cambios sólidos asociados con el ENSO. Utilizó una metodología estadística llamada análisis de máxima covarianza (MCA). Esta técnica se aplica ampliamente en la variabilidad climática para aislar patrones acoplados de co-variabilidad entre dos campos. Sobre la base de la capacidad de la temperatura superficial del mar como campo predictor aplicó la MCA para analizar la previsibilidad de las precipitaciones del Sahel.

Ya que tenemos ubicados especialmente los lugares relacionados durante el fenómeno del niño y la niña, podemos establecer relaciones. Por ejemplo, en los meses de diciembre a febrero que es usualmente donde existe la presencia del fenómeno del niño, podemos observar que la zona ecuatorial frente a las costas de Perú y Ecuador presenta un clima caliente y con mucha precipitación, caso contrario al de la zona entre Australia y Asia ya que ellos presentarán un clima seco, mientras que en la costa norte oriental de los Estados Unidos y en la zona sur de Asia presentarán un clima caliente.

CAPITULO V

Conclusiones

- Las teleconexiones que más afectaría en el territorio peruano serían las de precipitación y elevación de la temperatura del mar. Se observa que cada episodio el niño la precipitaciones elevan el caudal de los Ríos afectado en la población y que la elevación de la temperatura del mar produce que las especies marinas que comúnmente son pescadas en aguas frías se desplacen hacia otros lugares disminuyendo su consumo. Las zonas ante las cuál es el clima peruano estaría más relacionado con el ENSO es la zona de el sur de Asia y Australia como se pudo apreciar en al imagen 9 y 10. Y las variables para un mejor análisis de esa relación es la temperatura y precipitación en ambas zonas.
- Realizando un estudio con modelos numéricos y correlaciones, se podrían aplicar los resultados para la predicción del fenómeno del niño que emite la dirección de hidrografía y navegación. Al hacer esto el porcentaje de acierto aumentaría y a su vez la diferencia de tiempo de antelación permitirá un mejor planteamiento operacional; ya sea brigadas hidrográficas, cruceros hidrográficos, operaciones de línea de alta marea, mantenimiento de faros, etc.
- La información sobre precipitación temperatura superficial del mar, presión y temperatura, es en su mayoría publicada de manera gratuita en las páginas y agencias meteorológicas de cada continente y país.

Recomendaciones

- La dirección de hidrografía podría gestionar los recursos y convenios para adquirir información de las variables de Temperatura, Precipitación que hemos observado en los resultados que son las que han sido estudiadas por mas autores, son en su mayoría de carácter público y a demás son la que tienen mayor relación directa y/o inversa con el ENSO. Algunas fuentes de estos datos pueden ser: “The Bureau of Meteorology” que es la agencia del tiempo, clima y agua de Australia. “The South Africa Weather Service” que es la agencia meteorológica de Sudáfrica, entre otros. Ya que esta información no es analizada por la DIHIDRONAV.
- En el departamento de oceanografía, junto con los técnicos especialistas y con la ayuda de software de modelamiento y análisis de datos, se podría encontrar una relación directa o indirecta que permite mejorar el pronóstico que la dirección emite y así tener mayor tiempo de preparación ante un posible fenómeno de causa estragos en la población peruana.
- No sólo basta con el análisis de los índices ONI, TNI para determinar si es que se está presentando un Niño o Niña (caso de la DIHIDRONAV). La relación de sus fenómenos trasciende las fronteras y abarca otros continentes, estudiando variables en estos últimos y hallando un relación con el ENSO se extenderá el tiempo de predicción de un fenómeno que afecte el Perú.

Referencias

- Vicuña, G. (2009). *Manual de meteorología popular*. Editorial Maxtor.
- Barnston, A.G., M. Chelliah and S.B. Goldenberg, 1997: Documentation of a highly ENSO-related SST region in the equatorial Pacific. *Atmosphere-Ocean*
- ENFEN. (s. f.). ¿Qué es la comisión ENFEN? <http://enfen.gob.pe>. Recuperado 1 de octubre de 2020, de <http://enfen.gob.pe>
- Sistemas caóticos y teoría del caos, una breve introducción - NUSGREM. (2018, 9 noviembre). NUSGREM - Asociación Nacional de Estudiantes de Física. <https://nusgrem.es/sistemas-caoticos-y-teoria-del-caos/>
- García-Páez, F., & Cruz-Medina, I. R. (2009). Variabilidad de la precipitación pluvial en la región Pacífico norte de México. *Agrociencia*, 43(1), 1-9.
- IPCC (2007). Informe de Síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (Equipo de redacción principal: Pachauri, K y Reisinger, A.). Ginebra, Suiza. Ginebra, Suiza, 2007, 36.
- Tamayo, M. (2004). *El proceso de la investigación científica*. Editorial Limusa.
- Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, P. B. (2001). *Fundamentos de metodología de la investigación*.
- Sarochar, H. E. EVENTOS CLIMÁTICOS A ESCALA GLOBAL.
- Suárez Moreno, R. (2018). Interdecadal changes in ocean teleconnections with Sahel: Implications in rainfall predictability (Doctoral dissertation, Universidad Complutense de Madrid).

- Poblete, A. G., & Minetti, J. L. (2015). Propuesta de un índice de sequía para evaluar la posible expansión de la celda de Hadley y su relación con la crisis hídrica de las regiones subtropicales del hemisferio sur. *Geográfica digital*, 12(24), 1-17.
- Mosquera, K. A. (2014). Ondas Kelvin oceánicas y un modelo oceánico simple para su diagnóstico y pronóstico. Boletín técnico: Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño, 1 (1), 4-7.
- What is a Rossby wave? (s. f.). ceanservice.noaa.gov. Recuperado 27 de septiembre de 2020, de <https://oceanservice.noaa.gov/facts/rossby-wave.html>
- NOAA. (s. f.). Climate Prediction Center - Monitoring and Data - Tropical Pacific Sea Surface Temperature Animation. noaa.gov. Recuperado 30 de septiembre de 2020, de https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_update/sstanim.shtml
- Ondas Kelvin : Instituto del Mar del Perú. (s. f.). imarpe.gob.pe. Recuperado 1 de octubre de 2020, de http://imarpe.gob.pe/imarpe/index.php?id_seccion=I0178040100000000000000
- Wang, C. (2002), Atlantic climate variability and its associated atmospheric circulation cells, *J. Clim.*, 15, 1516–1536.
- López-Parages J, Rodríguez-Fonseca B, Dommenges D and Frauen C (2016) ENSO influence on the North Atlantic European climate: a non-linear and non-stationary approach. *Climate Dynamics* 47 7 2071–2084
- Poveda, Germán, & Gil, Marta María, & Quiceno, Natalia (1998). El ciclo anual de la hidrología de Colombia en relación con el ENSO y la NAO . *Bulletin de l'Institut français d'études andines*, 27(3), .[fecha de Consulta 1 de Octubre de 2020]. ISSN: 0303-7495. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=126/12627334>

The Walker Circulation: ENSO's atmospheric buddy | NOAA Climate.gov. (2014, 1 agosto). climate.gov. <https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/walker-circulation-ensos-atmospheric-buddy>

Tamayo, M. (2003). Tamayo.(2003). El proceso de la investigación científica, 4, 45-46.

Piana, M. (s. f.). Hadley Cells. seas.harvard.edu. Recuperado 1 de octubre de 2020, de <https://www.seas.harvard.edu/climate/eli/research/equable/hadley.html>

Feng, Juan & Chen, Wen & Li, Yanjie. (2016). 2016-CD.

Kelvin Waves. (s. f.). www.oc.nps.edu. Recuperado 1 de octubre de 2020, de <https://www.oc.nps.edu/webmodules/ENSO/kelvin.html>

W. Krauss. Methoden und Ergebnisse der theoretischen Ozeanographie II: Interne Wellen. Gebrüder Bornträger, Berlin, 1966.

ANEXO I

Índices ONI histórico de la NOAA

Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1950	-1.5	-1.3	-1.2	-1.2	-1.1	-0.9	-0.5	-0.4	-0.4	-0.4	-0.6	-0.8
1951	-0.8	-0.5	-0.2	0.2	0.4	0.6	0.7	0.9	1.0	1.2	1.0	0.8
1952	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.0	-0.1	0.0	0.2	0.1	0.0	0.1
1953	0.4	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8
1954	0.8	0.5	0.0	-0.4	-0.5	-0.5	-0.6	-0.8	-0.9	-0.8	-0.7	-0.7
1955	-0.7	-0.6	-0.7	-0.8	-0.8	-0.7	-0.7	-0.7	-1.1	-1.4	-1.7	-1.5
1956	-1.1	-0.8	-0.6	-0.5	-0.5	-0.5	-0.6	-0.6	-0.5	-0.4	-0.4	-0.4
1957	-0.2	0.1	0.4	0.7	0.9	1.1	1.3	1.3	1.3	1.4	1.5	1.7
1958	1.8	1.7	1.3	0.9	0.7	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6
1959	0.6	0.6	0.5	0.3	0.2	-0.1	-0.2	-0.3	-0.1	0.0	0.0	0.0
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1960	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3	0.2	0.1	0.1
1961	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3	0.1	-0.1	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2
1962	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.2	0.0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4
1963	-0.4	-0.2	0.2	0.3	0.3	0.5	0.9	1.1	1.2	1.3	1.4	1.3
1964	1.1	0.6	0.1	-0.3	-0.6	-0.6	-0.6	-0.7	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8
1965	-0.6	-0.3	-0.1	0.2	0.5	0.8	1.2	1.5	1.9	2.0	2.0	1.7
1966	1.4	1.2	1.0	0.7	0.4	0.2	0.2	0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3
1967	-0.4	-0.5	-0.5	-0.4	-0.2	0.0	0.0	-0.2	-0.3	-0.4	-0.3	-0.4
1968	-0.6	-0.7	-0.6	-0.4	0.0	0.3	0.6	0.5	0.4	0.5	0.7	1.0
1969	1.1	1.1	0.9	0.8	0.6	0.4	0.4	0.5	0.8	0.9	0.8	0.6
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1970	0.5	0.3	0.3	0.2	0.0	-0.3	-0.6	-0.8	-0.8	-0.7	-0.9	-1.1
1971	-1.4	-1.4	-1.1	-0.8	-0.7	-0.7	-0.8	-0.8	-0.8	-0.9	-1.0	-0.9
1972	-0.7	-0.4	0.1	0.4	0.7	0.9	1.1	1.4	1.6	1.8	2.1	2.1
1973	1.8	1.2	0.5	-0.1	-0.5	-0.9	-1.1	-1.3	-1.5	-1.7	-1.9	-2.0
1974	-1.8	-1.6	-1.2	-1.0	-0.9	-0.8	-0.5	-0.4	-0.4	-0.6	-0.8	-0.6
1975	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7	-0.8	-1.0	-1.1	-1.2	-1.4	-1.4	-1.6	-1.7
1976	-1.6	-1.2	-0.7	-0.5	-0.3	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	0.9	0.8
1977	0.7	0.6	0.3	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.6	0.7	0.8	0.8
1978	0.7	0.4	0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.1	0.0
1979	0.0	0.1	0.2	0.3	0.2	0.0	0.0	0.2	0.3	0.5	0.5	0.6
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1980	0.6	0.5	0.3	0.4	0.5	0.5	0.3	0.0	-0.1	0.0	0.1	0.0
1981	-0.3	-0.5	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.1	-0.2	-0.1
1982	0.0	0.1	0.2	0.5	0.7	0.7	0.8	1.1	1.6	2.0	2.2	2.2
1983	2.2	1.9	1.5	1.3	1.1	0.7	0.3	-0.1	-0.5	-0.8	-1.0	-0.9

1984	-0.6	-0.4	-0.3	-0.4	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.6	-0.9	-1.1
1985	-1.0	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.6	-0.5	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4
1986	-0.5	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	0.0	0.2	0.4	0.7	0.9	1.1	1.2
1987	1.2	1.2	1.1	0.9	1.0	1.2	1.5	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1
1988	0.8	0.5	0.1	-0.3	-0.9	-1.3	-1.3	-1.1	-1.2	-1.5	-1.8	-1.8
1989	-1.7	-1.4	-1.1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1990	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4
1991	0.4	0.3	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.6	0.6	0.8	1.2	1.5
1992	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	0.7	0.4	0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.1
1993	0.1	0.3	0.5	0.7	0.7	0.6	0.3	0.3	0.2	0.1	0.0	0.1
1994	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.7	1.0	1.1
1995	1.0	0.7	0.5	0.3	0.1	0.0	-0.2	-0.5	-0.8	-1.0	-1.0	-1.0
1996	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.5
1997	-0.5	-0.4	-0.1	0.3	0.8	1.2	1.6	1.9	2.1	2.3	2.4	2.4
1998	2.2	1.9	1.4	1.0	0.5	-0.1	-0.8	-1.1	-1.3	-1.4	-1.5	-1.6
1999	-1.5	-1.3	-1.1	-1.0	-1.0	-1.0	-1.1	-1.1	-1.2	-1.3	-1.5	-1.7
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2000	-1.7	-1.4	-1.1	-0.8	-0.7	-0.6	-0.6	-0.5	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7
2001	-0.7	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3
2002	-0.1	0.0	0.1	0.2	0.4	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.3	1.1
2003	0.9	0.6	0.4	0.0	-0.3	-0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4
2004	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
2005	0.6	0.6	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3	-0.6	-0.8
2006	-0.8	-0.7	-0.5	-0.3	0.0	0.0	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	0.9
2007	0.7	0.3	0.0	-0.2	-0.3	-0.4	-0.5	-0.8	-1.1	-1.4	-1.5	-1.6
2008	-1.6	-1.4	-1.2	-0.9	-0.8	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4	-0.6	-0.7
2009	-0.8	-0.7	-0.5	-0.2	0.1	0.4	0.5	0.5	0.7	1.0	1.3	1.6
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2010	1.5	1.3	0.9	0.4	-0.1	-0.6	-1.0	-1.4	-1.6	-1.7	-1.7	-1.6
2011	-1.4	-1.1	-0.8	-0.6	-0.5	-0.4	-0.5	-0.7	-0.9	-1.1	-1.1	-1.0
2012	-0.8	-0.6	-0.5	-0.4	-0.2	0.1	0.3	0.3	0.3	0.2	0.0	-0.2
2013	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3
2014	-0.4	-0.4	-0.2	0.1	0.3	0.2	0.1	0.0	0.2	0.4	0.6	0.7
2015	0.6	0.6	0.6	0.8	1.0	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.5	2.6
2016	2.5	2.2	1.7	1.0	0.5	0.0	-0.3	-0.6	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6
2017	-0.3	-0.1	0.1	0.3	0.4	0.4	0.2	-0.1	-0.4	-0.7	-0.9	-1.0
2018	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.1	0.1	0.1	0.2	0.4	0.7	0.9	0.8
2019	0.8	0.8	0.8	0.7	0.6	0.5	0.3	0.1	0.1	0.3	0.5	0.5
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2020	0.5	0.6	0.5	0.3	0.0	-0.2	-0.4					