

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS



**“FACTORES OCEÁNICOS-ATMOSFÉRICOS DESENCADENANTES
DE LA OCURRENCIA DE SEQUÍAS EN LA REGIÓN ÁNCASH
EN EL PERÍODO 1975 - 2022”**

Trabajo de Suficiencia Profesional para Optar el Título de:

INGENIERA METEORÓLOGA

IMELDA VALENTINA ALIAGA GUERREROS

Lima – Perú

2024

La UNALM es la titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación
(Art. 24. Reglamento de Propiedad Intelectual)

FACTORES OCEÁNICOS-ATMOSFÉRICOS DESENCADENANTES DE LA OCURRENCIA DE SEQUÍAS EN LA REGIÓN ÁNCASH EN EL PERÍODO 1975 - 2022

ORIGINALITY REPORT

6%

SIMILARITY INDEX

6%

INTERNET SOURCES

2%

PUBLICATIONS

%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1

repositorio.lamolina.edu.pe

Internet Source

2%

2

hdl.handle.net

Internet Source

1%

3

www.senamhi.gob.pe

Internet Source

1%

4

meteorologos.cl

Internet Source

<1%

5

tesis.unap.edu.pe

Internet Source

<1%

6

1library.co

Internet Source

<1%

7

pt.scribd.com

Internet Source

<1%

8

repositorio.unc.edu.pe

Internet Source

<1%

dspace.utpl.edu.ec

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS

**“FACTORES OCEÁNICOS-ATMOSFÉRICOS DESENCADENANTES
DE LA OCURRENCIA DE SEQUÍAS EN LA REGIÓN ÁNCASH
EN EL PERÍODO 1975 - 2022”**

Trabajo de Suficiencia Profesional para Optar el Título Profesional de:

INGENIERA METEORÓLOGA

Presentada por:

IMELDA VALENTINA ALIAGA GUERREROS

Sustentada y aprobada por el siguiente jurado:

Mg. Sc. Weidi Flores Villanueva
PRESIDENTE

Mg. Sc. Edison Cholán Rodríguez
MIEMBRO

Maest. Oscar Enrique Tang Cruz
MIEMBRO

Dr. Ernesto Ever Menacho Casimiro
ASESOR

DEDICATORIA

A Dios, por guiar mi camino y nunca abandonarme.

A cada uno de los miembros de mi familia por todo su amor y sentar los cimientos de mi desarrollo personal y profesional.

En especial a mis amados padres Ernesto Aliaga y Eglá Guerreros, quienes han sido el mejor ejemplo de perseverancia y dedicación, a quienes les agradezco todo su esfuerzo, apoyo y amor incondicional.

También a mis hermanos Juan Carlos, Rossy y July, quienes me han alentado en todas las etapas de mi vida, y son la fuerza para continuar cumpliendo las metas.

A mis sobrinos Gino Mathías y Benjamín, por que llegaron y son una gran bendición y motivación para seguir superándome.

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento a mi asesor Ernesto Ever Menacho Casimiro por haber incentivado en mí la pasión por la meteorología desde las aulas y apoyarme con el desarrollo de este trabajo.

Agradecimientos al SENAMHI, en especial a la Dirección Zonal 4 porque me permitió desarrollar y explorar más sobre la meteorología y sus diversos campos.

Finalmente quiero agradecer a mis amigos más cercanos de la universidad, con quienes ahora somos como una familia y estamos para apoyarnos para continuar aprendiendo juntos sobre esta gran rama de la tierra que es la meteorología.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	viii
ABSTRACT	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. PROBLEMÁTICA	1
1.2. OBJETIVOS	3
1.2.1. Objetivo General.....	3
1.2.2. Objetivos Específicos.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. ANTECEDENTES	4
2.1.1. Locales	4
2.1.2. Nacionales.	5
2.1.3. Internacionales.....	5
2.2. SEQUÍAS	6
2.2.1. Tipos de sequías.....	6
2.2.2. Indicadores e índices de sequías	10
2.3. PATRONES OCÉANO-ATMOSFÉRICOS.....	12
2.3.1. La Atmósfera	12
2.3.2. Principales sistemas sinópticos que influyen en Sudamérica.....	14
2.3.3. Circulación General de la Atmósfera.....	18
2.3.4. El Océano	23
2.3.5. Interacción océano-atmósfera.....	25
III. DESARROLLO DEL TRABAJO	31
3.1. ÁREA DE ESTUDIO	31
3.2. BASE DE DATOS.....	32
3.3. PROCEDIMIENTO.....	34
3.3.1. Recopilación de información sobre los daños ocasionados por sequías	34
3.3.2. Identificación de las sequías meteorológicas o años secos	35

3.3.3. Identificación de los factores desencadenantes de la ocurrencia de sequías	35
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
4.1. Recopilación de Información Sobre los Daños Ocasionados por Sequías	36
4.1.1. Registro y/o información histórica	36
4.1.2. Resultado de encuestas.....	37
4.2. Identificación de las Sequías Meteorológicas o Años Secos	47
4.2.1. Índice Estandarizado de Precipitación (SPI-3).....	47
4.2.2. Anomalías porcentuales (%).....	51
4.3. Identificación de los Factores océano-atmosféricos que Condicionan la Ocurrencia de Sequías	54
4.3.1. Análisis atmosférico.....	54
4.3.2. Humedad relativa.....	60
4.3.3. Interacción océano-atmósfera.....	65
V. CONCLUSIONES	66
VI. RECOMENDACIONES	68
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
VIII. ANEXOS.....	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores del Índice Normalizado de Precipitación (OMM, 1997).....	11
Tabla 2. Valores de Anomalía Porcentual de Precipitación.....	12
Tabla 3. Lista de estaciones meteorológicas de la región Áncash.....	33
Tabla 4. Índice Estandarizado de Precipitación trimestral para el mes de marzo (SPI-3 marzo) para las diferentes estaciones en la región de Áncash en el período 1975-2022 en el trimestre enero-marzo.....	47
Tabla 5. Valores del índice ICEN (Niño 1+2) e índice ONI (Niño 3.4).....	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Escalas espaciales y temporales de los procesos dinámicos de la atmósfera.	13
Figura 2. Patrones de flujo promedio en enero, nivel 700 mb.	15
Figura 3. Patrones de flujo promedio en enero, nivel 500 mb.	16
Figura 4. Patrones de flujo promedio en enero, nivel 200 mb.	17
Figura 5. Alta de Bolivia, jet subtropical y vaguada del norte de Brasil 200 mb.	18
Figura 6. Representación de la circulación de la atmósfera.	20
Figura 7. Representación esquemática de la Circulación Global de Walker entre diciembre y febrero con base en cálculos de vientos divergentes en la tropósfera superior e inferior.	21
Figura 8. Circulación de Hadley,	23
Figura 9. Circulaciones oceánicas globales superficiales y giros subtropicales.	24
Figura 10. Representación conceptual de los procesos en la zona de contacto aire-mar	26
Figura 11. Representación conceptual de los procesos océano-atmosféricos durante. Condiciones neutrales, Condiciones La Niña y Condiciones El Niño.	28
Figura 12. Anomalías de temperatura para la región Niño 3.4 (Enero 1998) y Niño 1+2 (Enero 2010).	30
Figura 13. Área de estudio, región Áncash.	32
Figura 14. Distribución espacial de las estaciones meteorológicas de la región Áncash.	33
Figura 15. Contabilización de encuestados por distrito y provincia - Público en general.	37
Figura 16. Contabilización de encuestados por distrito y provincia – Especialista técnico – científico.	38
Figura 17. Rango de edades – Público en general.	38

Figura 18. Rango de edades – Especialista técnico – científico.....	39
Figura 19. Sector o actividad a la que se dedican – Público en general.	39
Figura 20. Sector o actividad a la que se dedican - Especialista técnico - científico.	40
Figura 21. Identificación de conocimiento acerca de las sequías – Público en general.....	40
Figura 22. Identificación de conocimiento acerca de las sequías – Especialista técnico - científico.	41
Figura 23. Identificación de años con sequía basado en la experiencia de cada encuestado – público en general.....	41
Figura 24. Identificación de años con sequía basado en la experiencia de cada encuestado – especialista técnico - científico.....	42
Figura 25. Identificación de cuáles son los factores desencadenantes de las sequías – Público en general.....	42
Figura 26. Identificación de cuáles son los factores desencadenantes de las sequías – Especialista técnico - científico.	43
Figura 27. Daños identificados a causa de eventos de sequías – público en general.....	43
Figura 28. Daños identificados a causa de eventos de sequías – especialista técnico - científico.	44
Figura 29. Eventos extremos a consecuencia de sequías – Público en general.....	44
Figura 30. Eventos extremos a consecuencia de sequías – Especialista técnico - científico.....	45
Figura 31. Comportamiento porcentual de las estaciones que presentaron sequía en la región Áncash.	48
Figura 32. Comportamiento porcentual de las sequías meteorológicas dividida por sectores.....	49
Figura 33. Mapas de anomalías porcentuales de precipitación para el período enero marzo de los años 1978, 1979, 1980 y 1982.	51

Figura 34. Mapas de anomalías porcentuales de precipitación para el período enero marzo de los años 1983, 1988, 1990, 1991, 1992 y 1997.....	52
Figura 35. Mapas de anomalías porcentuales de precipitación para el período enero marzo de los años 2004, 2005, 2010, 2011 y 2020	53
Figura 36. Comportamiento del viento en 700 hPa con datos de reanálisis NCEP/NCAR – 1978, 1979, 1980, 1982, 1983, 1988, 1990, 1991, 1992	55
Figura 37. Comportamiento del viento en 700 hPa con datos de reanálisis NCEP/NCAR – 1997, 2004, 2005, 2010, 2011, 2020.....	56
Figura 38. Comportamiento del viento en 500 hPa con datos de reanálisis NCEP/NCAR - 1978, 1979, 1980, 1982, 1983, 1988, 1990, 1991, 1992.....	57
Figura 39. Comportamiento del viento en 500 hPa, con datos de reanálisis NCEP/NCAR - 1997, 2004, 2005, 2010, 2011, 2020.....	58
Figura 40. Comportamiento del viento en 200 hPa, con datos de reanálisis NCEP/NCAR - 1978, 1979, 1980, 1982, 1983, 1988, 1990, 1991, 1992.....	59
Figura 41. Comportamiento del viento en 200 hPa con datos de reanálisis NCEP/NCAR - 1997, 2004, 2005, 2010, 2011, 2020.....	60
Figura 42. Humedad relativa promedio para el trimestre enero a marzo en el período climatológico 1991 - 2020, para Sudamérica obtenida de reanálisis NCEP/NCAR.....	61
Figura 43. Comportamiento promedio de enero a marzo para años 1978, 1979, 1980, 1982, 1983, 1988, 1990, 1991 y 1992 de la humedad relativa en 300 hPa.....	62
Figura 44. Comportamiento promedio de enero a marzo para años 1997, 2004, 2005, 2010, 2011 y 2020 de la humedad relativa en 300 hPa.....	63

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Instrumentos de recolección de datos N° 1 – Encuesta a público en general	72
Anexo 2. Instrumentos de recolección de datos N° 2 – Encuesta a especialistas técnico - científicos	72
Anexo 3. Comportamiento espacial del índice SPI-3 marzo.....	73
Anexo 4. Comportamiento espacial del índice SPI-3 marzo.....	74
Anexo 5. Comportamiento espacial del índice SPI-3 marzo.....	75
Anexo 6. Comportamiento temporal del índice SPI-3 en las estaciones de la región Áncash	76
Anexo 7. Comportamiento temporal del índice SPI-3 en las estaciones de la región Áncash	77
Anexo 8. Comportamiento temporal del índice SPI-3 en las estaciones de la región Áncash	78
Anexo 9. Comportamiento temporal del índice SPI-3 en las estaciones de la región Áncash	79

RESUMEN

En el presente trabajo de suficiencia profesional se empezó identificando los años secos con el índice SPI-3 del mes de marzo para identificar las sequías meteorológicas y adicionalmente un análisis de las anomalías porcentuales de precipitación, teniendo en consideración estos años secos, se trabajó con data de reanálisis NCEP/NCAR y los índices asociados al Fenómeno ENSO con la finalidad de identificar cuáles son los factores oceánicos-atmosféricos desencadenantes para la ocurrencia de sequías meteorológicas en la región Áncash.

Desde 1975 hasta el 2022, se identificó 15 años con sequías meteorológicas, valores de SPI-3 marzo menores a -1, estos años fueron: 1978, 1979, 1980, 1982, 1983, 1988, 1990, 1991, 1992, 1997, 2004, 2005, 2010, 2011 y 2020; las más significativas en extensión para la región se presentaron en los años 1980, 1990, 1992, 2004 y 2020; mientras que las más intensas en magnitud categorizadas como “Extremadamente seco” se presentaron en los años 1978, 1980, 1984 y 1990. Se identificó que las sequías meteorológicas categorizadas desde “Moderadamente secas” hasta “Extremadamente secas” se presentan con mayor frecuencia en las estaciones de la vertiente occidental.

En niveles bajos (700 hPa) se identificó que los patrones del este se posicionan más al norte de su comportamiento climático; niveles medios (500 hPa), se identifica flujos predominantes del este que, sin embargo, no proporcionaron suficiente aporte de humedad para la región; en niveles altos (300 hPa) se identifica que en la mayoría de años predomina sequedad y en 200 (hPa) la configuración del Alta de Bolivia para la mayoría de años se posiciona más al sur y oeste. En relación al ENSO no se identificó una relación directa a las fases positiva, negativa o condiciones neutras.

Palabras claves: Sequías meteorológicas, Áncash, patrones océano-atmosférico

ABSTRACT

In the present professional proficiency work, we began by identifying the dry years with the SPI-3 index for the month of March to identify meteorological droughts and additionally analysis of the percentage anomalies of precipitation, taking into consideration these dry years, we worked with NCEP/NCAR reanalysis data and the indices associated with the ENSO Phenomenon in order to identify the oceanic-atmospheric factors triggering the occurrence of meteorological droughts in the Ancash region.

From 1975 to 2022, 15 years were identified with meteorological droughts, SPI-3 March values less than -1, these years were: 1978, 1979, 1980, 1982, 1983, 1988, 1990, 1991, 1992, 1997, 2004, 2005, 2010, 2011 and 2020; the most significant in extent for the region occurred in the years 1980, 1990, 1992, 2004 and 2020; while the most intense in magnitude categorized as “Extremely dry” occurred in the years 1978, 1980, 1984 and 1990. It was identified that meteorological droughts categorized from “Moderately dry” to “Extremely dry” occur more frequently in the stations on the western slope.

At low levels (700 hPa) it was identified that the eastern patterns are positioned further north of their climatic behavior; middle levels (500 hPa), predominant flows from the east are identified, which, however, did not provide sufficient moisture supply for the region; at high levels (300 hPa) it's identified that dryness predominates in most years and at 200 (hPa) the configuration of the Bolivian Alta for most years is positioned further west or south. In relation to ENSO, a direct relationship to the positive or negative phases or neutral conditions was not identified.

Keywords: Meteorological droughts, Ancash, ocean-atmospheric patterns

I. INTRODUCCIÓN

1.1. PROBLEMÁTICA

Una de las principales preocupaciones relativas a los efectos del cambio climático, en particular en regiones semiáridas y áridas, es la disminución prevista de la precipitación promedio y la ocurrencia de sequías más frecuentes e intensas debidas al cambio climático (IPCC, 2013). Esta preocupación es mayor aún en las zonas más vulnerables, como aquellas en las que existen condiciones de pobreza. Tal es el caso de la región en estudio en este texto.

Estimar, a partir de observaciones, si en efecto está ocurriendo una disminución en la precipitación, así como correlacionar la precipitación con algún indicador climático, sería de gran utilidad para disminuir la peligrosidad y diseñar acciones de adaptación al cambio climático. Las sequías son uno de los desastres naturales que mayores daños causan a los seres humanos, tanto porque son motivo de mortalidad como por los graves daños económicos y sociales que ocasionan.

La sequía es un peligro natural de movimiento lento que puede afectar prácticamente a todos los regímenes climáticos. Es una deficiencia de precipitación que, cuando se extiende durante una temporada o un período de tiempo más largo, resulta en la incapacidad de satisfacer las demandas de las actividades humanas y el medio ambiente. A medida que los países de todo el mundo comienzan a establecer estrategias nacionales de sequía, un componente fundamental debe ser el desarrollo de un sistema integral de monitoreo de sequías que tenga la capacidad de proporcionar una alerta temprana del inicio de la sequía, determinar la gravedad y extensión espacial de la sequía y transmitir esa información a los grupos de toma de decisiones de manera oportuna. Esta información se puede utilizar para reducir o evitar los impactos de este fenómeno meteorológico.

La atmósfera tiene un comportamiento particular para cada región, especialmente si está cercana al océano. Por ejemplo, las deficiencias de lluvia en Chile están determinadas por la persistencia de anomalías de la circulación anti ciclónica de latitudes medias y subtropicales

y un área de anomalías de la circulación ciclónica en las latitudes subpolares, desde un dipolo norte-sur de anomalías positivas y negativas de altura geopotencial en el medio.

Debido a la situación tan delicada con respecto a la demanda de recursos hídricos y el incremento de eventos anómalos que afectan tanto en gran parte a la población agricultora, es necesario centrar la atención en estudiar la variabilidad de este recurso, sobre todo porque muchas regiones del Perú sufren de déficit por sequías meteorológicas, donde las lluvias son uno de los factores más importantes en lo relacionado a ganadería, agricultura, turismo, entre otros sectores. La creciente demanda para los diferentes usos del agua y el deterioro de la calidad es cada vez más crítica especialmente durante períodos de estiaje (escasas o nulas precipitaciones). Especialmente en la región Áncash, principalmente hacia el sector andino (vertiente occidental y oriental) en el que será importante evaluar el comportamiento temporal y espacial de las sequías meteorológicas que se puedan manifestar. Los resultados del estudio permitirán tener una buena planificación hidrológica principalmente.

El elemento precipitación es una de las variables climáticas más importantes para el desarrollo de actividad agropecuaria y otros sectores de la región Áncash por lo cual es de vital importancia para la población, en apoyo del COEN (Centro de Operaciones de Emergencias Nacional) (COEN, 2020) se identificó que los problemas de sequías son recurrentes y se necesita trabajar en una investigación y/o análisis para contribuir en la toma de decisiones.

En los últimos 40 años han ocurrido eventos de sequía con intensidades entre moderadas y extremas, las ocurridas en los años 90 y 92 tuvieron mayor impacto a nivel nacional. Las condiciones océano-atmosféricas indican que en esos años ocurría la fase cálida de El Niño Oscilación del Sur (ENOS) [para años secos] o estaba en su fase neutra (Endara et al., 2019), sin embargo, es importante centrarnos en la región puesto que debido a presentar desde localidades de zona costa hasta la más alta altitud en el sector andino y presentar esta gran diferencia en una pequeña área, se identificó que las sequías meteorológicas afectan de manera diversa.

En la zona de interés aún faltan mayores investigaciones en relación a las sequías y además la importancia de identificar los patrones océano atmosféricos que la afectan, ya sea a gran escala o pequeña escala.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

Identificar los factores oceánicos-atmosféricos desencadenantes de la ocurrencia de sequías en la región Áncash, que permita identificar a que fenómenos (el niño, la niña o condiciones neutras) están mayormente asociados estos eventos.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Recopilar información acerca de los daños ocasionado por la ocurrencia de sequías en la región Áncash.
- Identificar los factores oceánico-atmosféricos que condicionan la ocurrencia de las sequías meteorológicas en la región Áncash.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. Locales

Tal como se menciona en la parte introductoria del presente trabajo, en la región Áncash no se identifica suficientes investigaciones en relación a eventos de sequías. Sin embargo, para poder obtener antecedentes locales se revisa el informe de “Caracterización espacio temporal de la sequía en los departamentos altoandinos del Perú (1981 - 2018), (SENAMHI, 2019) que identifico algunos episodios de sequía de condiciones moderadas a extremas que afectaron el departamento, las cuales se detallan a continuación.

En el año 1985, el episodio de sequía moderada se inició desde agosto a diciembre 1984 registrando caudales debajo de su normal, debido a que se presentaron lluvias irregulares; heladas y granizo en los meses de noviembre y diciembre 1984 que contribuyeron a que de enero a julio 1985, aun cuando se regularizaron las lluvias continuó la escasez de agua, por cuanto las precipitaciones pluviales fueron inferiores a las normales (BCRP, 1985).

En 1990, se presentaron condiciones de sequías severas que afectó, entre los impactos, el sector agropecuario en 1990 registró una caída de 9% respecto al año anterior, debido principalmente a los efectos de una sequía que se prolongó durante toda la campaña agrícola, incluso en gran parte del país. (BCRP, 1990).

En 1992 la sequía extrema afectó entre ~ 50% a ~ 100% de su superficie al departamento. Durante el trimestre EFM 1992 se registró la severidad más alta en el periodo 1981-2018. Según los reportes evidencian que los impactos de esta sequía se presentaron disminución de la producción y productividad agropecuaria debido a la pérdida de la superficie cultivada, así como, por falta de semillas para la próxima campaña agrícola. Igualmente, se generó restricciones en el suministro de energía eléctrica y, producto de la contracción de la demanda interna, el PBI durante 1992 decreció en 2.8% respecto de 1991 (BCRP, 1992).

Finalmente, en el año 2004 las condiciones de sequía se acentuaron también en la región Áncash que se vio afectado en general con ~50% a 75% de su superficie con sequías de categoría severa. Esta sequía afectó la oferta agrícola local.

2.1.2. Nacionales.

La interacción de factores geográficos (presencia de la cordillera de los andes, la corriente peruana y ubicarse en el cinturón de fuego del pacífico), sumado a los sistemas atmosféricos como El Niño Oscilación del Sur (ENSO), y junto al panorama de cambio climático mundial, en el Perú han influido en la variación climática natural de la región y consigo han permitido la aparición de distintos fenómenos entre ellos uno de los más importantes son las sequías que a lo largo de la historia republicana peruana han afectado a la población nacional; esto ha traído consigo una necesidad de estudiar, reportar y categorizar las sequías, para crear métodos de prevención, y así, proteger a la población.

Se reportaron diversas sequías en todas las regiones del país a lo largo del tiempo, por ejemplo, en 1982 hubo una sequía que afectó la costa norte del Perú (Tumbes, Piura, Lambayeque), limitando la actividad agropecuaria durante el primer trimestre; en 1983 hubo una sequía que afectó la región sur del Perú, departamentos como Arequipa, Cuzco y Apurímac esto trajo consigo pérdidas de cultivos y afecto unidades fisiográficas (Endara, 2019). Los eventos recientes, específicamente entre 2000 y 2010 se han reportado más de 163 eventos de sequías, siendo la vertiente más afectada y en donde más ocurren, la del Pacífico, durante este tiempo las sequías afectaron al Perú casi en su totalidad, teniendo pérdidas en el sector agrícola, pesquero y económico; además de dada la humedad y condiciones climáticas, se propagaron muchas plagas y proliferaron enfermedades (Soto & Laureano del Castillo, 2013)

2.1.3. Internacionales

Al igual que Perú, la ubicación de muchos países del Pacífico promueve la aparición de sequías en sus regiones, uno de ellos es México; ubicado en la parte meridional de América del Norte y dentro del cinturón norte de los grandes desiertos del mundo gracias a la dinámica de la circulación general de la atmósfera y a particularidades que presenta la geomorfología del planeta; esta región ha sufrido el azote de las sequías durante muchos siglos incluso antes de su época republicana, al punto de que los pueblos originarios de esta parte del mundo también lo sufrieron, se piensa que la caída de la ciudad precolombina Teotihuacán en el siglo VIII fue producto de terremotos y hambruna provocada por las sequías; coincidiendo

con un cambio climático que convirtió las regiones agrícolas del norte en un terreno desértico e infértil (Ortega & Velasco, 2013).

El evento meteorológico del ENSO fase positiva, también ha afectado regiones no ubicadas en América como el ocurrido entre 1982-1983 que afectó la zona nororiental de China y a varios países de África como Etiopía o Uganda causando graves daños a la industria del cereal y reducción en la producción de maíz, a raíz de esto también se registraron varios incendios que afectaron África del Sur, países como Filipinas, el sur de la India e incluso a Perú (Maturana, Bello, & Manley, 2004).

2.2. SEQUÍAS

Para tener una idea acertada de la definición de una sequía tenemos que tener en cuenta la diferencia entre la definición estándar, relativa o conceptual y lo real u operacional; la definición estándar nos indica que la sequía es un fenómeno prolongado y seco; mientras la definición operacional nos habla del comienzo y fin de este así como de la intensidad dada en dicho período del fenómeno (Endara, 2019), esta idea se ve reforzada en la investigación de Marcos Valiente (2001, p.60), según el autor: “La definición de sequía ha sido el objeto de numerosos estudios científicos, además la diversidad de tipologías climáticas existentes sobre el planeta hace casi imposible utilizar el mismo umbral de déficit pluviométrico en dos lugares diferentes. En consecuencia, se establecen numerosas definiciones de sequía que dificultan la comparación de magnitudes entre áreas geográficas, y se emplean herramientas de cuantificación de los eventos secos adaptadas a las necesidades de cada tipología climática. Para esta investigación se usó la definición , que engloba sin ser menos precisa, utilizada en la "Convención Internacional de Lucha contra la desertificación en los países afectados por Sequía Grave o Desertificación en Particular en África" (2017), que la define como “el fenómeno que se produce naturalmente cuando las lluvias han sido considerablemente inferiores a los niveles normales registrados, causando un agudo desequilibrio hídrico que perjudica los sistemas de producción de recursos de tierras”.

2.2.1. Tipos de sequías

A partir de lo dicho en la definición de sequías, puede incluso llover en algún lugar y se podría considerar sequías, esto dado es señalado en los tipos de sequías; la Sociedad Americana de Meteorología (AMS) en 2004 ordenó las sequías en 4 tipos; sequías

meteorológicas, hidrológica, agrícola y socioeconómica (Wilhite & Glantz, 1985 citado en Endara, 2019).

2.2.1.1. Sequía meteorológica

Se define como la ausencia o escasez de lluvias o precipitación durante un período prolongado, a lo normalmente esperado en ese mismo período, por lo que aun lloviendo se podría considerar que hay sequía por la diferencia tan marcada en la media de precipitaciones de temporadas pasadas trayendo en consecuencia un desbalance hidrológico en la zona en cuestión, así como trayendo efectos diversos (generalmente negativos) en dicha zona (Ortega & Velasco, 2013). Por lo expuesto por Burton también podemos definir y caracterizar a este tipo de sequía “A través de siete parámetros: uno independiente; es decir, la magnitud. cuatro correspondientes al componente temporal: duración, frecuencia, velocidad de implantación y espaciado temporal. dos referidos al componente espacial: extensión y dispersión espacial. Para cuantificar estos parámetros es necesario aplicar cálculos matemáticos para establecer detalladamente en qué medida ha habido déficit pluviométrico y cuáles son los límites temporales del episodio seco. prescindiendo de las unidades de medida para cada parámetro en su definición, existe una amplia variedad de índices para caracterizar los eventos secos utilizando los dos parámetros más relevantes: magnitud o severidad y duración...” (Burton et al, 1978 citado en Paredes & Millano, 2008, p.17).

Esta idea la vemos complementada con lo expuesto por los trabajos de Dracup et al. (1980) y Martin Vide (1998) (Citados en (Valiente, 2001)), donde nos comentan más a fondo los métodos de cuantificación de caracterización de las sequías:

La magnitud es el déficit medio de caudal o precipitación durante el período en que se desarrolla el fenómeno; midiéndose como la anomalía o la diferencia de precipitación; pudiendo delimitarse la severidad de una sequía, definida como el déficit acumulado de caudal para el período seco.

- La duración es el tiempo (días, meses o años) consecutivo durante el cual la precipitación o caudal es inferior a la media de ese mismo período definido; se define a la magnitud (A) como severidad (B) entre duración (C); siendo representado: $A=B/C$
- La frecuencia es el número de casos ocurridos durante un tiempo determinado, se puede medir a través de la probabilidad empírica de que el caudal sea inferior a la media o el intervalo medio de tiempo en el que pueda ocurrir una sequía de determinada magnitud.

- La velocidad de implantación es el tiempo transcurrido entre cuando inicia el déficit de precipitación y cuando llega a su valor máximo.
- El espaciamiento temporal es el tiempo transcurrido entre diversos períodos secos, y nos permite una medida de la regularidad del fenómeno. Mediante este se obtiene una primera aproximación a la previsibilidad de la sequía.
- La extensión es la superficie total en donde se desarrolla el fenómeno.
- La dispersión espacial es la medida del grado de difusión de la anomalía de caudal.

2.2.1.2. Sequía Hidrológica

Se define en función a la intensidad del caudal de los ríos o directamente masas de agua que abastecen una ciudad, así podemos definir como sequía hidrológica a una época del año en donde haya una escasez de abastecimiento de agua para los pobladores, a comparación de otros períodos, por ejemplo en España las aguas fluviales comprenden un abastecimiento del recurso a los dos tercios de la población urbana así como la producción hidroeléctrica comprende entre el 15 y 20% de la energía producida totalmente en el país, así vemos que una sequía no solo repercute directamente con la falta del agua para el uso doméstico o alimenticio, sino también tiene un impacto severo en la producción energético, obteniendo una relación indirecta en la que se podría señalar que en una situación en la que la energía eléctrica escasea es por estar en una temporada de sequía (Llamas, 1997). En términos más simples una sequía hidrológica se da por la disminución de las masas de agua subterráneas y superficiales que abastecen un lugar durante un período de tiempo dado, respecto a los valores medios anteriormente registrados, y tiene como consecuencia no llenar las expectativas ni la demanda de este recurso y lo que trae con el (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2018).

2.2.1.3. Sequía Agrícola

La importancia del agua para el desarrollo humano no tiene discusión, y en consecuencia de la falta de esta, muchos de los sectores económicos y de desarrollo humano se ven afectadas; entre ellas la primera afectada y una de las más importantes es el sector agrícola; así, se habla de una sequía agrícola cuando la cantidad de humedad del suelo no permite el óptimo desarrollo de un cultivo en cualquier fase de su desarrollo; estas características dificultan saber cuándo hay una sequía agrícola, dado que un sector cualquiera del planeta e incluso en sectores dedicados al monocultivo siempre crecerán diferentes tipos de cultivos y estos

tienen condiciones de desarrollo diferentes, entre ellos cuanta humedad en la tierra es suficiente para su crecimiento; esto imposibilita crear un umbral de sequía válido (Valiente, 2001). A rasgos generales se puede hablar de una sequía agrícola cuando hay una reducción o mengua de cosechas (Olcina, 2001)

2.2.1.4. Sequía Socioeconómica

Se dice que ocurre una sequía socioeconómica cuando la poca disponibilidad de agua produce un daño en el aspecto económico de una región, así como merma los ingresos y pérdidas en los distintos sectores económicos (Coronel, 2013). Beiner (2020) define a la sequía socioeconómica al fenómeno en donde las actividades económicas se ven afectadas por la poca disponibilidad de agua, siendo los sectores más afectados el turismo y agrícola.

Las condiciones meteorológicas e incluso geográficas influyen en la aparición de estos tipos de sequías, por ejemplo, la sequía meteorológica se caracteriza por que da inicio a los demás tipos de sequías, aunque en un principio se piensa que esta sequía es producto a la arbitrariedad natural del clima; generalmente se reconoce que la sequía meteorológica se da en condiciones de interacciones entre factores naturales (fenómeno de “El Niño”, de “La Niña”, alteraciones en el clima, etc.) y acciones humanas que podrían alterar el clima (quema de residuos, contaminación, deforestación, etc.) (Ortega & Velasco, 2013); a pesar de que en las sequías meteorológicas se puede hablar de una interacción entre causas naturales y variaciones del clima con diversas actividades humanas que afectan a esta; no se compara con la dependencia de las sequías agrícolas, hidrológicas y socioeconómicas con la actividad humana, ya que se habla de estos como consecuencia de la falta de abastecimiento para las actividades humanas y porque estas últimas dependen del recurso en cuestión, habiendo sequía de estos tipos cuando el abastecimiento o los resultantes de las precipitaciones no cumplen las expectativas normales de una actividad específica de alguna comunidad; así pues las sequías agrícolas se dan en condiciones en donde las características del suelo (relieve, composición, presencia de otros cultivos y plantas) sumadas a los requerimientos del cultivo en cuestión (la cantidad de agua que necesita para desarrollarse) no permiten una correcta absorción de agua de parte del cultivo, causado por la poca humedad presente en la tierra (Wos, 2006); este tipo de sequía está ligado a la meteorológica ocurriendo en un breve tiempo después de ocurrida esta y que varía dependiendo de la capacidad de absorción del suelo, aunque en zonas de irrigación de cultivos, esta está más ligada a la sequía hidrológica, esta última a diferencia de la agrícola puede incluso no producirse cuando hay una sequía meteorológica, ya que los abastecimientos y depósitos de agua no dependen

inmediatamente de la cantidad de precipitaciones (IFRC, 2008), por ejemplo en EE.UU en zonas propensas a las sequías meteorológicas, estas no sufren de sequías hidrológicas, ya que capas de nieve formadas durante el invierno abastecen ríos y canales, dando agua a la población durante el verano (Wos, 2006). Según Marcos Valiente (2001, p.63) “La pujante presión antrópica sobre el recurso agua hace que cada vez sea mayor la incidencia de la sequía socioeconómica, con pérdidas económicas crecientes, incluso en el caso de una sequía meteorológica leve. En términos generales, la sequía socioeconómica está directamente asociado a la agrícola, pero en sectores menos desarrollados, donde este sector tiene un mayor peso en la economía, y su incidencia es más directa e inmediata que en regiones desarrolladas, la sequía agrícola constituye en sí misma el inicio de la sequía socioeconómica”.

2.2.2. Indicadores e índices de sequías

Son variables o parámetros utilizados para describir las condiciones de las sequías. La precipitación, la temperatura, los caudales fluviales, los niveles de las aguas subterráneas y de los embalses, la humedad del suelo y el manto de nieve (OMM, 2016).

Estos usados para tener idea y que permita a tomadores de decisión, planificadores, agricultores, medios y a la población en general una síntesis de los eventos de sequías meteorológicas, es decir, conocer el comportamiento de las deficiencias de lluvias que han ocurrido y/o que vienen ocurriendo, algunos índices e indicadores que encontramos son:

2.2.2.1. Índice Estandarizado de Precipitación (SPI)

Desarrollado por los científicos estadounidenses McKee, Doesken y Kleist en 1993, el SPI (índice estandarizado de precipitación) es el más flexible, práctico y comúnmente usado, ya que el único parámetro requerido es la precipitación, se basa en la probabilidad de precipitación para cualquier escala temporal, efectivo para el análisis de los períodos húmedos y secos, teniendo para ello generalmente un registro mensual de la precipitación observada y registrada, siendo preferente el requerimiento de valores de precipitación mensual en un intervalo de 50 a 60 años, más la eficacia de este índice permite tener como mínimo registros de entre 20 y 30 años, incluso llenando algunos valores mensuales faltantes con la ayuda de la estadística y probabilidad; otra ventaja de este índice aparte de su facilidad de cálculo, es que permite la detección temprana de la sequía, pudiendo predecir una sequía agrícola (que es la más inmediata a aparecer cuando hay una sequía meteorológica) y una sequía hidrológica (que es de las más tardadas en presentarse); dada esta característica este

índice se calculó inicialmente para escalas de 3, 6, 12, 24 y 48 meses. Como se mencionó anteriormente el cálculo del SPI está basado en el registro de precipitaciones a largo plazo, este registro es ajustado a una distribución de probabilidades y se transforma en una distribución normal, de modo que el SPI medio para la localidad y el período deseado sea cero, creando una escala de valores, mostrada en la Tabla 1:

Tabla 1. Valores del Índice Normalizado de Precipitación (OMM, 1997)

Intensidad del índices de sequía SPI	Categoría del índice de sequía SPI
2.0 a más	Extremadamente húmedo
1,5 a 1,99	Severamente húmedo
1,0 a 1,49	Moderadamente húmedo
-0.99 a 0,99	Normal
-1,0 a -1,49	Moderadamente seco
-1,5 a -1,99	Severamente seco
-2,0 a menos	Extremadamente seco












FUENTE: Adaptado de Standardized Precipitation Index. User Guide. Por World Meteorological Organization, 2012.

Así vemos como los valores positivos indican una mayor precipitación a la media mientras los negativos una menor precipitación, el SPI al igual que otros índices de sequías tiene desventajas, como basarse únicamente en la precipitación y no concebir ninguna relación evapotranspiración y la evapotranspiración potencial (ET/PET), el SPI se aplica mediante programas de computación y donde las ecuaciones son en función a la precipitación promedio. (OMM, 2012).

2.2.2.2. Anomalías de Precipitación (%)

Es la anomalía pluviométrica de cada mes que puede ser calculada de dos formas: a) como la diferencia, expresada en milímetros, con respecto a la media (normal), obtenida para el período de referencia (Ej. 1981-2010); b) como la diferencia, expresada en porcentaje, con respecto a la media (normal) obtenida para el período de referencia (Ej. 1981-2010) (OMM, 2017a).

Tabla 2. Valores de Anomalía Porcentual de Precipitación

Anomalía (%)	
	>800
	400 – 800
	200 – 400
	100 – 200
	60 – 100
	30 – 60
	15 – 30
	-15 – 15
	-30 – -15
	-60 – -30
	-100 – -60

FUENTE: De Boletín de Monitoreo de Condiciones Secas y Húmedas. SENAMHI – Perú, 2022.

En la Tabla 2, las coloraciones verdes a azules indican condiciones húmedas (excesos/superávits de lluvias), coloración blanca dentro de lo normal y coloraciones amarillas a marrones condiciones secas (deficiencias/déficits de lluvias) - SENAMHI.

2.3. PATRONES OCÉANO-ATMOSFÉRICOS

Un patrón climático es cualquier característica recurrente del clima, desde períodos de recurrencia intra-anual hasta cientos de años. Por ejemplo, algunas de estas manifestaciones son los ciclos estacionales, las estaciones, el fenómeno de “El Niño” y también se tiene algunas que son de forma completamente irregular como los períodos fríos asociados a erupciones volcánicas. Para la climatología, un patrón climático resulta complicada de estudiar y su predicción como tal, hay patrones climáticos constantes y puede también quizás ser una de las mejores formas de comprender su gran variabilidad temporal y espacial en nuestro planeta. (AEMET 2015).

2.3.1. La Atmósfera

La atmósfera terrestre es la masa gaseosa que gravita sobre nuestro planeta y sin ella la vida sería imposible; nos proporciona el oxígeno necesario para la función respiratoria de todos

los seres y el dióxido de carbono para el desarrollo de la vegetación que da origen a los alimentos; además, contiene el vapor de agua preciso para los procesos de condensación que se traducen en lluvias imprescindibles para la agricultura a través del complejo proceso del ciclo del agua (Ledesma 2011).

La atmósfera es una capa de gases —principalmente nitrógeno (N) y oxígeno (O)— que envuelve la Tierra. Comparada con el diámetro de la Tierra de 12 753 km, la atmósfera es muy delgada. Sin embargo, esta fina capa nos provee el aire que respiramos, nos protege de los rayos dañinos del Sol, y almacena la energía térmica que hace habitable el planeta. (Meted – The COMET Program, 2017)

De acuerdo con Wallace (2006), la atmósfera está estratificada en cuatro capas llamadas tropósfera, estratósfera, mesósfera y termósfera, pero es en la primera de ellas es donde ocurren todos los fenómenos meteorológicos. Los procesos que ocurren en la atmósfera pueden ser clasificados espacial y temporalmente (Figura 1), si fuera que un fenómeno ocurre en el lapso de minutos en pocos metros, se dice que es un proceso de microescala y si el fenómeno ocurre en varios miles de kilómetros en el lapso de más de una semana hasta inclusive años, se trata de un proceso de macroescala.

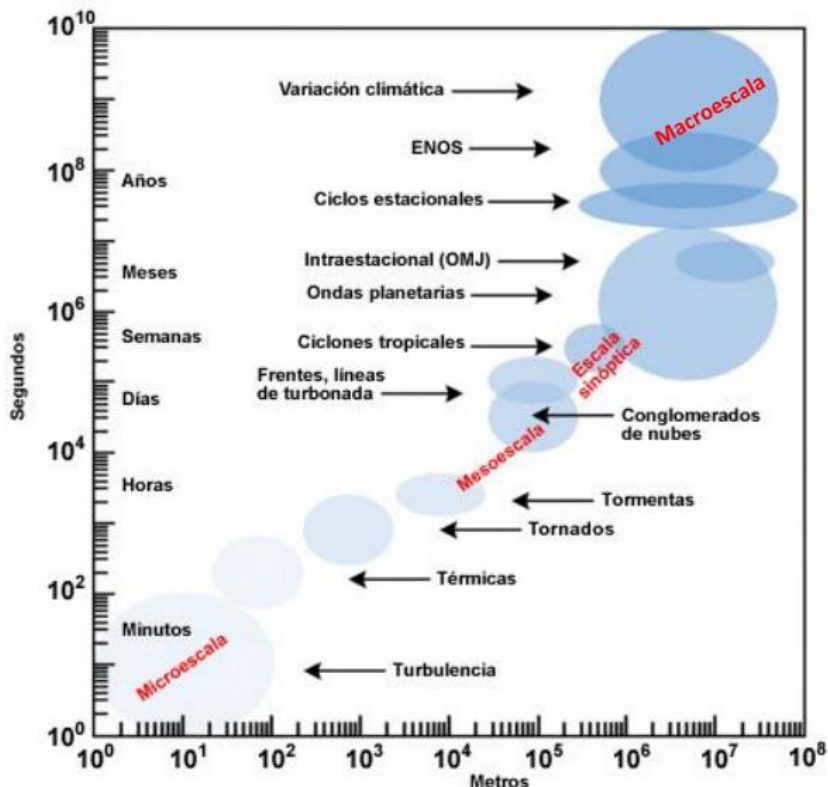


Figura 1. Escalas espaciales y temporales de los procesos dinámicos de la atmósfera.

FUENTE: Adaptado de Meted- The COMET Program (2016)

A partir de esto, en el presente estudio se estudiarán las sequías meteorológicas dentro de la primera capa mencionada conocida como tropósfera (desde la superficie hasta los 17 km aproximadamente) y a macroescala.

2.3.1.1. Agua en la atmósfera

Humedad relativa (HR): Es la relación (expresada en porcentaje) de la actual relación de mezcla (w) del aire entre la relación de mezcla de saturación (w_s) con respecto a una superficie plana a una misma temperatura y presión. (Wallace & Hobbs, 2006)

$$HR = \frac{w}{w_s} * 100$$

2.3.2. Principales sistemas sinópticos que influyen en Sudamérica

En Sudamérica se observa el desarrollo de sistemas sinópticos que tienen un comportamiento climático y pueden desarrollarse durante todo el año o en determinadas estaciones. (SOUTH AMERICA - South of the Amazon River, 1992)

Sin embargo, en el presente trabajo solo se mencionará las más significativas para la región Áncash, pues queremos conocer cuáles son las más influyentes y como varía su comportamiento en años secos a comparación de su climatología general.

2.3.2.1. Patrones de flujos en niveles bajos, medios y altos

Las Figuras 2-4 muestran el flujo aerodinámico de América del Sur para enero a 700 mb, 500 mb, y 200 mb. Los niveles de 700 mb y 500 mb se derivan de la Red de conjunto de datos de análisis de superficie (SADS). (SOUTH AMERICA - South of the Amazon River, 1992). El nivel 200 mb es de Sadler (1975). Ello con la finalidad de enfocar el análisis en los meses de mayor acumulado de precipitaciones para el sector andino.

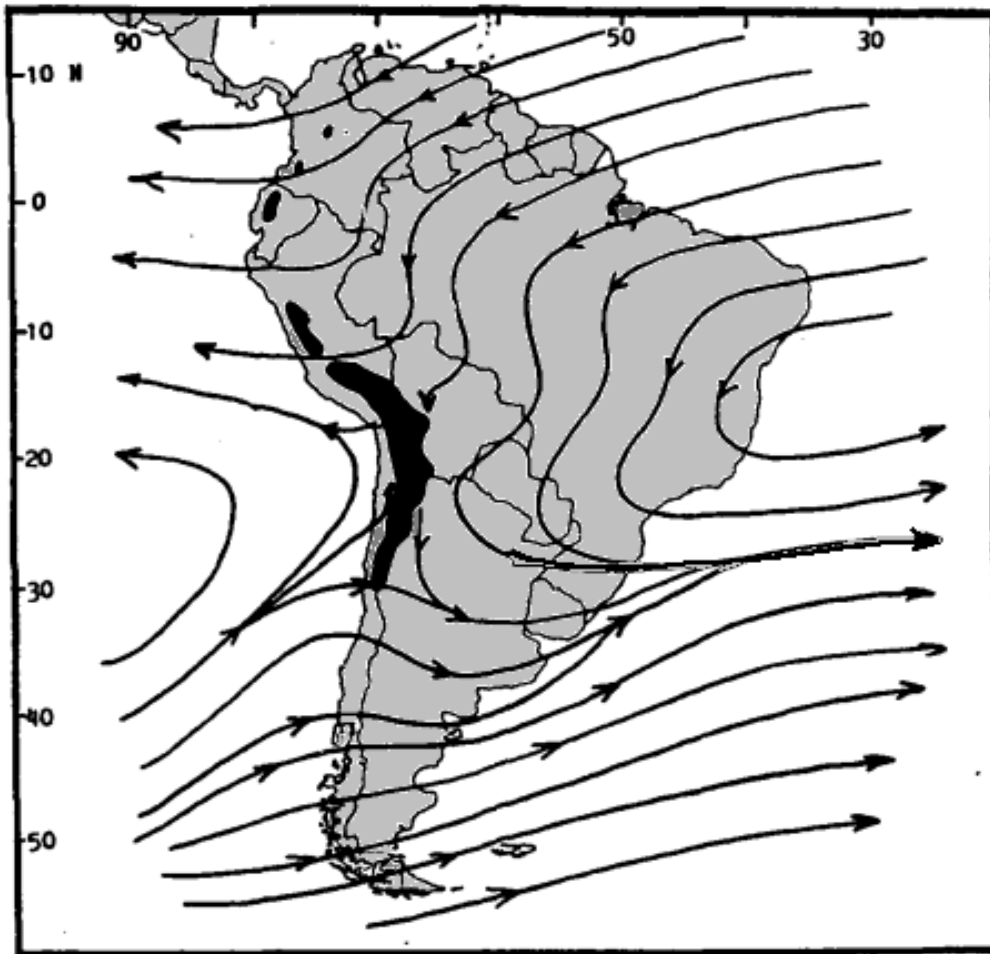


Figura 2. Patrones de flujo promedio en enero, nivel 700 mb. El área sombreada muestra un terreno de más de 10.000 pies (3.050 metros).

FUENTE: Adaptado de SOUTH AMERICA South of the Amazon River - A climatological study (p 2-17), por M. Gilford, 1st Lt. M. Vojtesak, MSgt. G. Myles, TSgt R. Bonam, Capt D. Martens, 1992, USAF Environmental Technical Applications Center (USAFETAC), Scott AFB IL.

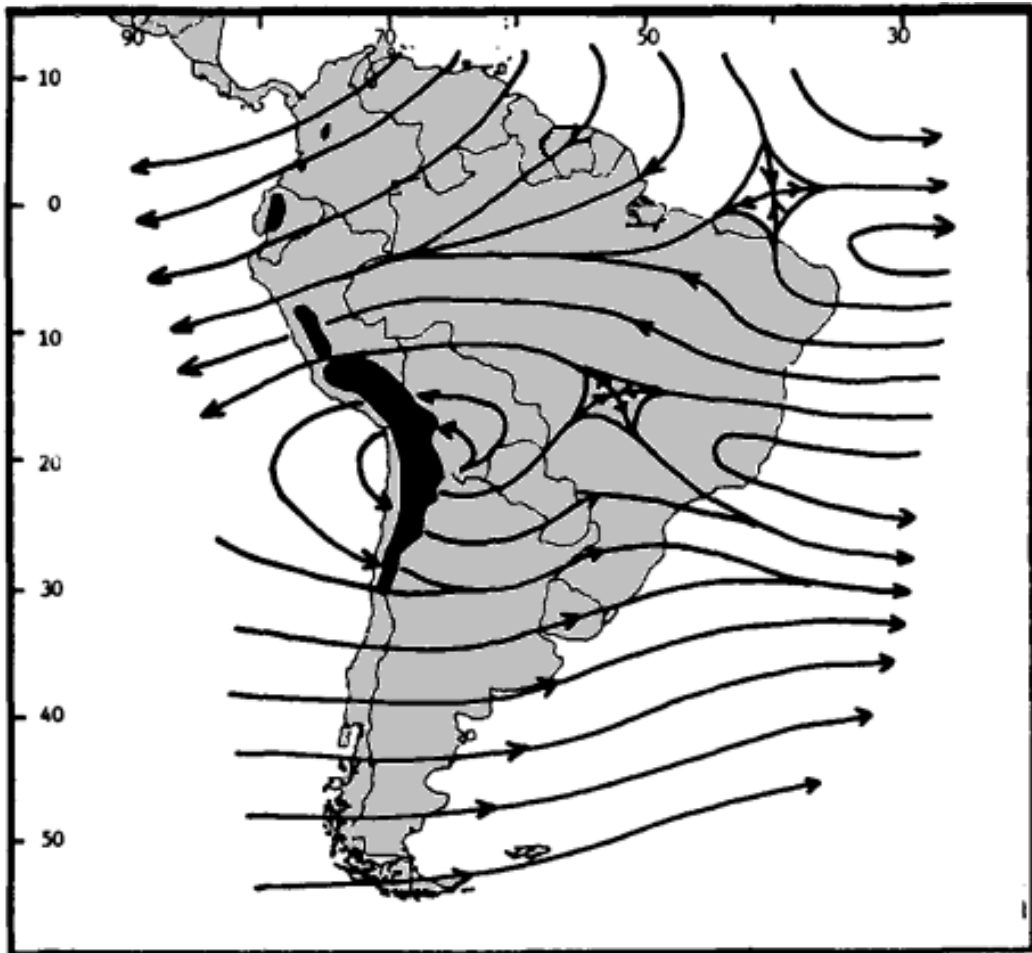


Figura 3. Patrones de flujo promedio en enero, nivel 500 mb. El área sombreada muestra un terreno de más de 18.000 pies (5.490 metros).

FUENTE: Adaptado de SOUTH AMERICA South of the Amazon River - A climatological study (p 2-17), por M. Gilford, 1st Lt. M. Vojtesak, MSgt. G. Myles, TSgt R. Bonam, Capt D. Martens, 1992, USAF Environmental Technical Applications Center (USAFETAC), Scott AFB IL.

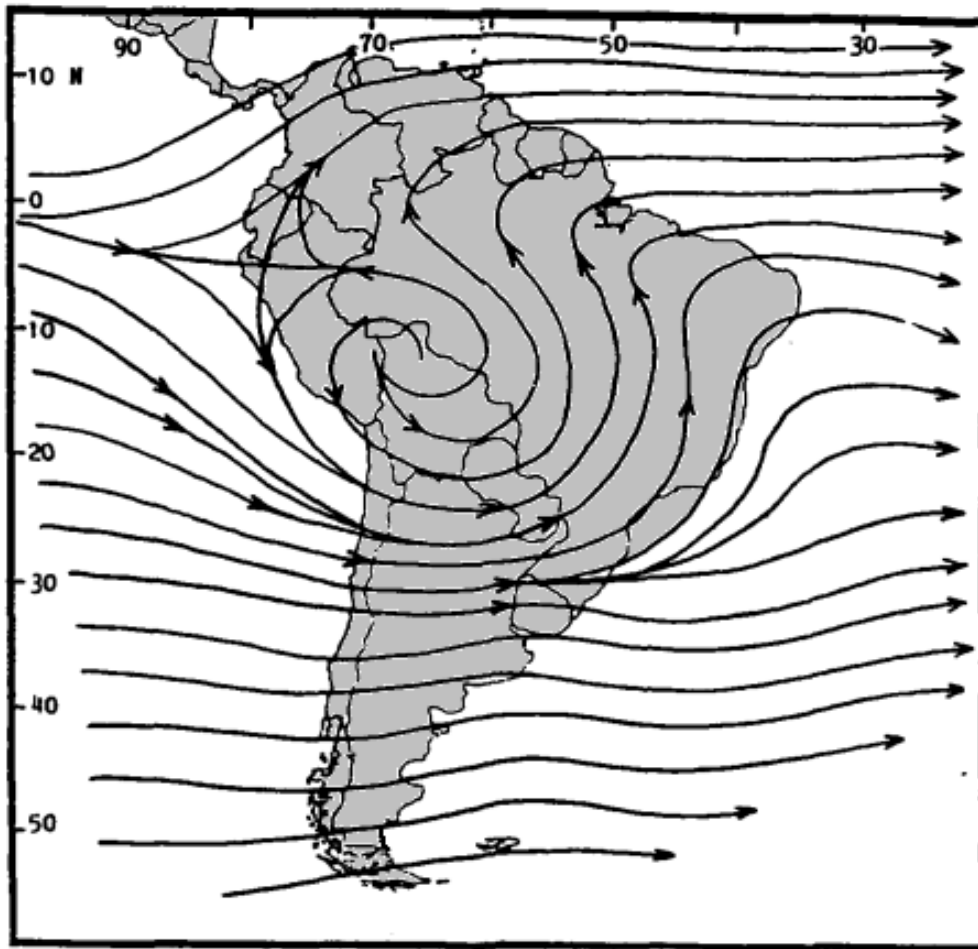


Figura 4. Patrones de flujo promedio en enero, nivel 200 mb.

FUENTE: Adaptado de SOUTH AMERICA South of the Amazon River - A climatological study (p 2-18), por M. Gilford, 1st Lt. M. Vojtesak, MSgt. G. Myles, TSgt R. Bonam, Capt D. Martens, 1992, USAF Environmental Technical Applications Center (USAFETAC), Scott AFB IL.

2.3.2.2. Alta de Bolivia (AB)

Nivel Superior. La Alta de Bolivia se genera a través de una combinación de calentamiento sobre la Cordillera de los Andes/Altiplano boliviano y el calor latente de condensación liberado por una intensa convección sobre la cuenca occidental del Amazonas. Se forma en diciembre y sigue siendo una característica importante hasta marzo. Normalmente pierde su apoyo a principios de abril cuando la ZCIT regresa hacia el norte. Las líneas de corriente identifican el centro de 200 mb aproximadamente a 13° S, 68° W (ver Figura 5). Nótese que las altas pendientes se encuentran al norte de la superficie del Altiplano. Los vientos son generalmente ligeros (5-10 nudos a 200 mb) en el centro, aumentando hasta alrededor de 30 nudos en la periferia. Las velocidades del viento son mayores al sur del máximo debido a la presencia del Chorro Subtropical. La Alta de Bolivia y el Jet subtropical proporcionan una

buena ventilación para el desarrollo de tormentas. (SOUTH AMERICA - South of the Amazon River, 1992).

2.3.2.3. Vaguada del Noreste de Brasil (VNB)

Nivel superior. Sistema de núcleo frío en alta tropósfera sobre una vaguada, extendiéndose desde el sur del Atlántico al noreste de Brasil, que está al este de la AB. El flujo entre la AB y la VNB contribuye a la precipitación en los trópicos al traer perturbaciones de nivel superior y de niveles bajos hacia el área. Dicho sistema se presenta en verano, con máxima amplitud entre noviembre-marzo. En la figura 5, se observa el esquema VNB acompañada de la AB.

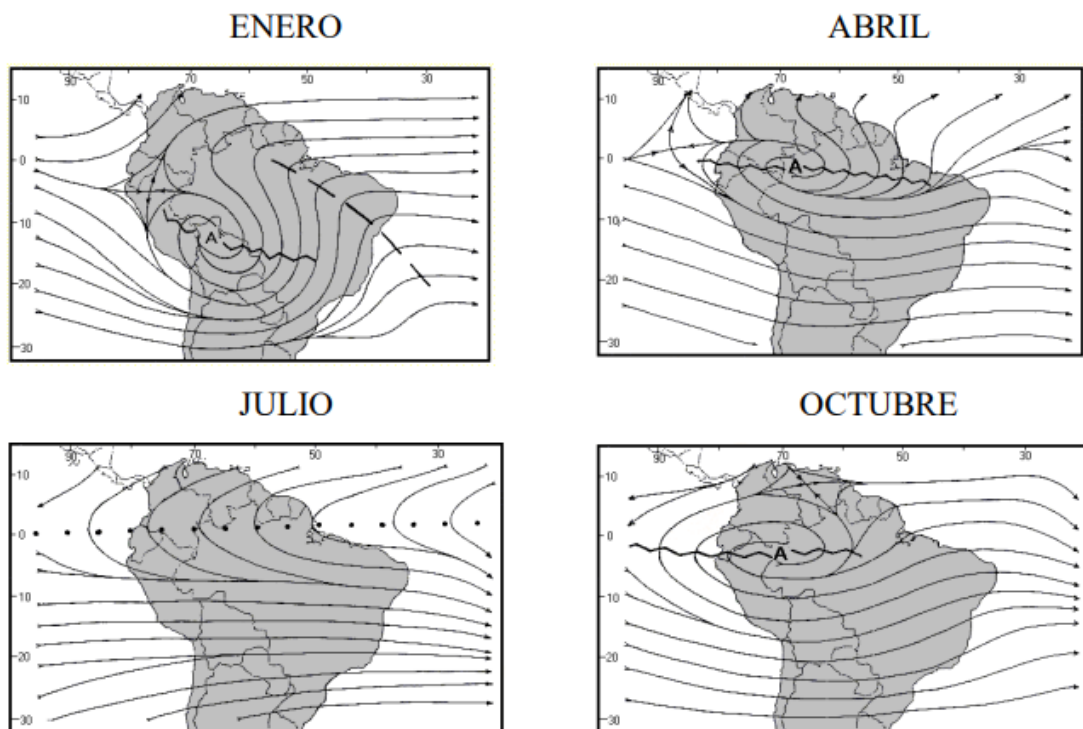


Figura 5. Alta de Bolivia, jet subtropical y vaguada del norte de Brasil 200 mb.

FUENTE: Adaptado de SOUTH AMERICA South of the Amazon River - A climatological study (p 2-30 y 2-31), por M. Gilford, 1st Lt. M. Vojtesak, MSgt. G. Myles, TSgt R. Bonam, Capt D. Martens, 1992, USAF Environmental Technical Applications Center (USAFETAC), Scott AFB IL.

2.3.3. Circulación General de la Atmósfera

Uno de los primeros trabajos en la comprensión de la circulación de la atmósfera fue documentado por el astrónomo Edmund Halley en 1686, quien interpretó la tendencia del aire a converger desde zonas frías hacia las más cálidas (Figura 6a). Posteriormente, el físico británico George Hadley (1735) explicó con mayor detalle que la energía que mueve la atmósfera tiene origen en la radiación solar y que los flujos de aire se dirigen desde las altas a las bajas presiones o desde los polos hacia el ecuador generando cinturones de viento en

cada hemisferio; sin embargo, estas suposiciones no contemplaron el movimiento de rotación de la Tierra, el efecto de Coriolis, topografía, entre otros (Figura 6b).

En 1835, el científico francés Gaspard Gustave Coriolis propuso la teoría de la desviación en la trayectoria de un cuerpo, lo que hizo que la comunidad científica comprenda análogamente a su investigación, que la trayectoria del viento tiene una desviación hacia la izquierda en el hemisferio sur y hacia la derecha en el hemisferio norte (Figura 6c). Sumado a estos conocimientos, se incorporaron los estudios de William Ferrel que acopló conceptos como el rozamiento de la capa planetaria, cantidad de movimiento y momento cinético, postulando la existencia de una franja de vientos del oeste ubicado en latitudes medias que compensa las fuerzas de vientos del sureste y noreste en el hemisferio sur y norte respectivamente como puede ser apreciada en la Figura 6d (Ledesma 2011).

Ahora, se conoce que los flujos de viento a nivel de macroescala crean patrones ondulantes de áreas de alta y baja presión induciendo las dorsales y vaguadas respectivamente. Esto ha permitido que se puedan conocer los mecanismos de convergencia y divergencia que están asociados a centros de baja y alta presión respectivamente, al ocurrir esto, se generan movimientos verticales en la atmósfera que conducen a un cambio adiabático de la temperatura, de modo que la posición de los centros de alta y de baja presión nos informa acerca de la nubosidad y precipitación que ocurre en un lugar. Por otro lado, vientos alisios comprendidos entre los trópicos de Cáncer y Capricornio (a $23,5^\circ$ al norte y sur respectivamente), conforman la rama inferior de las células de Hadley y juegan un papel significativo en determinar las condiciones meteorológicas y las interacciones con el océano. Los vientos alisios se caracterizan por ser persistentes y constantes que suelen alcanzar velocidades medias de 4 a 7 m/s; sin embargo, este flujo es afectado por oscilaciones interanuales como El Niño Oscilación del Sur.

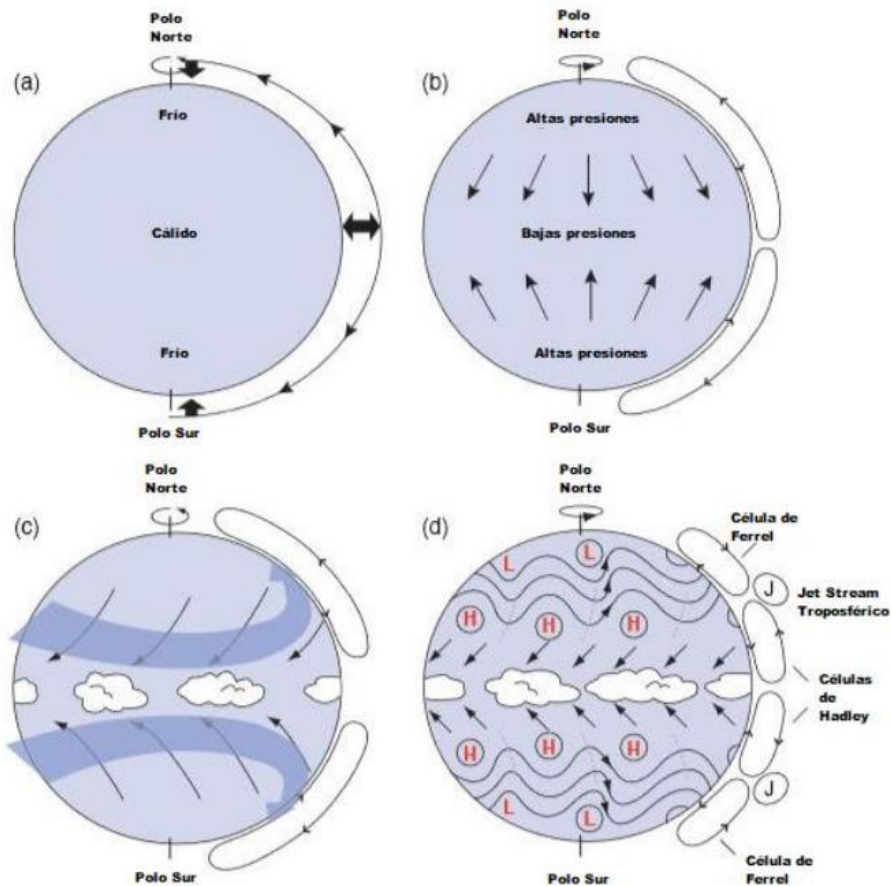


Figura 6. Representación de la circulación de la atmósfera. a) Distribución de calor respuesta al calentamiento de los trópicos hacia los polos. b) Circulación en forma de celda ecuador-polo. c) Integración de la Fuerza Coriolis que imparte una componente del flujo hacia la izquierda en el hemisferio sur y derecha en el hemisferio norte. d) Sistema conocido actualmente, flujos meridionales a través de las células de Ferrel y Hadley.
FUENTE: Adaptado de Wallace (2006).

Producto del cinturón de bajas presiones en la zona tropical, se genera una banda nubosa conocida como Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) que varía según la estacionalidad, aproximándose hacia el hemisferio sur durante el verano y alejándose en el hemisferio norte. Asimismo, existen sistemas ubicados entre el trópico y las latitudes medias conocidos como la Zonas de Convergencia del Pacífico Sur (ZCPS) y del Atlántico Sur (ZCAS), las cuales están asociadas a los máximos de precipitación anual. Estas zonas de convergencia son los “corredores” que permiten el movimiento de los ciclones tropicales y subtropicales hacia los polos y su posición cambia con los gradientes de TSM y la variabilidad de los anticiclones subtropicales. (Shulca, 2020)

Adicionalmente, dentro de los patrones atmosféricos reconocidos está la presencia de los Jet Stream (JS) o corrientes en chorro, los cuales son corredores de viento muy intensos cerca de la tropopausa. El efecto de este patrón zonal es más intenso en el hemisferio sur por el

efecto del tamaño reducido de las masas continentales y pueden alcanzar velocidades muy superiores a los 25m/s. Por último, existen otros patrones de gran escala encargados de distribuir la energía por toda la Tierra y tienen influencia en el clima, dos de los responsables son la circulación de Walker y Hadley (Wallace 2006).

2.3.3.1. Circulación de Walker

Por la década de 1920, el meteorólogo Sir Gilbert Walker fue el primero en describir la gran célula de circulación sobre el Pacífico que distribuye el flujo de vientos zonal desde el este hacia el oeste denominada como “Circulación de Walker”. Estas células de circulación zonal deben su existencia a fuertes gradientes en la TSM con orientación este a oeste y a la estructura térmica subyacente de los océanos Pacífico y Atlántico, así como al calentamiento de las regiones continentales tropicales.

El mecanismo basado en este contraste térmico, hace que el aire se eleve en el Pacífico ecuatorial occidental donde se pronuncia la actividad convectiva y hace que descienda en el Pacífico oriental siendo reforzado en niveles bajos troposféricos por los vientos alisios (Figura 7).

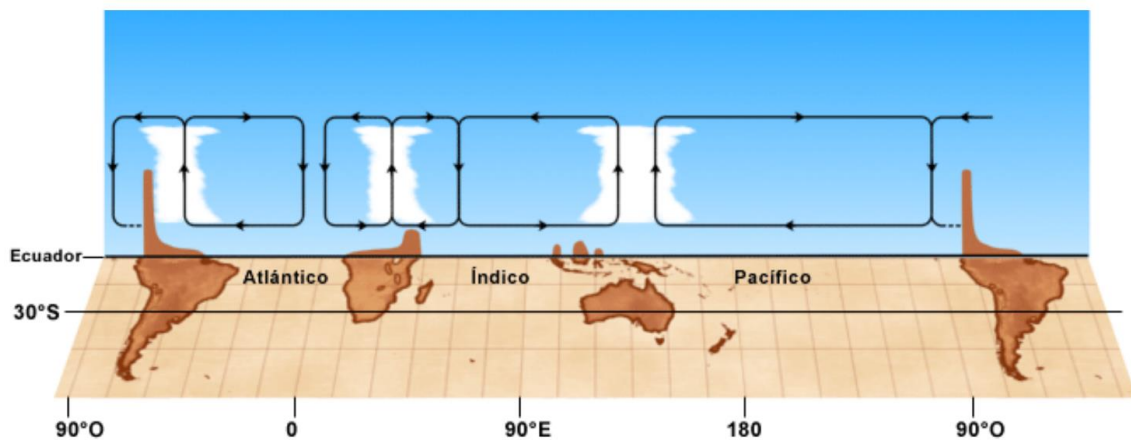


Figura 7. Representación esquemática de la Circulación Global de Walker entre diciembre y febrero con base en cálculos de vientos divergentes en la tropósfera superior e inferior.

FUENTE: Adaptado de Meted – The COMET Program (2016)

En las zonas continentales marítimas, donde la combinación de intenso forzamiento solar, abundante evaporación de las aguas cálidas de los océanos y circulaciones de brisa producen convección a diario hacen que sobre esta región se produzcan las zonas de tormentas y lluvias más intensas. Asimismo, el calor latente liberado por estos enormes sistemas de tormentas intensifica el movimiento ascendente y un flujo superficial entrante del este y del oeste, lo cual estimula la formación de una intensa célula de circulación junto al ecuador. Al

mismo tiempo se produce un correspondiente movimiento descendente sobre las aguas del Pacífico oriental que aparte de ser fría, el agua del océano profundo también es rica en nutrientes inorgánicos; por lo tanto, el afloramiento en el este enriquece las aguas superficiales manteniendo la cadena alimenticia y la pesca de producción en la costa sudamericana (Marshall 2008, UCAR 2011).

2.3.3.2. Circulación de Hadley

Luego de que George Hadley (1735) postuló la existencia del modelo de transporte de calor desde el trópico hacia los polos, muchos autores fueron adaptando conceptos más complejos basadas en este principio, y en la actualidad se sabe que la célula de Hadley es extremadamente importante en la transferencia de calor dentro de los trópicos y su relación con los vientos alisios (UCAR 2011).

Estas llamadas células Hadley se caracterizan por tener un flujo de viento hacia el ecuador y poseer un movimiento ascendente, tener un flujo de retorno hacia el polo en la tropósfera superior tropical y por último generar un movimiento de hundimiento en el subtrópicos. Como se puede observar en la Figura 8, los vientos alisios y el cinturón extratropical están separados por un cinturón subtropical de alta presión centrado en la latitud de 30° norte y sur, sobre el cual se ubican las corrientes de chorro en el nivel de la tropopausa (12 km; 250 hPa). En las zonas donde los vientos de superficie convergen, es un indicativo de un movimiento ascendente en altura, este proceso de levantamiento de aire conduce a la condensación del vapor de agua y, en última instancia a la ocurrencia de precipitación (Wallace 2006).

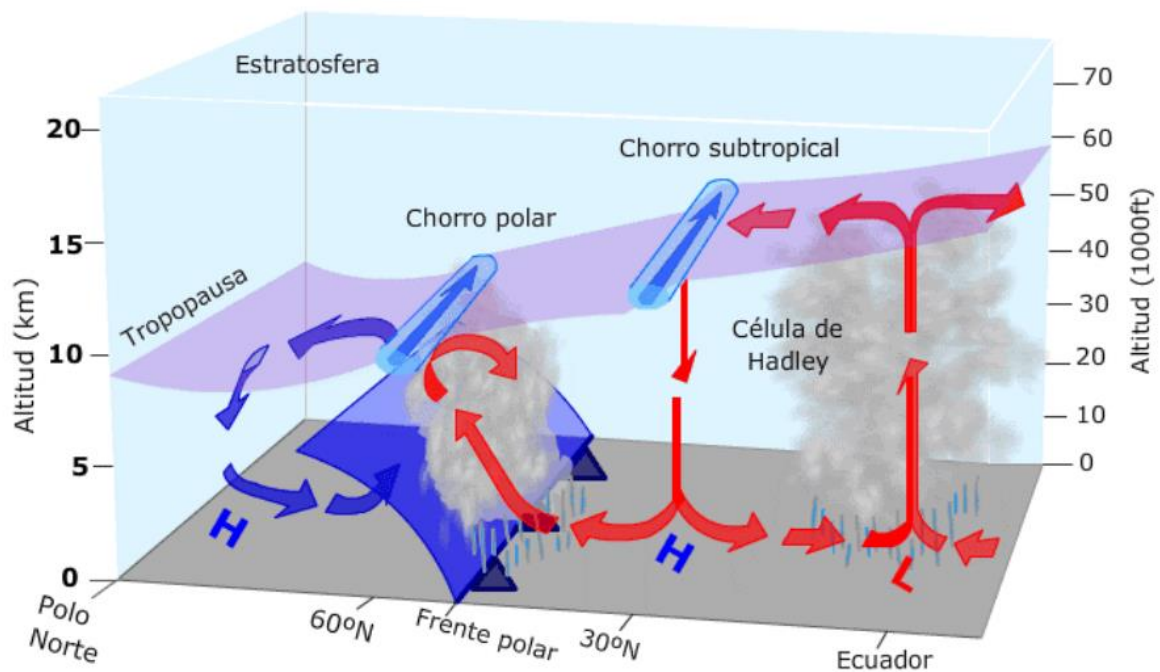


Figura 8. Circulación de Hadley,
FUENTE: Adaptado de Thomsom Higher Education (2007)

2.3.4. El Océano

Los océanos son la principal fuente de agua en el planeta, cubren el 72 por ciento del área de la superficie de la Tierra y cumple un rol fundamental en la regulación del clima debido principalmente a su alta capacidad calorífica la cual es mil veces más que el de la atmósfera (Wallace 2006 y Marshall 2008).

Esta propiedad oceánica es sustancial para las regiones ubicadas al lado sur del globo, donde el porcentaje de masa oceánica es mayor a la continental. No obstante, el océano no sólo es capaz de actuar como regulador térmico de zonas aledañas, sino de lugares remotos mediante su interacción con la atmósfera.

La influencia del océano en cambios en los regímenes de lluvia ha sido motivo de estudio de autores como Weng et al. (2009) quien demostró que las anomalías de la temperatura superficial del mar en el Pacífico central tropical generan múltiples “boomerangs” en el mundo siendo uno de ellas las teleconexiones provocadas por el intenso calentamiento del mar; y a nivel regional, en Sudamérica proporcionó valiosa información sobre las diferencias de los patrones de circulación durante El Niño Canónico y Modoki. Asimismo, Vera et al. (2003) encontró diferencias a las respuestas de las fases frías y cálidas de ENSO en el hemisferio sur, reafirmando la posición de que la variabilidad de las lluvias en Sudamérica responde a cambios en las temperaturas del mar. Por otro lado, investigaciones como las de

Silva et al. (2008) dieron a conocer la influencia de cambios en las temperaturas del mar en el Atlántico norte durante el periodo de verano austral en los Andes centrales del Perú, aunque los coeficientes de correlación encontrados no superaron los valores de 0.5.

2.3.4.1. Circulación oceánica

El océano es un fluido dominado por las leyes de la dinámica, es erróneo pensar que es un sistema estático pues presenta oscilaciones y movimientos conocidos como corrientes oceánicas que son producidos por la rotación de la Tierra, la fuerza de Coriolis y la energía solar. La circulación oceánica tiene como principal fuente energía la que proviene del Sol y es impulsada por el viento (desde la superficie hasta los primeros cien metros) así como la circulación termohalina (Knauss 2016, Wallace 2006, Voituriez 2003).

El viento, como se muestra en la Figura 9, contribuye a impulsar los giros oceánicos asociados a los sistemas de presión. De ahí que se generan dos tipos de corrientes, mostradas: las corrientes frías que se originan en los polos (dibujadas en azul) y las corrientes cálidas que provienen del ecuador (dibujadas en rojo), siendo este sistema un importante mecanismo de transporte de energía en el globo.

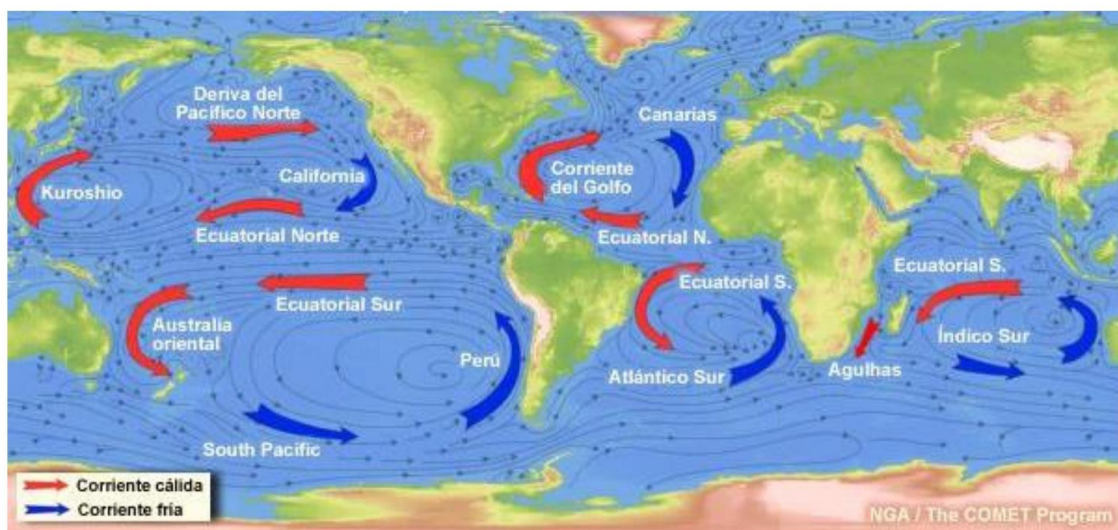


Figura 9. Circulaciones oceánicas globales superficiales y giros subtropicales: en colores rojos se muestran las corrientes cálidas y en azules las corrientes frías.

FUENTE: Adaptado de Meted - The COMET Program (2016)

Es importante identificar que las circulaciones oceánicas también son impulsadas por diferencias entre la temperatura y salinidad del agua de mar, denominada como circulación termohalina. Esto se debe porque el agua fría es más densa que el agua cálida y el agua salada es más densa que el agua dulce, de modo que las aguas más frías o saladas tienden a hundirse en comparación con aguas más cálidas o menos saladas.

En lado occidental de Sudamérica, existe una corriente oceánica fría conocida como la corriente de Humboldt o la corriente peruana caracterizada por causar un intenso afloramiento a lo largo de la costa, ejerciendo influencia sobre el clima en las costas de Chile, Perú, Ecuador y Colombia.

2.3.4.2. Temperatura superficial del mar

Debido a la alta inercia del mar y a que la dinámica oceánica es mucho más lenta que la atmosférica, la temperatura superficial del mar (TSM) es una de las variables más utilizadas en la investigación de la interacción atmósfera-océano y es el principal indicador de dicha interacción entre estos dos sistemas (Rodwell et al. 1999).

Muchos estudios se han realizado durante décadas con el fin de demostrar su utilidad en la predicción mensual y estacional del clima, especialmente asociada a la precipitación (Barnston 1994); sin embargo, las mayores debilidades en el uso de esta herramienta son el escaso registro instrumental y la pobre cobertura espacial de las observaciones oceánicas.

En latitudes medias a altas, el forzamiento del océano por los sistemas climáticos, ciclones y anticiclones, inducen cambios o anomalías de la TSM en periodos de larga duración lo que hace que no tengan un ciclo estacional regular. Sin embargo, sobre latitudes tropicales, los cambios en la TSM, temperatura del aire tropical y vientos están más relacionados entre sí, lo que refleja la sensibilidad de la atmósfera tropical a la convección (húmeda) activada desde la superficie. Esta sensibilidad de la atmósfera a la TSM tropical puede llevar a una variabilidad "activa": interacciones acopladas entre la atmósfera y el océano en las cuales los cambios en un sistema refuerzan mutuamente los cambios en el otro (Marshall 2008).

En el Perú, Lagos et al. (2008) analizó la relación entre las precipitaciones con índices climáticos globales de la TSM a través de correlaciones lineales en las regiones Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 y Niño 4 en el Pacífico ecuatorial, concluyendo que la TSM y las precipitaciones en el Perú presentan alta variabilidad temporal y espacial.

2.3.5. Interacción océano-atmósfera

Como se comentó anteriormente, la principal fuente de energía que llega a la Tierra procede del Sol y gracias a ella tienen origen las circulaciones oceánicas y atmosféricas. Entre ambas existe una fuerte relación que es bien representada con el ciclo hidrológico que comienza con la transferencia de energía desde la atmósfera a la capa superficial de mezcla del océano y que a su vez la energía del océano vuelve a la atmósfera afectando a la circulación

atmosférica, al tiempo y al clima. De esta forma, se asegura una continua transmisión de energía que está representada por procesos de transferencia vertical de calor que ocurre por conducción, transferencia vertical de humedad que ocurre por evaporación/transpiración o por condensación y transferencia vertical de momento ocurre por procesos viscosos (UCAR 2011). Como se muestra en la Figura 10, los procesos que ocurren cuando el mar y el aire se encuentran en contacto aumentan la complejidad de la comprensión del sistema climático.

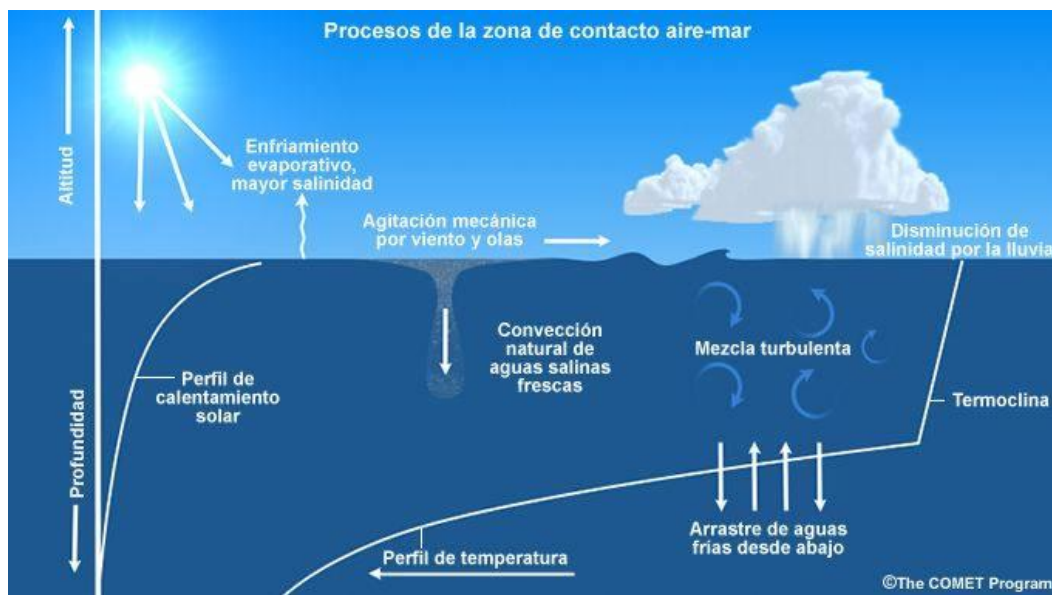


Figura 10. Representación conceptual de los procesos en la zona de contacto aire-mar
FUENTE: Adaptado de Meted – The COMET Program (2016)

En el proceso de evaporación, el enfriamiento y la salinización contribuyen al transporte de humedad desde el océano hasta la atmósfera, a la vez que la lluvia reduce la salinidad de la superficie del océano y los vientos de superficie generan olas. Los procesos de mezcla turbulenta y de arrastre de aguas frías que ocurren en la capa superior del océano están acoplados a los procesos atmosféricos. El enfriamiento del agua y el aumento de la salinidad debido a la evaporación de las moléculas de agua inducen la convección sobre el océano. La termoclina separa las aguas más profundas de las de la capa superior bien mezclada, donde la temperatura es casi constante con la profundidad. Las variaciones en la profundidad de estas dos capas en el Pacífico ecuatorial son un aspecto fundamental del desarrollo de las condiciones relacionadas con El Niño y La Niña.

En los últimos años se han incrementado los esfuerzos por la comprensión de la relación entre la atmósfera y los océanos, producto de ello se han desarrollado nuevos instrumentos de observación como los satélites meteorológicos, boyas de medición ARGO, modelos numéricos acoplados, entre otros.

2.3.5.1. El Niño Oscilación del Sur - ENSO

Los fenómenos del niño y la niña son las 2 fases extremas (ver figura 11) que constituyen el fenómeno océano atmosférico conocido como El Niño-Oscilación del Sur (ENSO), ambas fases son las que producen anomalías hidrológicas en el trópico sur, siendo El Niño el que se caracteriza por la inusual temperatura cálida sobre el océano pacífico ecuatorial, mientras que La Niña por la presencia de perdurables y frías temperaturas; también las anomalías negativas del SOI (Índice de Oscilación Sur) están ligadas a los eventos cálidos sobre el océano Pacífico (El Niño) mientras las positivas con los eventos fríos (La Niña), ambos alcanzando niveles significativos; en conjunto el ENSO produce alteraciones en la circulación atmosférica global y no solo en América del Sur; trayendo consigo problemas socioeconómicos e hidrológicos como sequías en África y Australia o inundaciones en el suroeste de América del Sur (Poveda & Mesa, 1996); el fenómeno de “La Niña” trae problemas diversos especialmente en la región sudamericana, por ejemplo en Colombia trae crecientes súbitas y deslizamientos (en las zonas de gran pendiente de los cerros orientales) e inundaciones en las partes bajas por ejemplo en las zonas ribereñas de Bogotá y San Cristóbal (Pabón & Torres, 2007).

En Perú el fenómeno de La Niña afecta la pesca y a las especies marinas, según el CENEPRED (2013): “En condiciones normales la especie *Engraulis ringens* “anchoveta” se distribuye cerca a costa asociada a aguas costeras frías (ACF), principalmente dentro de las 60 millas náuticas (mn). Sin embargo, durante un evento la niña de magnitud fuerte, con el desplazamiento de sur a norte las corrientes y la extensión de las ACF, se registra el desplazamiento de los recursos, en el caso de la anchoveta presenta una mayor cobertura longitudinal, pudiendo llegar hasta las 200 mn (Ñiquen y Bouchon 1991) mientras que los recursos pelágicos de mayor tamaño se limitan a la zona oceánica... el desembarque mensual de *Dosidicus gigas* “pota” presenta una tendencia creciente, sin embargo, se aprecia que condiciones frías como los eventos la niña 2007 y 2010 disminuyeron sus volúmenes de pesca... la especie *Octopus mimus* “pulpo” presentó una gran variabilidad en sus desembarques, sin embargo sus capturas se incrementan durante eventos cálidos el niño y disminuyen ligeramente durante eventos la niña...”; como observamos los efectos negativos del fenómeno del Niño y la Niña en la pesca aunque son los más sonados y controversiales, estos dependen mucho de las especies, ya que al afectar la temperatura (durante el fenómeno del Niño el litoral peruano de la costa tiende a calentarse, mientras cuando ocurre La Niña tiende a enfriarse), como pueden alejar y matar especies que estén adaptadas a una

temperatura fija, también pueden traer y promover la reproducción de distintas especies a la costa beneficiando la pesca local.

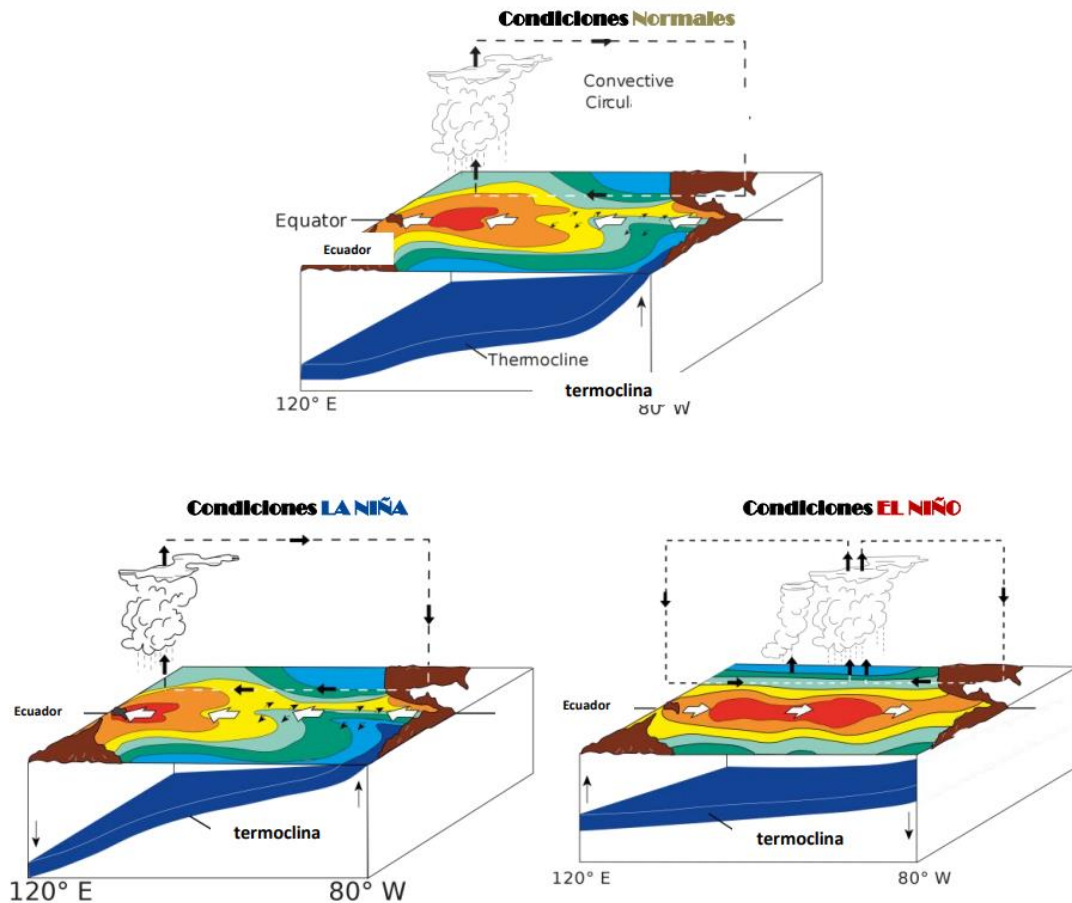


Figura 11. Representación conceptual de los procesos océano-atmosféricos durante. Condiciones neutrales, Condiciones La Niña y Condiciones El Niño.

FUENTE: De Boletín de monitoreo fenómeno «el niño / la niña» - Senamhi

2.3.5.2. Índices Climáticos

Estas son herramientas de diagnóstico que tienen como finalidad describir el estado del sistema climático (ENFEN). Es una cantidad que se usa para caracterizar el comportamiento de la atmósfera. Estos índices utilizan datos de estaciones seleccionadas, puntos de grilla o promedios regionales (Niño Oscilación del Sur, Niño 3.4) (Vega F, 2018). Los datos pueden ser únicamente de una variable (temperatura superficial del mar, precipitación) o varias como el Índice Multivariado ENOS que usa la presión a nivel del mar, temperatura superficial del mar, viento a nivel superficial y la radiación de onda larga (IMARPE, 2020). El ENOS, al ser un fenómeno con mucha repercusión en todo el planeta debido a las

teleconexiones, presenta diversos índices que nos permiten estar al pendiente de él, entre ellos tenemos:

2.3.5.2.1. Índice ONI

El índice oceánico de el Niño ONI (Oceanic Niño Index) mide la condición del ENSO (cálido y frío) en función de la temperatura superficial del mar (TSM) centrada la región Niño 3.4, Figura 12 (5°N-5°S, 120°-170°W). Esta temperatura se proporciona en base al conjunto de datos de temperatura superficial del mar mensual mundial reconstruida ampliada (ERSST.v5), que se encuentra disponible en la página oficial de la NOAA.

Este índice se mide en base al promedio móvil de 3 meses tomando como base un período de 30 años. El umbral usado para catalogarse fase cálida (fase fría) es cuando la temperatura es superior (inferior) a +0.5°C (-0.5°C). Si no supera ninguno de estos rangos se considera que está en fase neutra.

2.3.5.2.2. Índice ICEN

Desarrollada por el Comité Multisectorial para el Estudio del Fenómeno El Niño (ENFEN) en cooperación con el Instituto Geofísico del Perú (IGP). Al igual que el índice ONI, usa la media trimestral móvil de la TSM, pero enfocado en la región Niño 1+2, Figura 12 (90°-80°W, 10°S-0°) tomando como base la climatología de 1981 – 2010. (Takahashi et al., 2014).

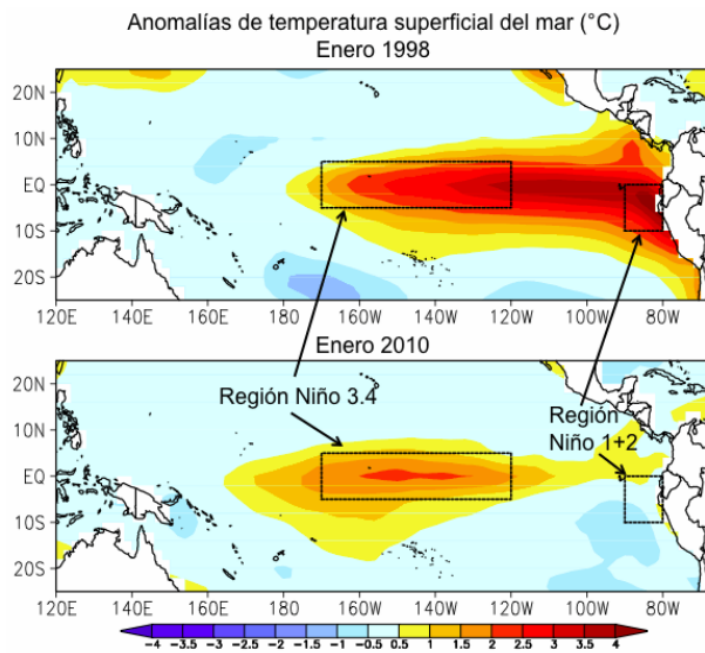


Figura 12. Anomalías de temperatura para la región Niño 3.4 (Enero 1998) y Niño 1+2 (Enero 2010).

FUENTE: Adaptada de la página web del IGP

[http://met.igp.gob.pe/variabclim/indices.html#:~:text=%C3%8Dndice%20Costero%20E1%20Ni%C3%B1o%20\(ICEN\)&text=Es%20el%20%C3%ADndice%20utilizado%20oficialmente,es%20mantenido%20por%20el%20IGP](http://met.igp.gob.pe/variabclim/indices.html#:~:text=%C3%8Dndice%20Costero%20E1%20Ni%C3%B1o%20(ICEN)&text=Es%20el%20%C3%ADndice%20utilizado%20oficialmente,es%20mantenido%20por%20el%20IGP)

III. DESARROLLO DEL TRABAJO

El presente trabajo de suficiencia profesional (TSP) implicará la realización de una monografía no experimental. Para ello se utilizará la data histórica de la variable meteorológica “Precipitación”, para obtener datos se SPI-3 en los meses climáticamente más lluviosos (enero a marzo) y análisis de modelos numéricos que nos permitirán identificar los patrones sinópticos promedios para dichos meses en los años secos e identificar cuáles son los patrones océano-atmosféricos y si estas guardan alguna relación con los índices climáticos ICEN e ONI, este trabajo beneficiará a las entidades de gobierno que tienen participación en las actividades de gestión del recurso hídrico como proyectos asociados al abastecimiento de agua para los diferentes sectores como la población urbana y rural, y también otros sectores como el minero, agricultura, ganadería, transporte, entre otros.

3.1. ÁREA DE ESTUDIO

El presente trabajo tendrá como área de estudio, la región de Áncash (ver figura 13) el cual se ubica en la región central y occidental del país. Su relieve se caracteriza por presentar un fuerte contraste altitudinal desde la Costa hacia la región andina, donde se inician las estribaciones de la Cordillera Negra para descender al este hasta el valle del río Santa y luego elevarse hasta la Cordillera Blanca y descender abruptamente en la Sierra Oriental hasta el río Marañón.

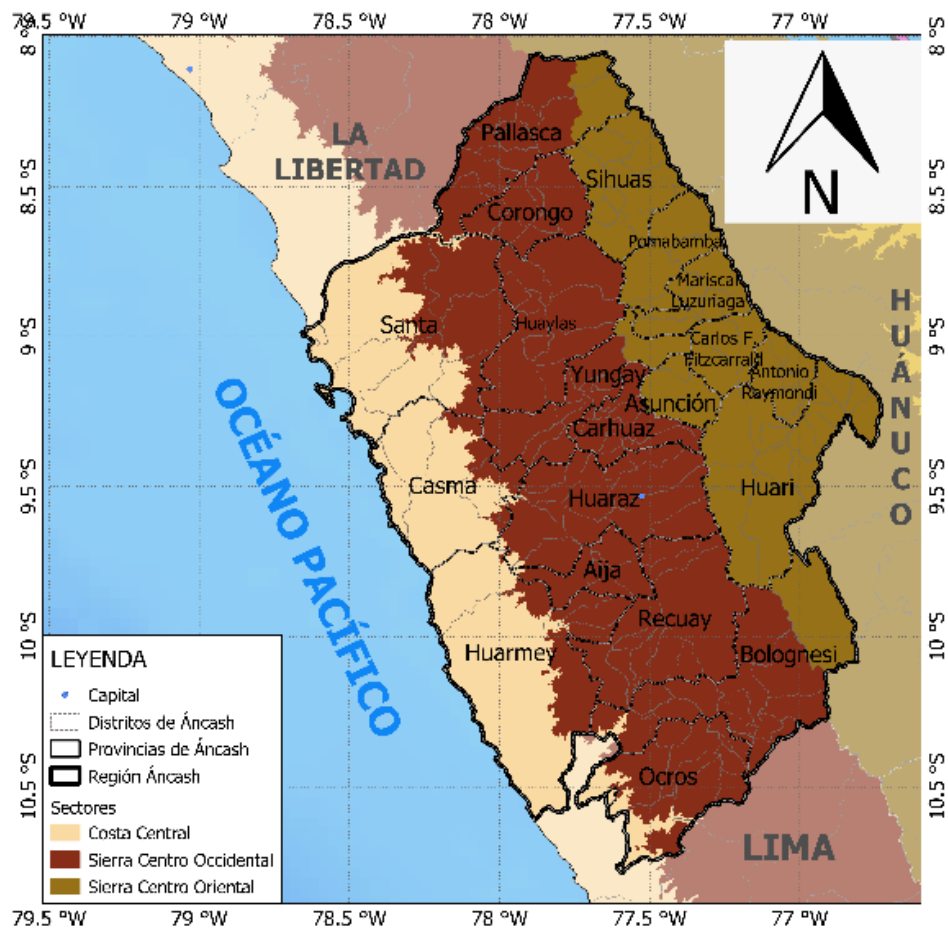


Figura 13. Área de estudio, región Áncash.

3.2. BASE DE DATOS

Respecto a la información meteorológica, se trabajó con la red de estaciones ubicadas en la región Áncash (ver figura 14 y tabla 3), las cuales tienen información desde aproximadamente el año 1975 hasta la actualidad. La información de precipitación se obtendrá de las estaciones de SENAMHI.

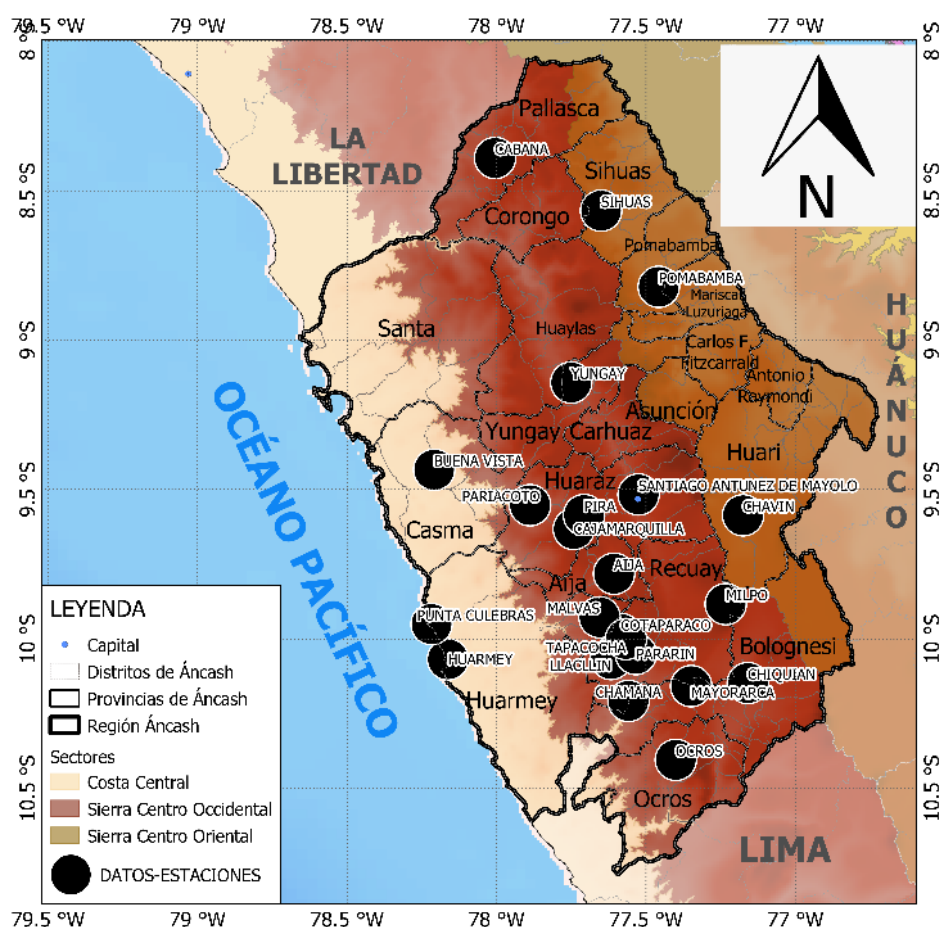


Figura 14. Distribución espacial de las estaciones meteorológicas de la región Ancash

Tabla 3. Lista de estaciones meteorológicas de la región Ancash.

Estación	Provincia	Distrito	Latitud	Longitud	Sector
HUARMHEY	Huarmey	Huarmey	-10.068	-78.162	Costa centro
PUNTA CULEBRAS		Culebras	-9.950	-78.217	Costa centro
BUENA VISTA	Casma	Buena Vista Alta	-9.434	-78.208	Costa centro
OCROS	Ocros	Ocros	-10.405	-77.400	Sierra centro occidental
CHIQUIAN	Bolognesi	Chiquán	-10.148	-77.159	Sierra centro occidental
MAYORARCA		Cajacay	-10.158	-77.349	Sierra centro occidental
CHAMANA	Recuay	Llacllin	-10.207	-77.559	Sierra centro occidental
LLACLIN			-10.067	-77.617	Sierra centro occidental

MILPO		Catác	-9.883	-77.233	Sierra centro occidental
PARARIN		Huayllapampa	-10.050	-77.534	Sierra centro occidental
TAPACOCHA		Tapacocha	-10.000	-77.567	Sierra centro occidental
COTAPARACO		Cotaparaco	-9.984	-77.584	Sierra centro occidental
MALVAS	Huarmey	Malvas	-9.927	-77.655	Sierra centro occidental
AIJA	Aija	Aija	-9.782	-77.607	Sierra centro occidental
CAJAMARQUILLA	Huaraz	La Libertad	-9.632	-77.741	Sierra centro occidental
PIRA		Pira	-9.585	-77.707	Sierra centro occidental
SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO		Independencia	-9.517	-77.525	Sierra centro occidental
PARIACOTO		Pariacoto	-9.552	-77.888	Sierra centro occidental
YUNGAY		Yungay	-9.142	-77.750	Sierra centro occidental
CABANA	Pallasca	Cabana	-8.391	-78.005	Sierra centro occidental
CHAVIN	Huari	Chavín de Huántar	-9.586	-77.175	Sierra centro oriental
POMABAMBA	Pomabamba	Pomabamba	-8.822	-77.457	Sierra centro oriental
SIHUAS	Sihuas	Sihuas	- 8.56666667	-77.65	Sierra centro oriental

3.3. PROCEDIMIENTO

3.3.1. Recopilación de información sobre los daños ocasionados por sequías

La recopilación fue realizada a través de dos formas, el primero es a través de registros históricos en base a noticias o informes de las entidades relacionadas a la gestión de los riesgos de desastres, recursos hídricos, agricultura u otros sectores. Y el segundo, a través de entrevistas, mediante encuestas a los pobladores e investigadores que viven o trabajan en la región Áncash, con el fin de obtener la percepción de la variación climática y que ayudaron a precisar eventos que ocasionaron impactos. La encuesta se realizó a un aproximado de 10 personas para el grupo de pobladores y para el grupo de especialistas otras 16 personas (anexo 1).

3.3.2. Identificación de las sequías meteorológicas o años secos

La base de datos de precipitación mensual, del SENAMHI ya cuenta con un control de calidad mediante el sistema SIEM (Sistema Estadístico de Meteorología) y por ello después de la recopilación de datos se realizó una comparación entre las estaciones estudiadas observando el diferente comportamiento de la lluvia con el objetivo garantizar que las series de tiempo de las distintas estaciones efectivamente representen señales asociadas al sistema climático en la zona correspondiente.

Con esta base de datos recopilada, se procedió a determinar el índice SPI-3, para cuantificar y comparar intensidades de los déficits de precipitación o sequías y para calcularlo, se requiere al menos 10 a 15 años de data de precipitación. Este se ajustará a una distribución de probabilidad y luego se transformará a una distribución normal, por lo que el SPI-3 medio calculado se vuelve cero, los valores positivos indican precipitaciones superiores al valor de la mediana, los negativos son debajo de la mediana. La sequía de acuerdo al SPI corresponden a valores inferiores o iguales a -1. (OMM, 2012).

Asimismo, se realizará el cálculo de las anomalías porcentuales (%), que también nos ayudaran a tener más información en relación a los años secos que se identificó.

El cálculo de los 2 índices (SPI-3 y anomalías porcentuales) se realizó mediante los softwares de programación Python y R.

Se determinará la clasificación de años secos sobre la base de la cantidad de estaciones meteorológicas que alcanzarán alguna intensidad de sequía según el SPI (moderada/severa/extrema), representada por el porcentaje de estas. En ese sentido, el año se calificaba como “año seco” si mayor o igual al 20% del total de estaciones indicaban valores clasificados por el índice como “moderadamente seco”, “severamente seco” o “extremadamente seco” (Silva et al., 2008). Cabe indicar que se ha adoptado como sequía, a valores de SPI-3 meses menores a -1.

3.3.3. Identificación de los factores desencadenantes de la ocurrencia de sequías

Para lograr identificar los factores desencadenantes de sequías, se recurrirá al análisis de otras variables como vientos zonales en niveles bajos, medios y altos, además del comportamiento de la humedad e índices climáticos relacionadas al ENSO (índice ICEN y ONI).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Recopilación de Información Sobre los Daños Ocasionados por Sequías

4.1.1. Registro y/o información histórica

- Caracterización espacio temporal de la sequía en los departamentos altoandino del Perú (1981-2018): En el informe se identificó sequías en diferentes partes del país e incluso sequías de gran magnitud que afectaron a varias regiones, sin embargo, enfocándonos solo en la región Áncash el presente informe menciona que se presentaron sequías en los años 1985, 1990, 1992 y 2004, información que también se menciona como antecedentes locales. (SENAMHI, 2019)
- Caracterización de las sequías hidrológicas en la cuenca del Santa (2015): En el presente proyecto de investigación no experimental identifiqué que las sequías en la cuenca del Santa más persistente se dio entre los años 1990 y 2000, el año más seco en toda la cuenca del Santa ocurrió en 1968, la sequía más extensa en Parón entre 1968 a 1978 y entre 1985 a 1992. La sequía más intensa con magnitud máxima se dio en el río Quitaraca entre 1976 a 1980. (M. Noriega, 2017)
- Áncash: Productores de palta y mango en crisis por sequía. En enero del 2023 se estaba teniendo afectaciones en muchos de los cultivos debido a la falta de precipitación por más de tres meses e incluso en diciembre del 2022 ya se tenía noticias de que la sequía venía afectando a productores pequeños, principalmente hacia la zona costera de Áncash que como se conoce recibe el agua del sector andino, pero para esas fechas el SENAMHI también informaba que se estaban presentando anomalías de precipitaciones entre -30% a -100%, lo cual continuo hasta el mes de febrero. <https://canaln.pe/peru/ancash-productores-palta-y-mango-crisis-sequia-n457433>, <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=prensa&n=1440>, <https://www.agroperu.pe/sequia-afecta-a-pequenos-productores-de-ancash/>, <https://www.exitosanoticias.pe/exitosa-peru/productores-ancash-sufren-consecuencias-sequia-impacta-agricultura-familiar-exportacion-n90520>, <https://soltvperu.com/ancash-sequias-afecta-a-la-agricultura-en-varias-provincias/>,

- En setiembre del 2016 ya muchos pobladores mencionaban que Áncash no tiene agua por lo menos hace dos años atrás debido a la sequía y en diciembre se menciona que más de treinta poblados de Áncash son afectados por sequía. Pues los noticieros informan de que varios poblados de la región Áncash fueron afectados porque no se tiene lluvias y tuvieron problemas con el abastecimiento de agua para el uso cotidiano, el uso agrícola, el uso ganadero y otros. “La población y los animales padecen de hambre y de sed, y los cultivos se secan” pues como se conoce muchos de los pequeños agricultores solo esperan las lluvias de temporada para que puedan sembrar y cultivar. <https://reliefweb.int/report/peru/m-s-de-treinta-poblados-de-ncash-son-afectados-por-sequ>, <https://rpp.pe/peru/ancash/caserios-de-ancash-no-cuentan-con-agua-por-fuerte-sequia-desde-hace-dos-anos-noticia-998218>

De estas noticias periodísticas, se identifica que desafortunadamente no se tiene información en relación a sequías en la región, sin embargo, se identifica los años 1990, 1992, 2004, 1978, 2016 y 2022 como años secos, está información será corroborada con lo que se identifique con el índice SPI-3, principalmente con la finalidad de corroborar información de campo y datos in-situ.

4.1.2. Resultado de encuestas

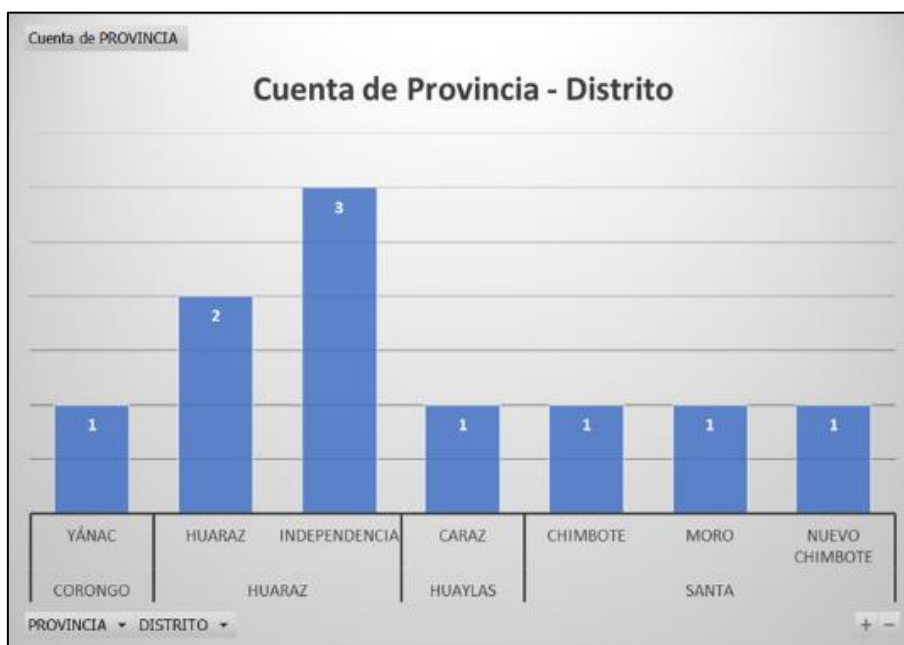


Figura 15. Contabilización de encuestados por distrito y provincia - Público en general.

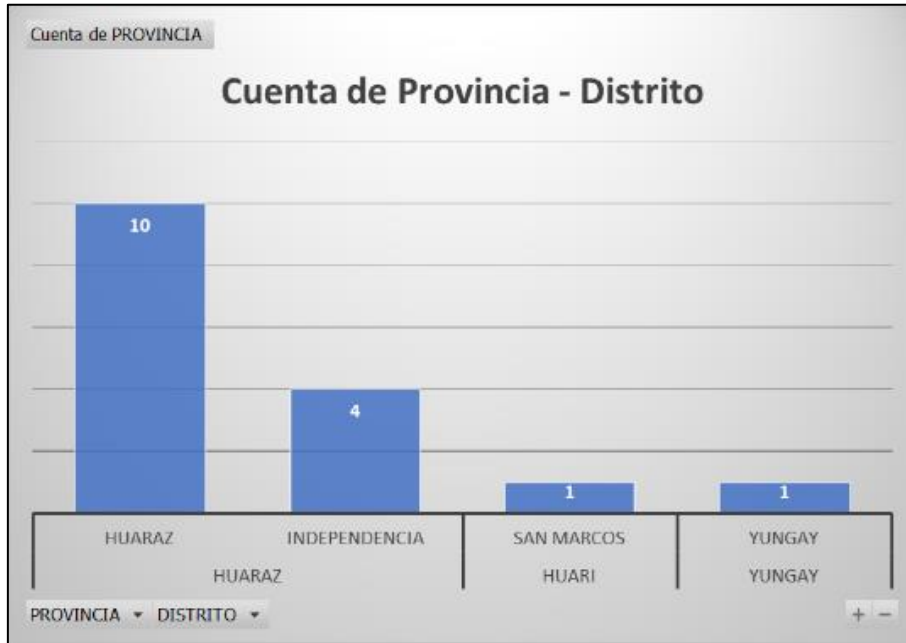


Figura 16. Contabilización de encuestados por distrito y provincia – Especialista técnico – científico.

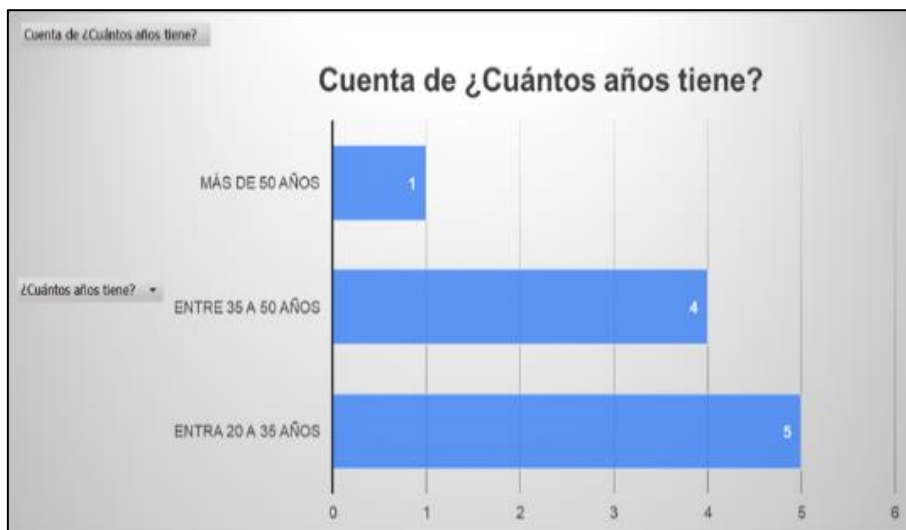


Figura 17. Rango de edades – Público en general.



Figura 18. Rango de edades – Especialista técnico – científico.

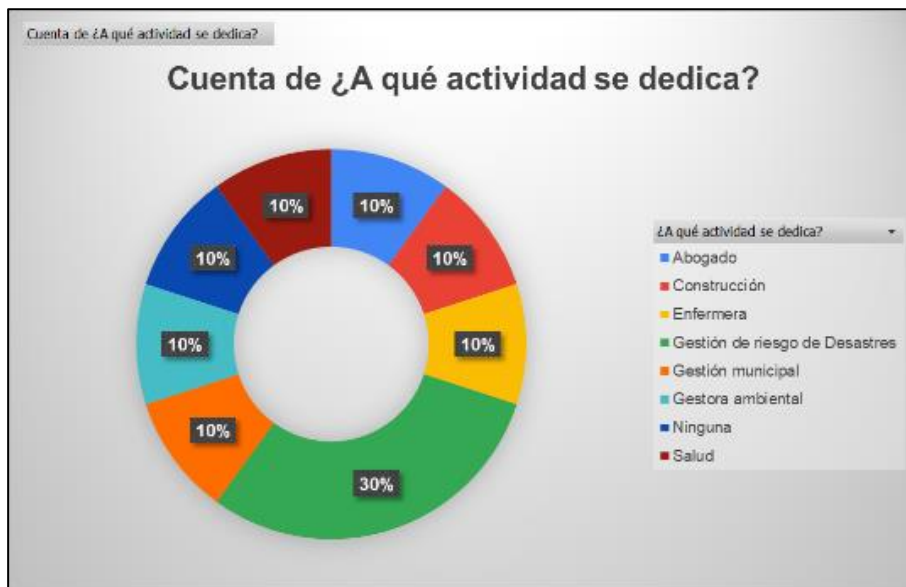


Figura 19. Sector o actividad a la que se dedican – Público en general.



Figura 20. Sector o actividad a la que se dedican - Especialista técnico - científico.

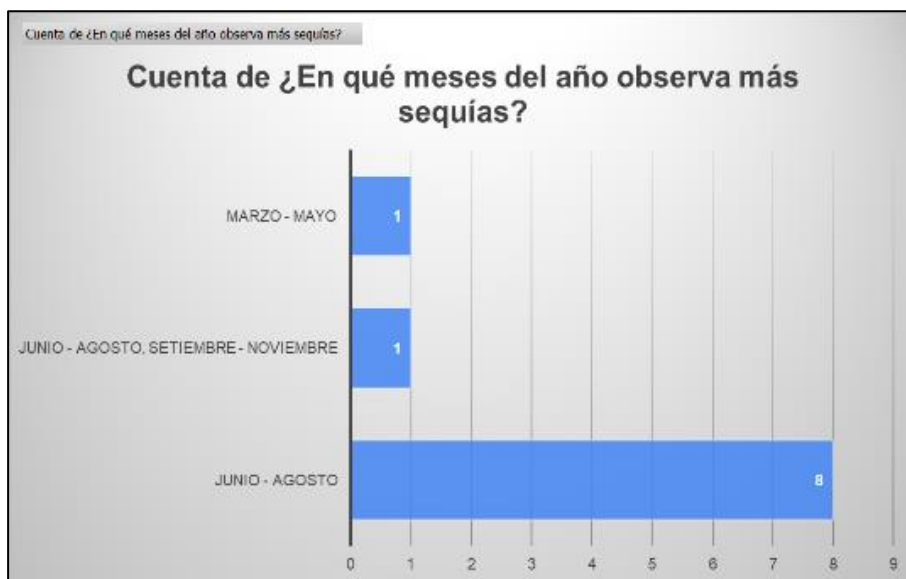


Figura 21. Identificación de conocimiento acerca de las sequías – Público en general.

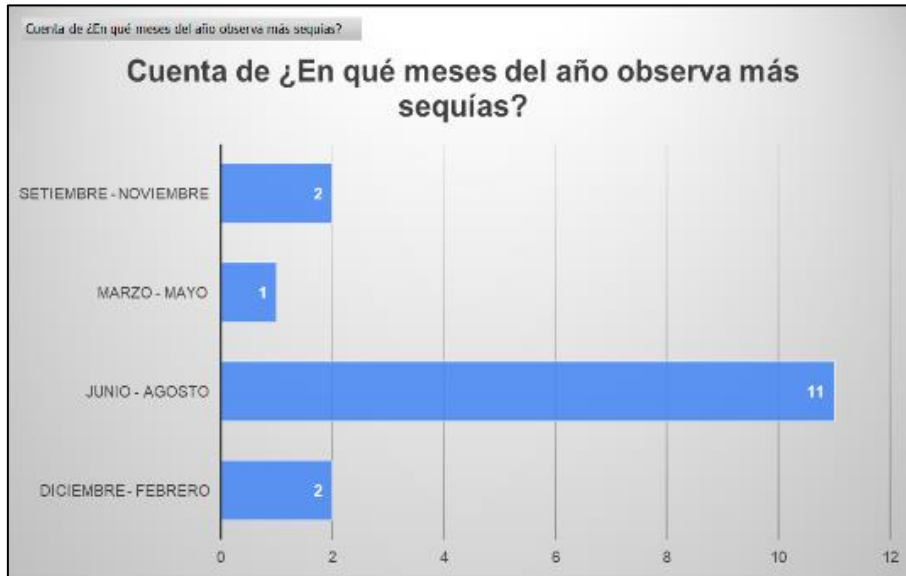


Figura 22. Identificación de conocimiento acerca de las sequías – Especialista técnico - científico.



Figura 23. Identificación de años con sequía basado en la experiencia de cada encuestado – público en general.



Figura 24. Identificación de años con sequía basado en la experiencia de cada encuestado – especialista técnico - científico.

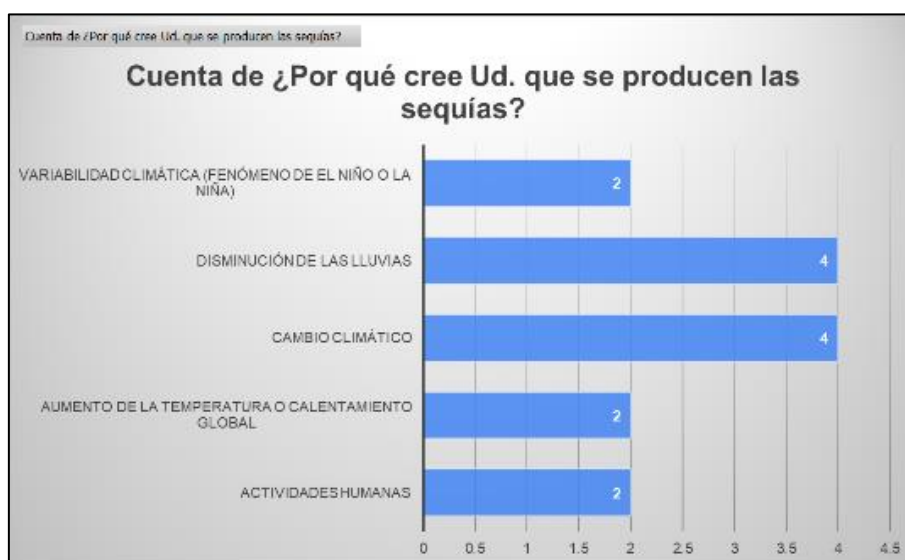


Figura 25. Identificación de cuáles son los factores desencadenantes de las sequías – Público en general.

*actividades humanas: sobrepastoreo, sobreexplotación de acuíferos, mal uso del suelo, tala de árboles, contaminación de fábricas e industrias, etc.



Figura 26. Identificación de cuáles son los factores desencadenantes de las sequías – Especialista técnico - científico.

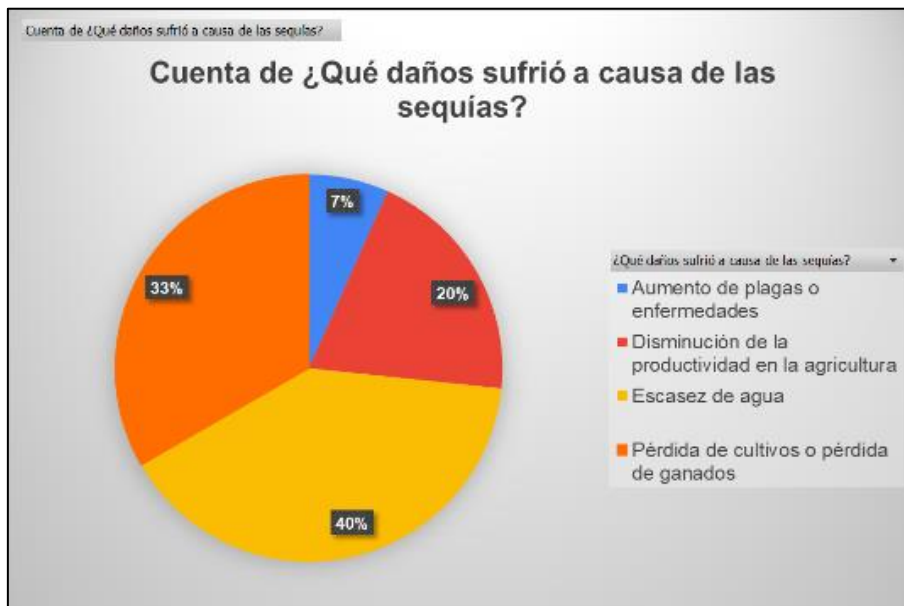


Figura 27. Daños identificados a causa de eventos de sequías – público en general.

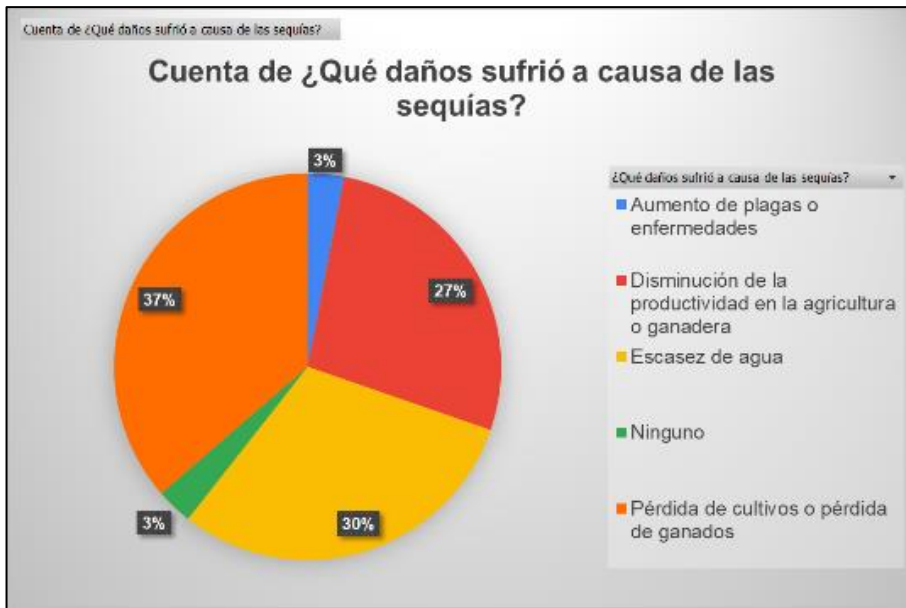


Figura 28. Daños identificados a causa de eventos de sequías – especialista técnico - científico.



Figura 29. Eventos extremos a consecuencia de sequías – Público en general.



Figura 30. Eventos extremos a consecuencia de sequías – Especialista técnico - científico.

Tal como se menciona en el punto 4.1 la recopilación de información sobre los daños de las sequías en la región, se obtuvo mediante recopilación de información de noticias, principalmente además de informes y mediante los resultados de estas encuestas realizadas las cuales se muestran en figuras (Ver Figura 15 – Figura 30); se tiene que la mayoría de los encuestado que respondieron son de la provincia de Huaraz (Figura 15-16), sin embargo, se debe tener en cuenta que muchos de estos especialistas trabajan en entidades del gobierno regional o gobierno nacional (oficinas descentralizadas) y por ende tienen conocimientos sobre estos eventos a nivel de toda la región. Asimismo, se observa que el mayor porcentaje de edad de los encuestados varía entre 20 a 35 años (Figura 17-18), que se desempeñan principalmente en actividades (Figura 19-20) asociados al sector de la gestión del riesgo de desastres. Asimismo, se obtuvo que debido a que la mayoría de los encuestados son relativamente jóvenes por lo cual conocen más sobre eventos (Figura 23-24) más recientes que han ocurrido, es decir, los años 2022 y 2021, sin descartar que también otros encuestados con mayor experiencia identificaron años como 2018, 2016, 1990, 2008, 1998 entre otros, esta información será corroborada con el cálculo del SPI-3 de marzo, debido a que la percepción del encuestado que identifico dicho año como una sequía puede deberse a las consecuencias sufridas por la presencia de esta.

De los resultados se observa que se tiene similitudes en las respuestas, tanto público en general como especialistas; puesto que, la mayoría opina que los meses de estiaje (junio-

agosto) son meses de sequía (Figura 21-22), sin embargo, éstos climatológicamente son períodos con ausencia de lluvias, por ende no se debe asociar a las sequías y debido a ello se ve la necesidad de realizar capacitaciones a las autoridades tomadoras de decisiones y público en general para que conozcan más sobre estos conceptos claves en clima y tiempo y más aún en un entorno de calentamiento global y cambio climático que se viene acrecentando y causando más impactos en los últimos años.

Por otro lado, la mayoría opina que las sequías se producen a consecuencia (Figura 25-26) del cambio climático y entre otras opciones se observa que también se asocian a la variabilidad climática y al calentamiento global. Asimismo, en relación a los principales daños (Figura 27-28) que se sufrió debido a las sequías son la escasez de agua y la pérdida de cultivos o pérdida de ganados. Finalmente, en relación a los eventos extremos (Figura 29-30) si bien es cierto en ambos grupos identifican la desertificación/erosión del suelo y disminución del caudal como eventos extremos que observaron, se resalta que los especialistas también identifican el retroceso de glaciares y/o formación de lagunas es un evento extremo que viene a causa de episodios de sequías en la región Áncash.

4.2. Identificación de las Sequías Meteorológicas o Años Secos

Los siguientes resultados y el análisis de estas están directamente asociados al segundo objetivo específico, puesto que nos permitirá identificar los factores océano-atmosféricos

4.2.1. Índice Estandarizado de Precipitación (SPI-3)

Tabla 4. Índice Estandarizado de Precipitación trimestral para el mes de marzo (SPI-3 marzo) para las diferentes estaciones en la región de Áncash en el período 1975-2022 en el trimestre enero-marzo.

SECTOR	Costa centro			Sierra centro occidental															Sierra centro oriental					
	HUARMEY	PUNTA CULEBRAS	BUENA VISTA	OCROS	CHIUJAN	MAYORARCA	CHAMANA	MILPO	PARARIN	LLACLIN	TAPACOCHA	COTAPARACO	MALVAS	ADA	CAJAMARQUILLA	PIRA	SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO	PARACOTO	YUNGAY	CABANA	CHAVIN	POMABAMBA	SIHUAS	
1975		0.00	-0.04	0.68	0.72				3.06	1.81	0.35	-2.00		0.06		1.32								-1.05
1976		0.00	-0.04	-0.07	1.06				2.01	1.25	0.45	-0.16		-0.23		1.27								-0.14
1977		0.00	-0.04	0.27	0.07				3.82	1.16	-0.25	0.25				0.54								-0.47
1978		0.00	-0.04	-1.56	-0.81				1.74	0.15	-0.06	-2.31				-2.40								-1.02
1979			-0.04	-1.03	0.15				1.18	0.94	0.27	-1.43				-1.86								0.08
1980		0.00	-0.04	-1.75	-3.46											-0.50								-2.41
1981			0.20	-0.24	1.92	-0.20	3.01	0.89		3.78	0.81	1.59	0.85			0.33		0.63						
1982			-0.04	-1.33	-0.48		0.51				0.28	1.31	-1.27	-0.42				-1.49						-1.76
1983		0.00	0.74	0.91	-1.70		5.52	-2.14	4.78		-0.27	1.08	5.44					2.37						-1.27
1984		0.00		1.19	4.27		0.54	-2.37			2.34	-0.32	0.90		-1.23		-0.05							0.03
1985		0.00	-0.04	-0.71			0.02	-1.61	3.91	0.03	-0.26	-0.39	-0.82			-0.37		-0.36						-2.09
1986		0.00	-0.04				-1.19	-2.07	0.00	3.70	0.39	-0.09	-0.66		-0.27		-0.96							
1987			-0.04	-0.32	-0.20		-1.02	-0.07	4.21	4.56	0.10		0.23			0.97		-0.42						0.16
1988			-0.04	-0.90	-0.11	-1.23	-0.39	0.21	1.31	1.60	0.61	-1.46				-2.26		-1.38			0.41			0.70
1989			-0.04	0.94	0.76	0.26	0.97		0.64	0.24	0.23	1.55	1.24			-0.36		0.72			-0.18			
1990			-0.04	-1.36	-1.40	-2.32	-0.68	-2.11	-0.49	-0.59	-0.98	-2.27	-2.08			-4.01		-0.38			-0.39			
1991			-0.04	-0.95	-0.44	-1.43	-1.71		-0.95	-0.67	-1.22	-1.56	-0.70			-2.24		-0.63			0.69			
1992			-0.04	-1.80	-2.37	-2.18	-0.93	-2.18	-1.12	-1.45	-0.69	-1.83	-1.54			-0.95		-0.91			-1.25			-1.55
1993			-0.04	0.12	1.45	0.71	1.29	-0.51	1.40	1.30	0.62		0.73			1.92		0.44			1.19	2.16		
1994		1.40	-0.04	-0.49	0.84	1.26	0.18	0.51	0.90	0.88	1.26	0.10	0.41			1.34		0.09			1.74			1.40
1995		0.00	-0.04	-1.24	-0.31	-0.30	-0.37	-0.87	-0.24	-0.08		-0.85	-1.67			-0.69		-0.08			0.48	0.09		-0.91
1996			-0.04	0.60	0.67	0.58	0.26	-0.71				0.41	0.14			1.14		0.60	0.14		0.82	-0.35		-0.23
1997			-0.04	-0.77	-0.34	-0.70	-0.28	-1.17				-0.86	-0.69			-0.68		-0.64	-1.48		-0.52	-1.93		0.35
1998	2.00		1.07	2.11	1.35	1.27	2.47	0.15				1.98	2.35			1.28	1.75	3.25	0.51		1.22	1.09		2.76
1999			1.13	1.16	1.02	0.82	1.34	0.27				1.16	1.31			1.06	1.14		-1.69		1.49	0.68		1.57
2000	0.56		-0.04	-0.01	0.55	0.27	0.55	-0.28				0.54	0.56	0.34		0.98	-0.04	0.75	-2.32		-0.06	0.83		-1.29
2001	-0.13		-0.04	1.08	1.57	0.90	0.19	0.00				1.07	0.84	1.00		0.85		0.42	-0.32		0.05			0.18
2002	-0.58		0.40	-0.51	0.45	-0.51	0.13	-0.04				-0.21	-0.16	-0.35		0.09		0.53	-0.42		-0.53			-1.20
2003	-0.13		-0.04	-0.33	-0.39	-0.21	-0.60	-0.65				-0.10		-0.18		-0.60	-1.14	-0.54	0.64	-0.46	-1.33	-0.60		-1.16
2004	-0.27		0.38	-0.14	-1.35	-1.54	-0.70	-0.32				-0.80	-1.26	-1.77		-1.63	-1.84	-0.62	-0.91	-2.04	-2.03	-1.35		-1.20
2005	0.14		-0.04	-1.71	-0.29	-1.22	-1.34	-0.27				-1.25	-1.29	-1.42		-0.86	0.41	-0.59	-0.62	-1.26	-1.34			-0.74
2006	-0.58		0.20	0.09	0.36	-0.06	-0.09	-0.10				0.59	0.23	0.76	-0.51	0.25	0.40	0.24	0.80	0.92	0.04	-0.97		-0.21
2007	0.46		-0.04	-0.08	-0.33	-0.66	-0.21	1.25				-0.02	-0.05	0.05	-1.73	-0.32	-0.36	-0.34	1.23	0.24	-0.79	-1.04		0.02
2008	-0.13		-0.04	0.50	0.44	-0.40	0.48	1.38				0.57	0.65		0.89	0.65	0.13	0.66	0.59	0.52	-0.17	-1.19		-0.07
2009	2.12		1.18	1.48	0.58	0.29	0.86	0.28				1.04	1.13		1.48	0.94	1.30		1.06	1.58	1.44	-1.06		1.40
2010	0.53		0.63	-1.11	-0.71	-0.89	-1.27	-1.62				-1.02	-0.37	-1.49		-1.47	-0.34	-0.55	0.13	0.14	0.54			-0.86
2011	-1.10		0.32	-0.65	-0.21	-0.92	-0.65	0.46				-1.20	-0.67	-0.64	-0.70	-1.61	-1.21	-0.35	-0.68	0.04	-1.03			-0.72
2012	1.01		0.32	0.48	0.46	-0.64	-0.06	1.64				0.14	-0.24	1.50	-0.15	0.36	-0.75	-0.13	0.84	-0.20	-0.07			0.58
2013	-1.10		1.60	0.78	0.46	-0.15	-0.75	0.93				-0.28	0.74	-0.33	0.19	-0.07	-0.31	-0.13	0.74	-0.02	0.18			-0.04
2014	-1.10		0.41	-0.60	0.52	-0.29	0.08	2.15				-0.53	0.89	-0.58	-0.18	0.74	-1.09	0.52	0.13	0.21	0.26			0.25
2015	0.19		0.68	0.93	-1.90	0.45	0.85					0.34	0.17	0.28	-0.25	-0.63	-0.06	0.89	1.18	0.10	0.54			0.36
2016	-0.46		-0.04	-0.91	-2.04	0.70	-0.57					-0.48	-0.17	-0.29	-1.04	-0.37	-0.48	-0.39	-0.90	-0.92	0.39			-0.26
2017	0.53		2.60	2.27	1.23	2.76	2.49					2.15	2.05	1.43	1.35	1.32	2.44	1.68	0.97	0.63	0.62			0.57
2018	1.20		0.52	-0.14	-0.31	1.13	-0.32					-0.42	1.09	-0.43	-0.29	0.03	-0.15	0.30	-0.08	0.07	0.39			0.15
2019	-0.20		0.73	0.32	0.43	0.77	-0.21					0.40	0.26	0.25	0.12		0.25	-1.04	-0.03	1.17	1.71			0.82
2020	-0.27			-0.63	-1.14	0.09	-1.48						-2.14		-1.42		-1.56		-1.86	-2.27				
2021			0.58	0.14	-0.12	1.45						-0.14	-0.51	0.22	-0.34						0.20			-0.19
2022			0.43	-0.13	1.17	0.82						-0.81	-0.54		-0.44						0.27			0.06

De la tabla 4, identificamos que en muchas estaciones se generaron sequías con caracterización moderada extrema, de ello las 5 más significativas en intensidad “Extremadamente seca” se presentaron en: 1990 la estación Pira (-4.01), 1980 en la estación Chiquián (-3.46) y Sihuas (-2.41), en 1978 en la estación Pira (-2.40) y 1984 en la estación Milpo (-2.37), sin embargo, se observará que este último año no se considera como año seco debido a que la cantidad de estaciones con SPI-3 menores a -1 no supera el 20% y por ello se podría decir que esa fue una sequía de manera localizada para el distrito y hacia su alrededor más no para toda la región Áncash. Asimismo, resaltar que la mayoría de estas sequías de mayor categorización, es decir los valores más bajos de SPI-3 calculados y categorizados como “Extremadamente seco” se dio en la vertiente occidental, exceptuando la estación Sihuas que pertenece a la vertiente oriental.

Así mismo, teniendo en consideración los antecedentes locales se identificó que el año 1985 no se identifica como un año seco observando todas las estaciones ya que solo las estaciones de Milpo y Sihuas reportaron un SPI-3 menor a 1, sin embargo, debemos recordar que para este presente informe solo se está teniendo en consideración los meses EFM puesto que la sequía que identificó el SENAMHI fue después de medio año.

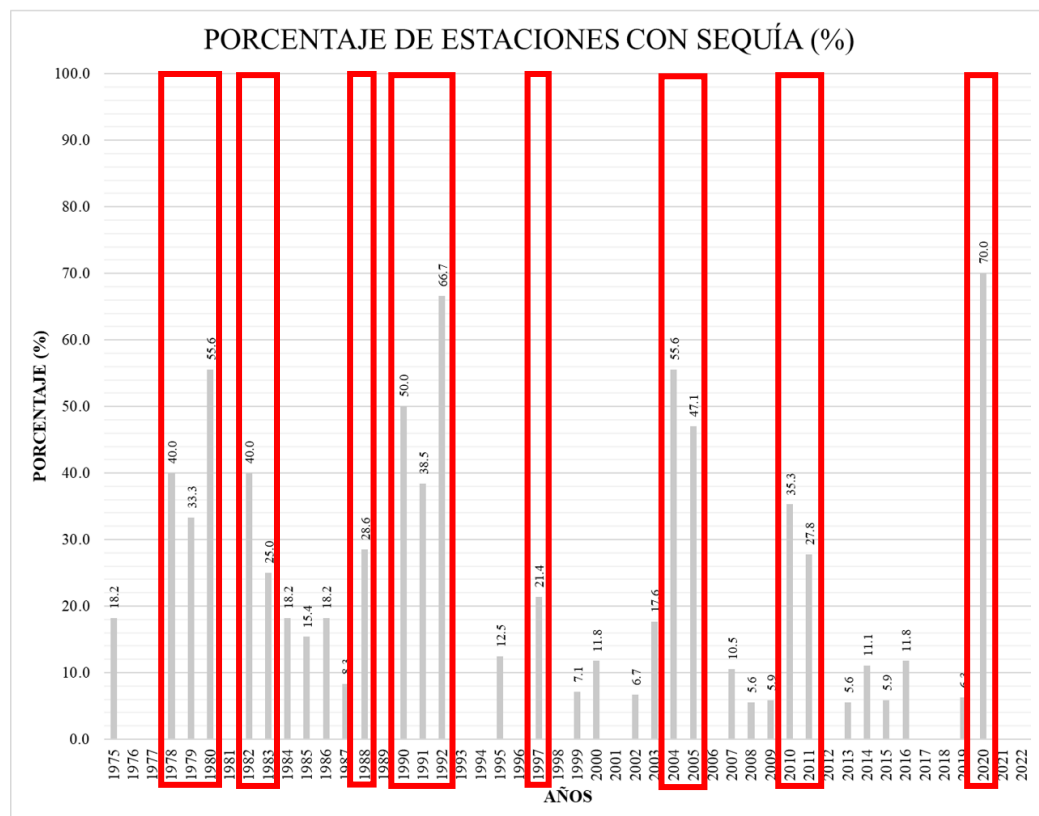


Figura 31. Comportamiento porcentual de las estaciones que presentaron sequía en la región Áncash.

Un punto más importante en resaltar en relación a los antecedentes nacionales, es que en este análisis se identificó que las sequías afectaron principalmente a la vertiente occidental, que es básicamente parte central de la vertiente del Pacífico.

En el análisis de SPI-3 marzo identificamos un comportamiento variable del índice, por ello se trabajó con porcentajes, es decir, considerando lo mencionado por Silva et al., se calificaría el año como “año seco” si mayor o igual al 20% del total de estaciones indicaban valores clasificados por el índice como “moderadamente seco”, “severamente seco” o “extremadamente seco”. Es así que enfocándonos en la región Áncash, se observa (Ver tabla 3, figura 31 y anexo 3) que los años con sequías en el trimestre enero-marzo identificados son: 1978, 1979, 1980, 1982, 1983, 1988, 1990, 1991, 1992, 1997, 2004, 2005, 2010, 2011 y 2020.

De los años secos identificados los años en que se dio la sequía más significativa en extensión, es decir, mayor cantidad de estaciones con SPI-3 menores a -1 (más área); fueron: el año 2020 con 70% de las estaciones que caracterizaron sequía; seguido del año 1992 con 66.7%; los años 1980 y 2004 con 55.7% y el año 1990 con el 50% de las estaciones que presentaron sequía para el trimestre enero-marzo en la región Áncash.

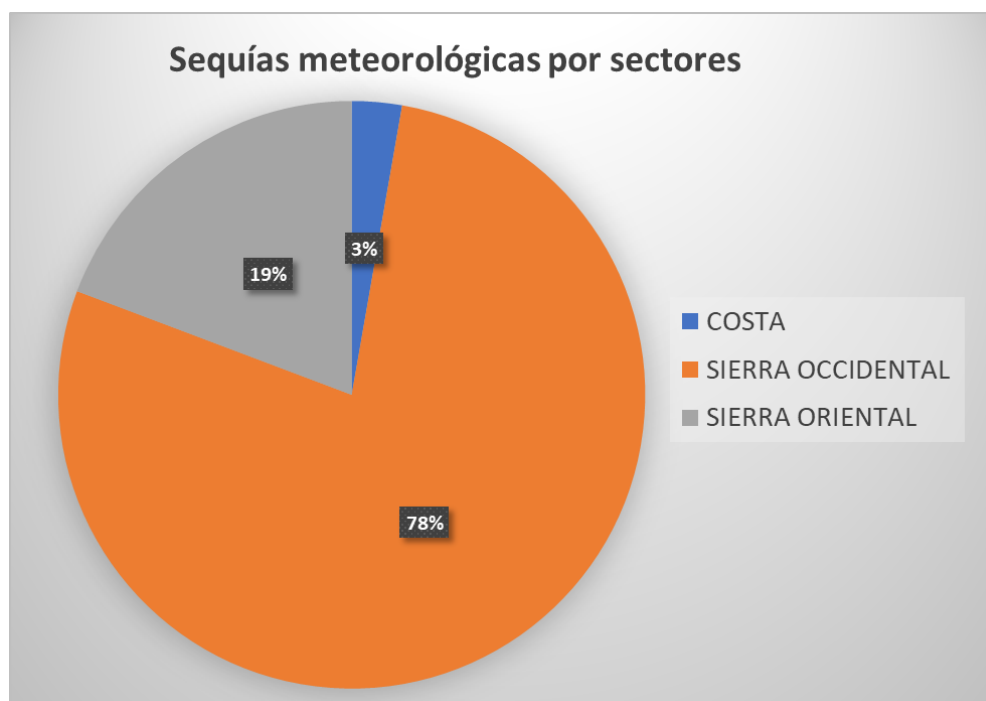


Figura 32. Comportamiento porcentual de las sequías meteorológicas dividida por sectores.

De la tabla 4 se identifica que muchas estaciones ya sea de manera generalizada para un año o de manera localizada registraron valores de SPI-3 de marzo con valores menores a -1.

Debido a este comportamiento, enfocándonos en los valores de SPI-3 de marzo se calculó, cuál de los sectores presenta mayores registros de SPI-3 con valores menores a -1 (sequía meteorológica) y se obtuvo (Figura 32) que la sierra occidental con alrededor del 78% de estaciones presentaron desde condiciones moderadamente secas, severamente secas a extremadamente secas. Por otro lado, se observa que la costa solo presentó 3% llegando a categorizarse estas solo como moderadamente secas, ello debido a como ya se conoce el sector costero incluso de todo el Perú se caracteriza por presentar un clima árido con deficiencia de lluvia en todo el año, es decir, las precipitaciones que se presentan en la costa son insignificantes en comparación a las que se presentan en el sector andino.

4.2.2. Anomalías porcentuales (%)

Como análisis adicional al cálculo del SPI-3 también se realizó los mapas de anomalías porcentuales de precipitación, enfocándonos en los años secos con SPI-3 de valores menos a -1.

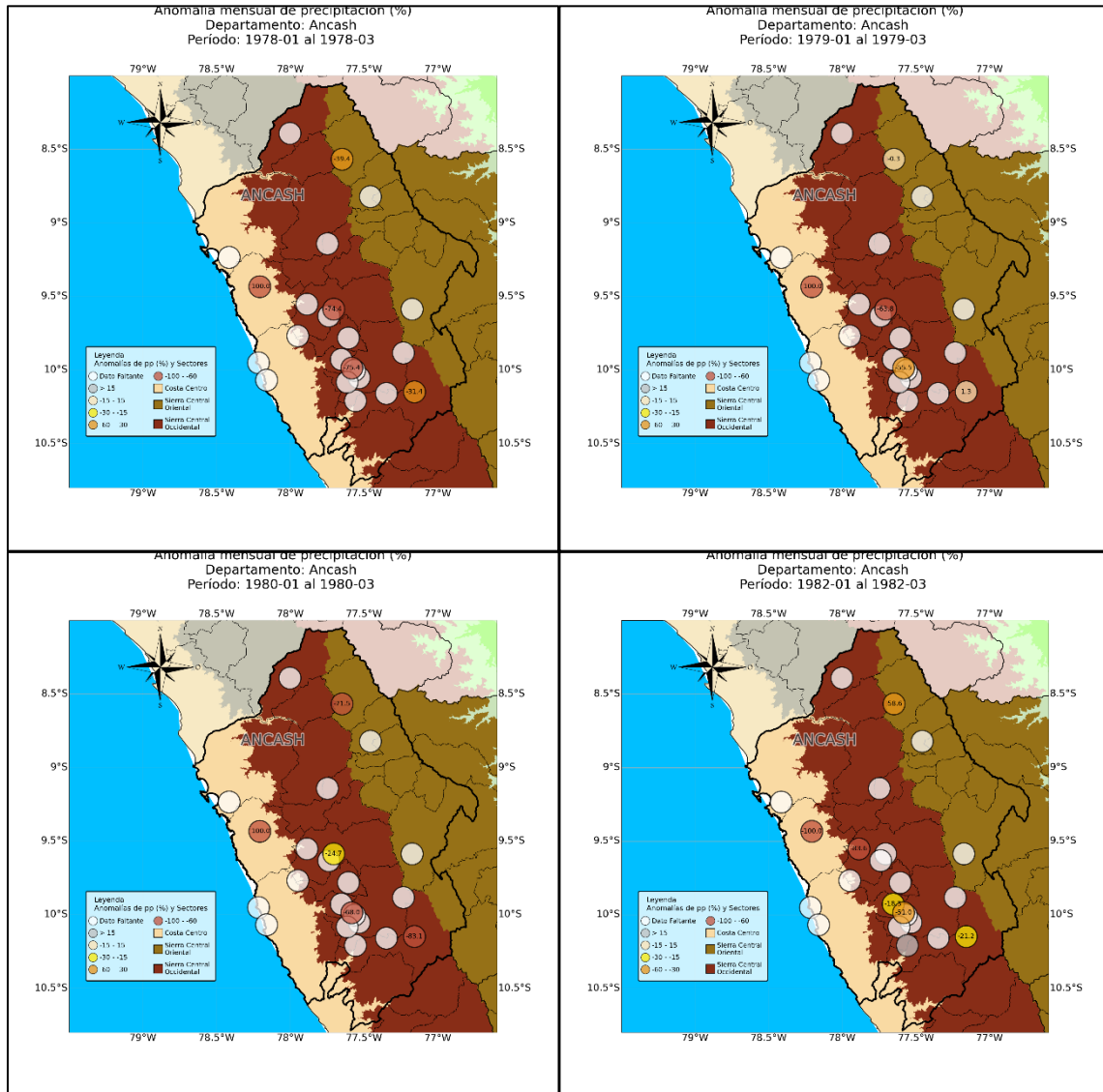


Figura 33. Mapas de anomalías porcentuales de precipitación para el período enero marzo de los años 1978, 1979, 1980 y 1982.

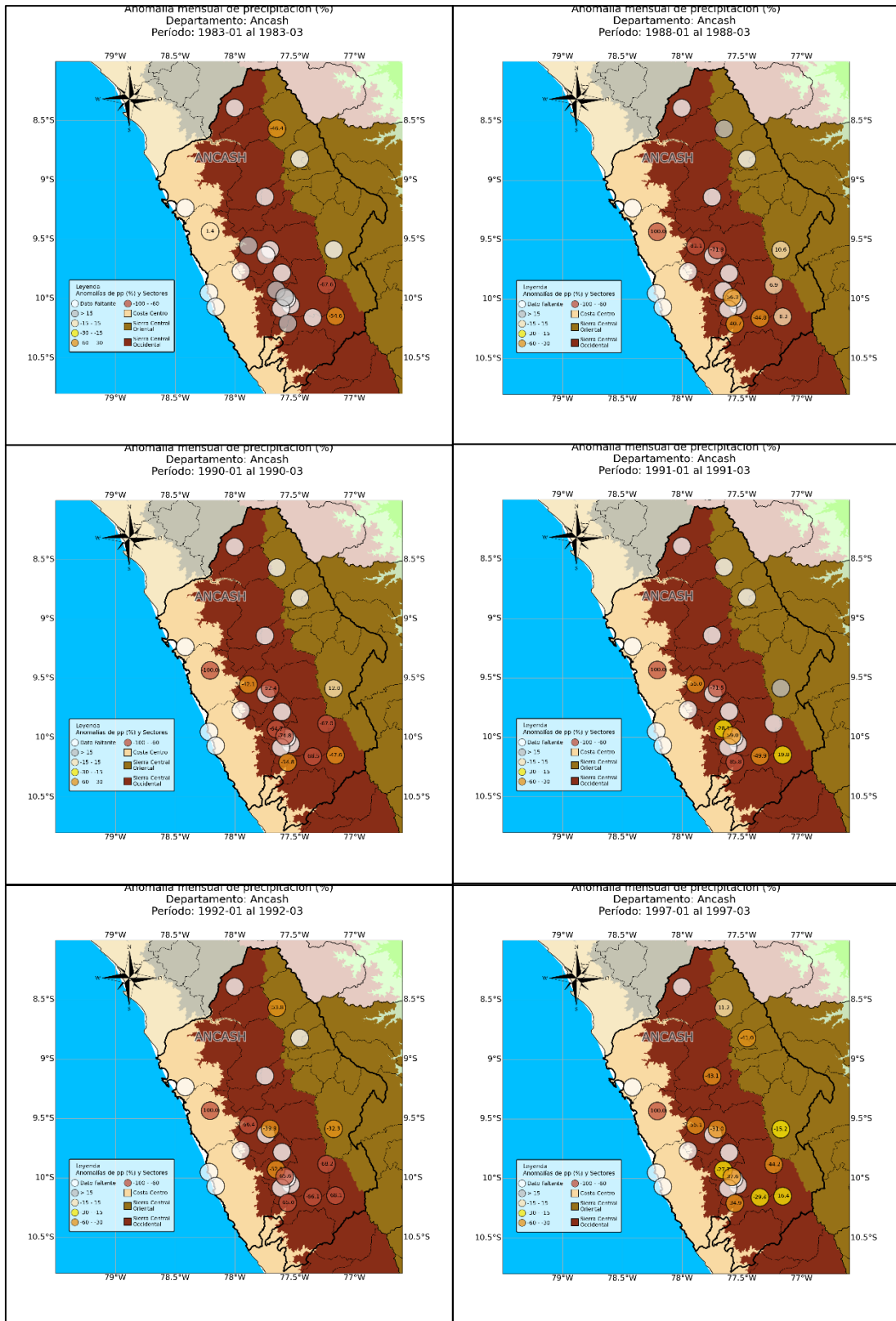


Figura 34. Mapas de anomalías porcentuales de precipitación para el período enero marzo de los años 1983, 1988, 1990, 1991, 1992 y 1997.

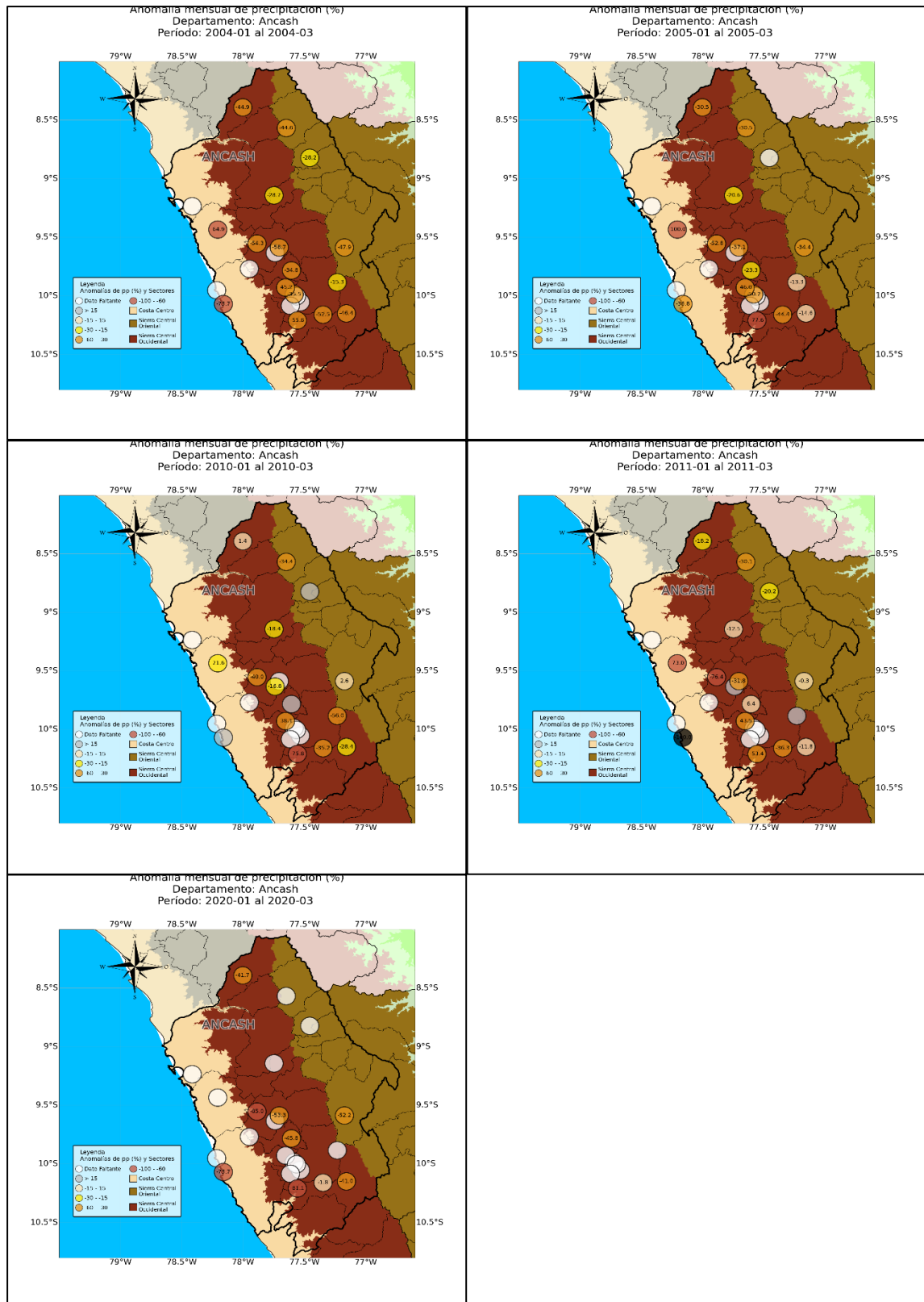


Figura 35. Mapas de anomalías porcentuales de precipitación para el período enero marzo de los años 2004, 2005, 2010, 2011 y 2020

Según la anomalía de precipitación (figuras 33-35) para el período enero - marzo, las deficiencias de lluvias se presentaron en todos estos años identificados con SPI-3 menor a -

1, es decir, años secos. Sin embargo, las más intensas que abarcaron en general toda la región Áncash se presentaron en los años 1997, 2004 y 2005, éstas se concentraron principalmente en la sierra occidental y sierra oriental, puesto que hacia la costa los acumulados no son tan significativos en comparación a los andes, gráficamente se observa que casi todas las estaciones tuvieron anomalías entre -15% a -100% (coloración amarilla a marrón, deficiencias/ déficits de lluvias). Cabe resaltar que se observa que las anomalías negativas no necesariamente estarían asociadas con índices SPI-3 marzo con valores menores a -1 y al comparar con el mapa de índice SPI-3 marzo (ver anexo 3 - 5) específicamente en el año 1997 lo que predomina son estaciones con SPI-3 con valores dentro de su rango normal, mientras que 2004 y 2005 si existe mayor relación de anomalías negativas con SPI-3 menores a -1.

4.3. Identificación de los Factores océano-atmosféricos que Condicionan la Ocurrencia de Sequías

4.3.1. Análisis atmosférico

4.3.1.1. Nivel 700 hPa

Climatológicamente en niveles bajos se tiene predominancia de flujos provenientes del este (Amazonía) aporte de humedad importante para la vertiente oriental principalmente.

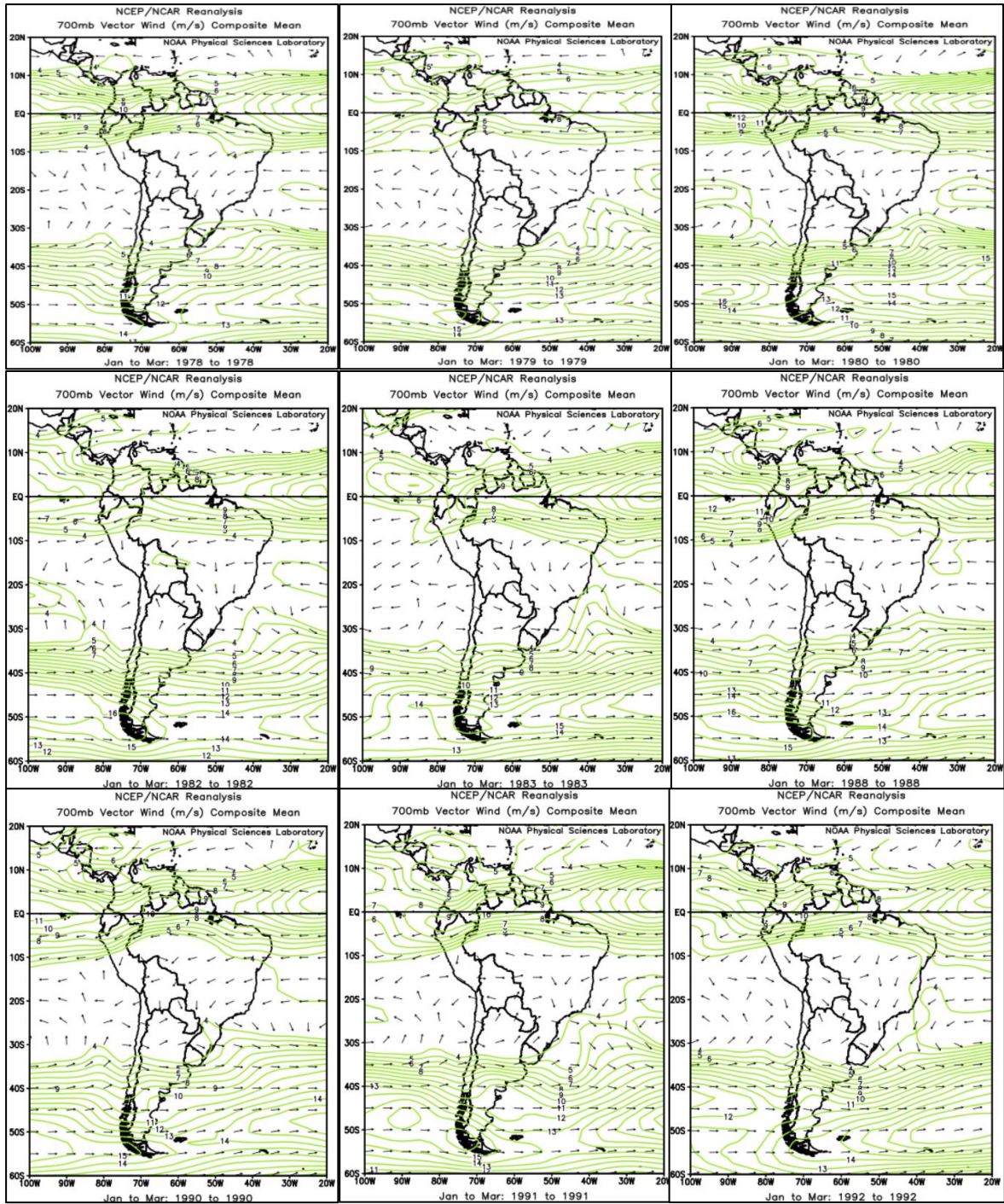


Figura 36. Comportamiento del viento en 700 hPa con datos de reanálisis NCEP/NCAR – 1978, 1979, 1980, 1982, 1983, 1988, 1990, 1991, 1992

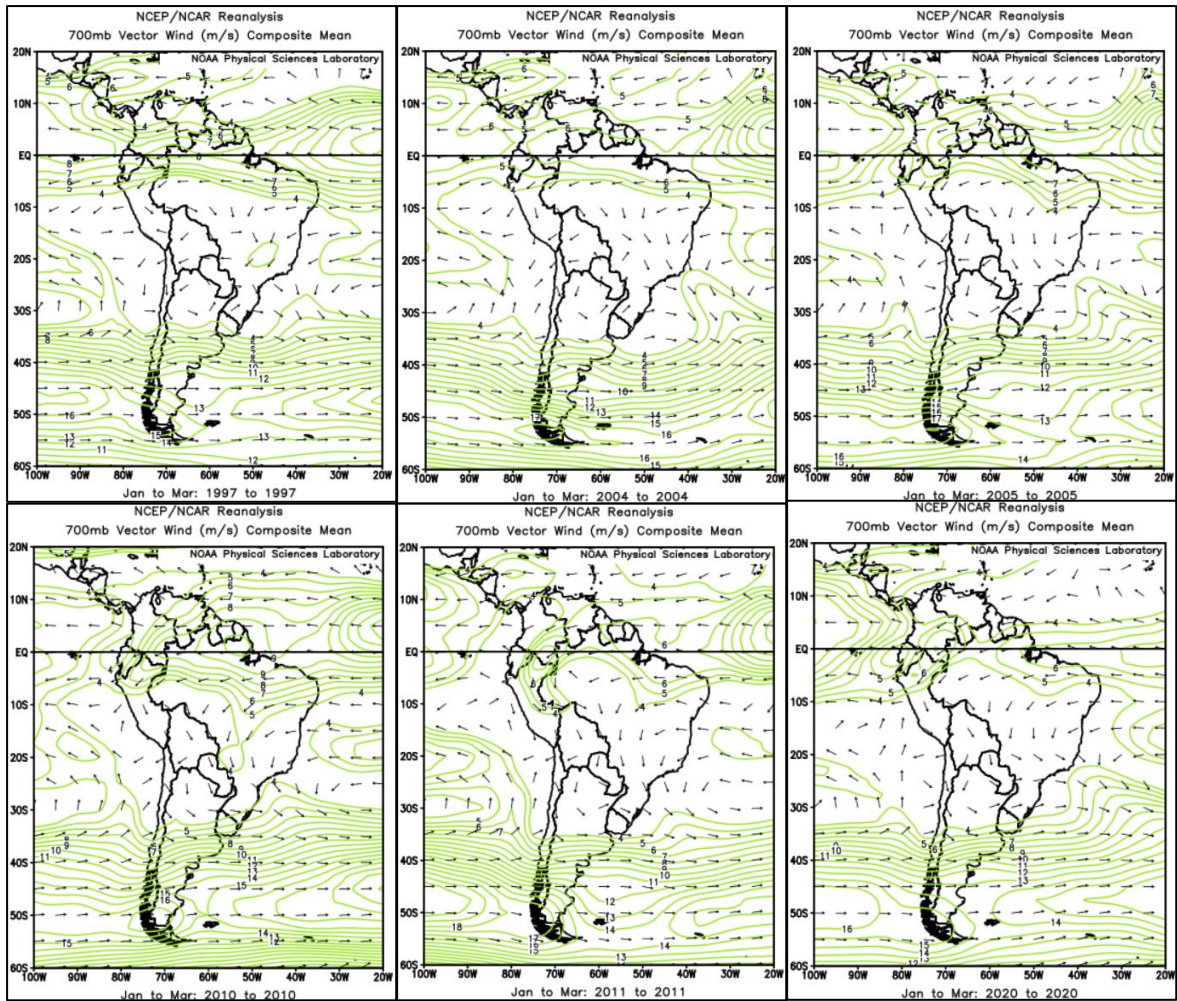


Figura 37. Comportamiento del viento en 700 hPa con datos de reanálisis NCEP/NCAR – 1997, 2004, 2005, 2010, 2011, 2020.

4.3.1.2. Nivel 500 hPa

Climatológicamente en niveles medios el ingreso de flujos del este es mucho más significativo para todo el sector andino (vertiente occidental y vertiente oriental) aportando humedad proveniente de la Amazonía para todo país y con ello generando precipitaciones importantes en los meses de verano debido a la posición del sol. Asimismo, en niveles medios los flujos del este son hasta aproximadamente los 20°S y más hacia el sur se tiene estragos de la corriente en chorro subtropical.

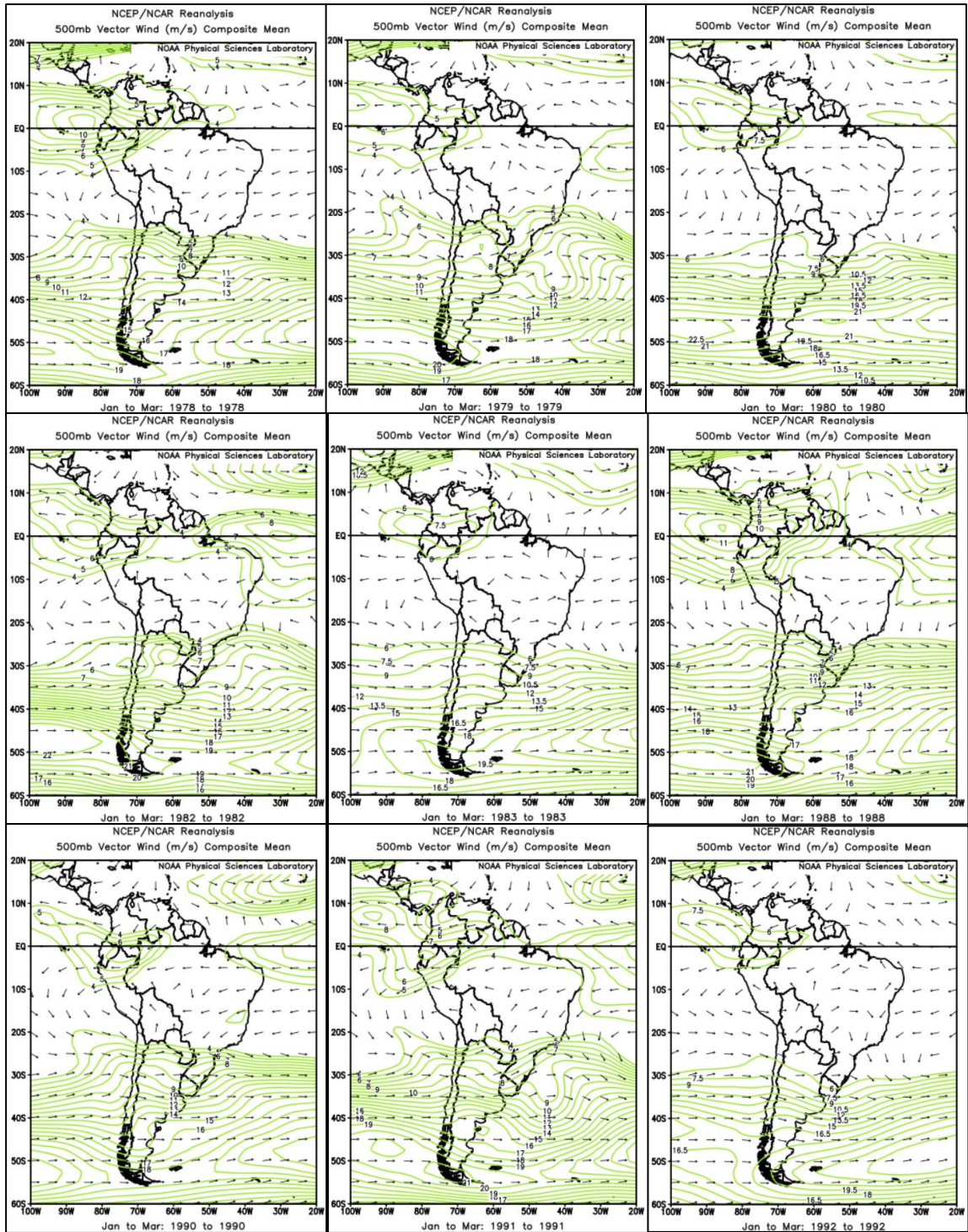


Figura 38. Comportamiento del viento en 500 hPa con datos de reanálisis NCEP/NCAR - 1978, 1979, 1980, 1982, 1983, 1988, 1990, 1991, 1992.

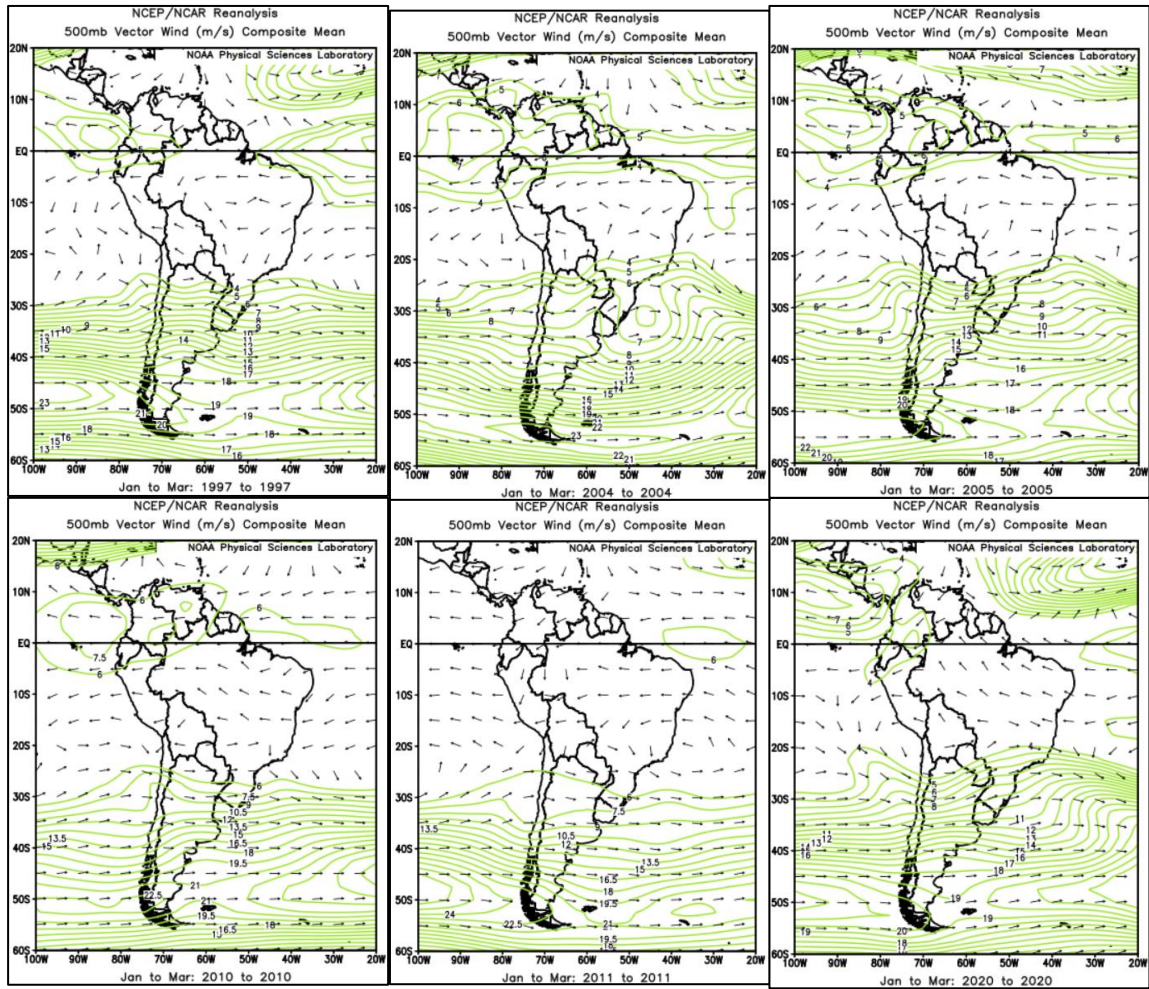


Figura 39. Comportamiento del viento en 500 hPa, con datos de reanálisis NCEP/NCAR - 1997, 2004, 2005, 2010, 2011, 2020.

4.3.1.3. Nivel 200 hPa

Climatológicamente en 200 hPa en el mes de enero (configuración habitual para todos los meses de verano) se observa la formación del Alta de Bolivia (AB) sobre el altiplano boliviano y este aporta calor latente para que el núcleo acompañado del vórtice del noreste de Brasil (VNEB).

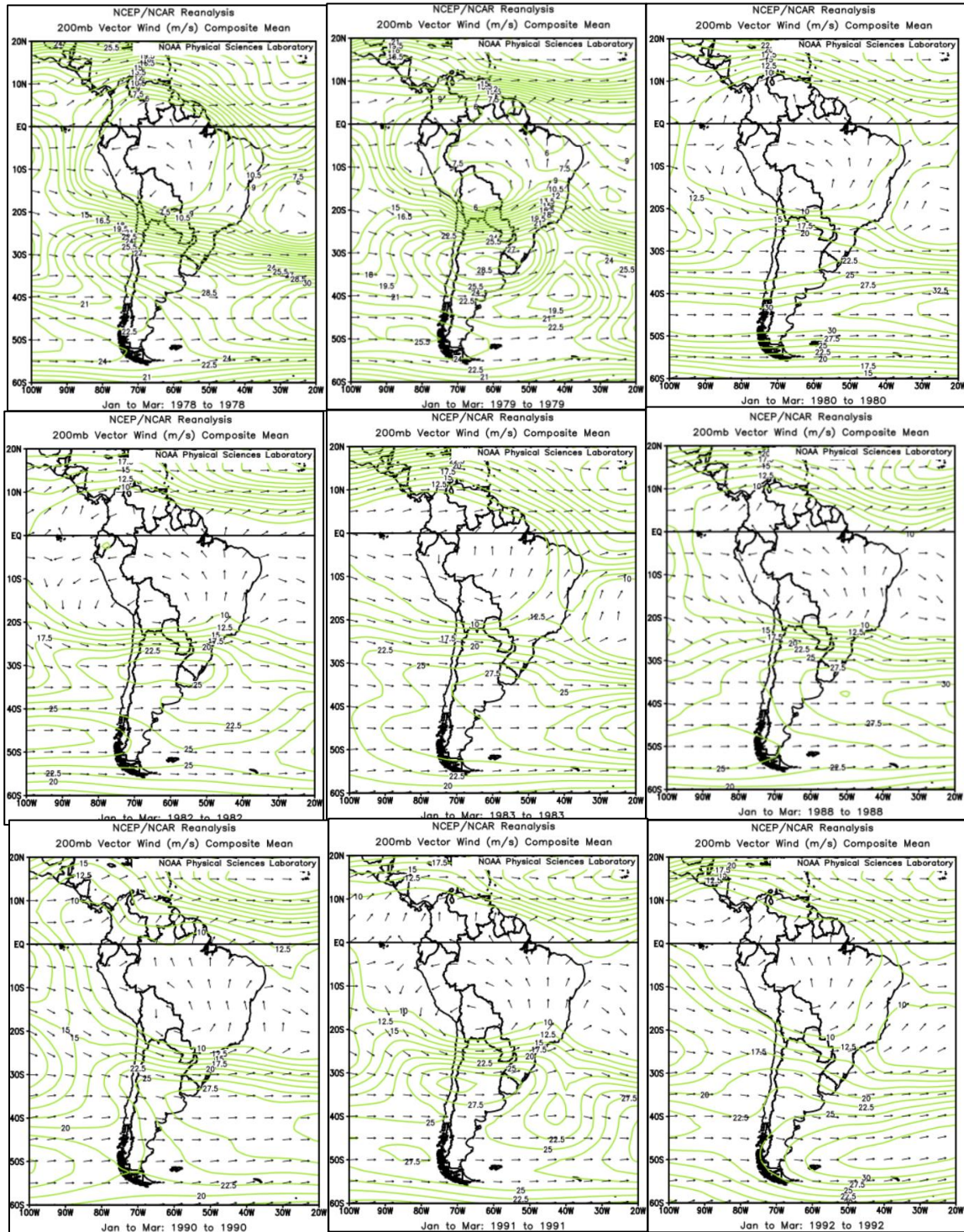


Figura 40. Comportamiento del viento en 200 hPa, con datos de reanálisis NCEP/NCAR - 1978, 1979, 1980, 1982, 1983, 1988, 1990, 1991, 1992.

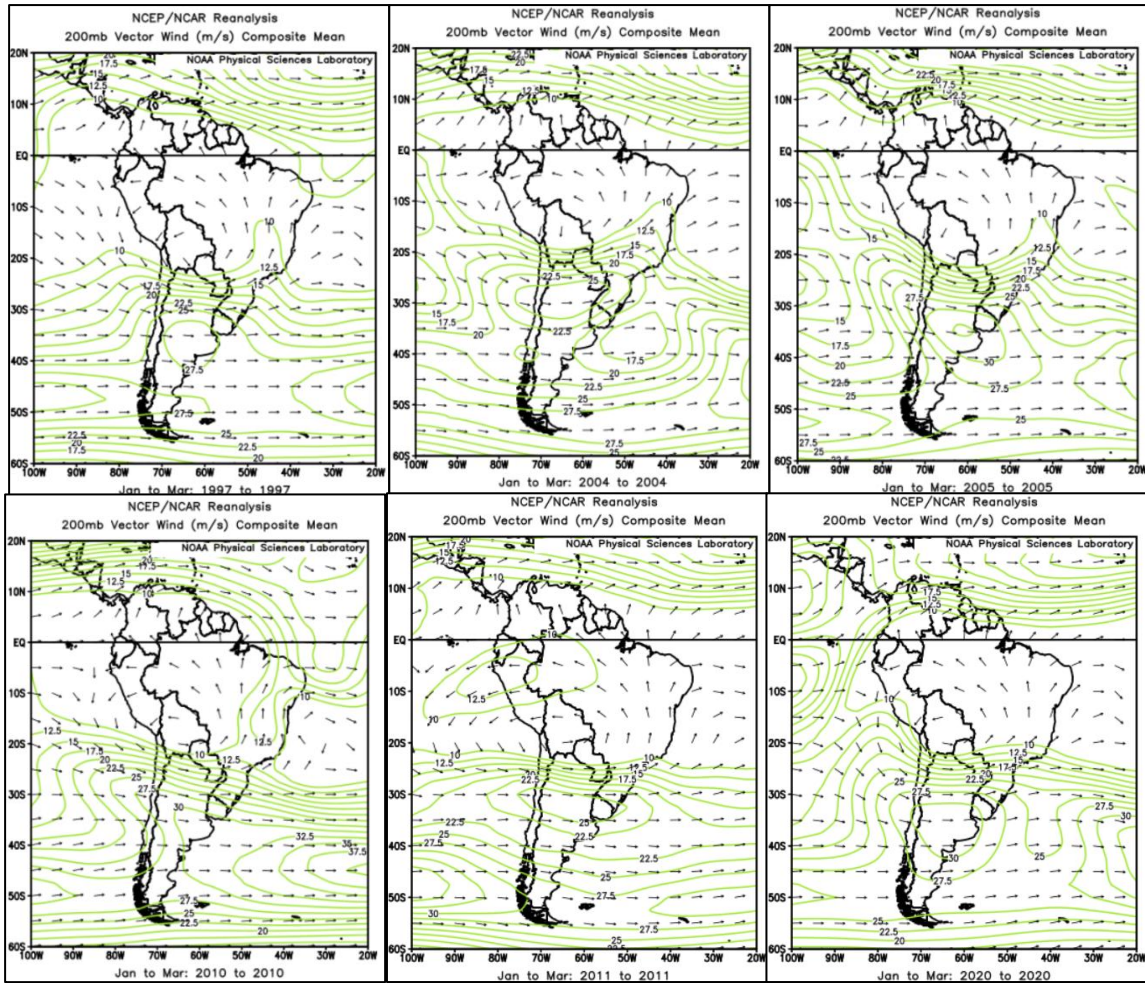


Figura 41. Comportamiento del viento en 200 hPa con datos de reanálisis NCEP/NCAR - 1997, 2004, 2005, 2010, 2011, 2020.

4.3.2. Humedad relativa

Climatológicamente en los meses de enero a marzo (Figura 42) se tiene mayor aporte de humedad en casi todo el país, exceptuando el sur extremo del país. Para la región Áncash se tiene que la humedad relativa en 300 hPa se presenta con valores mayores a 40%.

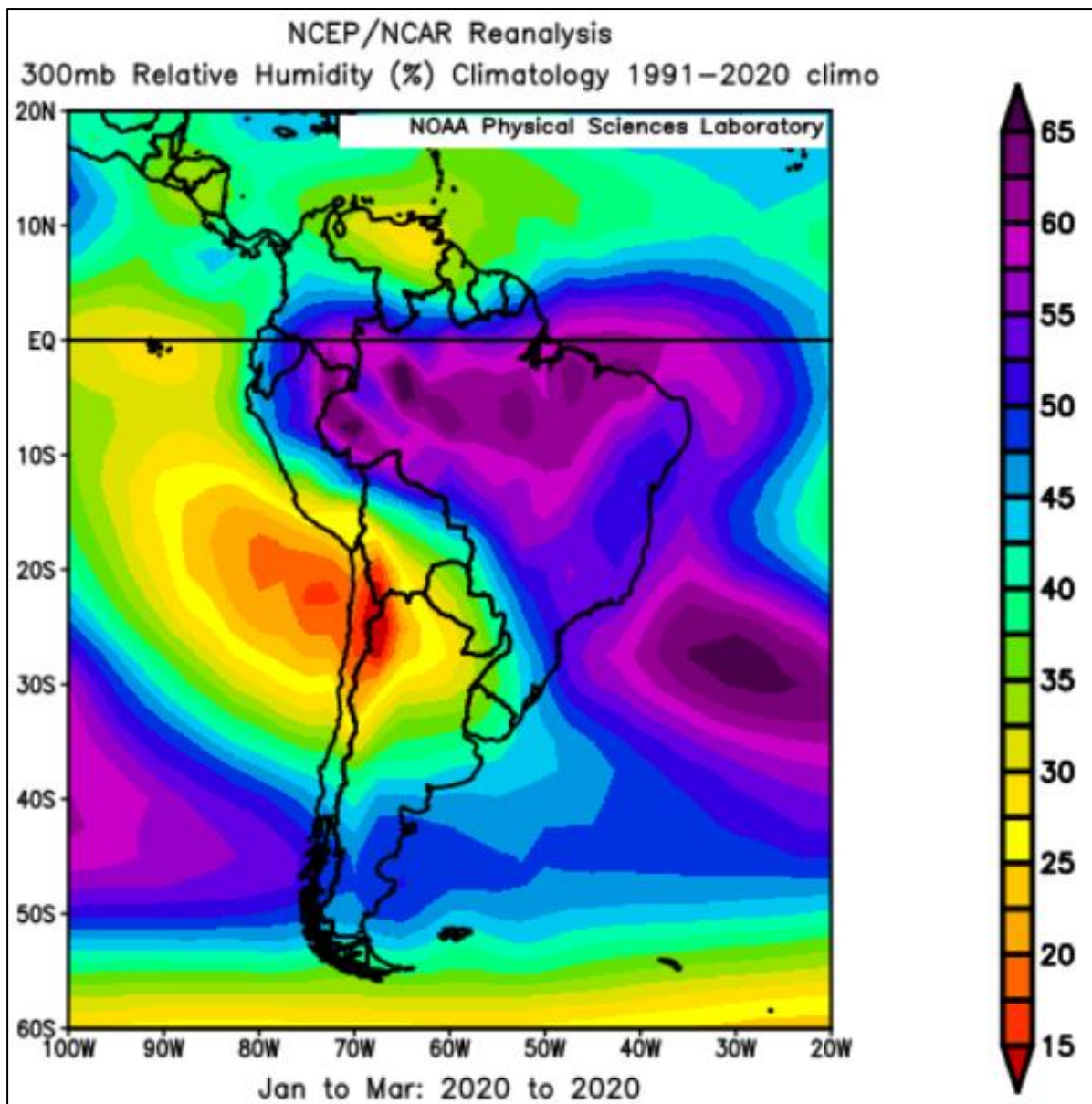


Figura 42. Humedad relativa promedio para el trimestre enero a marzo en el período climatológico 1991 - 2020, para Sudamérica obtenida de reanálisis NCEP/NCAR.

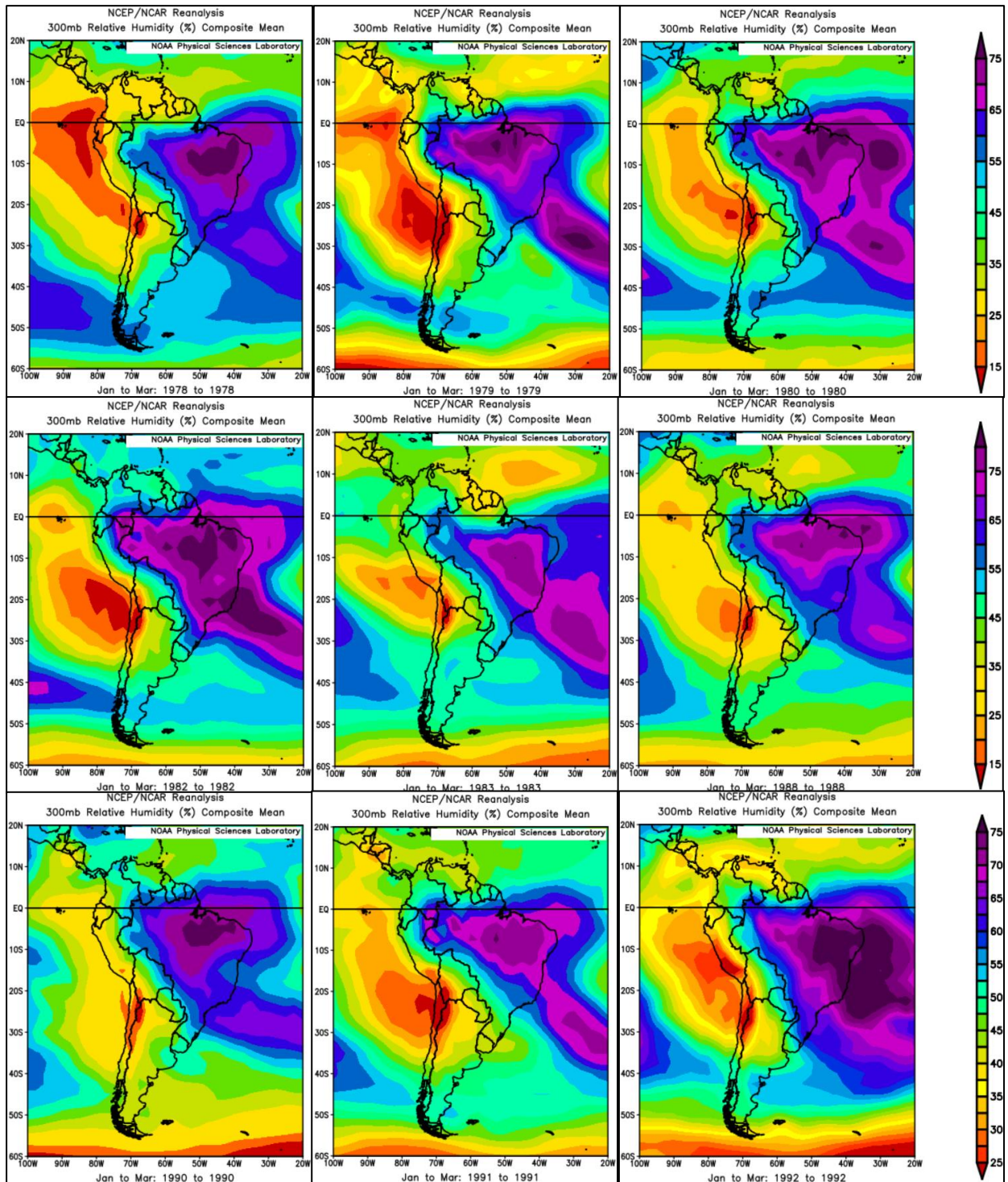


Figura 43. Comportamiento promedio de enero a marzo para años 1978, 1979, 1980, 1982, 1983, 1988, 1990, 1991 y 1992 de la humedad relativa en 300 hPa, datos de reanálisis NCEP/NCAR.

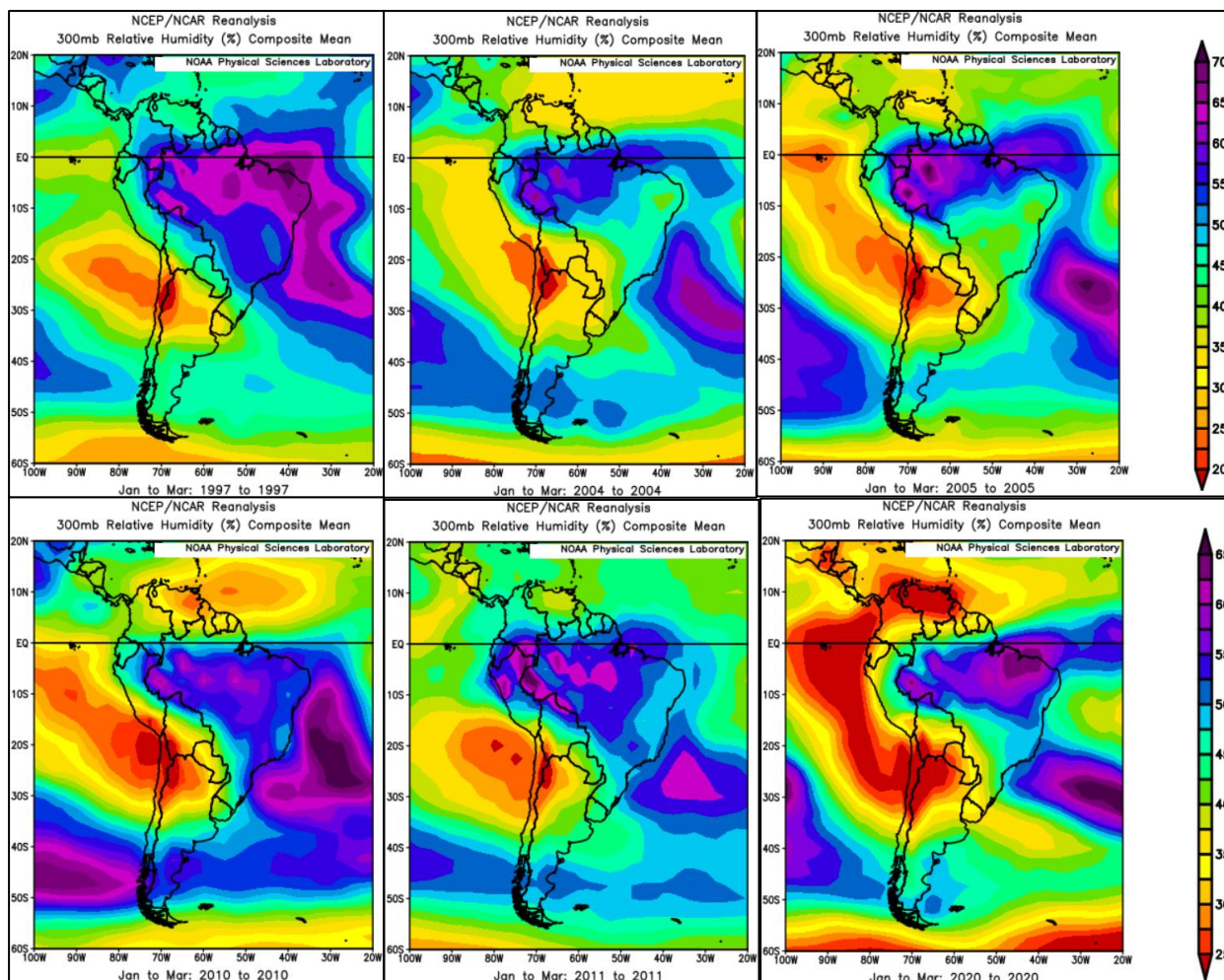


Figura 44. Comportamiento promedio de enero a marzo para años 1997, 2004, 2005, 2010, 2011 y 2020 de la humedad relativa en 300 hPa, datos de reanálisis NCEP/NCAR

En niveles bajos (Figuras 36 - 37), se observa que los flujos son predominantes del este, pero en general en esos años secos identificados éstos se posicionan más hacia el norte y también se desvían hacia el sureste, como el año 2011 antes de llegar a los andes, generando con ello que la humedad proveniente para la formación de sistemas convectivos característicos de la sierra en estos meses de análisis sean escasas para estos años. Por otro lado, no se debe descartar que algunos años como 1978, 1980, 1988, 1990, 1991, 1992 y 2020 se observa que estos flujos provenientes del este son más intensos y llegan hasta los 10°S, sin embargo, al corroborar de cuanta humedad relativa (Figuras 43-44) aportaron se tiene que esta es mínima.

En niveles medios (Figura 38-39), se observa en general que los flujos son provenientes del este para la región Áncash, sin embargo, éstos no estarían aportando suficiente humedad para contrarrestar la masa de aire seco de niveles altos que se observa en 300 hPa, excepto los años 1982, 1991, 1997 y 2011 en el que si se tuvo contribución importante de humedad para

la región en análisis pero que debido a que las condiciones en niveles altos no generaron condiciones de inestabilidad importante, entonces no se pudo dar la generación de precipitaciones características de la temporada.

En niveles altos (Figura 40-41) se observa una ligera configuración del AB, sin embargo, no está en su mejor posición además de que en todos los años no se observa que tenga el apoyo de la VNEB para que esta pueda contribuir la inestabilidad que en niveles altos se requiere y tampoco contribuye a que toda la humedad que se pueda tener se distribuya en el país.

Considerando los años en que la sequía abarcó más área para la región se observa que en los años 1980, 1990, 2004 y 2020 su núcleo se posicionó más hacia el sur, generando que no se tenga buena configuración y además debido a que no se tenía calor latente que alimente el núcleo de este sistema anticiclónico para que persista, lo cual también generó la falta de inestabilidad en niveles altos, además de que la distribución de humedad no sea efectiva hacia el sector andino. Por otro lado, en los años 1983, 1990 y 1992 se observa que en niveles altos se tiene predominancia de flujos del oeste es decir el Jet Subtropical, incluso generando que el Alta de Bolivia ni se llegue a configurar.

Tal como se mencionó líneas anteriores el comportamiento de la humedad relativa (Figuras 43-44) es algo variable, ya que en algunos años secos se identificó que se tuvo aporte de humedad, como en 1982, 1991, 1997, 2005, 2010 y 2011, pero esta no fue suficiente para generar las precipitaciones habituales o en exceso de la temporada. Asimismo, en la mayoría de figuras se observa que estos años secos predominó condiciones de humedad relativa menores a 35% generando precipitaciones escasas o nulas.

4.3.3. Interacción océano-atmósfera

Tabla 5. Valores del índice ICEN (Niño 1+2) e índice ONI (Niño 3.4)

ÍNDICE ICEN				ÍNDICE ONI			
Año	DJF	JFM	FMA		DJF	JFM	FMA
1978	0.7	0.4	0.1	1978	-0.45	-0.62	-0.72
1979	0	0.1	0.2	1979	-0.1	-0.28	-0.26
1980	0.6	0.5	0.3	1980	-0.24	-0.17	-0.07
1982	0	0.1	0.2	1982	-0.4	-0.72	-0.89
1983	2.2	1.9	1.5	1983	2.62	2.36	2.6
1988	0.8	0.5	0.1	1988	0.14	-0.31	-0.58
1990	0.1	0.2	0.3	1990	-0.34	-0.3	-0.3
1991	0.4	0.3	0.2	1991	-0.47	-0.32	-0.22
1992	1.7	1.6	1.5	1992	0.64	0.83	1.42
1997	-0.5	-0.4	-0.1	1997	-0.74	-0.14	0.48
2004	0.4	0.3	0.2	2004	-0.01	-0.28	-0.39
2005	0.6	0.6	0.4	2005	-0.19	-0.75	-0.87
2010	1.5	1.2	0.8	2010	0.34	0.22	0.1
2011	-1.4	-1.2	-0.9	2011	-0.51	-0.45	-0.34
2020	0.5	0.5	0.4	2020	-0.16	-0.15	0.1

Realizando un análisis de los años secos con los índices del ENSO (ICEN – Pacífico oriental y ONI – Pacífico central - Tabla 5), se observa que estos años varían desde condiciones normales (color negro) a condiciones de “El Niño” (anomalía positiva, color rojo) y “La Niña” (anomalía negativa, color azul). Por ello nos enfocaremos en los años de sequía con mayor intensidad en extensión sobre la región Áncash que fueron los años 1980 – El Niño Costero y Pacífico central condiciones neutras, 1990 – Pacífico oriental y central condiciones neutras, 1992 – El Niño costero y El Niño, 2004 – Pacífico oriental y central condiciones neutras y 2020 – Pacífico oriental y central condiciones neutras, De estos cinco años más significativos como años secos en la región Áncash no se observa que exista una relación directa entre el desarrollo del Fenómeno El Niño o La Niña con las condiciones de sequías.

V. CONCLUSIONES

- La región Áncash se caracteriza por presentar un fuerte contraste altitudinal desde la costa hacia la región andina, por lo cual quizás en este informe no se pudo identificar que otras zonas son las más afectadas debido a que no se tiene suficientes estaciones meteorológicas, como el norte de la región o la vertiente oriental.
- Con los informes y reportes periodísticos se concluye que desafortunadamente no se tiene mucha información acerca de las sequías en la región.
- En las encuestas se identificó que las mayores afectaciones que la población sufre debido a sequías meteorológicas son: escasez de agua, que estaría asociado a las sequías hidrológicas y pérdida de cultivos (sequía agrícola) o ganados afectando directamente el ingreso de los pequeños productores.
- En las encuestas se identificó que desafortunadamente no se tiene claro la definición de una sequía y lo que ello implica, por lo cual solo se identificó que se coincidió con los años 1990 y 2020 (reciente) que fue mencionada por encuestados como presencia de sequía para la región.
- Las estaciones de la vertiente occidental del sector andino son las que en mayor cantidad registran valores de SPI-3 de marzo con valores menores a -1, por ende, se concluye que son las que mayor afectación tienen cuando se presentan sequías meteorológicas.
- Desde el año 1975 al 2022, se identificó 15 eventos de sequías meteorológicas importantes en la región Áncash en los años 1978, 1979, 1980, 1982, 1983, 1988, 1990, 1991, 1992, 1997, 2004, 2005, 2010, 2011 y 2020; de estos las más significativas en extensión para la región se presentaron en los años 1980, 1990, 1992, 2004 y 2020. Asimismo, la vertiente occidental es la que mayor frecuencia de sequías meteorológicas tiene en relación a las sequías categorizadas como “Extremadamente seco”.

- El aporte de humedad para la región es variable en niveles medios (500 hPa) y bajos (700 hPa), pero lo que si se observa que a pesar de que se pueda tener aporte de humedad proveniente de la Amazonía si la configuración del Alta de Bolivia (200 hPa) no se encuentra alrededor de su posición climatológica entonces las precipitaciones para la región Áncash serán deficitarias. Asimismo, resaltar que en la mayoría de años secos identificados predomina humedad relativa con valores menores a 35%.
- No se identificó una relación directa de la presencia del Fenómeno ENSO en su fase positiva, negativa o neutra con que se presente sequía meteorológica en la región Áncash.

VI. RECOMENDACIONES

- Trabajar en capacitaciones para que la población en general sepa identificar los temas asociados al tiempo y clima, trabajar en una cultura meteorológica, más aún en este contexto del cambio climático.
- Realizar un análisis más profundo de la influencia de los factores locales sobre sequías y no solo meteorológicas.
- Implementación de más estaciones meteorológicas a largo plazo, puesto que es necesario para un análisis más exhaustivo y profundo, además que se requiere de recopilación de información climática.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED). (2013). Escenario probable de riesgos ante el fenómeno “la niña” en la costa del Perú. CENEPRED - Ministerio del Ambiente, Lima. Recuperado de <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/escenario-probable-riesgos-ante-fenomeno-nina-costa-peru>
- Centro de Operaciones de Emergencia Nacional (COEN). (2020). Sistema de información sobre recursos para atención de desastres. <https://www.gob.pe/10140-instituto-nacional-de-defensa-civil-centro-de-operaciones-de-emergencia-nacional-coen>
- Endara, S. (2019). Monitoreo de sequías para sistemas de alerta temprana. Lima: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.
- Gestión. (2020). Gobierno declara en emergencia por déficit hídrico estos 181 distritos de seis regiones. <https://gestion.pe/peru/gobierno-declara-en-emergencia-por-deficit-hidrico-estos-181-distritos-de-seis-regiones-noticia/>
- Hadley, G. (1735). On the Cause of the General Trade Winds. *Philosophical Transactions of the Royal Society*. <https://doi.org/10.1098/rstl.1735.0014>
- IPCC. (2008). El cambio climático y el agua. Documento técnico VI del IPCC. <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/climate-change-water-sp.pdf>
- Ledesma J. (2011). Principios de Meteorología y Climatología. España, Ediciones Paraninfo S.A. 552p. ISBN: 9788497325660.
- Martínez P. & Díaz D. (2018). Tendencias de la precipitación y su relación con el índice oceánico El Niño. El caso de la región Mixteca, México. *Ingeniería del agua* 22(1):13-14. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/100011/7779-34190-1-PB.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Organización Meteorológica Mundial. (2012). Guía del Usuario sobre el Índice Normalizado de Precipitación. (OMM-N° 1090), 3-7. Ginebra: OMM.

- Pabón, J., & Torres, G. (2007). Impacto socioeconómico de los fenómenos El Niño y La Niña en la Sabana de Bogotá durante el siglo. Cuadernos de Geografía - Revista Colombiana de Geografía (16), 81.
- Poveda, G., & Mesa, O. (1996). Las fases extremas del fenómeno ENSO (El Niño y La Niña) y su influencia sobre la hidrología de Colombia. Ingeniería Hidráulica en México, XI(1), 21-23.
- Silva, Y., Takahashi, K., & Chávez, R. (2008). Dry and wet rainy seasons in the Mantaro river basin (Central Peruvian Andes). Advances in Geosciences, 14, 261-264. <https://doi.org/10.5194/adgeo-14-261-2008>
- Sulca, B. (2020). Patrones océano – atmosféricos y teleconexiones asociadas a las sequías meteorológicas extremas en la sierra sur del Perú”. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.
- Vega, F (2018). Variabilidad Espacio – Temporal de las sequías en el Perú y el peligro asociado al fenómeno del Niño. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.
- Wallace, J. & Hobbs, P. (2006). Atmospheric Science. Estados Unidos, Academic Press. 504p. ISBN: 9780127329512.
- SENAMHI. (2021h). Glosario de términos relacionados a sequías, gestión del riesgo y cambio climático. (Avalos G., K. Correa, K. Quevedo, C. Tello, S. Endara, J. Acuña, O. Varillas, G. Romero, K. Cristóbal). Proyecto Pachayatiña/Pachayachay. SENAMHI-HELVETAS- PREDES.
- Gilford, M.T., Vojtesak, M.J., Myles, G., Bonam, R.C., & Martens, D.L. (1992). South America South of the Amazon River--A Climatological Study.
- Noriega Falcón, M. M. (2017). Caracterización de las sequías hidrológicas en la cuenca del Santa-en la Región Ancash-2015.
- SENAMHI. (2019). Caracterización espacio temporal de la sequía en los departamentos altoandinos del Perú (1981-2018). S. Endara, J. Acuña, F. Vega, C. Febre, K. Correa, G. Avalos. Lima, 2019.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Instrumentos de recolección de datos N° 1 – Encuesta a público en general

Sección 1 de 5

ANÁLISIS - Cuestionario 1

Público en general

TÉRMINOS IMPORTANTES:

Sequías: Ausencia de lluvias en época lluviosa

Correo electrónico *

Correo electrónico válido

Este formulario recopila correos electrónicos. [Cambiar la configuración](#)

ENFOQUE POBLACIONAL

Descripción (opcional)

Nombre y apellidos *

Texto de respuesta largo

<https://forms.gle/vLibao7FGHwbX68p7>

Anexo 2. Instrumentos de recolección de datos N° 2 – Encuesta a especialistas técnico - científicos

Sección 1 de 6

ANÁLISIS - Cuestionario 2

Público en general

TÉRMINOS IMPORTANTES:

Sequías: Ausencia de lluvias en época lluviosa

Correo electrónico *

Correo electrónico válido

Este formulario recopila correos electrónicos. [Cambiar la configuración](#)

ENFOQUE POBLACIONAL

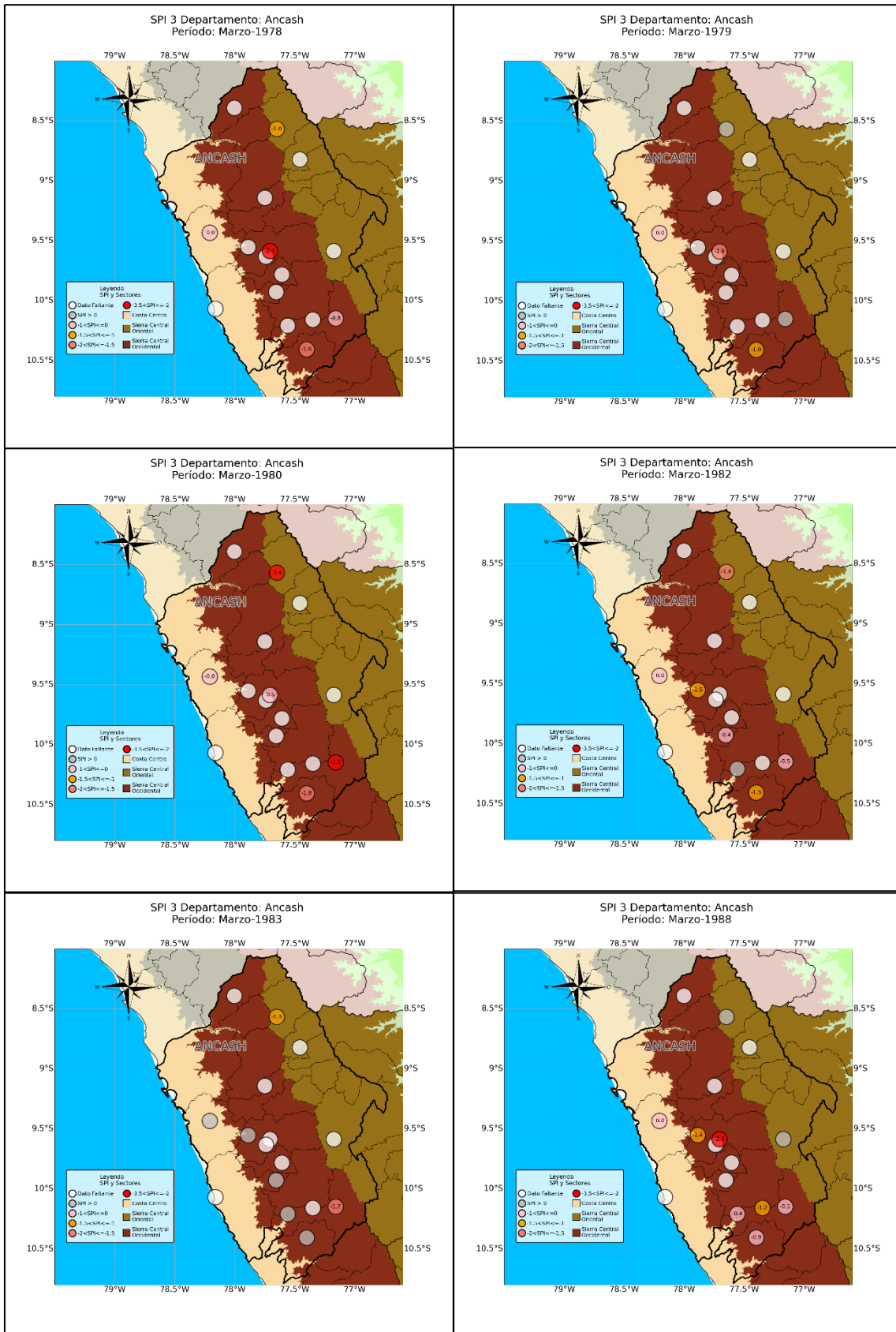
Descripción (opcional)

Nombre y apellidos *

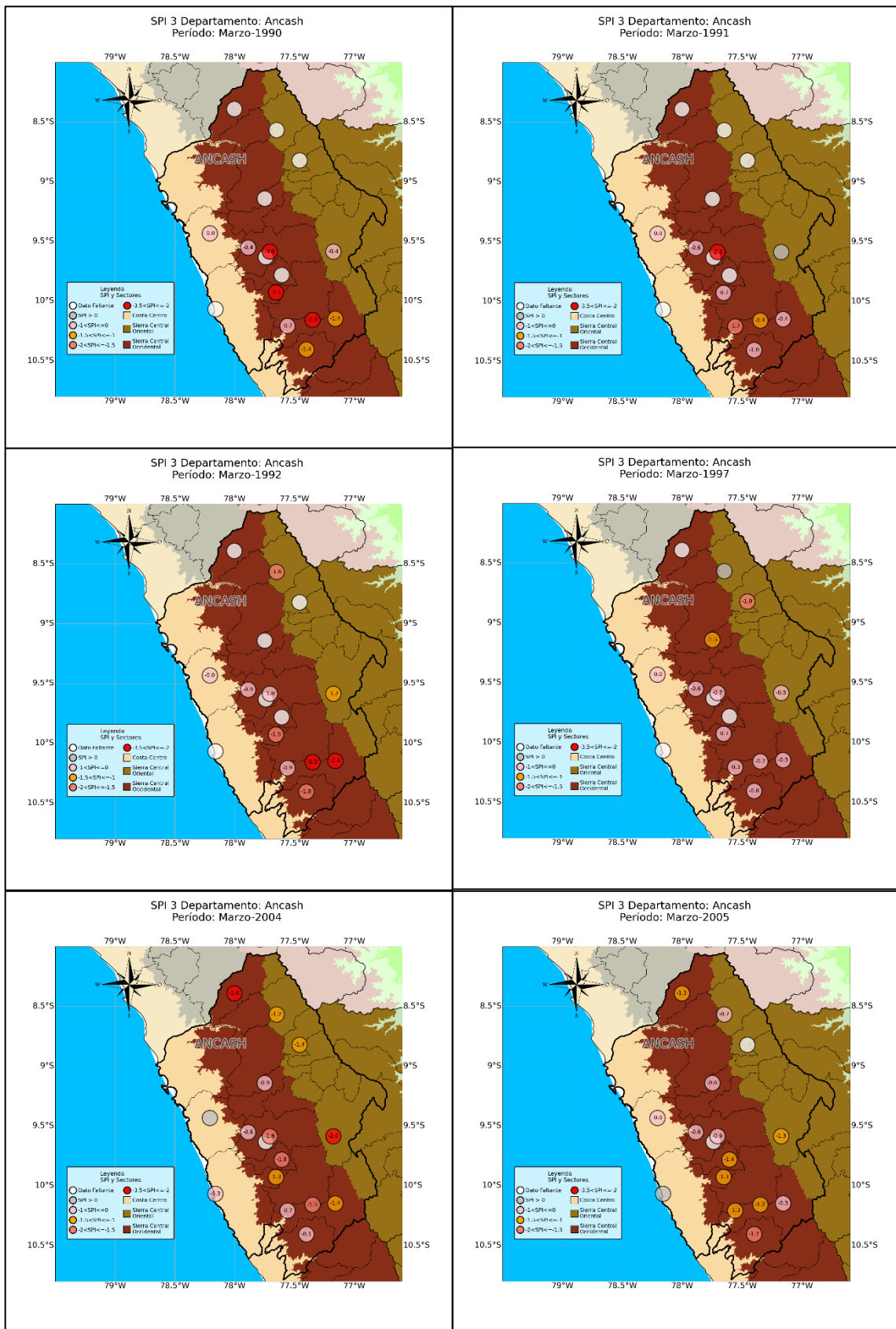
Texto de respuesta largo

<https://forms.gle/rLVve9gTHA7CacE19>

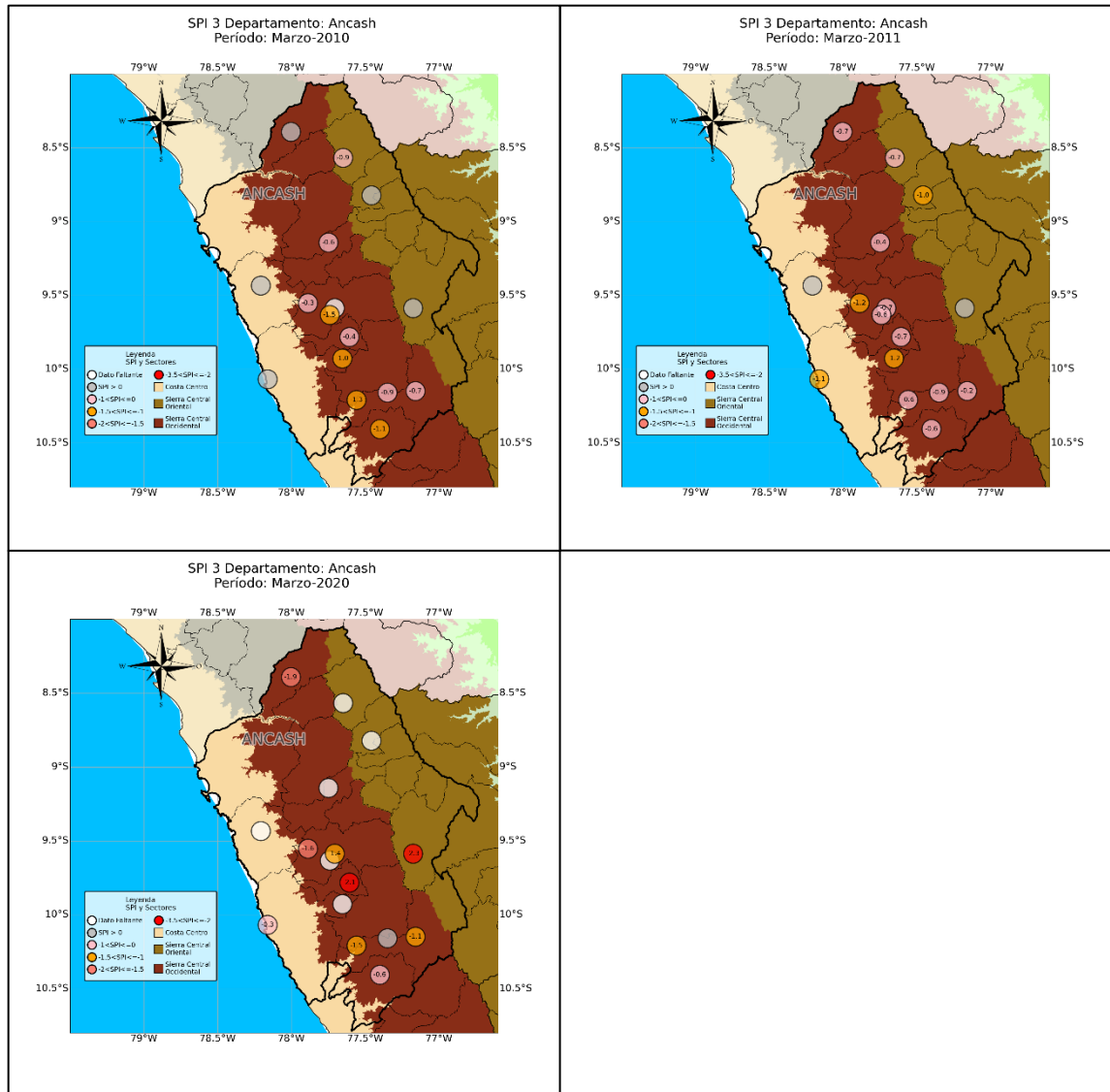
Anexo 3. Comportamiento espacial del índice SPI-3 marzo



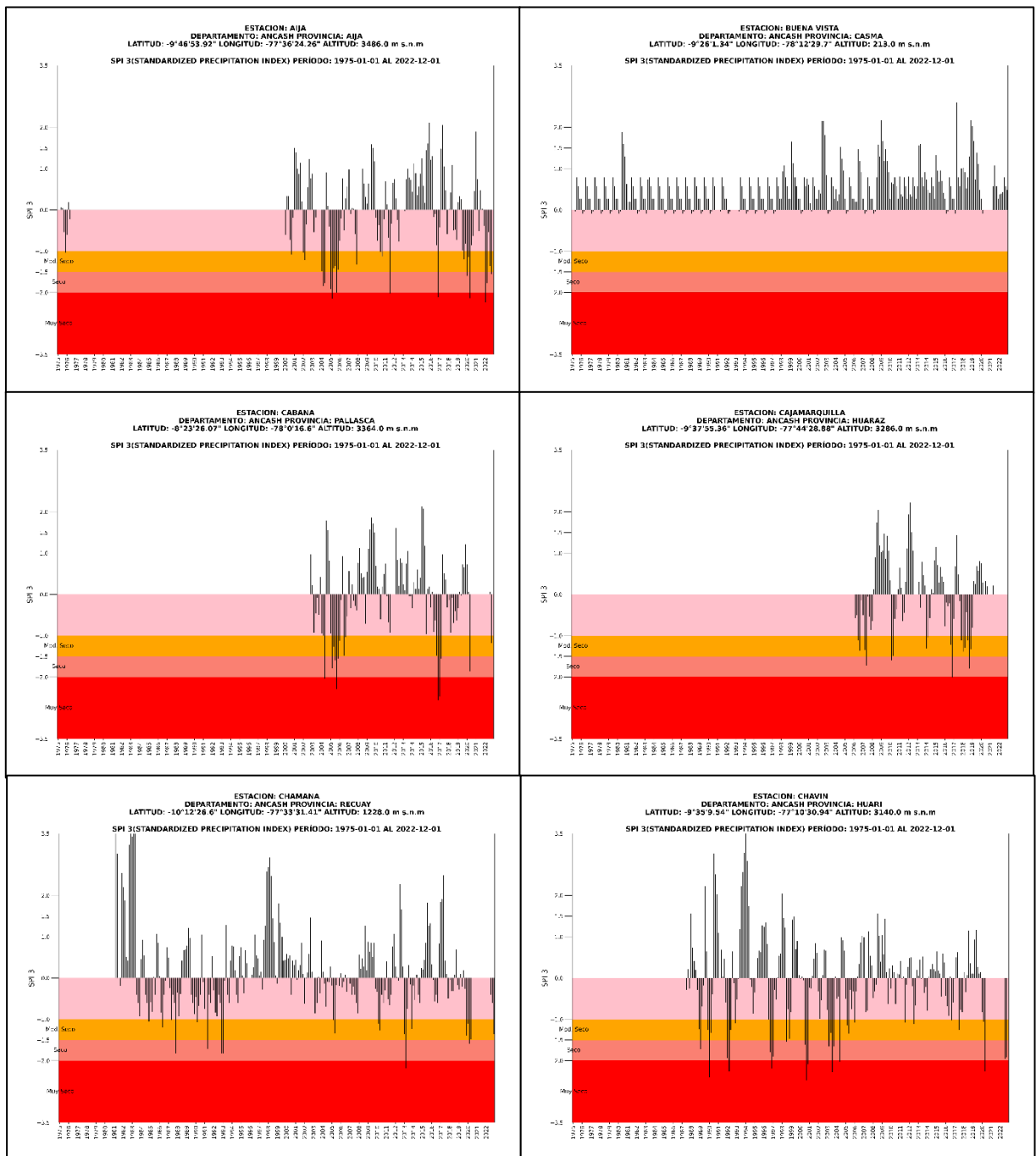
Anexo 4. Comportamiento espacial del índice SPI-3 marzo



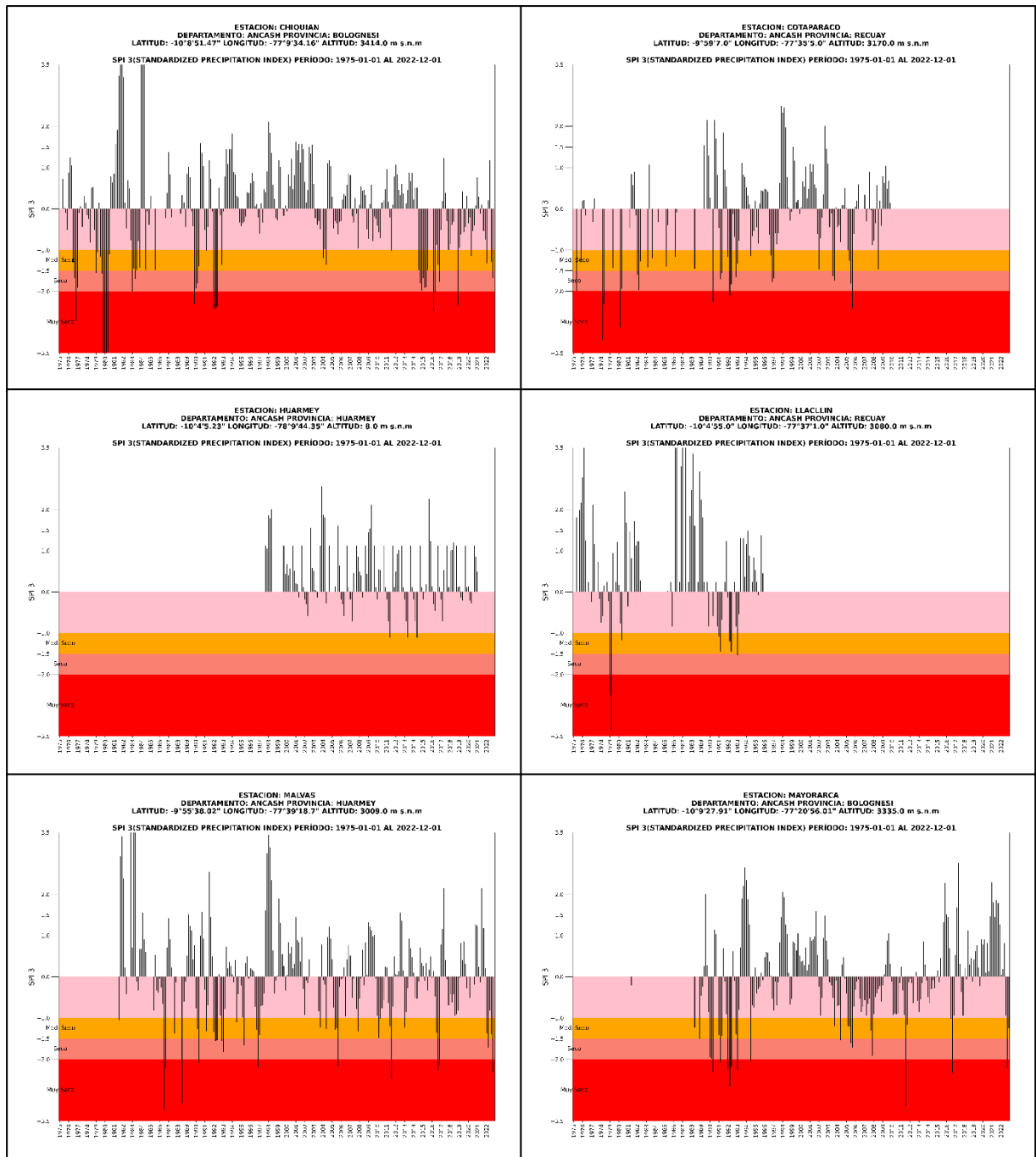
Anexo 5. Comportamiento espacial del índice SPI-3 marzo



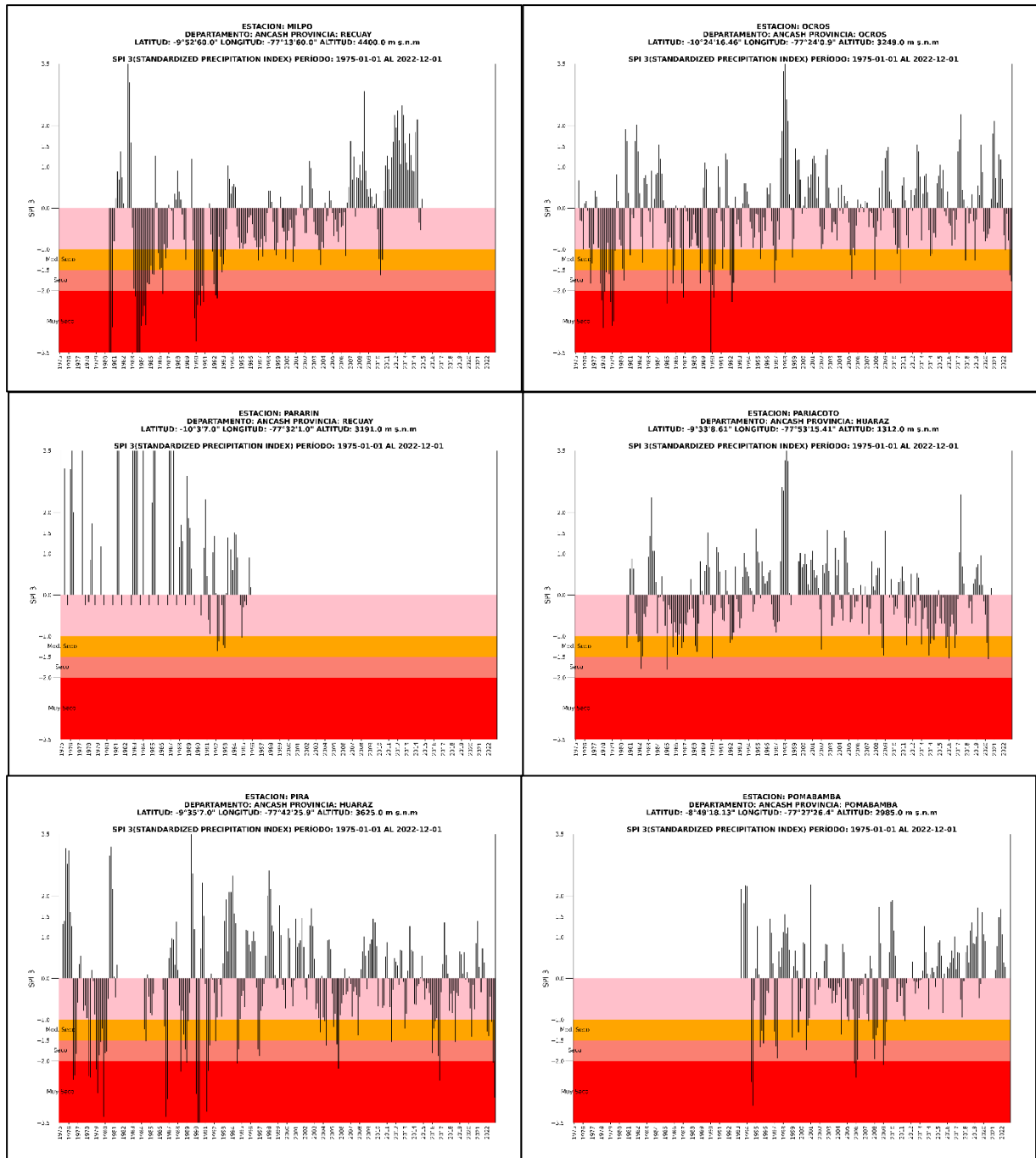
Anexo 6. Comportamiento temporal del índice SPI-3 en las estaciones de la región Áncash



Anexo 7. Comportamiento temporal del índice SPI-3 en las estaciones de la región Áncash



Anexo 8. Comportamiento temporal del índice SPI-3 en las estaciones de la región Áncash



Anexo 9. Comportamiento temporal del índice SPI-3 en las estaciones de la región Áncash

