

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS**



**“ANÁLISIS OCÉANO - ATMOSFÉRICO ASOCIADOS  
A LA DISMINUCIÓN DE PRECIPITACIONES Y CAUDALES  
EN EL NOROCCIDENTE DEL PERÚ DURANTE FEBRERO 2021”**

Trabajo de Suficiencia Profesional para Optar el Título de:

**INGENIERO METEORÓLOGO**

**JOEL YOEL ALANIA SUMARAN**

Lima – Perú

**2024**

---

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

# ANÁLISIS OCÉANO - ATMOSFÉRICO ASOCIADOS A LA DISMINUCIÓN DE PRECIPITACIONES Y CAUDALES EN EL NOROCCIDENTE DEL PERÚ DURANTE FEBRERO 2021

## INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>18%</b>	<b>18%</b>	<b>7%</b>	<b>5%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>4%</b>
<b>2</b>	<b>repositorio.lamolina.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>4%</b>
<b>3</b>	<b>www.senamhi.gob.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>cdn.www.gob.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>issuu.com</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>6</b>	<b>www.ambiente.gob.ec</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>7</b>	<b>reliefweb.int</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<b>pirhua.udep.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**“ANÁLISIS OCÉANO - ATMOSFÉRICO ASOCIADOS  
A LA DISMINUCIÓN DE PRECIPITACIONES Y CAUDALES  
EN EL NOROCCIDENTE DEL PERÚ DURANTE FEBRERO 2021”**

Trabajo de Suficiencia Profesional para Optar el Título Profesional de:

**INGENIERO METEORÓLOGO**

Presentada por:

**JOEL YOEL ALANIA SUMARAN**

Sustentada y aprobada por el siguiente jurado:

---

Mg. Sc. Victoria Doris Calle Montes  
PRESIDENTE

---

Mg. Sc. Weidi Flores Villanueva  
MIEMBRO

---

Mg. Sc. Julio Alfonso Arakaki Kiyán  
MIEMBRO

---

Mg. Sc. Eusebio Idelmo Cisneros Tarmeño  
ASESOR

## **DEDICATORIA**

*A Dios, por guiar mi camino y nunca abandonar a esta oveja negra. Y, dedico también, con profundo amor y gratitud a la mujer que me inspiró a ser mejor cada día, por sus sacrificios, enseñanzas y su paciencia, mi madre Umbrosa Sumarán Falcón.*

*Sin ti, este sueño no hubiera sido posible.*

## **AGRADECIMIENTO**

*Un agradecimiento especial a mi asesor y profesores de la Universidad Nacional Agraria La Molina, que han sido pilares fundamentales en mi formación académica.*

*A la familia de la Dirección Zonal 2 – Lambayeque del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú por su apoyo y afecto durante el proceso de la investigación.*

*Mi gratitud y aprecio a cada una de las personas que acompañaron mis distintas etapas de mi vida y que me brindaron su tiempo, escuchando mis inquietudes, celebrando mis pequeñas victorias, o simplemente ofreciendo un espacio de descanso y compañía, su presencia fue consuelo necesario para continuar.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
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 Red Nacional de Estaciones del SENAMHI.....	4
2.2 Precipitación.....	4
2.3 Variabilidad de la Precipitación en el Perú .....	5
2.4 Veranillo .....	6
2.5 Índice de días secos consecutivos.....	6
2.6 Sequía .....	6
2.6.1 Sequía meteorológica .....	7
2.6.2 Sequía hidrológica .....	7
2.6.3 Sequía agrícola .....	7
2.6.4 Sequía socioeconómica .....	7
2.7 Índices de sequías .....	8
2.7.1 Índice Estandarizado de Precipitación .....	8
2.7.2 Índice de Precipitación Normal.....	9
2.8 Reanálisis .....	9
2.9 Dinámica atmosférica.....	10
2.9.1 Fuerza de gradiente horizontal de presión.....	10
2.9.2 Ecuación de la continuidad.....	10
2.9.3 Vorticidad .....	11
2.9.4 Altura geopotencial.....	12

2.9.5 Humedad atmosférica.....	12
2.9.6 Humedad relativa.....	12
2.9.7 Relación de Mezcla .....	13
2.10 Temperatura de la Superficie del Mar .....	13
III. DESARROLLO DEL TRABAJO .....	14
3.1 Descripción de la cobertura espacial.....	14
3.2 Procedimiento metodológico.....	15
3.2.1 Datos.....	15
3.2.2 Identificación de la frecuencia e intensidad de las precipitaciones y la variación temporal de los caudales de los principales ríos del norte peruano en febrero 2021 .....	18
3.2.3 Caracterización de los acumulados de precipitaciones en el noroeste del país .....	19
3.2.4 Evaluación de los cambios de las condiciones oceanográficas y atmosféricas relacionados con la reducción de precipitaciones y caudales de los principales ríos en el noroeste de Perú durante el mes de febrero de 2021 .....	19
3.3 Contribución en la solución de situaciones problemáticas que se hayan presentado durante su estancia en la empresa.....	21
3.4 Análisis de su contribución en términos de las competencias y habilidades adquiridas durante su formación profesional, considerando la revisión de literatura actualizada y pertinente .....	22
3.5 Explicar el nivel de beneficio obtenido por el centro laboral de su contribución a la solución de las situaciones problemáticas.....	22
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
4.1 Análisis exploratorio de datos pluviométricos.....	23
4.2 Identificación de la frecuencia e intensidad de las precipitaciones diarias y la variación temporal de los caudales de los principales ríos del norte peruano .....	26
4.3 Caracterización de los acumulados de precipitaciones en el noroeste	

del país .....	37
4.4 Evaluación de los cambios en el entorno oceánico – atmosférico relacionados con la reducción de precipitaciones y caudales de los principales ríos en el noroeste de Perú.....	42
4.4.1 Troposfera alta.....	42
4.4.2 Troposfera media .....	45
4.4.3 Troposfera baja.....	51
4.4.4 Cortes de sección transversal .....	53
4.4.5 Temperatura superficial del mar (TSM) .....	57
V. CONCLUSIONES .....	61
VI. RECOMENDACIONES .....	65
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	66
VIII. ANEXOS .....	73

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Caracterización del evento seco según SPI .....	8
Tabla 2: Caracterización del evento seco según IPN .....	9
Tabla 3: Características de OISST v2.1 e información usada en el estudio .....	17
Tabla 4: Características de reanálisis ERA5 e información usada en el estudio .....	18
Tabla 5: Umbrales y clasificaciones de las precipitaciones diarias .....	19
Tabla 6: Estaciones convencionales con información pluviométrica disponible .....	23

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de las áreas de estudio .....	14
Figura 2. Diagrama de cajas de precipitaciones mensuales en el periodo de 1991 – 2020 .....	25
Figura 3. Frecuencia e intensidad de las precipitaciones diarias en base a umbrales para febrero de 2021 .....	29
Figura 4. Representación porcentual de la cantidad de días secos por departamento (%) .....	30
Figura 5. Máxima frecuencia de días secos consecutivos (A) y días secos totales (B) en febrero de 2021 .....	31
Figura 6: Distribución temporal de caudales diarios de la red de monitoreo en la fase hidrológica 2020 - 2021 .....	33
Figura 7: Histograma de caudales mensual de la red de monitoreo en la fase hidrológica 2020 - 2021 .....	35
Figura 8. Volúmenes de almacenamiento de los principales reservorios en el norte del país .....	36
Figura 9. Variación espacial de los valores (A) y anomalías porcentuales (B) de precipitación en la primera decadiaria de febrero de 2021 .....	37
Figura 10. Variación espacial de los valores (A) y anomalías porcentuales (B) de precipitación en la segunda decadiaria de febrero de 2021 .....	38
Figura 11. Variación espacial de los valores (A) y anomalías porcentuales (B) de precipitación en la tercera decadiaria de febrero de 2021 .....	39
Figura 12. Distribución espacial de las precipitaciones obtenidas en febrero de 2021 (A) y valores normales en el periodo climático de 1991 – 2020 (B).....	40
Figura 13. Variación espacial de los valores del IPN (A) y SPI (B) para el mes de febrero de 2021 .....	41
Figura 14. Líneas de corriente (m/s) a 250 hPa .....	42
Figura 15. Divergencia ( $1/s * 10^{-5}$ ) y viento (vector) a 250 hPa .....	44

Figura 16: Vorticidad relativa (s-1), altura geopotencial (m/gp) y viento (vector) a 250 hPa .....	45
Figura 17: Líneas de corriente (m/s) a 500 hPa.....	46
Figura 18. Anomalías de viento en su componente zonal (m/s) a 500 hPa.....	47
Figura 19. Relación de mezcla (g/kg) y viento (vector) a 500 hPa .....	48
Figura 20. Anomalías de relación de mezcla (g/kg) y viento (vector) a 500 hPa .....	49
Figura 21. Humedad relativa (%) y viento (vector) promedio entre los niveles de 600 y 200 hPa .....	50
Figura 22. Anomalías de humedad relativa (%) y viento (vector) promedio entre los niveles de 600 y 200 hPa .....	51
Figura 23. Presión reducida a nivel del mar (hPa) y viento en vectores (1000 hPa).....	52
Figura 24. Convergencia de humedad (s-1) y viento en líneas de corriente (950 hPa) .....	53
Figura 25. Perfil latitudinal de anomalías de viento (m/s) entre 1000 y 200 hPa .....	54
Figura 26. Perfil latitudinal de la velocidad vertical de presión (Pa/s) entre 1000 y 200 hPa .....	55
Figura 27. Perfil latitudinal de la humedad relativa (%) y viento vertical entre 1000 y 200 hPa .....	56
Figura 28. Perfil latitudinal de las anomalías de humedad relativa (%) entre 1000 y 200 hPa .....	57
Figura 29. Temperaturas superficiales del mar (°C) para febrero de 2021 .....	58
Figura 30. Anomalías de la temperatura superficial del mar (°C) para febrero de 2021 .....	59
Figura 31. Anomalías mensuales en las regiones del Niño 1+2 y Niño 3.4, en el periodo 2020 - 2021.....	60
Figura 32. Distribución temporal del Índice Costero El Niño e Índice del Niño Oceánico para 2020 - 2021 .....	60

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Información de estaciones meteorológicas convencionales .....	74
Anexo 2: Información de estaciones hidrológicas.....	76
Anexo 3: Información de los principales reservorios en el norte del país.....	76
Anexo 4: Normales climáticas estándares y medias 1991-2020 .....	77
Anexo 5: Percentiles de eventos extremos de las precipitaciones.....	79
Anexo 6: Precipitaciones mensuales en el periodo de 1991 - 2020. ....	81

## RESUMEN

En la presente investigación se analizó las condiciones oceanográficas y atmosféricas en cada una de las decadiarias del mes de febrero de 2021, relacionadas a la reducción de las precipitaciones en la zona andina y amazónica de los departamentos de Piura, Lambayeque, La Libertad, Cajamarca y Amazonas, localizadas en el noroccidente del Perú. Estas condiciones ocasionan, un descenso de los caudales de los ríos de las cuencas hidrográficas de Chira, Chancay-Lambayeque, Jequetepeque y Chicama. Para ello, se recabó los registros de las precipitaciones y caudales de distintas estaciones meteorológicas e hidrológicas que forman parte de la red de monitoreo del SENAMHI, distribuidas en el noroeste del país, con el propósito de evaluar la frecuencia e intensidad de las precipitaciones y caracterizar el evento seco mediante el cálculo del Índice de Precipitación Normal (IPN) y el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI); además, se visualizó la variación temporal del flujo de agua a través de una sección transversal en cada punto de medición representativa de las cuencas. Adicionalmente, se recopiló información climática de reanálisis ERA5 y los datos de la temperatura superficial del mar de alta resolución de la NOAA OI SST V2 durante el período de estudio, para determinar la relación de los cambios en el océano y atmósfera que coadyuvaron la disminución de las precipitaciones sobre la zona de monitoreo.

**Palabras clave:** precipitación, caudal, periodo seco, IPN, SPI, noroccidente del Perú

## ABSTRACT

In the present investigation, the oceanographic and atmospheric conditions were analyzed in each of the decadays of the month of february 2021, related to the reduction of rainfall in the Andean and Amazonian zone of the departments of Piura, Lambayeque, La Libertad, Cajamarca and Amazonas, located in northwestern Peru, causing a decrease in the flow of rivers in the Chira, Chancay-Lambayeque, Jequetepeque and Chicama hydrographic basins. To do this, the records of rainfall and flows from different meteorological and hydrological stations that are part of the SENAMHI monitoring network, distributed in the northwest of the country, were collected with the purpose of evaluating the frequency and intensity of rainfall and characterizing the dry event by calculating the Normal Precipitation Index (IPN) and the Standardized Precipitation Index (SPI); In addition, the temporal variation of the water flow was visualized through a cross section at each representative measurement point of the basins. Additionally, climate information from ERA5 reanalysis and high-resolution sea surface temperature data from NOAA OI SST V2 were collected during the study period, to determine the relationship of changes in the ocean and atmosphere that contributed to the decline of rainfall over the monitoring area.

**Keywords:** precipitation, flow, dry period, IPN, SPI, northwestern Peru

# I. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Problemática

El agua es uno de los componentes principales de nuestro planeta. A lo largo de millones de años, ha definido distintos escenarios de vida sobre la superficie terrestre. Además, su distribución irregular ha condicionado la vida de todos los seres humanos, desde el desierto de Sahara hasta los inmensos bosques tropicales del Amazonas (Jha, 2019). No obstante, la deficiencia de este recurso suele ocasionar diversas pérdidas en el sector agrícola, ganadería, ecosistema natural, uso doméstico e industrial a nivel mundial, reportándose un incremento en los últimos años, ligados a una mayor variabilidad climática (Occhiuzzi, 2013); incluso, su prolongada exposición puede llegar a convertirse en una sequía de grandes magnitudes, causando no solo efectos sobre la vegetación y los animales, sino un aumento de hambrunas, migraciones, conflictos e incluso guerras (Mwadzaya, 2022).

En 2010, acorde al boletín de sequía y desastres de inundación emitido por la Sede Estatal de Control de Inundaciones y Alivio de la Sequía, China adoleció uno de los severos eventos secos, generando una pérdida económica de 24 mil millones de dólares al estado, ocasionado por las pérdidas en los cultivos de grano, escasez de alimentos y movilización de millones de personas para el transporte de agua para el consumo diario. (Xurong & Xiaohui, 2014).

Así mismo, de acuerdo al Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Refugiados (ACNUR, 2017) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2012), durante el 2011, los países de Cuerno de África afrontaron la peor sequía de los últimos 60 años, ocasionando una crisis alimentaria y muerte de hasta 250 mil personas por hambruna en Somalia.

Por otra parte, según el Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra (IHCIT-UNAH), mediante la publicación del “Atlas de Sequías de América Latina y el Caribe” elaborada por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), Honduras registró una de las sequías más largas de su historia, durante el periodo 2014-2016, logrando afectar a más de un millón trescientos mil personas a nivel

nacional durante el 2015. Así también, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) de Colombia, destaca la sequía entre los años de 2015 y 2016, catalogada como una de las más prolongadas y de mayor incidencia territorial en toda su historia. (Nuñez & Verbist, 2018).

Desafortunadamente, el Perú no está exento de este problema, ya que las sequías son cada vez más recurrentes a lo largo del territorio peruano, provocando pérdidas en los cultivos, mortalidad pecuaria, proliferación de enfermedades y caída del Producto Bruto Interno (PBI) a nivel nacional y por departamento (Pantoja, 2018 & SENAMHI, 2019). Por consiguiente, el Ministerio de Agricultura (MINAGRI, 2012) con apoyo de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (ONUAA conocida como FAO), elaboró el Plan de Gestión de Riesgos y Adaptación al Cambio Climático en el sector Agrario (PLANGRACC) para el periodo 2012-2021, donde el noroeste del país posee un alto riesgo de sufrir los efectos negativos de la sequía que, con cierta frecuencia, viene ocurriendo a lo largo de su historia. Simultáneamente, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), encargado de la vigilancia de las condiciones pluviales, a través de distintas estaciones meteorológicas distribuidas a nivel nacional, deja constancia de estos eventos secos mediante boletines climáticos y notas de prensa.

Precisamente, la disminución de las precipitaciones en el noroccidente del Perú, genera la reducción de los volúmenes de agua en los reservorios y con ella la limitada distribución del recurso hídrico para las distintas actividades agrícolas, retrasando el inicio de la campaña agrícola e incluso la pérdida de los cultivos (Pantoja, 2018). Además, ocasiona la disminución en la producción ganadera y abastecimiento de agua en las zonas urbanas para el uso industrial y doméstico, siendo esta última, una de las actividades primordiales a proteger una vez declarada el periodo seco (García, 2008).

En este sentido, se analizó las condiciones océano - atmosféricas que conllevaron al déficit de las precipitaciones en el noroeste del país en febrero de 2021; proporcionando, junto al monitoreo de los elementos meteorológicos in situ, una fuente a ser utilizada por los pronosticadores del tiempo, operadores de infraestructura hidráulica, titulares de embalses y usuarios de sistema de abastecimiento de agua para consumo humano y uso agrícola.

Los resultados encontrados, permitirá que los gobiernos regionales, Gerencia Regional de Agricultura (GRA), Autoridades Administrativas y Locales del Agua (ANA/ALA), Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), representantes de los reservorios de Poechos en Piura,

Tinajones en Lambayeque y Gallito Ciego en La Libertad, empresas prestadoras de servicios de saneamiento y suministro de agua y organizaciones de agricultores y ganaderos, planifiquen estrategias que contrarresten los efectos negativos que pueda causar un evento seco y minimizar las pérdidas económicas.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo general

Determinar las condiciones océano - atmosféricas causante de la disminución de las precipitaciones y caudales de los principales ríos del noroeste del Perú durante el transcurso del mes de febrero de 2021.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar el análisis exploratorio de datos pluviométricos de estaciones convencionales en el sector noroccidental del Perú.
- Identificar la frecuencia e intensidad de las precipitaciones diarias y la variación temporal de los caudales de los principales ríos del norte peruano.
- Caracterizar los acumulados de las precipitaciones en el noroccidente del país.
- Evaluar los cambios de las condiciones oceanográficas y atmosféricas relacionados con la reducción de precipitaciones y caudales de los principales ríos en el noroeste de Perú durante el mes de febrero de 2021.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 Red Nacional de Estaciones del SENAMHI**

El SENAMHI posee una red de estaciones convencionales y automáticas conformadas por distintos grupos de accesorios, instrumentos y sensores que permite el monitoreo de variables meteorológicas, hidrológicas, agrometeorológicas y de vigilancia atmosférica a nivel nacional. Estas pueden registrar valores de la temperatura del aire, precipitación, dirección y velocidad del viento, humedad, nivel y caudal del río, temperatura y humedad del suelo, concentración de material particulado entre otros (SENAMHI, 2013).

Según lo dispuesto en el “Protocolo para la Instalación y Operación de Estaciones Meteorológicas, Agrometeorológicas e Hidrológicas” en el Perú, las estaciones convencionales pueden clasificarse de la siguiente manera (SENAMHI, 2013):

- Estación Climatológica Principal (CP)
- Estación Climatológica Ordinaria (CO)
- Estación Pluviométrica (PLU)
- Estación Meteorológica Agrícola Principal (MAP)
- Estación Hidrológica Limnimétrica y Limnigráfica (H)
- Estación de Propósitos Específicos (PE)

### **2.2 Precipitación**

La precipitación, es toda forma de agua, líquida o sólida, originadas en las nubes, que logra llegar a la superficie terrestre a través de la lluvia, llovizna, granizada, nieve, entre otros. Pueden clasificarse según el modo con que la masa de aire húmedo alcance la altura suficiente para iniciar el proceso de condensación con características propias como las convectivas, orográficas o convección forzada y frontales (García, 1994).

El volumen de precipitación se mide comúnmente en milímetros de agua o litros caídos por metro cuadrado y los instrumentos utilizados para medir la precipitación incluyen pluviómetros, pluviógrafos y disdrómetros.

### **2.3 Variabilidad de la Precipitación en el Perú**

La precipitación en el territorio peruano está sujeta a una variabilidad espacio temporal asociados con los comportamientos del sistema océano - atmósfera y la presencia de la Cordillera de los Andes, presentando condiciones “secas” y relativamente frías a lo largo de la costa del Pacífico y andes occidentales, con precipitaciones fuertes al norte peruano durante eventos “El Niño”. En contraste, los andes orientales y la selva, presentan condiciones cálidas y húmedas influenciados por los vientos alisios cargados de vapor de agua provenientes del Atlántico y forzadas a elevarse por la Cordillera Andina, ocasionando un periodo lluvioso en los meses de verano austral (Pareja, 1936; Waylen & Poveda, 2002; Garreaud et al. 2009).

El periodo de estación lluviosa durante los meses de verano, pueden ser modulados por distintos sistemas atmosféricos de escala sinóptica, distribuidos en distintos niveles de altura como pisos de un edificio, sin dejar de interactuar entre ellas.

En niveles altos, la Alta de Bolivia (AB), de circulación antihoraria, producto de una combinación del calentamiento por radiación y calor latente, que asociado a la Vaguada del Noreste de Brasil (VNB), influye en los flujos tropicales directos al norte del Perú resultando divergencia en altura. La VNB ocasionalmente segrega ciclones conocidas como Vórtices Ciclónicos de Niveles Altos (VCAN), ocasionando precipitaciones del noreste de Brasil hasta el territorio peruano. Además, durante todo el año, se presentan las Corrientes en Chorro Polar y Subtropical (Gilford et al., 1992; Garreaud, 2009; Silva, 2010).

En niveles medios de la troposfera, la presencia de la circulación antihoraria sobre el continente sudamericano, reflejo de la AB, coadyuba a la advección de humedad desde la región amazónica hacia los andes (Gilford et al., 1992).

En tanto, en la parte baja de la atmósfera, el desplazamiento de la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ) asociado al debilitamiento del Anticiclón del Pacífico Sur Oriental (APSO) influyen en el régimen de las precipitaciones. Así también, el jet de bajos niveles (LLJ) contribuye con masas de aire cálido y húmedo hacia las zonas andinas regulados por el Anticiclón del Atlántico Sur (AAS) (Gilford et al., 1992; Garreaud, 2009).

Sin embargo, estos sistemas de circulación atmosférica pueden ser alterados ocasionando eventos extremos en diferentes regiones del país, entre sequías e inundaciones en simultaneo.

## 2.4 Veranillo

Periodo seco que alude a una interrupción corta y momentánea de las precipitaciones durante la estación lluviosa, donde los acumulados no exceden 1 mm (mínimo 10 días o más). Este intervalo puede extenderse desde algunas semanas hasta un mes, marcado por una disminución notable o completa ausencia de las precipitaciones, para luego retomar las precipitaciones típicas de los meses lluviosos. (SENAMHI, 2021).

## 2.5 Índice de días secos consecutivos

El índice de días secos consecutivos (CDD, por sus siglas en inglés) ha sido definida por el Grupo de Expertos en Detección de Cambio Climático e Índices (ETCCDI, por sus siglas en inglés) para contabilizar la cantidad máxima de días secos consecutivos con precipitación inferiores a 1 mm, como se muestra en la ecuación 1. Cabe señalar que el CDD puede ser usado para monitorear los veranillos, que, al ser persistentes podría indicar la presencia de una sequía (SENAMHI, 2021).

$$CDD = \sum_1^n \text{Precipitación} < 1 \text{ mm} \dots\dots\dots (1)$$

## 2.6 Sequía

La sequía ocurre en todas las zonas climáticas indistintamente de la época del año, con impactos en las actividades socioeconómicas dependientes del recurso hídrico, principalmente la agricultura. Debido a la intensidad y gravedad de las sequias en distintas regiones geográficas, hace difícil tener una sola definición a nivel global (SENAMHI, 2019).

De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2006), la sequía es considerada como la disminución de las precipitaciones respecto a las condiciones normales o previstas que, al prolongarse en periodos largos, genera un desequilibrio hídrico.

El SENAMHI (2019), por su parte, la describe como un evento extremo, que resulta de la deficiencia de precipitaciones considerablemente por debajo de los valores normales, ocasionando efectos negativos ligados a la vulnerabilidad de los sistemas expuestos.

Así mismo, la Sociedad Meteorológica Americana (AMS, 2013), la describe como el

resultado de la disminución de las precipitaciones e incremento de la evapotranspiración durante periodos de tiempo variables, favoreciendo de esta manera, perturbaciones sobre las actividades humanas.

Y, dependiendo del enfoque e impactos que se derivan, suele clasificarse en sequía meteorológica, agrícola, hidrológica y socioeconómica (Wilhite & Glantz, 1985):

#### 2.6.1 Sequía meteorológica

Definida como la disminución de precipitación esperada por un tiempo prolongado, causando efectos negativos a través del ciclo hidrológico, dando lugar a los diferentes tipos de sequía. Dado que, la escasez de las precipitaciones tiene una variación espacio temporal, posee una influencia climática características de cada región geográfica relacionado con el comportamiento global del sistema océano - atmósfera (Tallaksen & Lanen, 2004; OMM, 2006, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico [MITECO], 2020).

#### 2.6.2 Sequía hidrológica

Caracterizado por una disminución de la cantidad de recursos hídricos superficiales y subsuperficiales, es decir, se manifiesta cuando los niveles en los cuerpos de agua, como ríos, embalses y acuíferos, caen por debajo de niveles normales debido a la reducción prolongada de las precipitaciones, con un desfase considerable de tiempo con la sequía meteorológica, puesto que las aguas de las capas del suelo tardan en reponerse. La sequía hidrológica puede perdurar meses e incluso años dependiendo de la región afectada y la mala gestión para cubrir las demandas del recurso hídrico (OMM, 2006; Curi, 2017).

#### 2.6.3 Sequía agrícola

Se refiere a la escasa cantidad de humedad en los suelos que permita el desarrollo de los cultivos, asociadas a factores como la característica de los suelos, la precipitación y demanda de agua por las plantas en alguna de sus fases fenológicas, causando la pérdida de cosechas de numerosas hectáreas de diferentes cultivos (OMM, 2006; Curi, 2017).

#### 2.6.4 Sequía socioeconómica

Se asocia a la poca disponibilidad de agua de la consecuente escasez de precipitaciones, con repercusiones en las actividades económica dependientes del recurso hídrico, generando una demanda excesiva en comparación al suministro (SENAMHI, 2014; Curi, 2017).

Cabe precisar que, las sequías agrícolas, hidrológicas y socioeconómicas son poco frecuentes

con respecto a la sequía meteorológica, ya que las primeras están vinculados a la disponibilidad de agua tanto en la superficie como en el subsuelo (OMM, 2006).

## 2.7 Índices de sequías

Los esfuerzos realizados a nivel mundial, han dado lugar al desarrollo de distintos índices de sequía, proporcionando una perspectiva general de los eventos secos. Si bien no existe un solo índice que sirva para caracterizar los distintos tipos de sequía, la OMM recomienda el uso del Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) como punto de partida para la vigilancia de sequías meteorológicas e Índice de Precipitación Normal (IPN) para visualizar las anomalías porcentuales de precipitación habitual (OMM, 2016).

### 2.7.1 Índice Estandarizado de Precipitación

Desarrollado por McKee y sus colaboradores en 1993, basados en la frecuencia, duración y escala temporal de la sequía. Usa datos históricos de precipitación, con registros mínimo de 20 años, para cuantificar el déficit de las precipitaciones en un periodo determinado (OMM, 2016). El SPI posee una distribución de probabilidad normalizada, haciendo fácil la comparación entre distintas regiones alrededor del mundo. Y, el valor numérico resultante, proporciona una referencia de la desviación estándar de la precipitación media en base a la distribución de probabilidad proporcionada a partir de la ecuación 2 (SENAMHI, 2019):

$$g(x) = \frac{x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)}, x > 0, \alpha > 0 \text{ y } \beta > 0 \dots\dots\dots (2)$$

Donde,  $\chi$  representa la cantidad de precipitación mensual,  $\Gamma(\alpha)$  la función gamma y  $\alpha$  y  $\beta$  son parámetros de forma y escala, respectivamente. Este permite definir las intensidades de la sequía en una determinada región, siguiendo los umbrales de clasificación (Tabla 1):

**Tabla 1:** Caracterización del evento seco según SPI

Categoría	Índice
Extremadamente húmedo	$SPI \geq 2.0$
Severamente húmedo	$1.5 \leq SPI < 2.0$
Moderadamente húmedo	$1.0 \leq SPI < 1.5$
Periodo normal	$-1.0 < SPI < 1.0$
Moderadamente seco	$-1.5 < SPI \leq 1.0$
Muy seco	$-2.0 < SPI \leq -1.5$
Extremadamente seco	$SPI \leq -2.0$

FUENTE: Intervalos obtenidos de la OMM, 2012.

## 2.7.2 Índice de Precipitación Normal

Es una cantidad de cálculo simple, expresado en porcentaje, que compara la precipitación acumulada para cualquier periodo de tiempo en un determinado lugar. Se calcula dividiendo la precipitación acumulada a escala decadiaria, mensual, estacional o anual, entre la precipitación habitual correspondiente al período analizado, y multiplicando ese resultado por 100, como se visualiza en la ecuación 3 (Ortege et al., 2008).

$$IPN = \frac{Po - Pn}{Pn} * 100 \dots\dots\dots (3)$$

Donde, Po es la precipitación observada y Pn la precipitación normal. Los valores porcentuales pueden ser clasificados de la siguiente manera (Tabla 2):

**Tabla 2:** Caracterización del evento seco según IPN

<b>Categoría</b>	<b>Anomalía de precipitación (%)</b>
Superávit extremo	$IPN \geq 60$
Superávit moderado	$40 \leq IPN < 60$
Superávit ligero	$15 \leq IPN < 30$
Periodo normal	$-15 \leq IPN < 15$
Déficit ligero	$-40 \leq IPN < -20$
Déficit moderado	$-60 \leq IPN < -40$
Déficit extremo	$-100 \leq IPN < -60$

FUENTE: Intervalos obtenidos del SENAMHI, 2021.

## 2.8 Reanálisis

Se trata de sistemas de asimilación de información que combinan datos de modelos numéricos y observaciones meteorológicas, con el objetivo de sintetizar el estado actual y la variación espacio temporal de las distintas variables atmosféricas (Rivas, 2019). El ERA5 es un reanálisis climático desarrollado y procesado por Copernicus Climate Change Service (C3S) y European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), que eventualmente reemplazará al ERA-Interim; proporciona datos de parámetros atmosféricos, terrestres y estado del mar con resoluciones de cuadrículas de  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$  y 37 niveles de presión. Además, la información es actualizada diariamente con un retraso de 5 días, desde el año de 1979 al presente, con mejoras de la representación troposférica con respecto al ERA-Interim (Hersbach et al, 2019).

## 2.9 Dinámica atmosférica

### 2.9.1 Fuerza de gradiente horizontal de presión

Conocida también como la componente horizontal de la fuerza de gradiente de presión ( $\vec{F}_g$ ), responsable del movimiento de aire, originado por la diferencia de presión atmosférica entre dos puntos, en el cual se produce un flujo de masa de aire de zonas de alta presión hacia menor presión. Una fuerte gradiente de presión, es decir isobaras más juntas, es relacionado a mayores velocidades de viento, en contraste, una débil gradiente es asociado a vientos débiles (Holton, 2004). Este tipo de fuerza puede expresarse como la ecuación 4:

$$(\vec{F}_g)_H = -\frac{1}{\rho} \nabla_H * P \dots\dots\dots (4)$$

Siendo  $(\vec{F}_g)_H$  la fuerza de gradiente horizontal de presión (N/Kg),  $\rho$  como la densidad del aire (kg/m<sup>3</sup>),  $\nabla_H$  la gradiente horizontal de presión y P es la presión atmosférica (Pa).

Si bien la  $(\vec{F}_g)_H$ , intenta desplazar el aire desde áreas de alta presión hacia áreas de baja presión, en realidad, el movimiento resultante del aire es influenciado por otras fuerzas, especialmente la fuerza de Coriolis debido a la rotación de la Tierra. En lugar de moverse directamente desde áreas de alta a baja presión, el aire tiende a moverse con un ángulo respecto a este gradiente debido a la combinación de estas fuerzas.

### 2.9.2 Ecuación de la continuidad

La ecuación de continuidad expresa el principio de conservación de masa por un fluido representada en dos formas alternativas como la divergencia de velocidad y divergencia de masa, adaptada de la perspectiva Lagrangiana donde la masa del volumen de control no cambia siguiendo una parcela ( $\partial V = -\partial x \partial y \partial p / \rho g$ ) (Martin, 2006).

De manera simplificada y que  $\partial x$ ,  $\partial y$ , y  $\partial p$  se acercan al 0, la ecuación 5 puede mostrar la forma isobárica de la ecuación de continuidad:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial \omega}{\partial p} = 0 \dots\dots\dots (5)$$

Y, una pequeña reordenación de esta ecuación produce la ecuación 6:

$$\nabla \cdot \vec{V}_h = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{\partial \omega}{\partial p} \dots\dots\dots (6)$$

Donde la componente zonal y meridional del viento están representadas por  $u$  y  $v$  (m/s), respectivamente; mientras que, el movimiento vertical es visualizada como  $\omega$  (hPa/s). Esta última, se relaciona directamente con la divergencia horizontal en una determinada superficie isobárica, una variable de importancia en el monitoreo del tiempo. La divergencia (convergencia) horizontal en niveles bajos puede ser representada como  $\nabla \cdot \vec{V}_h > 0$  ( $\nabla \cdot \vec{V}_h < 0$ ), acompañadas de un movimiento vertical descendente (ascendente) en la columna de aire intermedia.

### 2.9.3 Vorticidad

Definida como la rotación o circulación de un fluido en torno a un eje vertical. Es un concepto importante en la dinámica atmosférica y se utiliza para describir y comprender muchos eventos meteorológicos, desde la formación de ciclones hasta los patrones de circulación a gran escala (Holton, 2004 & Martin, 2006).

Y, a menudo nos referimos a dos tipos de vorticidad, embebidas dentro de la vorticidad absoluta ( $\eta$ ), conocida como la vorticidad total de una parcela de aire y se compone de la vorticidad debida a la rotación de la Tierra ( $f$ ), conocida como la vorticidad planetaria ( $s^{-1}$ ) y la vorticidad debida a la circulación del aire en relación con la superficie de terrestre ( $\zeta$ ), denominada como la vorticidad relativa ( $s^{-1}$ ) mostrada en la ecuación 7.

$$\eta = \zeta + f \dots\dots\dots (7)$$

La vorticidad relativa es la vorticidad que observaríamos en un sistema de referencia que se mueve con la rotación de la Tierra. Esencialmente, es la vorticidad debida solo a la circulación local del aire y está representada por la ecuación 8.

$$\zeta = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \dots\dots\dots (8)$$

Áreas de baja y alta vorticidad relativa en la troposfera del hemisferio sur a menudo están asociadas con sistemas circulación horaria (ciclónicas) y antihorarias (anticiclónicas), respectivamente (Holton, 2004). En el primer sistema, observadas desde niveles inferiores, se puede encontrar formación de nubes con precipitaciones; mientras que, en la otra, suele presentarse subsidencia atmosférica, lo que puede conducir a cielos despejados.

#### 2.9.4 Altura geopotencial

La altura geopotencial ( $Z$ ) se relaciona con la gravedad ( $g$ ) y el geopotencial ( $\Phi$ ). Este último refiere a un punto específico en la atmósfera donde se realiza el trabajo en contra de la gravedad para llevar una unidad de masa desde el nivel del mar hasta ese punto (Wallace & Hobbs, 2006). La relación entre la altura geopotencial y el geopotencial es mostrada en la ecuación 9:

$$Z = \frac{\Phi}{g} \dots\dots\dots (9)$$

Aquí,  $Z$  representa la altura geopotencial en  $\text{m/gp}$ ,  $\Phi$  posee la unidad de  $\text{J/kg}^2$ ,  $g$  es aproximadamente  $9.81 \text{ m/s}^2$  en la superficie de la Tierra, pero puede variar ligeramente con la altitud y la latitud. Y, a menudo se usa mapas de altura geopotencial para representar la estructura vertical de la atmósfera. Estos mapas muestran contornos de altura geopotencial para una presión dada, similar a un mapa topográfico que muestra contornos de elevación.

#### 2.9.5 Humedad atmosférica

Se refiere a la cantidad de vapor de agua presente en el aire, el cual puede influenciar desde la formación de nubes y precipitaciones hasta la sensación térmica que siente una persona. Existe diferentes maneras de expresar la humedad atmosférica, ya sea por el contenido de vapor de agua como la presión de vapor de agua, humedad específica, relación de mezcla, etc. o por el grado de saturación del aire como el déficit de saturación y humedad relativa (Calle & Unsihuay, 2012).

#### 2.9.6 Humedad relativa

La humedad relativa es un indicador del grado de saturación del aire, es decir, la porción de cantidad de vapor de agua contenida en el aire comparada con la cantidad de vapor de agua necesaria para llegar a la saturación a una determinada temperatura. Además, la humedad relativa es expresado en cifras porcentuales de 0 % (aire seco) a 100 % (aire saturado de humedad), resultado de la ecuación 10 (Ahrens, 2009).

$$HR = \frac{e_a}{e_s} * 100 \dots\dots\dots (10)$$

Donde,  $e_a$  es la presión actual de vapor de agua y  $e_s$  la presión de saturación.

### 2.9.7 Relación de Mezcla

La relación de mezcla se refiere a la cantidad de masa de vapor de agua ( $mv$ ) contenida en una unidad de masa de aire seco ( $md$ ) (Ahrens, 2009).

La razón de mezcla se define usualmente como la ecuación 11:

$$r = \frac{mv}{md} = \frac{622e_a}{P-e_a} \dots\dots\dots (11)$$

Donde,  $r$  es la relación de mezcla (g/kg),  $e_a$  la presión parcial de vapor de agua (hPa) y  $P$  la presión atmosférica (hPa)

### 2.10 Temperatura de la Superficie del Mar

La distribución espacio temporal de la temperatura superficial del mar (TSM) alrededor del planeta Tierra es sumamente importante en la comprensión de los procesos en el sistema océano - atmósfera, relacionadas principalmente con la absorción de la radiación solar, corrientes oceánicas, circulación atmosférica, movimientos advectivos, afloramiento costero y hundimientos (Zuta & Urquiza, 1972; Rojas & Eche, 2006).

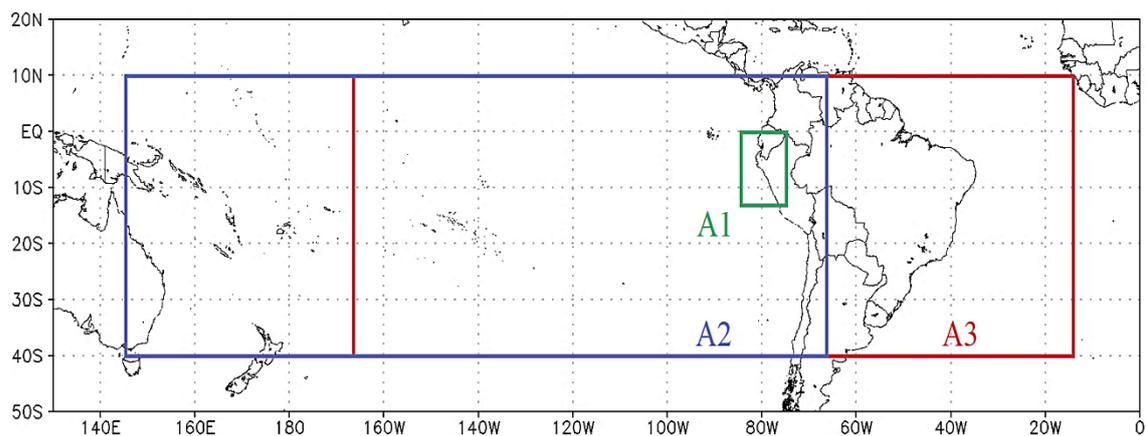
El comportamiento de la temperatura superficial del mar contribuye en los estudios y predicciones de las condiciones del tiempo meteorológico, en especial, en eventos extremos del El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) con grandes repercusiones en el territorio peruano. Con frecuencia, la isoterma de 27 °C es usado como umbral indicativo de posibles sistemas convectivos cerca al litoral costero durante la temporada de las precipitaciones (Zuta & Urquiza, 1972; Alva, 2018).

### III. DESARROLLO DEL TRABAJO

Ante los bajos registros de las precipitaciones sobre la zona andina y selva en el noroccidente del Perú durante el mes de febrero de 2021, el SENAMHI por intermedio de su Dirección Zonal 2 - Lambayeque, monitoreó continuamente la información hidrometeorológica e interpretó los resultados de los modelos numéricos de predicción meteorológica y reanálisis climático con el fin de brindar información de las condiciones actuales a distintos usuarios que las requerían, sobre todo al sector agrícola y poblacional ubicadas en la costa norte del país, debido a su gran demanda de agua con respecto a la disponibilidad de este recurso hídrico. El desarrollo del Trabajo de Suficiencia Profesional (TSP), de tipo no experimental, detalla los mecanismos físicos que coadyuvaron la disminución de estas precipitaciones en plena “temporada de lluvias”.

#### 3.1 Descripción de la cobertura espacial

Se demarcó tres distintas áreas de trabajo, designados como A1, A2 y A3; estas regiones delimitadas permitieron contemplar la distribución de las precipitaciones en el noroeste del país y analizar el comportamiento de las condiciones oceánicas y atmosféricas (Figura 1).



**Figura 1.** Ubicación de las áreas de estudio

La primera área (A1) abarcó gran parte de la región andina y amazónica de los departamentos de Piura, Lambayeque, La Libertad, Cajamarca y Amazonas, localizadas en el noroccidente del Perú; se ha considerado estas regiones dada la importancia de la información pluviométrica e hidrométrica para la agricultura y el sistema de abastecimiento de agua a nivel poblacional, que sumados a los recurrentes episodios secos y la mala gestión del agua, suele limitar la producción agrícola y recorte del servicio públicos de este recurso hídrico, comprendiendo de esta manera la estabilidad económica de la población (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2010; Coronado, 2014; SENAMHI, 2019 & Pantoja, 2018).

La segunda área (A2), limitado por el eje longitudinal de 145°E a 65°W y el eje latitudinal de 10°N a 40°S, enmarcó las cuatro regiones del Niño y el dominio marítimo del Perú, conocida como el mar de Grau.

Con respecto a las condiciones atmosféricas, asociados a la disminución de las precipitaciones en el noroeste del territorio peruano, la tercera área (A3) cubrió el cuadrante de 165°W a 15°W y 10°N a 40°S, para tomar en cuenta parte del continente Sudamericano, el sureste del océano Pacífico y el suroeste del océano Atlántico.

## **3.2 Procedimiento metodológico**

### **3.2.1 Datos**

Se recolectó la información de los datos observados de precipitaciones en el noroeste del país, las cantidades de agua discurridas por los principales ríos en la zona norte de la vertiente del Pacífico, registros de las temperaturas superficiales del mar y el acceso a la base de datos de reanálisis atmosférico.

#### **3.2.1.1 Información de estaciones meteorológicas.**

Los datos de las precipitaciones, provenientes de las “observaciones” registradas en las planillas de cada una de las estaciones meteorológicas del SENAMHI distribuidas en las zonas alto andinas y selva de los departamentos de Piura, Lambayeque, La Libertad, Cajamarca y Amazonas (Anexo 1), fueron recabados en 2 grupos.

El primero agrupó los datos de las precipitaciones diarias correspondiente al mes de febrero de 2021. Éstas fueron recolectadas por los instrumentos convencionales, de las 7 horas locales de un día cualquiera hasta las 7 horas locales del día siguiente.

El segundo grupo acopió un banco de datos pluviométricos con la finalidad de:

- Determinar los umbrales de precipitaciones extremas mediante los percentiles 90, 95 y 99 para el periodo de 1964 a 2020 (SENAMHI 2014).
- Calcular el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI por sus iniciales en inglés) en el lapso de 40 años, de 1981 a 2021(OMM, 2016).
- Estimar las “normales climatológicas” de las precipitaciones de 30 años, de 1991 al 2020 establecidos por la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2017) y con ello, realizar el cálculo del Índice de Precipitación Normal (IPN) (SENAMHI 2014).

### 3.2.1.2 Análisis exploratorio de datos de precipitaciones.

La validación de los datos de precipitación a través del análisis exploratorio de datos (AED) nos permitió entender su comportamiento temporal mediante figuras (como el boxplot) y tablas. Estos recursos se emplearon para identificar aquellos registros que tuviesen datos de, al menos, el 80 % de los años que abarca el período medio de las normales climatológicas y, además, un 95 % o más de los registros diarios de febrero de 2021. Este proceso facilitó la identificación y descarte de estaciones no aptas, especialmente las que presentaban muchos datos faltantes o valores anómalos, siendo contrastados con estaciones cercanas basándose en las fechas de registro para determinar si debían ser eliminadas o consideradas en las etapas posteriores del estudio (Komorowski et al., 2016; OMM, 2017 & Rivadeneira, 2019).

### 3.2.1.3 Información de estaciones hidrológicas.

Dado que, la serie de datos hidrológicos de la red de monitoreo de los ríos del sector norte de la vertiente del Pacífico (Anexo 2), proporcionada por el SENAMHI, muestra variaciones diarias y poca homogeneidad y que, en el transcurso del estudio, esta información será utilizada únicamente para el análisis visual; se obtuvo la información disponible sobre los flujos de agua entre setiembre 2020 y agosto 2021, umbrales de desborde y valores medios entre setiembre de un año cualquiera a agosto del siguiente año.

Complementando la información anterior, se recolectó los registros que indican los volúmenes de almacenamiento diario y la capacidad máxima de los embalses de Poechos, Tinajones y Gallito Ciego, situados en los departamentos de Piura, Lambayeque y La Libertad, en ese orden (Anexo 3). Durante este proceso, se llevó a cabo una verificación minuciosa para asegurar que no contuvieran errores de ingreso al momento de su digitación.

Así mismo, por medio de hidrogramas se representó la variación del caudal de agua con respecto al tiempo en un punto específico de cada uno de los principales ríos. Esto permitió reconocer los meses con limitados volúmenes de agua dentro de un periodo de estiaje y aquellas con exceso del recurso hídrico asociadas a las precipitaciones continuas en la parte media y alta de las cuencas hidrográficas. Este tipo de comportamiento fue esencial para visualizar la disminución de los volúmenes de agua por tiempo en la sección transversal de los ríos y compararlas con los valores promedio y sus respectivos umbrales.

### 3.2.1.4 Temperatura superficial del mar.

Se recopiló dos paquetes de datos con la información de los valores y anomalías de la TSM en el lapso de un año a partir de los datos diarios de interpolación óptima (OISST por sus siglas en inglés) con una resolución de  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$  (Tabla 3), elaborado por el Laboratorio de Ciencias Físicas (PSL) de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA) utilizando los registros de los sensores multi satélite (AVHRR+VIIRS).

**Tabla 3:** Características de OISST v2.1 e información usada en el estudio

Características	OISST v2.1	TSP
Resolución espacial	Cuadrícula global de $0.25^\circ$ de latitud x $0.25^\circ$ de longitud	Cuadrícula global de $0.25^\circ$ de latitud x $0.25^\circ$ de longitud
Cobertura espacial	$89.785^\circ\text{N} - 89.785^\circ\text{S}$ , $0.0^\circ\text{E} - 360.0^\circ\text{E}$ .	$40.0^\circ\text{S} - 10.0^\circ\text{N}$ , $145.0^\circ\text{E} - 65.0^\circ\text{W}$ .
Resolución temporal	Mensual y diario	Diario
Cobertura temporal	Setiembre de 1981 al presente	(1) Periodo climático (febrero de 1991 a febrero de 2020) (2) Periodo de estudio (febrero de 2021)
Formato de archivo	GRIB / NetCDF	NetCDF

**FUENTE:** Información obtenida de la NOAA, 2021.

Además, se recabó los valores del Índice Niño Oceánico (ONI) para evaluar la condición de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) y el Índice Costero El Niño (ICEN) para el monitoreo de El Niño y La Niña frente a la costa norte del país, generados por la NOAA y el Instituto Geofísico del Perú (IGP), respectivamente.

### 3.2.1.5 Reanálisis atmosférico.

Durante el desarrollo del estudio, fue preciso usar el conjunto de datos de reanálisis del ERA5 con una resolución espacial de  $0.25^\circ$  (Tabla 4) en formato NetCDF (Network

Common Data From) de las variables de presión atmosférica a nivel medio del mar (hPa), divergencia (s-1), altura geopotencial (m), humedad relativa (%), temperatura del aire (°C), velocidad vertical – w (Pa/s), viento en sus componentes zonal – u y meridional – v (m/s) y relación de mezcla (g/Kg), generado por el Servicio de Cambio Climático de Copernicus (C3S por sus siglas en inglés) e implementado por el Centro Europeo para Previsiones Meteorológicas de Mediano Plazo (ECMWF por sus siglas en inglés), que eventualmente reemplazará al ERA-Interim por las mejoras en la representación troposférica (Hersbach et al, 2019).

**Tabla 4:** Características de reanálisis ERA5 e información usada en el estudio

Características	ERA 5	TSP
Resolución espacial	Cuadrícula global de 0.25° de latitud x 0.25° de longitud	Cuadrícula global de 0.25° de latitud x 0.25° de longitud
Cobertura espacial	89.785°N – 89.785°S, 0.0°E – 360.0°E.	40.0°S – 10.0°N, 165.0°W – 15.0°W.
Resolución temporal	Mensual, diario y horario	Diario
Cobertura temporal	Enero de 1979 al presente	(1) Periodo climático (febrero de 1991 a febrero de 2020) (2) Periodo de estudio (febrero de 2021)
Niveles de presión	37 niveles de presión	1000, 850, 550 y 200 hPa.
Formato de archivo	GRIB / NetCDF	NetCDF

FUENTE: Información obtenida del ECMWF, 2023.

### 3.2.2 Identificación de la frecuencia e intensidad de las precipitaciones y la variación temporal de los caudales de los principales ríos del norte peruano en febrero 2021

Se realizó un análisis comparativo de las precipitaciones diarias registradas por las estaciones convencionales en el noroeste del Perú y los percentiles correspondientes (P90, P95 y P99) para determinar si un evento de precipitación en particular se considera dentro de los valores normales o si cae en la categoría de extremos (Tabla 5). Además, se consideró que los días con acumulados de precipitaciones inferiores a 1 mm podrían ser clasificados como días secos (Peterson et. al., 2001 & SENAMHI, 2014). Esto permitió determinar la regularidad e intensidad de las precipitaciones como días secos consecutivos en la zona andina y amazónica de la región noroccidental del país.

**Tabla 5:** Umbrales y clasificaciones de las precipitaciones diarias

Umbrales de precipitación	Clasificación de precipitaciones extremas
mm/día > P99	Extremadamente lluvioso
P95 <mm/día ≤P99	Muy lluvioso
P90 <mm/día ≤P95	Lluvioso

Los percentiles P90, P95 y P99 son expresados en %.

FUENTE: SENAMHI, 2014.

Al mismo tiempo, se elaboró distintos hidrogramas que representen los caudales diarios de los ríos más relevantes de las cuencas del Pacífico en los departamentos de Piura, Lambayeque y La Libertad. Esto se complementó con datos sobre los volúmenes diarios de agua disponible en los embalses ubicados en estas regiones.

### 3.2.3 Caracterización de los acumulados de precipitaciones en el noroeste del país

#### 3.2.3.1 Índice de Precipitación Normal – IPN.

Se calcularon los valores anómalos de las precipitaciones en intervalos de 10 días y de manera mensual, presentados en términos porcentuales para cada estación convencional. Para esto, se usaron los datos de precipitaciones acumuladas en febrero de 2021 y sus normales climáticas. Esto ayudó a determinar las zonas con precipitaciones superiores o inferiores al promedio en la sierra y selva de los 5 departamentos analizados.

#### 3.2.3.2 Índice de Precipitación Estandarizada – SPI.

De manera similar, se calcularon las anomalías estandarizadas de las precipitaciones utilizando un intervalo de tiempo de 1 mes. Esto se realizó para cada estación que tuviera datos disponibles de febrero desde 1981 hasta 2021; de esta forma, se pudo evaluar la deficiencia de las precipitaciones. Es importante destacar que debido al carácter desértico de la costa peruana y a su ubicación en la parte baja de las cuencas hidrográficas, esta región se excluyó de los análisis; por tanto, el análisis se centró en las zonas alto andinas y en las zonas selváticas del noroeste del territorio peruano.

### 3.2.4 Evaluación de los cambios de las condiciones oceanográficas y atmosféricas relacionados con la reducción de precipitaciones y caudales de los principales ríos en el noroeste de Perú durante el mes de febrero de 2021

En este segmento, se elaboró distintos códigos fuente en la plataforma de Visual Studio Code (VS Code) para ser ejecutada en el Sistema de Visualización y Análisis de Cuadrículas

(GrADS por sus siglas en inglés) para transformar los conjuntos de datos en formato NetCDF en representaciones gráficas que permitan una mejor percepción y comprensión de la información recopilada.

#### 3.2.4.1 Análisis del entorno atmosférico a escala sinóptica asociado al evento seco.

Una vez identificado la frecuencia e intensidad de las precipitaciones decadiarias ocurridas en el mes de febrero, se realizó un análisis de los compuestos o “composites” con el fin de identificar los mecanismos físicos vinculados a la disminución de precipitaciones en el noroeste del Perú. Para realizar este proceso, se aplicó la técnica de los compuestos a diversas variables meteorológicas en diferentes altitudes de la troposfera, abarcando los niveles altos, medios y bajos.

##### a. Niveles superiores de la troposfera

Se utilizó el nivel de 250 hPa para identificar los procesos que ocurren en la alta troposfera a través de los cambios del viento (m/s), divergencia ( $s^{-1}$ ), altura geopotencial (m) y vorticidad relativa ( $s^{-1}$ ).

##### b. Niveles intermedios de la troposfera

Para los niveles medios, en la capa isobárica de 500 hPa, se consideró la información de las variaciones de la velocidad y dirección del viento (m/s) y las fluctuaciones de la relación de mezcla (g/kg) y la media ponderada de la humedad relativa (%). Además, se obtuvo la media ponderada de la humedad relativa entre los niveles de 700 y 200 hPa (%).

##### c. Niveles inferiores de la troposfera

En niveles bajos de la atmósfera, de 1000 a 950 hPa, se analizó la distribución de las presiones a nivel medio del mar (hPa), flujos de vientos (m/s), divergencia ( $s^{-1}$ ), relación de mezcla (g/kg) y temperatura superficial del mar ( $^{\circ}C$ ).

##### d. Estructura vertical de la troposfera

Se realizó cortes de sección transversal y temporal entre la capa de 1000 y 200 hPa del viento en su componente zonal (m/s), humedad relativa (%) y velocidad vertical (Pa/s).

#### 3.2.4.2 Análisis de la temperatura superficial del mar de la zona ecuatorial y suroriente del océano Pacífico.

Usando como referencia la distribución de datos decadiarios en febrero de 2021, se organizó los datos de la temperatura superficial del mar en intervalos de 10 días como compuestos o “composites” que, de acuerdo al Instituto Internacional de Investigación para el Clima y Sociedad (IRI por sus siglas en inglés, 2023), puede ser considerada como una media periódica de datos en distintos rangos de tiempo que permitan explicar las variaciones de un conjunto de datos meteorológicas y oceanográficos. Estas composiciones fueron usadas para visualizar la variación espacio - temporal de las condiciones oceánicas a lo largo de la franja ecuatorial del océano Pacífico y la región marítima adjunta a la costa peruana.

Así mismo, se analizó la evolución temporal de las anomalías térmicas de cada una de las áreas de El Niño limitadas ente 5°N-5°S y 150°W-160°E (Niño 4), 5°N-5°S y 170°W-120°W (Niño 3.4), 5°N-5°S y 150°W-90°W (Niño 3) y de 0°-10°S a 90°W-80°W (Niño 1+2). Además, se identificó los cambios estacionales de los indicadores ONI e ICEN en el transcurso de los últimos 12 meses.

### **3.3 Contribución en la solución de situaciones problemáticas que se hayan presentado durante su estancia en la empresa**

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), desempeña un papel fundamental brindando información oportuna relacionados al exceso o escasez de precipitaciones en distintos puntos del país. Y, a través del análisis detallado de datos meteorológicos y el uso de modelos predictivos, hemos podido identificar sistemas sinópticos y su respectiva tendencia que han contribuido a comprender mejor las condiciones secas. Además, se ha trabajado en estrecha colaboración con instituciones públicas y empresas privadas para desarrollar pronósticos meteorológicos a corto y mediano plazo que permitan tomar decisiones informadas. Nuestra capacidad para proporcionar información precisa y oportuna sobre las condiciones del tiempo ha sido crucial para ayudar a estas organizaciones a mitigar los riesgos asociados con el periodo seco prolongado.

### **3.4 Análisis de su contribución en términos de las competencias y habilidades adquiridas durante su formación profesional, considerando la revisión de literatura actualizada y pertinente**

Durante mi formación profesional, he adquirido una amplia gama de competencias y habilidades que me han permitido contribuir significativamente en el área de meteorología en la Dirección Zonal 2 del SENAMHI, especialmente en la comprensión y análisis de condiciones océano – atmosféricas relacionadas con períodos secos. Esto me ha permitido desarrollar estrategias y técnicas efectivas para anticipar y mitigar los impactos que pueda ocasionar los periodos con escasas precipitaciones al noroeste del Perú. Además, he mejorado mis habilidades en la recolección y análisis de datos meteorológicos, así como en la utilización de modelos climáticos y herramientas de pronóstico. Estas competencias han sido fundamentales para proporcionar información precisa y oportuna a diferentes sectores, contribuyendo así a la toma de decisiones y a la gestión efectiva.

### **3.5 Explicar el nivel de beneficio obtenido por el centro laboral de su contribución a la solución de las situaciones problemáticas**

Los resultados obtenidos con respecto a la reducción de las precipitaciones en el noroccidente del Perú, permitieron que la entidad siga brindando información oportuna a los usuarios de sistema de abastecimiento de agua para consumo humano y uso agrícola, titulares de embalses, operadores de infraestructura hidráulica e instituciones regionales como la Gerencia Regional de Agricultura (GRA), Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) y Autoridades Administrativas y Locales del Agua (ANA/ALA), que llevaron a cabo distintos planes para contrarrestar los efectos negativos que pueda causar un evento seco y minimizar las pérdidas económicas.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A lo largo de este capítulo, se presentará los resultados y discusiones obtenidos durante el desarrollo del trabajo para determinar las configuraciones océano – atmosféricas que coadyuvaron la disminución de las precipitaciones y caudales de los ríos en el noroeste del territorio peruano.

### 4.1 Análisis exploratorio de datos pluviométricos

En cada una de las estaciones de monitoreo, se verificó la disponibilidad de información de precipitaciones diarias durante tres intervalos de diez días cada uno, correspondientes al mes de febrero de 2021. Se identificó 51 puntos (Tabla 6) con un mínimo del 95 % de los registros (Rivadeneira, 2019), situados la sierra y selva de los departamentos de Piura, Lambayeque, La Libertad, Cajamarca y Amazonas.

**Tabla 6:** Estaciones convencionales con información pluviométrica disponible

Departamento	Estación meteorológica	Feb-21			Estación meteorológica	Feb-21		
		1°d	2°d	3°d		1°d	2°d	3°d
Piura	Ayabaca	●	●	●	Huancabamba	●	●	●
Piura	Chalaco	●	●	●	Sondorillo	●	●	●
Piura	Tuluce	●	●	●	Sapillica	●	●	●
Piura	Huarmaca	●	●	●	Santo Domingo	●	●	●
Piura	Porculla	●	●	●	Sausal de Culucan	●	●	●
Piura	Hacienda Shumaya	●	●	●				
Lambayeque	Incahuasi	●	●	●	Cueva Blanca	●	●	●
La Libertad	Cachicadan	●	●	●	Julcan	●	●	●
La Libertad	Callancas	●	●	●	Mollepata	●	●	●
La Libertad	Huangacocha	●	●	●	Quiruvilca	●	●	●
La Libertad	Huamachuco	●	●	●	Salpo	●	●	●
Cajamarca	Augusto Weberbauer	●	●	●	Granja Porcón	●	●	●
Cajamarca	Bambamarca	●	●	●	Jaén	●	●	●

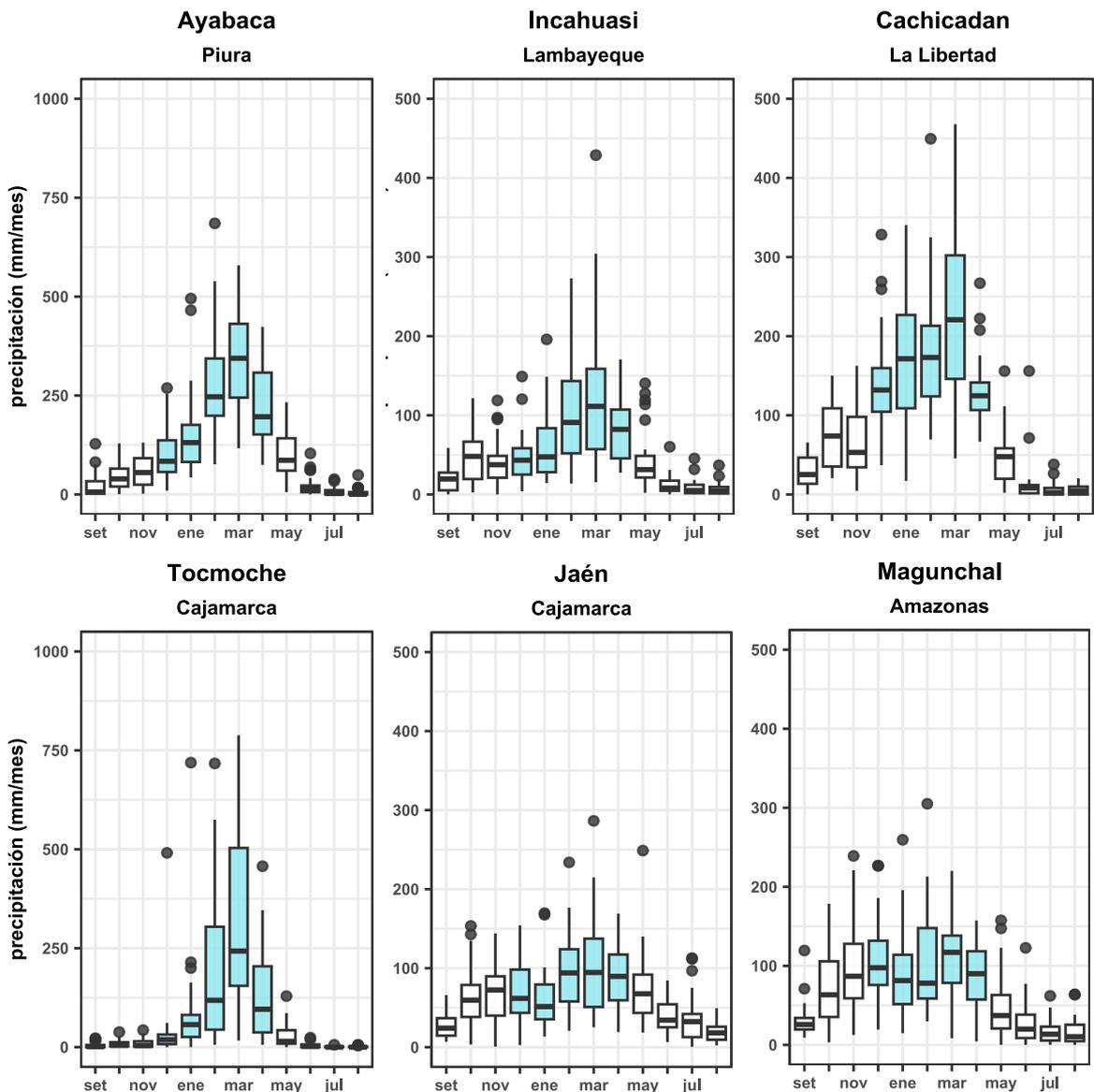
Continuación ...

Departamento	Estación meteorológica	Feb-21			Estación meteorológica	Feb-21		
		1ºd	2ºd	3ºd		1ºd	2ºd	3ºd
Cajamarca	Cachachi	●	●	●	Lives	●	●	●
Cajamarca	Cajabamba	●	●	●	Magdalena	●	●	●
Cajamarca	Chancay Baños	●	●	●	Namora	●	●	●
Cajamarca	Chilete	●	●	●	Hacienda Pucará	●	●	●
Cajamarca	Chontalí	●	●	●	Quebrada Shugar	●	●	●
Cajamarca	Chota	●	●	●	Sallique	●	●	●
Cajamarca	Chotano Lajas	●	●	●	San Juan	●	●	●
Cajamarca	Chugur	●	●	●	San Marcos	●	●	●
Cajamarca	Contumazá	●	●	●	Santa Cruz	●	●	●
Cajamarca	El Limón	●	●	●	Tocmoche	●	●	●
Cajamarca	Udima	●	●	●				
Amazonas	Chachapoyas	●	●	●	Jazán	●	●	●
Amazonas	El Pintor	●	●	●	Magunchal	●	●	●
Amazonas	Jamalca	●	●	●				

1ºd, 2ºd y 3ºd representan la primera, segunda y tercera decadiaria respectivamente.

Dada la coyuntura que tuvo la enfermedad por coronavirus (COVID-19), causada por el virus SARS-CoV-2 (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2022), el Estado peruano emitió el Decreto Supremo N° 044-2020-PCM para disponer el aislamiento social obligatorio (cuarentena), causando limitados registros de datos meteorológicos en las estaciones convencionales, localizadas en zonas de Bagua Chica (Amazonas), Asunción, Cochabamba, Cutervo, Huambos, Llama, Llapa, Niepos, Querocotillo, San Benito, San Ignacio, San Miguel, Tabaconas (Cajamarca) y Sinsicap (La Libertad) durante el segundo mes del año de 2021.

Posteriormente, se examinó la variabilidad de las precipitaciones mensuales en cada estación mediante el diagrama de cajas o bloxplot (Figura 2 y Anexo 6) entre 1991 y 2020, con el propósito de reconocer los meses con acumulados elevados (periodo lluvioso) y reducidos (periodo seco). Durante el proceso, se identificó distintas estaciones con valores atípicos, es decir, registros anómalos de precipitaciones ligados a la fase positiva y negativa de El Niño - Oscilación del Sur (ENSO) en su componente oceánico. Tras verificar estos datos en las planillas, se confirmó que eran correctos.



**Figura 2.** Diagrama de cajas de precipitaciones mensuales en el periodo de 1991 – 2020

Las figuras boxplot evidencian que, en gran parte de la zona andina en el noroeste del territorio peruano, las precipitaciones son abundantes entre los meses de diciembre de un año cualquiera hasta abril del año siguiente, con acumulados superiores a los 50 mm; mientras tanto, las escasas precipitaciones dan lugar de junio a setiembre. Por otro lado, la zona selvática de los departamentos de Amazonas y Cajamarca exhiben precipitaciones en todo el año con registros máximos en los meses de verano por encima de los 80 mm.

Las valores medios y percentiles de eventos extremos de las precipitaciones mensuales y decadiarios también mostraron la misma distribución temporal, centrandó la observación en el mes de febrero para el noroccidente de la selva y sierra del Perú (Anexo 4 y Anexo 5).

## **4.2 Identificación de la frecuencia e intensidad de las precipitaciones diarias y la variación temporal de los caudales de los principales ríos del norte peruano**

En el transcurso de la primera decadiaria de febrero de 2021 (Tabla 6 y Figura 3), las estaciones convencionales del SENAMHI, distribuidas en la sierra de Piura, registraron precipitaciones diarias de manera irregular con acumulados individuales por debajo del umbral P90 (lluvioso); incluso, las precipitaciones diarias más altas fueron obtenidas por Chalaco, Ayabaca, Santo Domingo y Tuluca con 16 mm, 14.1 mm, 12.7 mm y 9.4 mm en ese orden. En estos primeros 10 días, el 62.7 % de este periodo presentó días secos o escasas precipitaciones inferiores a 1 mm.

Con respecto a la segunda decadiaria, los observadores meteorológicos reportaron precipitaciones regularmente del 11 al 16 de febrero; puntualmente, el día 15 resalta por sus altos registros de hasta 76 mm en Huarmaca, 32.2 mm en Santo Domingo, 31 mm en Chalaco y 24.9 mm en Tuluca, donde las dos primeras estaciones se han caracterizado como extremadamente lluvioso y lluvioso respectivamente; no obstante, se obtuvo un 61.8 % del total con varios días en los que se anotaron menos de 1 mm de precipitación.

En relación a la última decadiaria, las precipitaciones tendieron a presentarse en los últimos días, sin embargo, ninguna estación meteorológica registró valores que excedieran el umbral P90 (lluvioso); precisamente, las mediciones más altas se registraron en Tuluca con 15.3 mm, 15 mm y 10.7 mm, Porculla con 13.4 mm, Huarmaca con 11.2 mm y Chalaco con 10.1 mm. Como resultado, en la región andina de Piura, el 61.4 % de los días mostraron acumulados de precipitaciones entre 0 y 1 mm.

En el transcurso del mes de febrero de 2021, las estaciones de Cueva Blanca e Incahuasi, ubicadas en la sierra de Lambayeque, han mostrado una notoria disminución en la frecuencia e intensidad en las precipitaciones, reportando únicamente 12 y 8 días de medición, en ese orden. Los registros más altos fueron de 3 mm, 9.6 mm y 15 mm correspondientes a la primera, segunda y tercera decadiaria; además, en cada uno de estos intervalos, se observó que el 85 %, 65 % y 37.5 % de los días totales poseían valores por debajo de 1 mm.

Por otro lado, las estaciones de monitoreo en La Libertad experimentaron irregularidades significativas en la distribución espacial y temporal de las precipitaciones. Se observó que, en la primera serie de 10 días, ninguna estación registró valores por encima de sus umbrales extremos, a pesar que, en el quinto día del mes, éstas obtuvieron acumulados de hasta 22.6 mm en Cachicadan, 13.8 mm en Mollepata, 13.1 mm en Huangacocha y 11.2 mm en

Quiruvilca. Así mismo, la cantidad de días sin precipitaciones o inferiores a 1 mm, representó el 67.5 % del total de días por estación.

En el segundo periodo de 10 días, se agrava las mediciones de las precipitaciones en este departamento, específicamente, se documentó 4 días de esta información con cifras más altas de 14.6 mm en Huangacocha, 12.3 mm en Huamachuco, 5.7 mm en Cachicadan y 5.5 mm en Quiruvilca. Las limitadas precipitaciones en esta región, coadyuvaron la obtención de un 90 % de datos menores a 1 mm.

En el último tramo, las estaciones convencionales registraron algunas precipitaciones diarias con acumulados picos de 32 mm, 27.5 mm, 19.7 mm y 11.8 mm en Huamachuco, Huangacocha, Quiruvilca y Cachicadan, en su respectivo orden; no obstante, estos valores no superaron el percentil 90 (lluvioso). Por otra parte, se identificó el 62.5 % de días secos del total de estaciones monitoreadas.

En Cajamarca, durante los primeros 10 días del mes, se registró intensas precipitaciones en varias estaciones con altos niveles de acumulación en lugares como Chota, Chugur, Chotano Lajas, Granja Porcón y Chancay Baños, con 44 mm, 43.6 mm, 41.9 mm, 39.3 mm y 32.9 mm, las cuales se caracterizaron entre lluvioso y muy lluvioso. Estas precipitaciones no continuas, favorecieron la presencia de un 74.4 % de días con datos por debajo de 1 mm.

Para el segundo periodo, se pudo observar una reducción de las precipitaciones en gran parte de la región, llegando incluso a registrar tan solo 26.6 mm en Chugur, 21.6 mm en Sallique, 17.9 mm en la Quebrada Shugar y 16.5 mm en Udimá; estos valores se mantuvieron por debajo del umbral P90 (lluvioso). En consecuencia, se registró un porcentaje del 85.6 % de días con mediciones inferiores a 1 mm.

Durante el tercer intervalo, las precipitaciones tuvieron una mayor presencia al término del mes, donde las estaciones meteorológicas registraron acumulados de 40.9 mm en Granja Porcón, 32.6 mm en Augusto Werberbauer, 30.8 mm en Namora y 29.7 mm en Chotano Lajas; de estas mediciones, las dos primeras se clasificaron como lluviosos. En este periodo, se obtuvo un 66 % de días secos del total de estaciones monitoreadas.

Similar a lo observado en departamentos previos, en Amazonas, las precipitaciones no fueron constantes y tanto la primera como la tercera decadiaria presentaron altos registros de precipitación, mientras que, en el intervalo medio, las precipitaciones fueron esporádicas que no superaron el umbral P90 (lluvioso). En la primera parte, se reportó cifras máximas

de 21.1 mm en Jazán, 7.5 mm y 5.9 mm en Chachapoyas y 6 mm en Magunchal. Los montos más altos en el segundo intervalo de tiempo fueron de 16 mm y 6.7 mm en El Pintor, 10.1 mm en Magunchal, 8.6 mm en Chachapoyas y 3.4 mm en Jamalca. Finalmente, en los últimos días del mes, se observó acumulados de 29.9 mm y 18.1 mm en El Pintor, 17.4 mm y 10.9 mm en Jazán y 13.3 mm en Magunchal.

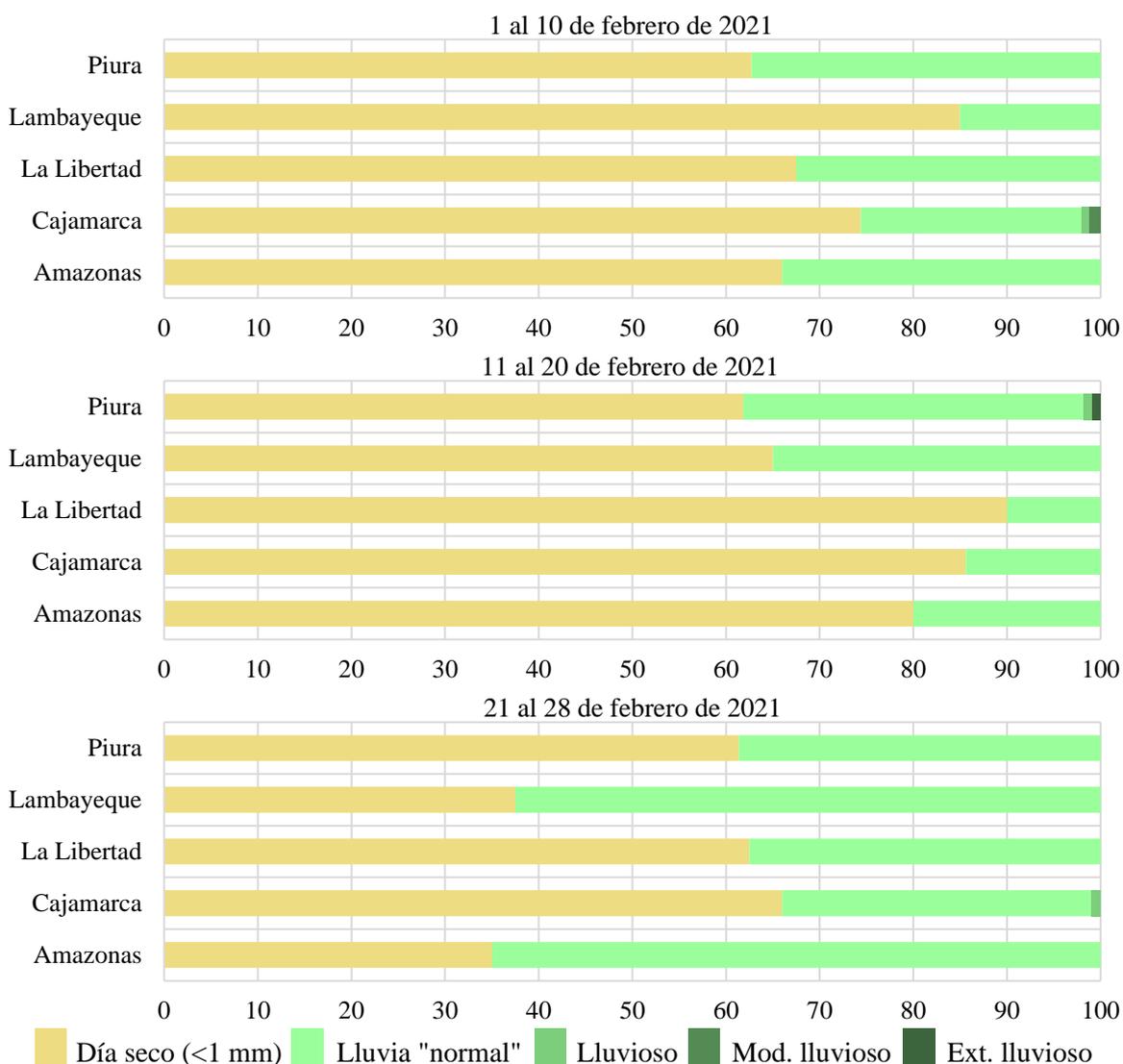
Estación	1 al 10 de febrero	11 al 20 de febrero	21 al 28 de febrero
Ayabaca	■	■	■
Chalaco	■	■	■
Tuluca	■	■	■
Huarmaca	■	■	■
Porculla	■	■	■
Hacienda Shumaya	■	■	■
Huancabamba	■	■	■
Sondorillo	■	■	■
Sapillica	■	■	■
Santo Domingo	■	■	■
Sausal de Culucan	■	■	■
Incahuasi	■	■	■
Cueva Blanca	■	■	■
Cachicadan	■	■	■
Callancas	■	■	■
Huamachuco	■	■	■
Huangacocha	■	■	■
Julcan	■	■	■
Mollepata	■	■	■
Quiruvilca	■	■	■
Salpo	■	■	■
Augusto Weberbauer	■	■	■
Bambamarca	■	■	■



**Figura 3.** Frecuencia e intensidad de las precipitaciones diarias en base a umbrales para febrero de 2021. La caracterización de lluvioso, moderadamente lluvioso y extremadamente lluvioso corresponde a la variación entre los percentiles 90, 95 y 99 respectivamente.

FUENTE: SENAMHI (2014).

En síntesis, todos los departamentos elegidos, presentaron más del 60 % de días secos en la primera y segunda decadiaria, indicando ausencia de precipitaciones. En la tercera decadiaria, los departamentos de Piura, La Libertad y Cajamarca conservaron esta proporción mayoritaria; no obstante, en Lambayeque y Amazonas, alrededor del 30 % al 40 % de los días tuvieron condiciones secas en relación con la cantidad de estaciones monitoreadas (Figura 4).

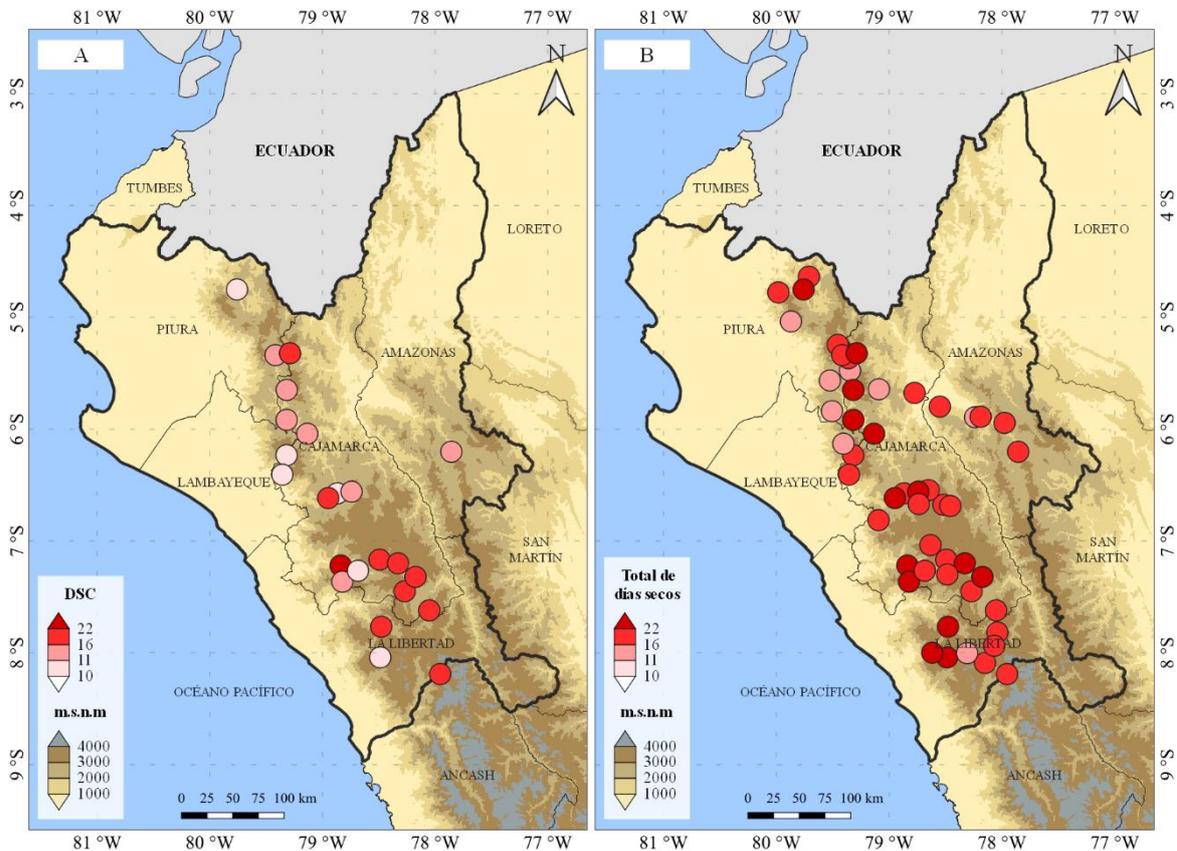


**Figura 4.** Representación porcentual de la cantidad de días secos por departamento (%). La caracterización de lluvioso, moderadamente lluvioso y extremadamente lluvioso corresponde a la variación entre los percentiles 90, 95 y 99 respectivamente.

FUENTE: Tomado de SENAMHI (2014).

Adicionalmente, al concluir el mes, se detectó períodos de veranillos en las áreas andinas de dichas regiones, es decir, la ocurrencia de 10 días o más consecutivos sin precipitaciones (SENAMHI, 2021). Las estaciones de Chilete, Callancas, Augusto Weberbauer, Santa Cruz,

Cajabamba, San Marcos, Cachachi y Mollepata destacaron por experimentar la mayor cantidad de días secos continuos, con registros de 28, 22, 22, 22, 21, 21, 19 y 17 días respectivamente. Además, el número total de días secos ocurridos en el mes de febrero de 2021, excedió los 20 días en 47 % de las estaciones seleccionadas (Figura 5).



**Figura 5.** Máxima frecuencia de días secos consecutivos (A) y días secos totales (B) en febrero de 2021

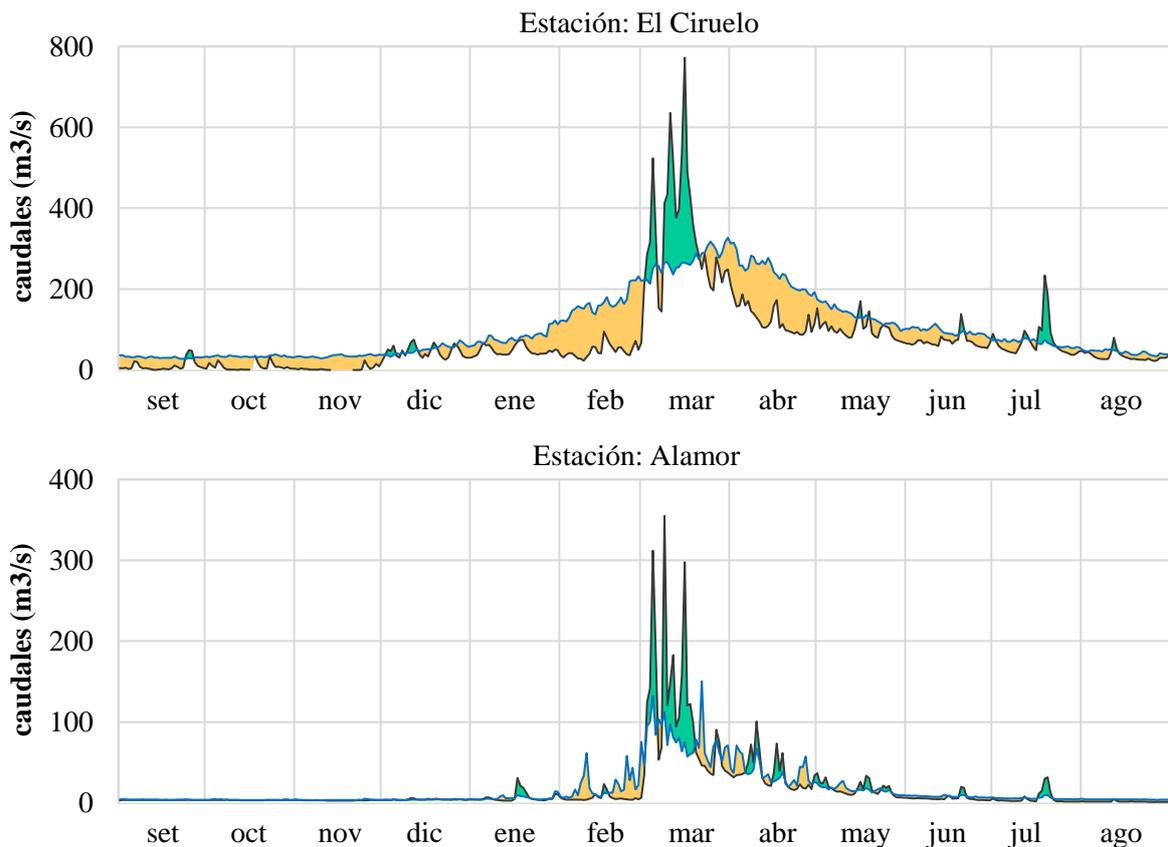
Los bajos registros de precipitación en la zona andina de la región noroccidental del país se vieron reflejadas, en primer lugar, como una disminución de los caudales de los principales ríos de las cuencas hidrográficas de Chira, Chancay-Lambayeque y Jequetepeque; ya que, según los datos del SENAMHI, se tuvo un periodo irregular del flujo de agua que discurrieron por la superficie de los cauces, medidas por las estaciones hidrológicas.

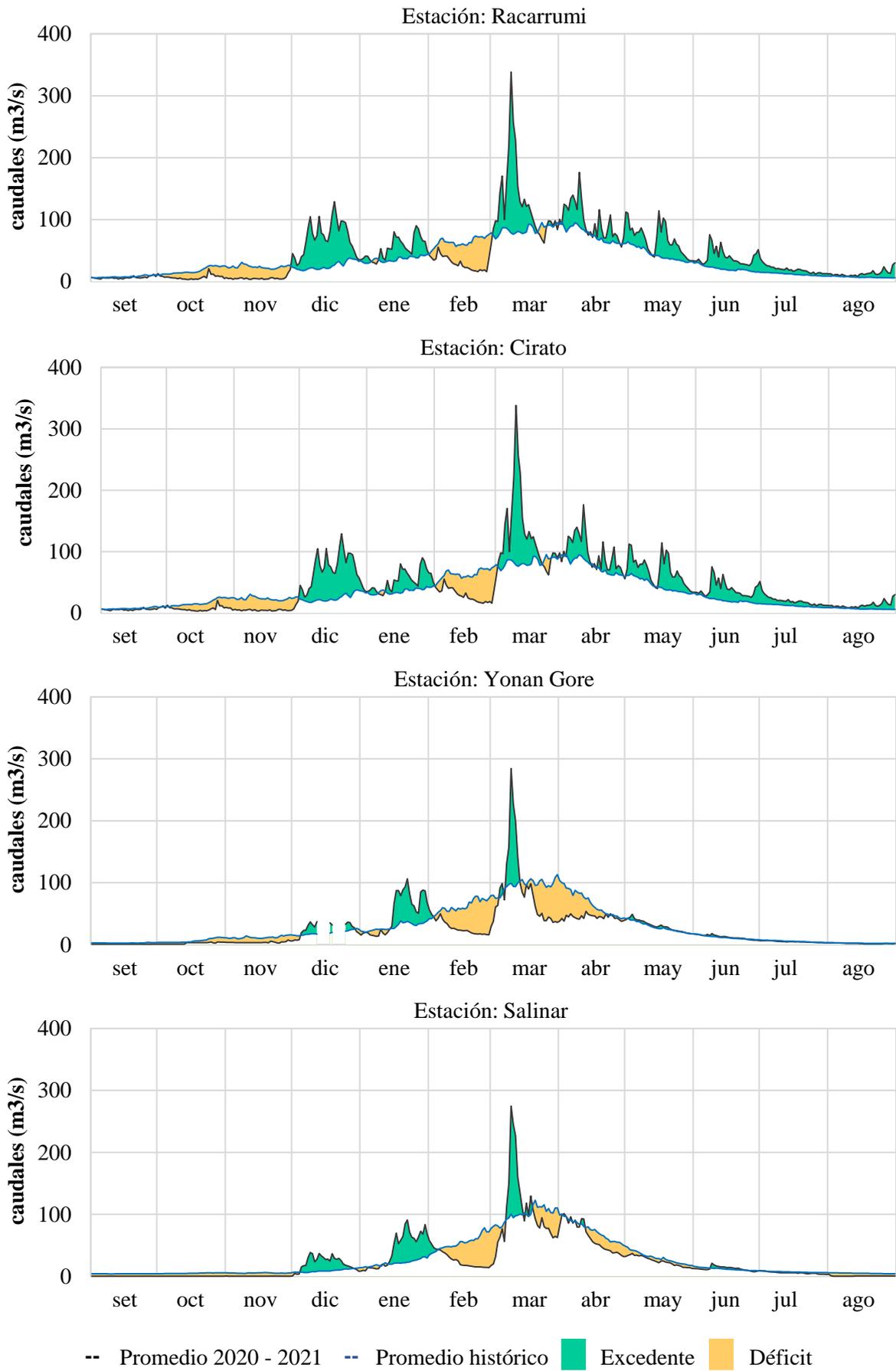
En Piura, durante el mes de febrero (Figura 6), los ríos Chira y Alamor promediaron caudales por debajo de sus valores normales diarios, precisamente, las estaciones hidrométricas de El Ciruelo y Alamor registraron caudales mínimos de hasta 22.5 y 3.5 m<sup>3</sup>/s en cada una de ellas. Y, en términos de promedio mensual (Figura 7), se observó una diferencia de 116.8 y 13 m<sup>3</sup>/s con respecto a los valores típicos.

En cuanto a los caudales del río Chancay-Lambayeque, las mediciones realizadas por las estaciones Racarrumi en Lambayeque y Cirato en Cajamarca indicaron un déficit en el transcurso del segundo mes de 2021. Se identificó valores más bajos de caudal diario de 15.8 y 21.4 m<sup>3</sup>/s en cada estación, correspondientemente. Además, los promedios mensuales tuvieron una disminución de 34 y 23.6 m<sup>3</sup>/s en comparación con lo esperado.

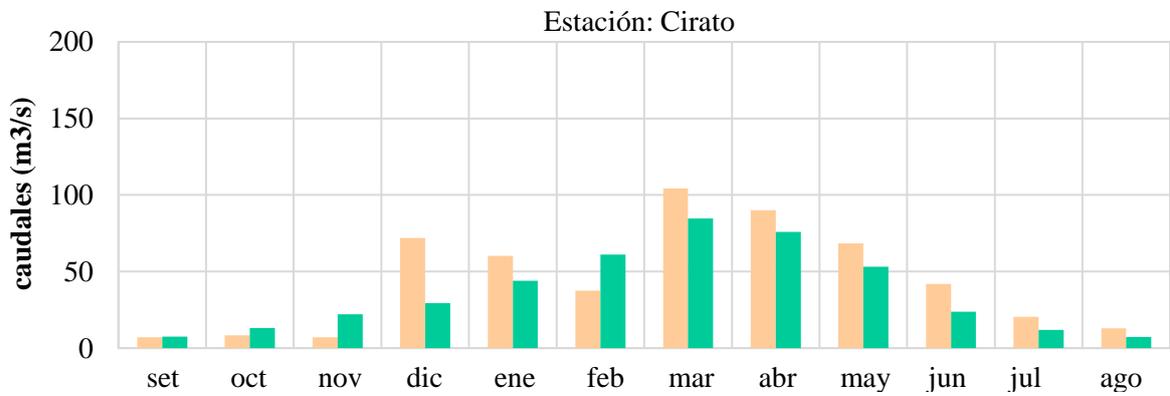
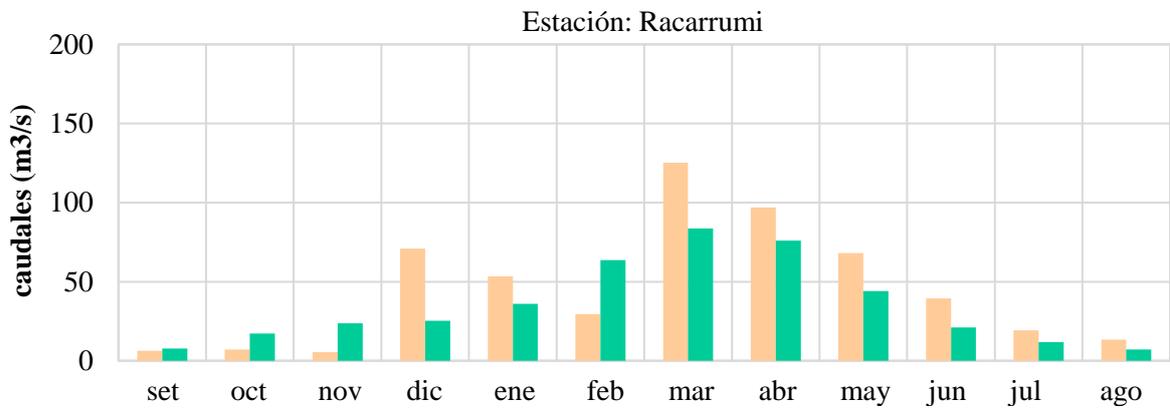
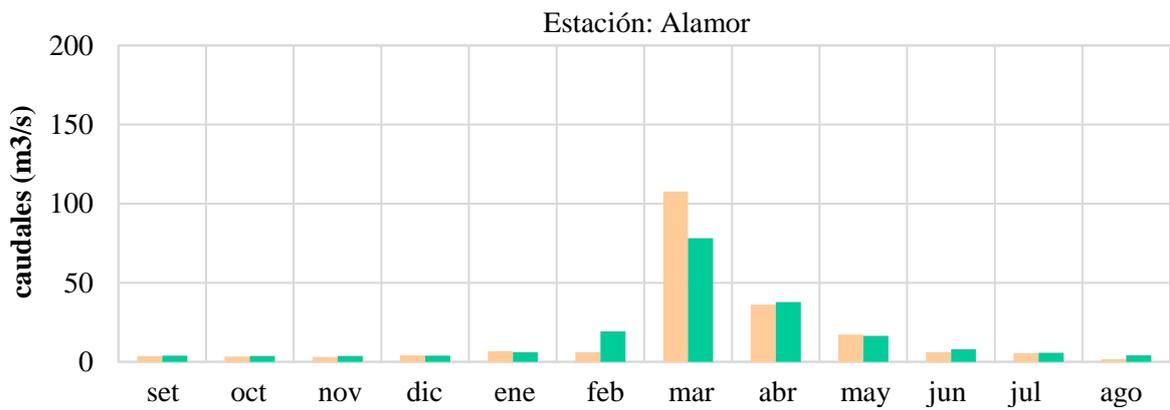
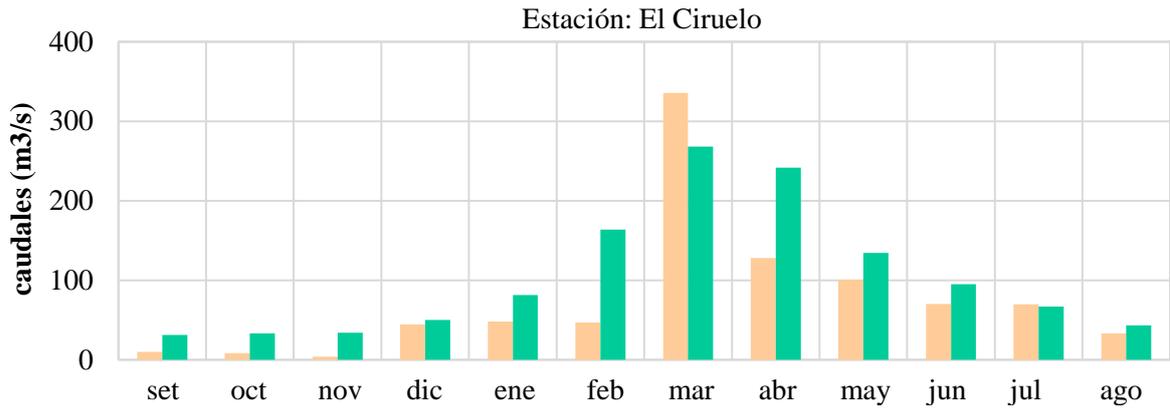
Al sur de la región monitoreada, los ríos Jequetepeque y Chicama, también evidenciaron una disminución en sus caudales. Las estaciones hidrológicas de Yonan Gore y Salinar, situadas en los departamentos de Cajamarca y La Libertad respectivamente, reportaron valores bajos de 16 y 13 m<sup>3</sup>/s. Además, estos puntos presentaron una variación mensual de 26.5 y 32.6 m<sup>3</sup>/s en comparación con los caudales normales.

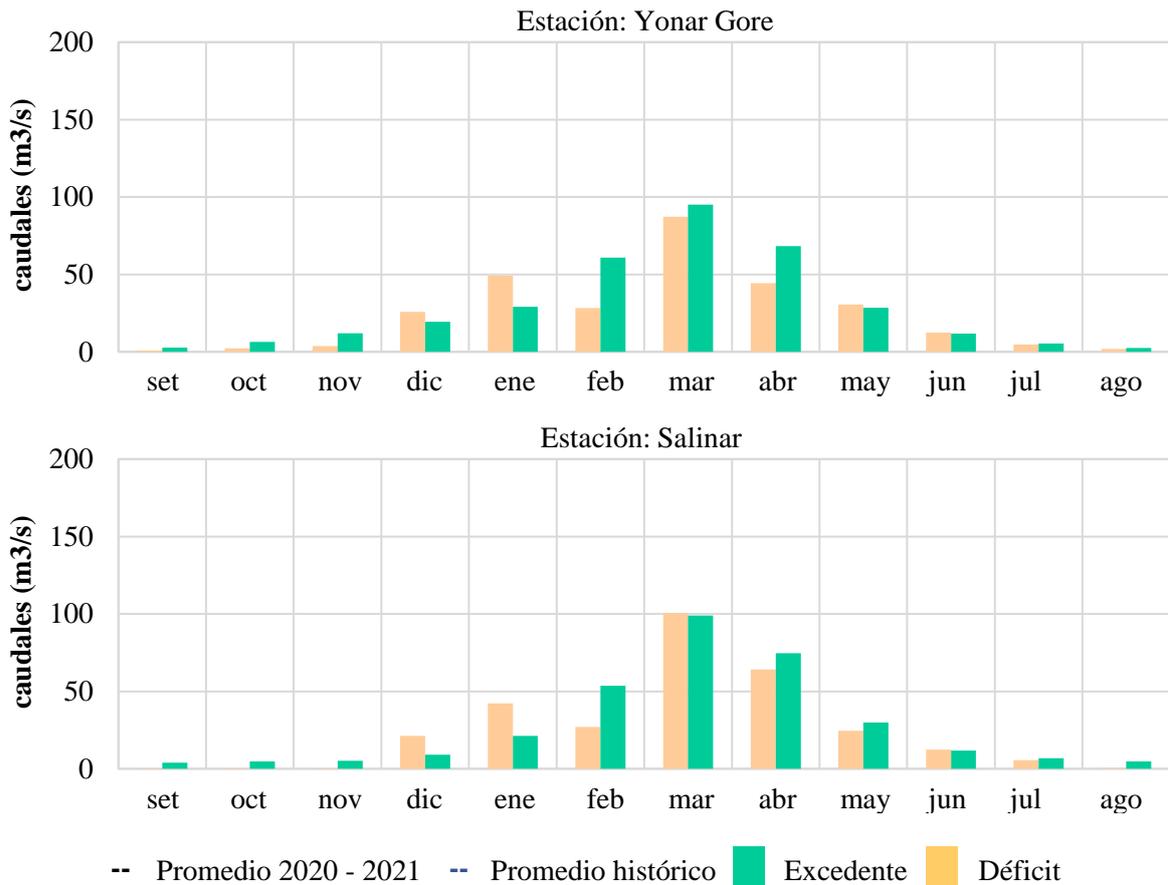
Es importante mencionar que las precipitaciones registradas al finalizar febrero e inicio de marzo, especialmente en las zonas media y alta de las cuencas hidrográficas mencionadas, provocaron un aumento en el caudal en el mes posterior al periodo analizado.





**Figura 6:** Distribución temporal de caudales diarios de la red de monitoreo en la fase hidrológica 2020 - 2021





**Figura 7:** Histograma de caudales mensual de la red de monitoreo en la fase hidrológica 2020 - 2021

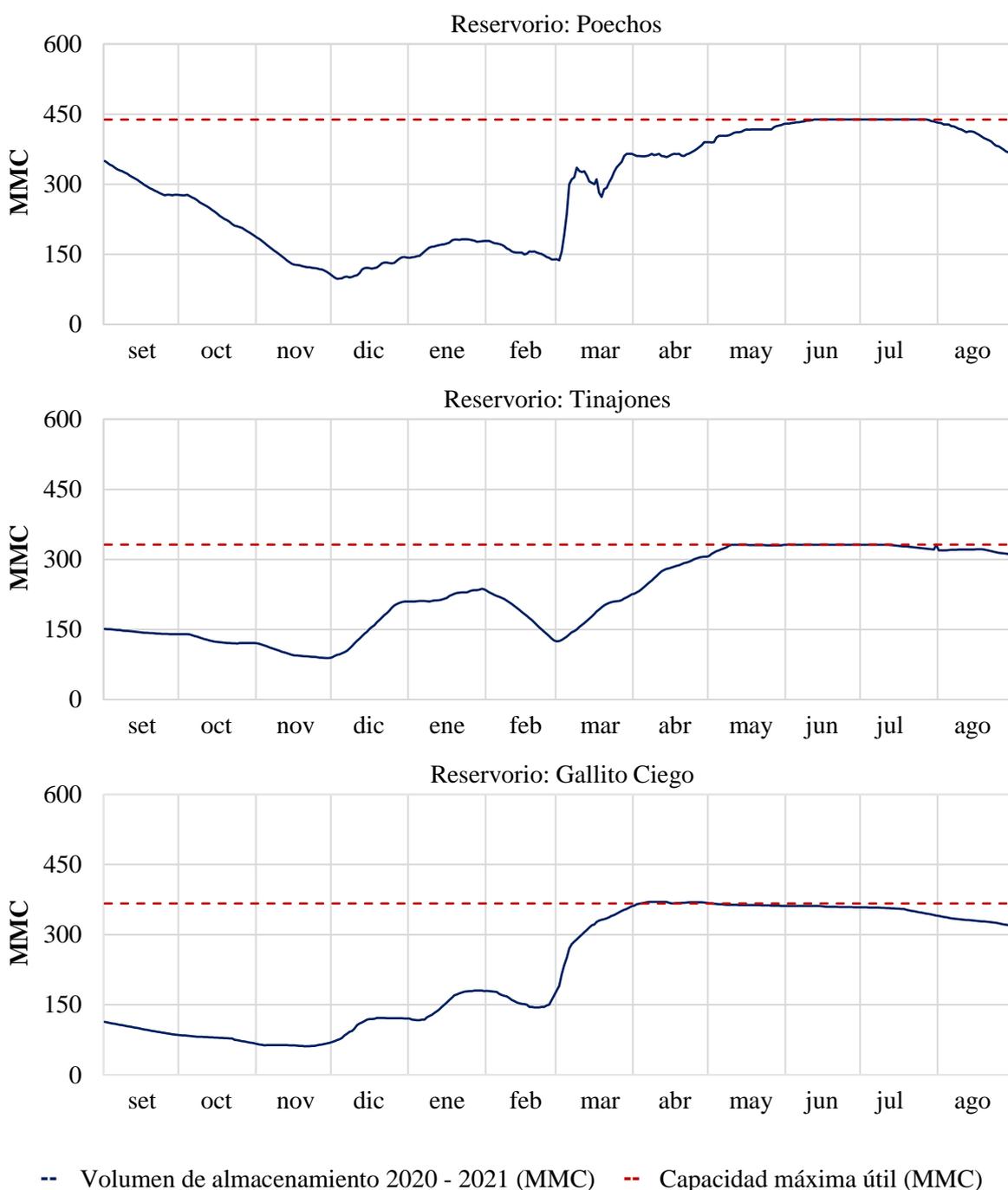
Como se puede apreciar, la región andina se ha distinguido por poseer un régimen de precipitaciones regular, lo que ha permitido mantener flujos estables en los ríos de la parte baja de las cuencas; sin embargo, la disminución en estas precipitaciones ocasionó una baja en los caudales de los ríos. Y, como resultado, los principales embalses de Piura, Lambayeque y La Libertad (Figura 8), esenciales para el suministro de agua en la zona, mostraron una notable disminución en sus niveles de reserva a lo largo del mes de febrero.

Los reservorios tenían niveles de almacenamiento favorables desde diciembre de 2020 hasta enero de 2021; no obstante, las escasas precipitaciones en la zona andina del noroeste del país, provocó una disminución en las reservas de agua en febrero. En el caso de Poechos, con una capacidad máxima útil de 438.3 mm<sup>3</sup>, el nivel disminuyó gradualmente, partiendo de 178.5 mm<sup>3</sup> a principios de mes y llegando al cierre con 139.1 mm<sup>3</sup>, lo que representó una carencia del 68.3 % del total almacenado.

Simultáneamente, el reservorio de Tinajones con una capacidad máxima útil de 331.6 mm<sup>3</sup>, mostró una notable disminución en su volumen de agua almacenada, pasando de 232.8 mm<sup>3</sup>

el 1 de febrero a 124.4 mm<sup>3</sup> el 1 de marzo, cambiando del 20.8 al 62.5 % de escasez con relación a su capacidad útil máxima.

Finalmente, en Gallito Ciego con una capacidad máxima útil de 366.6 mm<sup>3</sup>, se observó valores decrecientes hasta la segunda mitad del último tercio del mes de febrero, con una fluctuación aproximada de 173.2 a 144.1 mm<sup>3</sup> en ese período, lo que implicó un déficit del 60.7 %. Posteriormente, en marzo, se registró un aumento en su capacidad de almacenamiento de agua.

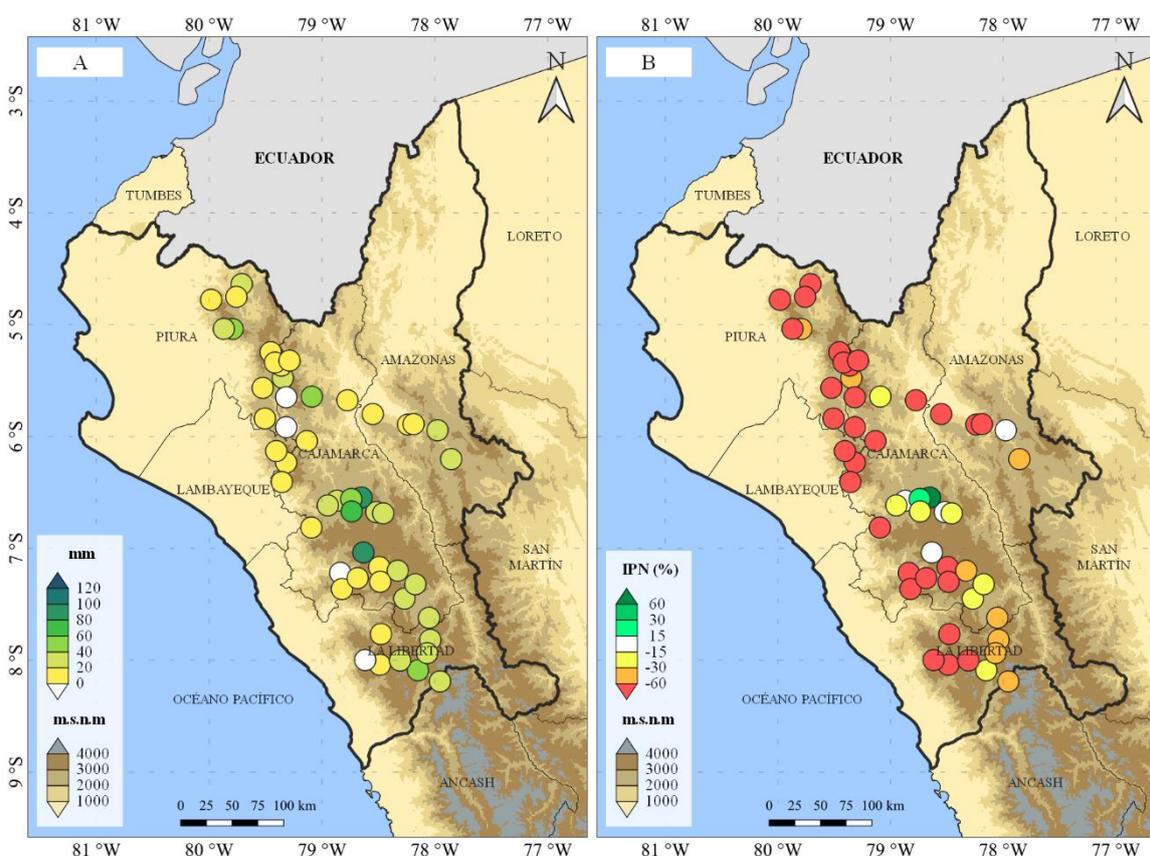


**Figura 8.** Volúmenes de almacenamiento de los principales reservorios en el norte del país

### 4.3 Caracterización de los acumulados de precipitaciones en el noroeste del país

En los primeros 10 días del mes (Figura 9), aproximadamente el 52.9 % de las estaciones seleccionadas registraron niveles de precipitación total de 0 a 20 mm, principalmente en la sierra occidental. Asimismo, alrededor del 33.3 % de estas estaciones informaron acumulaciones de precipitación entre 20 y 40 mm. En un menor porcentaje, el 9.8 % experimentó acumulaciones de 40 a 80 mm; mientras que, sólo el 3.9 % de las estaciones reportaron valores superiores a los 80 mm.

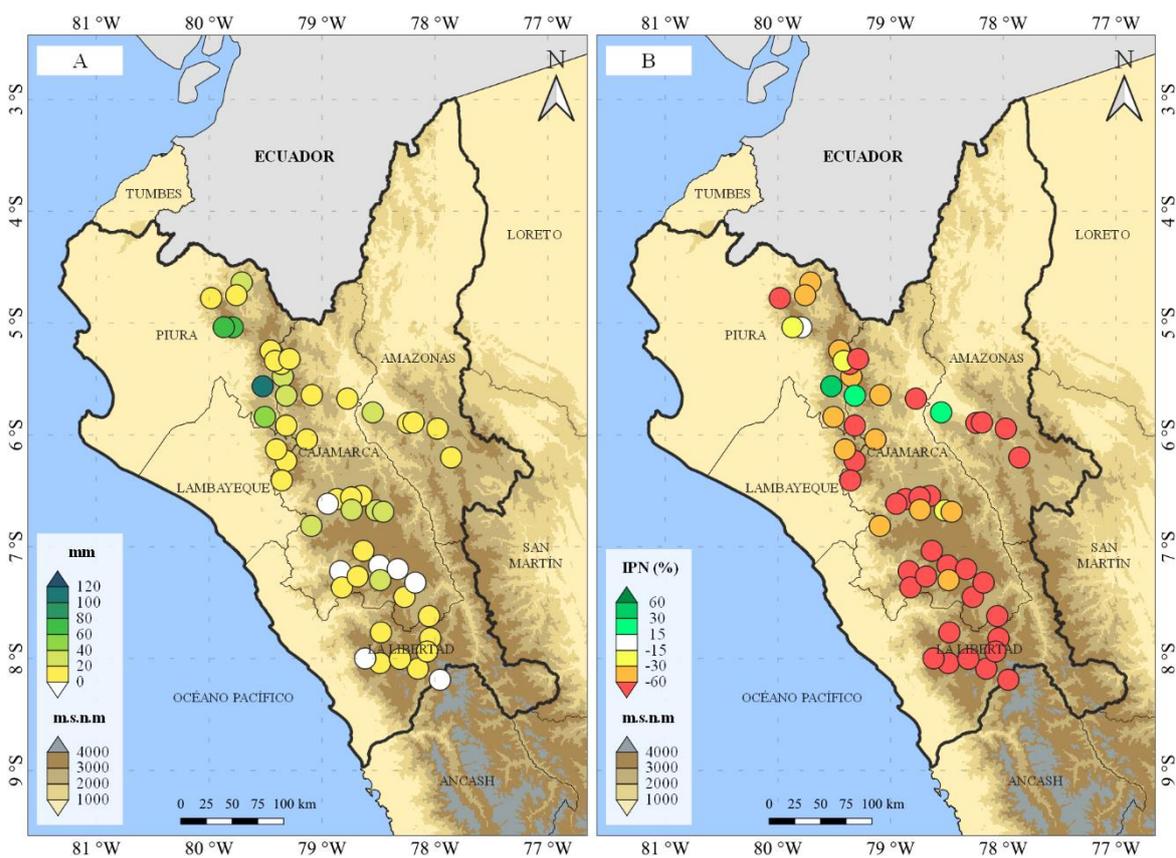
Considerando estas cantidades acumuladas, se observó que 30 estaciones situadas en cada uno de los departamentos y utilizadas para el monitoreo decadal, reflejaron condiciones de déficit, con anomalías porcentuales negativas que alcanzaron hasta el 100 %. Asimismo, 7 estaciones mostraron deficiencias que oscilaron entre un 30 y 60 %. Y otras 7, presentaron valores negativos del 15 al 30 %. Y, de manera puntual, se identificó que las estaciones de Chotano Lajas y Chota, exhibieron anomalías positivas de 25.7 y 106.1 %, respectivamente.



**Figura 9.** Variación espacial de los valores (A) y anomalías porcentuales (B) de precipitación en la primera decadiaria de febrero de 2021

Después de finalizar el segundo período de evaluación (Figura 10), se observó que cerca de 74.5 % de las estaciones totalizaron precipitaciones que oscilaron entre 0 y 20 mm; mientras que, un 17.7 % de ellas reportaron cifras que alcanzaron hasta 40 mm. Otros 5.8 % de las estaciones informaron registros de precipitaciones superiores a 40 mm, pero no excedentes a 80 mm. Y, únicamente, la estación de Huarmaca registró 119.4 mm.

De este resultado, se identificó que 32 estaciones exhibieron una notable carencia de precipitaciones, muy por debajo de sus acumulados normales, contemplando deficiencias en un rango del 60 al 100 %. Adicionalmente, 12 estaciones presentaron anomalías porcentuales negativas que fluctuaron entre el 30 y 60 %; mientras que, otras 3 reportaron una ligera escasez de precipitaciones del 15 al 30 %. Y, únicamente, las estaciones de Sallique, Huarmaca y El Pintor reflejaron un exceso de las precipitaciones en el transcurso del segundo periodo evaluado.

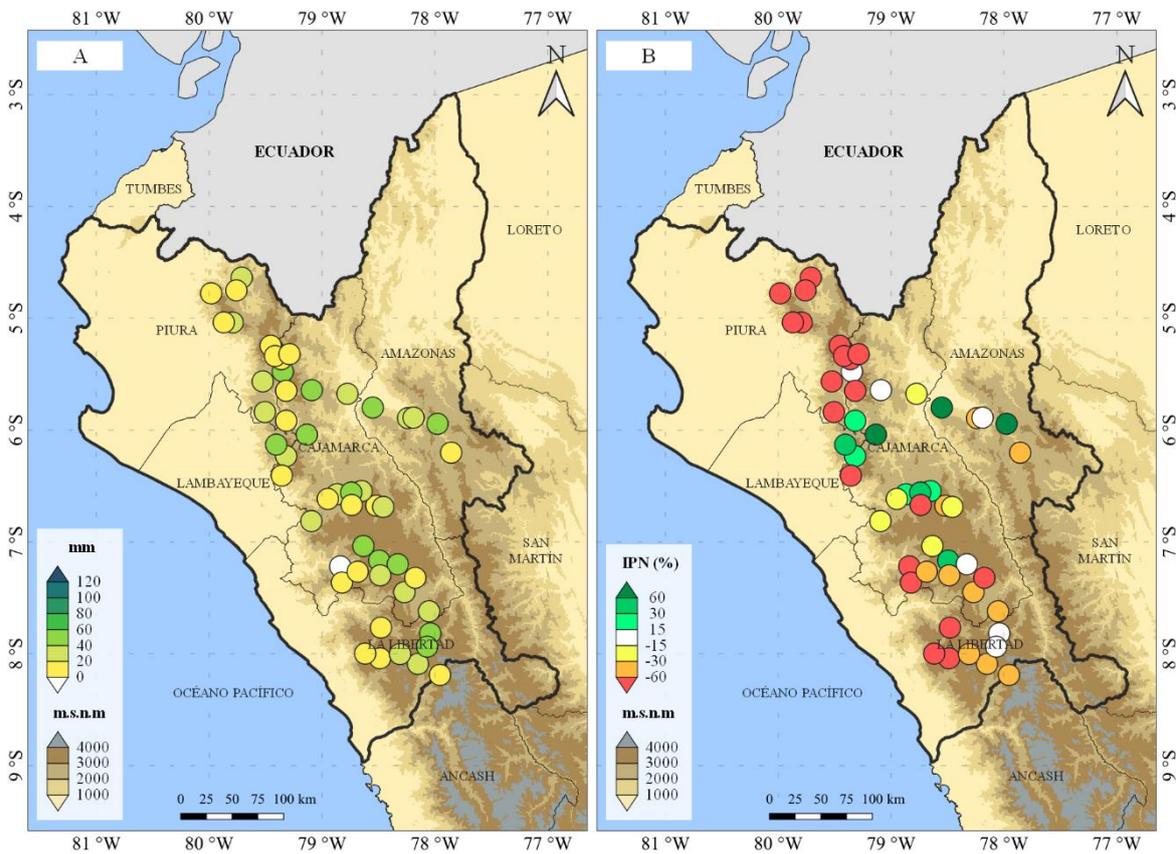


**Figura 10.** Variación espacial de los valores (A) y anomalías porcentuales (B) de precipitación en la segunda decadiaria de febrero de 2021

Durante la tercera decadiaria, a diferencia de los primeros lapsos de tiempo, las cantidades de precipitaciones acumuladas por las estaciones convencionales en las zonas andinas y

selváticas de nuestro ámbito de monitoreo, experimentaron incrementos significativos (Figura 11). El 43.1 % del total registraron acumulados que variaron de 0 a 20 mm, y un 33.3 % que oscilaron entre 21 y 40 mm. Se resalta, además, que un 24.5 % de las estaciones reportaron precipitaciones de 40 a 80 mm, reflejando condiciones húmedas.

A pesar de esto, las condiciones de sequedad aún prevalecieron a lo largo del departamento de Piura con 10 estaciones que alcanzaron unas deficiencias mayores al 70 %; mientras que, en Cajamarca, 7 lugares reflejaron condiciones secas con valores por encima del 60 % y otras 10 presentaron un déficit del 15 al 60 %. En caso de La Libertad, éste registró 6 puntos entre 40 y 70 % por debajo de sus valores esperados. Al mismo tiempo, en Amazonas sólo se reportó 2 sitios con anomalías porcentuales negativas entre 30 y 50 %. Además, en este periodo, la sierra de Lambayeque presentó superávit en las 2 estaciones seleccionadas.



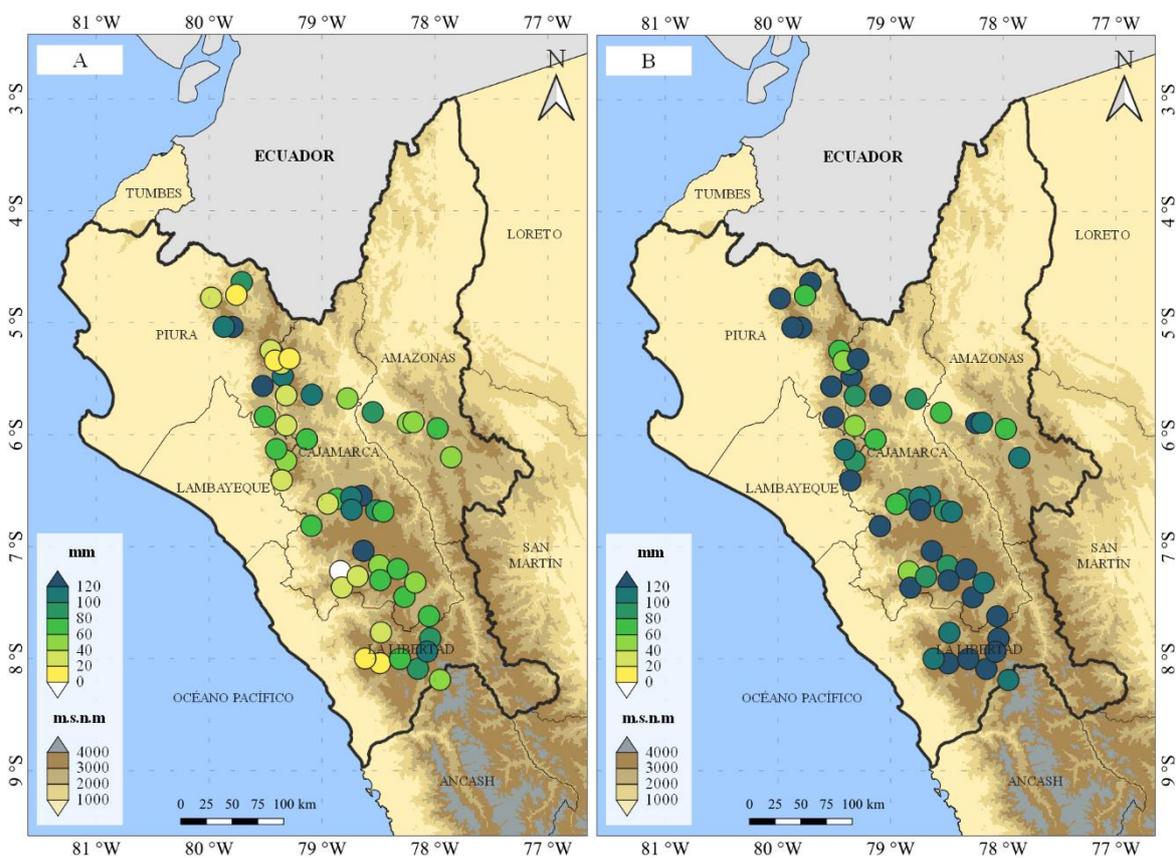
**Figura 11.** Variación espacial de los valores (A) y anomalías porcentuales (B) de precipitación en la tercera decadiaria de febrero de 2021

En suma (Figura 12), en febrero de 2021, la sierra de Piura experimentó bajos registros de precipitaciones con respecto a sus valores normales, con cifras elevadas que alcanzaron los 150.3 mm, 146.5 mm y 114.9 mm, a pesar de que se anticipaban cantidades de hasta 292.9 mm, 266 mm y 252 mm. De la misma manera, la pequeña área andina de Lambayeque

mostró datos por debajo del promedio: Incahuasi y Cueva Blanca reportaron 51.6 mm y 70.9 mm, respectivamente; mientras que, las expectativas eran de 98.4 mm y 113.3 mm, en ese orden.

En La Libertad, se observaron máximos de 102.8 mm, 85.4 mm y 83.7 mm, sin llegar a las proyecciones de 190.7 mm, 178.2 mm y 176.4 mm. Por otro lado, la región Cajamarquina, también exhibió la disminución en sus registros más altos, con 139.4 mm, 120.3 mm y 113 mm, frente a lo esperado de 242.6 mm, 227.2 mm y 201.1 mm.

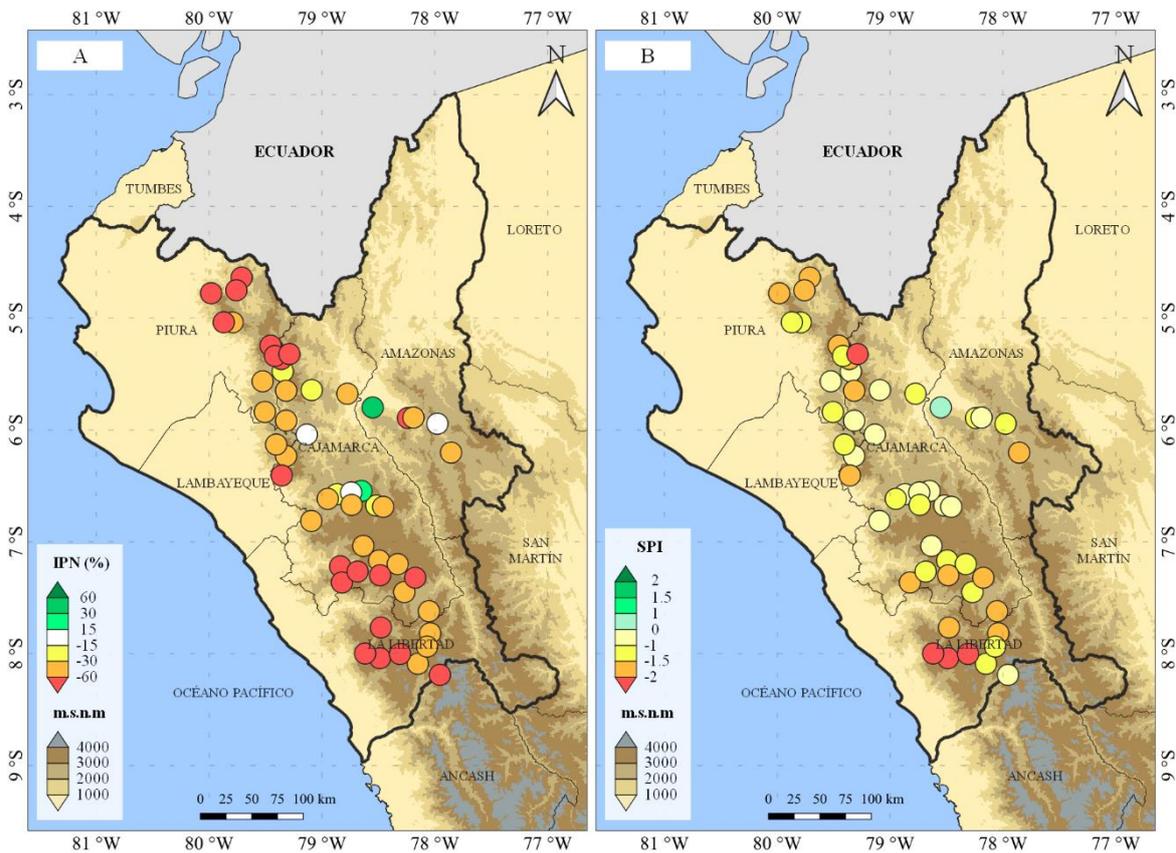
Además, el departamento de Amazonas, no estuvo exento de esta situación, donde las pocas estaciones registraron niveles máximos de 88.4 mm, 71.2 mm y 55.5 mm, considerablemente por debajo de los valores esperados de 140.2 mm, 105.2 mm y 103.9 mm.



**Figura 12.** Distribución espacial de las precipitaciones obtenidas en febrero de 2021 (A) y valores normales en el periodo climático de 1991 – 2020 (B)

Finalmente, el cálculo mensual de las anomalías porcentuales de las precipitaciones entendida como IPN y el resultado del SPI (Figura 13), demostraron que gran parte de la sierra y selva presentó circunstancias deficitarias.

Es importante señalar que los valores porcentuales negativos, entre 15 y 100 %, reflejan inicialmente períodos con déficit de precipitaciones, pero estos se comparan con un período de referencia de 30 años conforme a las condiciones climáticas normales; sin embargo, las desviaciones estandarizadas indican cuánto se aparta un registro de precipitación específico en relación con un período más amplio. Esto permitió identificar con mayor precisión que solo las estaciones de Julcán, Salpo y Quiruvilca, ubicadas en La Libertad, experimentaron condiciones extremadamente secas durante la "temporada de lluvias" con valores de SPI inferiores a -2; mientras que, 15 estaciones convencionales distribuidas en toda la región bajo observación, con excepción de Lambayeque, mostraron condiciones severamente secas con SPI entre -1.5 y -2. Otras 16 estaciones fueron catalogadas como moderadamente secas con SPI de -1 a -1.5, y al menos una estación en cada departamento presentó condiciones ligeramente secas con SPI menores a 0.

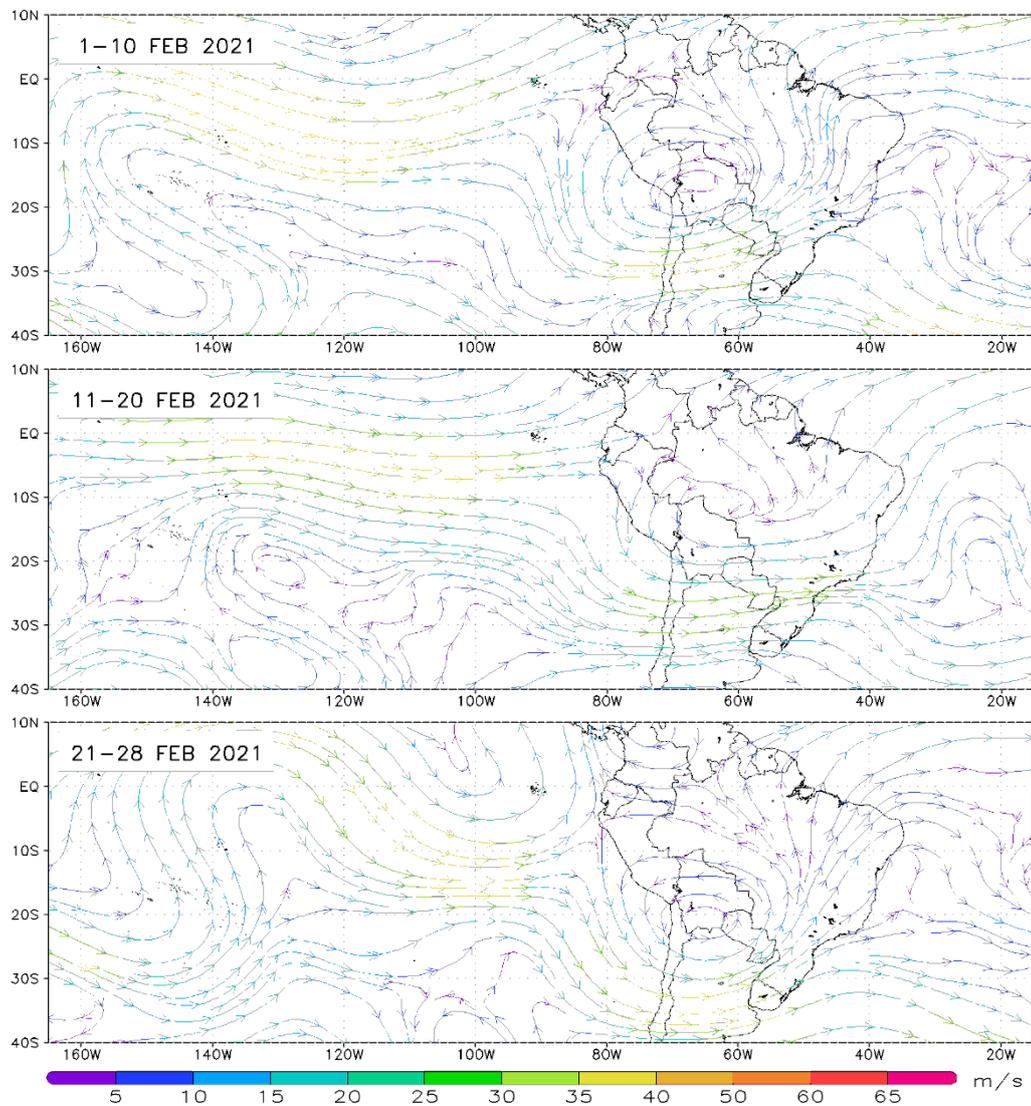


**Figura 13.** Variación espacial de los valores del IPN (A) y SPI (B) para el mes de febrero de 2021

## 4.4 Evaluación de los cambios en el entorno oceánico – atmosférico relacionados con la reducción de precipitaciones y caudales de los principales ríos en el noroeste de Perú

### 4.4.1 Troposfera alta

En el análisis de los primeros días de febrero de 2021 en niveles altos de la troposfera, a una altitud aproximada de 11784 m (Figura 14), se encuentra una vaguada con eje oblicua de SW-NE entre 115° y 82°W que, sumado a la configuración anticiclónica de la Alta de Bolivia (AB) con núcleo al oeste del altiplano boliviano, dan origen a una zona de collado sobre el territorio ecuatoriano y noroeste peruano. Este actúa como un inhibidor de posibles convecciones profundas debido a la convergencia por los oestes (Alva, 2018).



**Figura 14.** Líneas de corriente (m/s) a 250 hPa

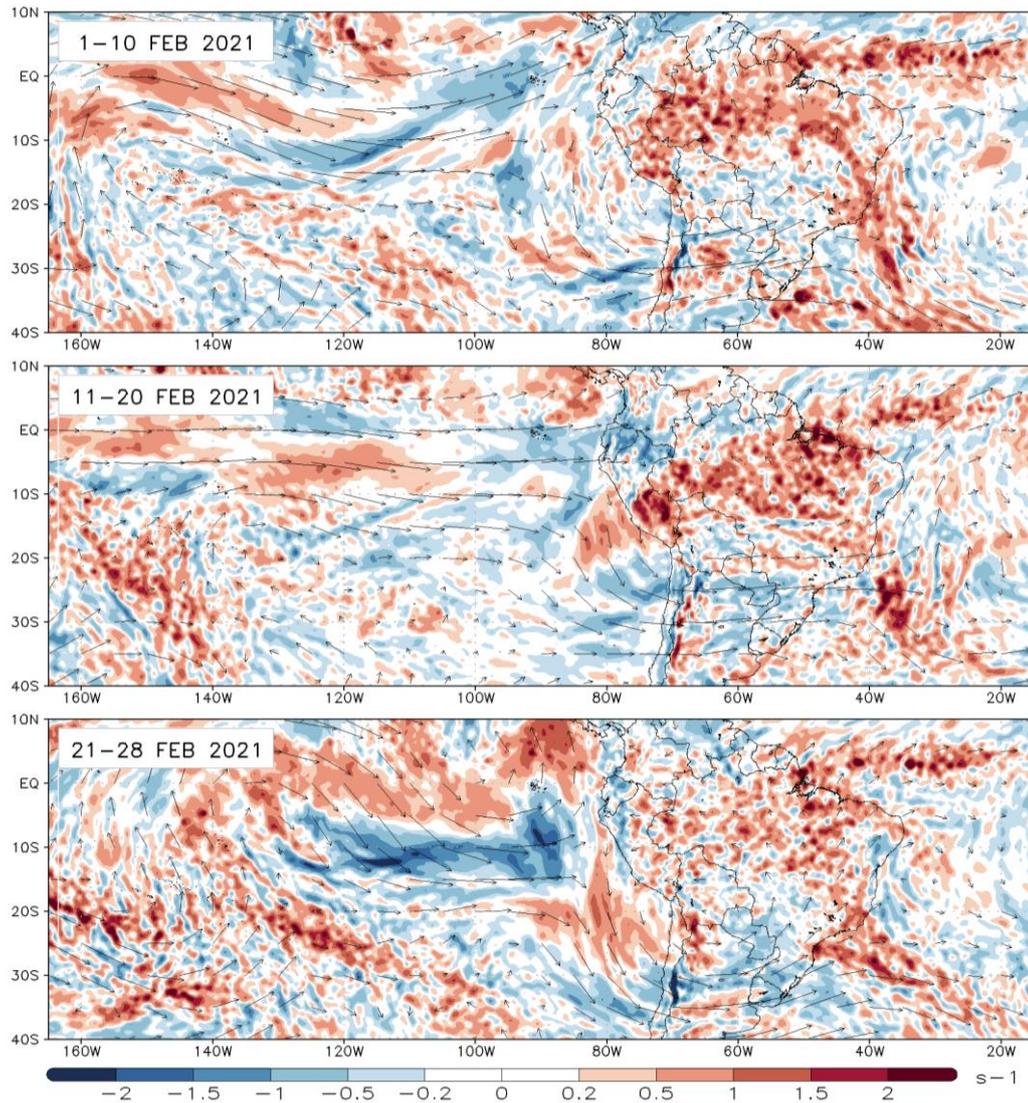
Los valores negativos de la divergencia al noroeste del Perú, del 1 al 10 de febrero, oscilaron en promedio de  $-0.2$  a  $-1 \text{ s}^{-1} \cdot 10^{-5}$  (Figura 15); esto demuestra convergencia en el nivel superior de la atmósfera que conllevó a una subsidencia hacia niveles inferiores, limitando el crecimiento de las nubes. Cabe señalar que la zona entre la línea ecuatorial y  $10^{\circ}\text{N}$  de los océanos Pacífico y Atlántico y la región centro y sur del país como el noroeste de Brasil, exhibieron valores altos de divergencia positiva asociados a vientos ascendentes y formación de nubes de tormenta; donde la primera está ligado a la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) y la segunda a la AB asociado a la vaguada del noreste de Brasil (VNB), comúnmente presentes en los meses de verano; sin embargo, la ubicación de las mismas, influyó en la cantidad de las precipitaciones sobre la selva, sierra e incluso costa de los departamentos de Piura, Lambayeque, La Libertad, Cajamarca y Amazonas.

En los siguientes 10 días, la vaguada mencionada anteriormente, se desplazó hacia el sureste mostrando una reducción de su eje oblicua posicionada entre  $90^{\circ}$  y  $78^{\circ}\text{W}$ , perdió intensidad y la parte posterior direccionó los vientos del oeste hacia la región de monitoreo. A esto, se sumó el debilitamiento y ubicación de la AB sobre el sector occidental del territorio brasileño; de esta manera, la zona de collado termina trasladándose al noroeste peruano.

Esto conllevó a una extensión espacial de la convergencia en niveles altos de la troposfera y vientos descendentes que inhibió cualquier desarrollo vertical de las nubes. En este segundo periodo de análisis, los valores de la divergencia negativa variaron entre  $-0.5$  y  $-1.5 \text{ s}^{-1} \cdot 10^{-5}$  en la zona andina y selvática del ámbito; mientras que, la franja ecuatorial del hemisferio norte, sur del país y parte central de Brasil continuaron mostrando cifras positivas.

En los últimos días del mes, la reaparición de la AB asociado a una VNB, la presencia de una dorsal con eje oblicua de NW-SE entre  $120^{\circ}$  y  $80^{\circ}\text{W}$  y la vaguada reducida con eje SW-NE entre  $100^{\circ}$  y  $80^{\circ}\text{W}$ , nuevamente coadyuvaron la formación de una zona de collado en el noroeste del Perú que, como se mencionó previamente, restringió el crecimiento de nubes convectivas de gran desarrollo vertical.

En este lapso de tiempo, las zonas convergentes en altos niveles de la troposfera, se concentró sobre los departamentos noroccidentales del territorio peruano con valores que rondaron entre  $-0.2$  y  $-1.5 \text{ s}^{-1} \cdot 10^{-5}$ ; mientras que, las zonas divergentes retomaron las áreas del centro y noreste del Perú y norte de Brasil, que contribuyeron a la presencia de nubes con posibles precipitaciones significativas.

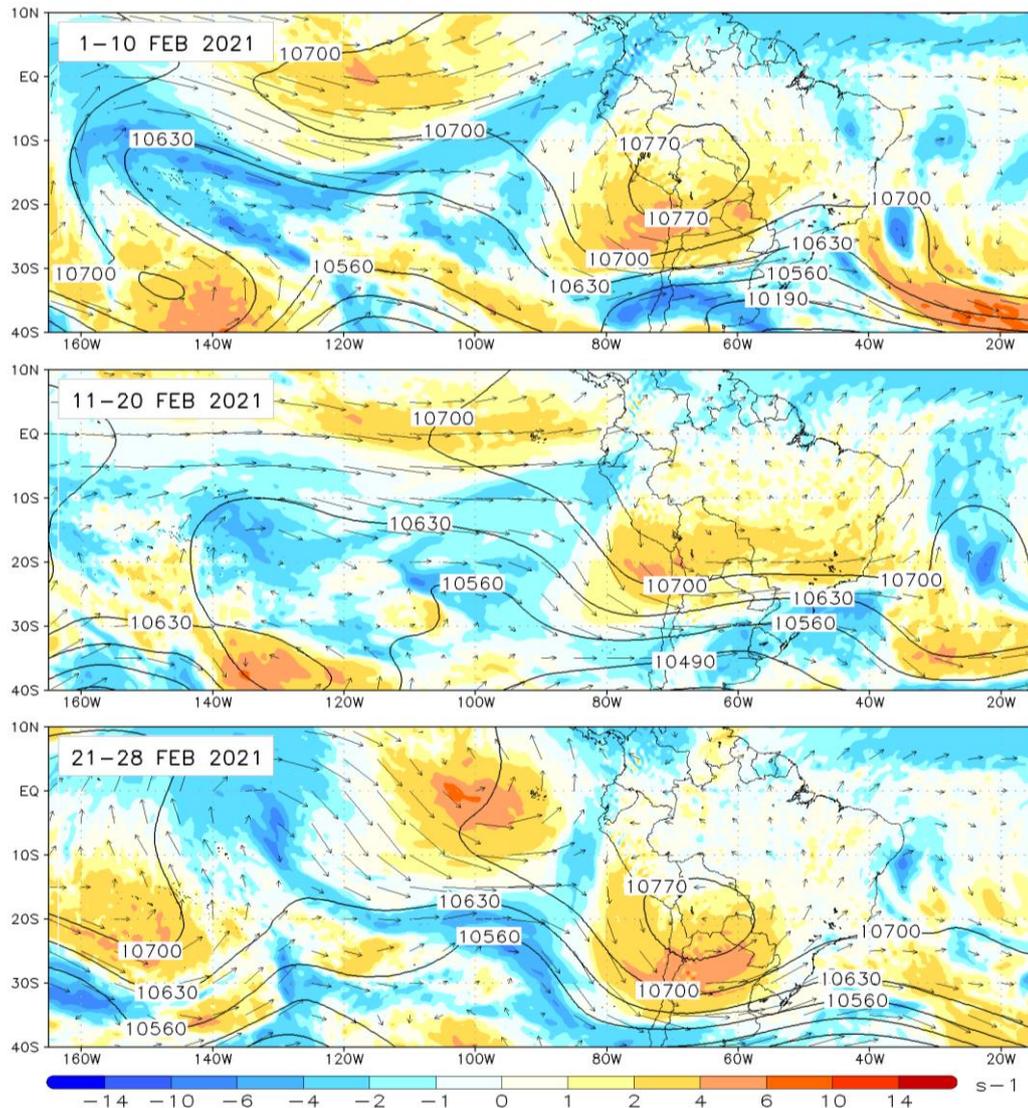


**Figura 15.** Divergencia ( $1/s \cdot 10^{-5}$ ) y viento (vector) a 250 hPa

Durante la primera decadiaria del mes, la distribución espacial del comportamiento de la altura geopotencial y vientos en niveles altos (Figura 16), reflejó la formación de la vaguada inclinada hacia el noroeste, entre  $115^{\circ}$  y  $82^{\circ}$ W; así mismo, las isohipsas ubicaron la zona de la AB cerrado y definido con altos valores sobre el altiplano de Bolivia y sur de Perú, de aproximadamente 10770 mgp. Además, la vorticidad relativa asociada a estos sistemas, exhibió cifras negativas al noroeste del país que variaron de  $-1$  a  $-4 \text{ s}^{-1}$ , atenuando la formación de sistemas convectivos en la región noroccidental del país.

En otro momento, del 11 al 20 de febrero de 2021, la vaguada pierde extensión de su eje que, sumado a la desorganización de la AB, permitieron la propagación de la vorticidad relativa negativa e ingreso de vientos continuos del oeste hacia la región noroccidental del país, reduciendo la probabilidad de convección profunda y formación de tormentas. Y, en

los últimos 8 días del mes, la AB reaparece con una configuración cerrada, definida y posicionada al sueste respecto a la primera decadiaria, ocasionando leves flujos del este en el noroeste del Perú. Además, debido a la existencia de una dorsal y una vaguada en ese periodo, se observó una suave vorticidad relativa negativa sobre esta región.



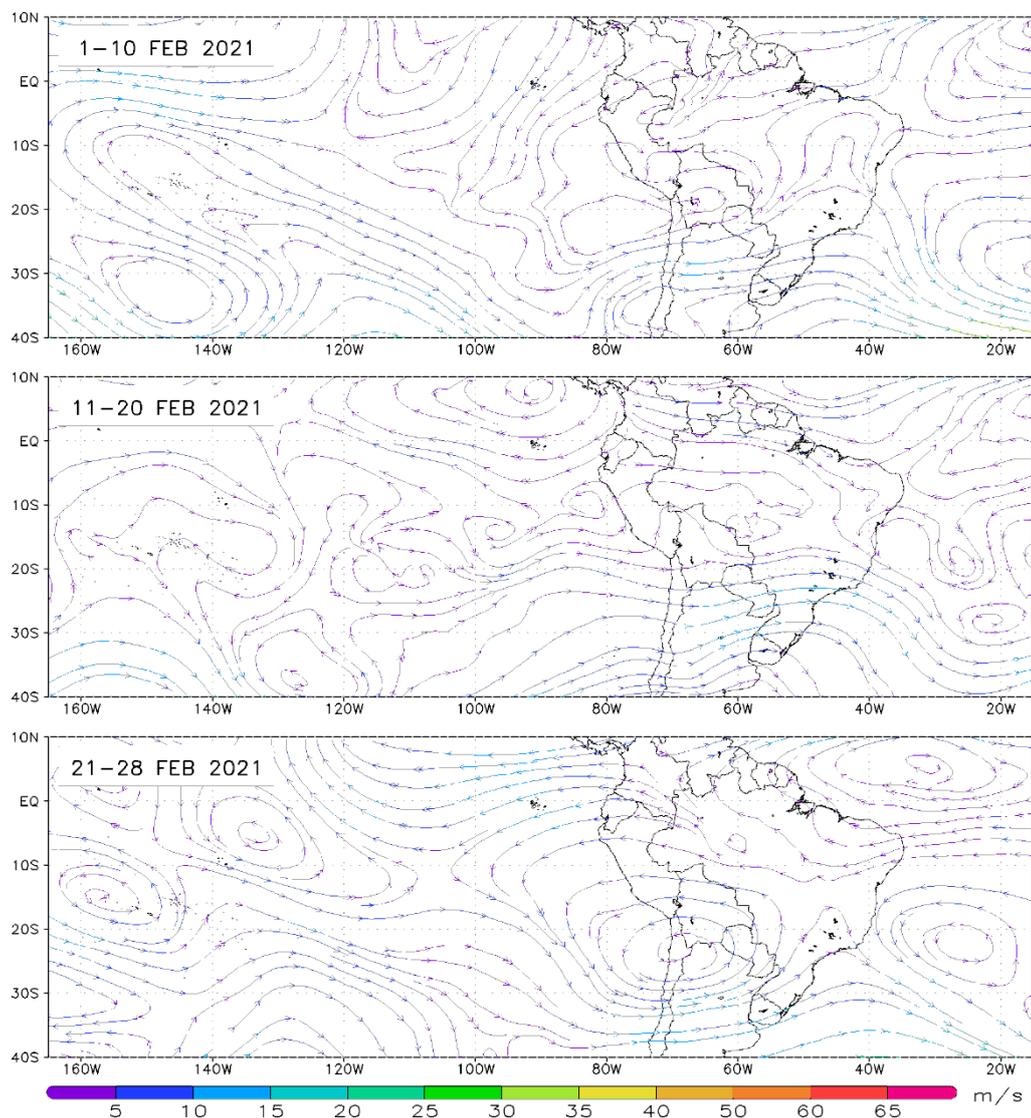
**Figura 16:** Vorticidad relativa (s-1), altura geopotencial (mgp) y viento (vector) a 250 hPa

#### 4.4.2 Troposfera media

Durante los primeros 10 días de observación, en niveles medios de la atmósfera, aproximadamente a 5500 m de altitud (Figura 17), se detectó un sistema antihorario de configuración irregular entre 90° y 60°W con núcleo cercano a 25°S / 80°W, que permitió la entrada de vientos suaves del suroeste con velocidades menores a 5 m/s hacia los departamentos de Piura, Lambayeque, La Libertad, Cajamarca y Amazonas.

Posteriormente, en el transcurso del segundo periodo de 10 días, se identificó dos sistemas “pequeños” de circulación antihoraria frente a Perú, entre 100° y 80°W que, sumado a la vaguada, localizado en el sur del país, favorecieron el ingreso de vientos provenientes del sur y suroeste hacia la zona de monitoreo.

En los últimos días de febrero de 2021, surgió un sistema de circulación en dirección contraria a las manecillas del reloj al norte de Chile, impulsando ligeros vientos del este con velocidades superiores a 5 m/s sobre el norte de la sierra y selva del Perú.

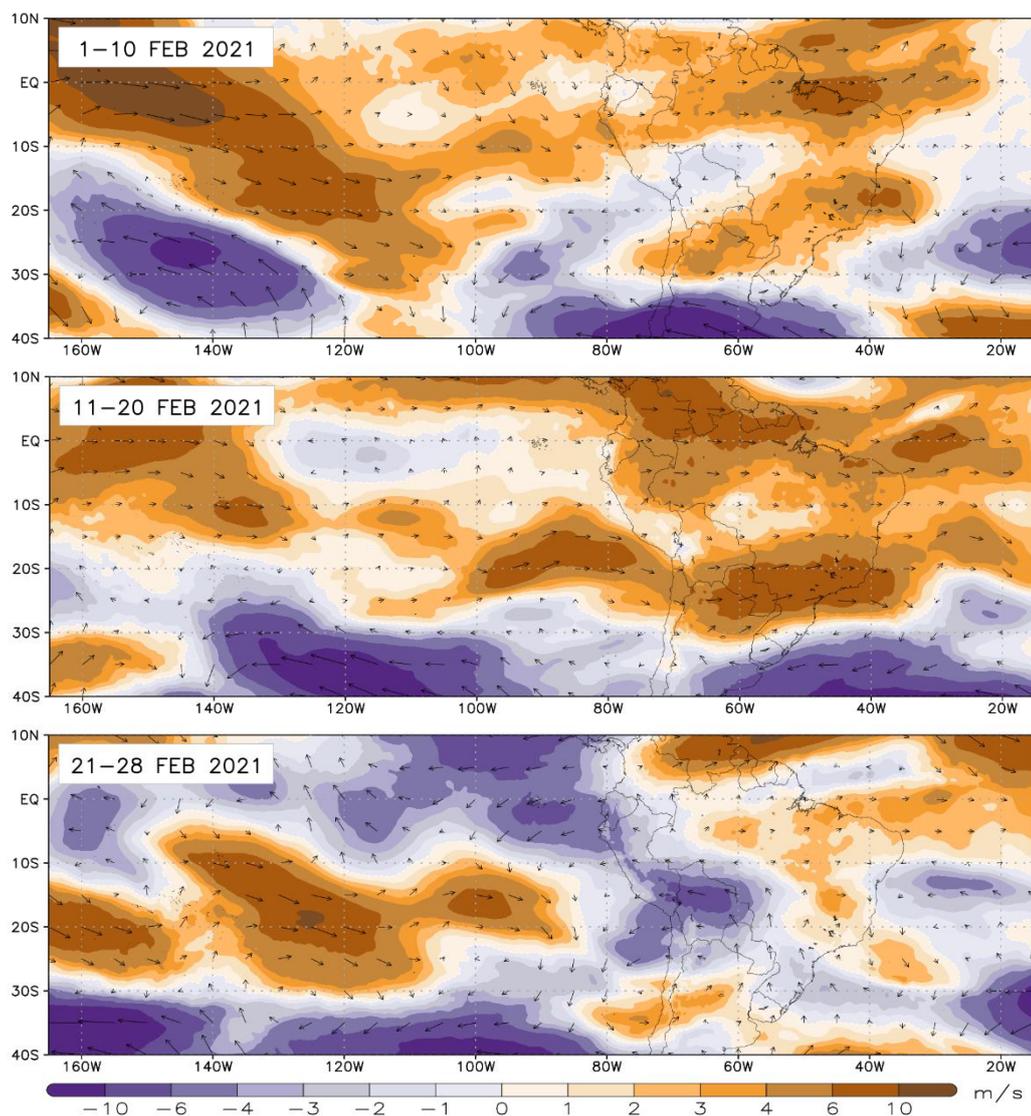


**Figura 17:** Líneas de corriente (m/s) a 500 hPa

En relación al primer y segundo periodo, se registró en promedio, anomalías positivas de viento zonal con velocidades entre 0 y 10 m/s (Figura 18), indicando la predominancia de vientos leves del oeste sobre la cuenca del Amazonas, actuando como un “bloqueo” de los

vientos del este (Alva, 2018 & Pantoja, 2018), que normalmente llegan a la región noroccidental del Perú, lo cual resultó en una reducción de la humedad sobre la zona.

No obstante, en la última década del mes, se notó cambios negativos en la componente zonal del viento en todo el territorio peruano con variaciones entre 0 y -10 m/s, relacionadas al sistema anticiclónico mencionado previamente, y tuvo como resultado una recuperación paulatina del contenido de humedad en las áreas andinas y selváticas de los departamentos de Piura, Lambayeque, La Libertad, Cajamarca y Amazonas.

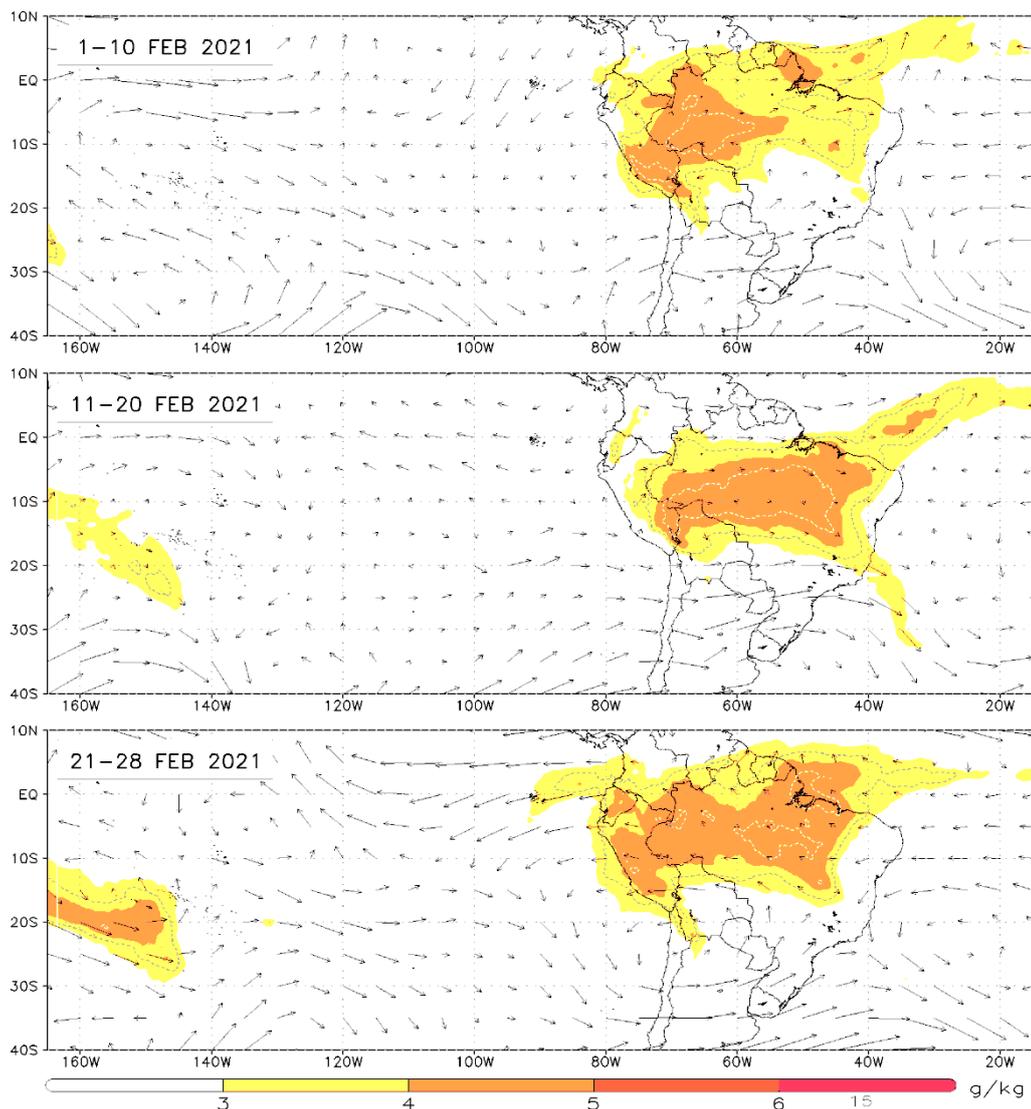


**Figura 18.** Anomalías de viento en su componente zonal (m/s) a 500 hPa

El efecto principal de los vientos inusuales del suroeste y oeste en los niveles medios de la atmósfera, durante la primera y segunda parte del mes, provocó una disminución de los vientos del este, causando una reducción de la cantidad de vapor de agua en los Andes y

Amazonia de los departamentos monitoreados (Figura 19). Se detectó valores de relación de mezcla por debajo de 3 g/kg, lo que indicaban condiciones más secas de lo usual para el verano del hemisferio sur.

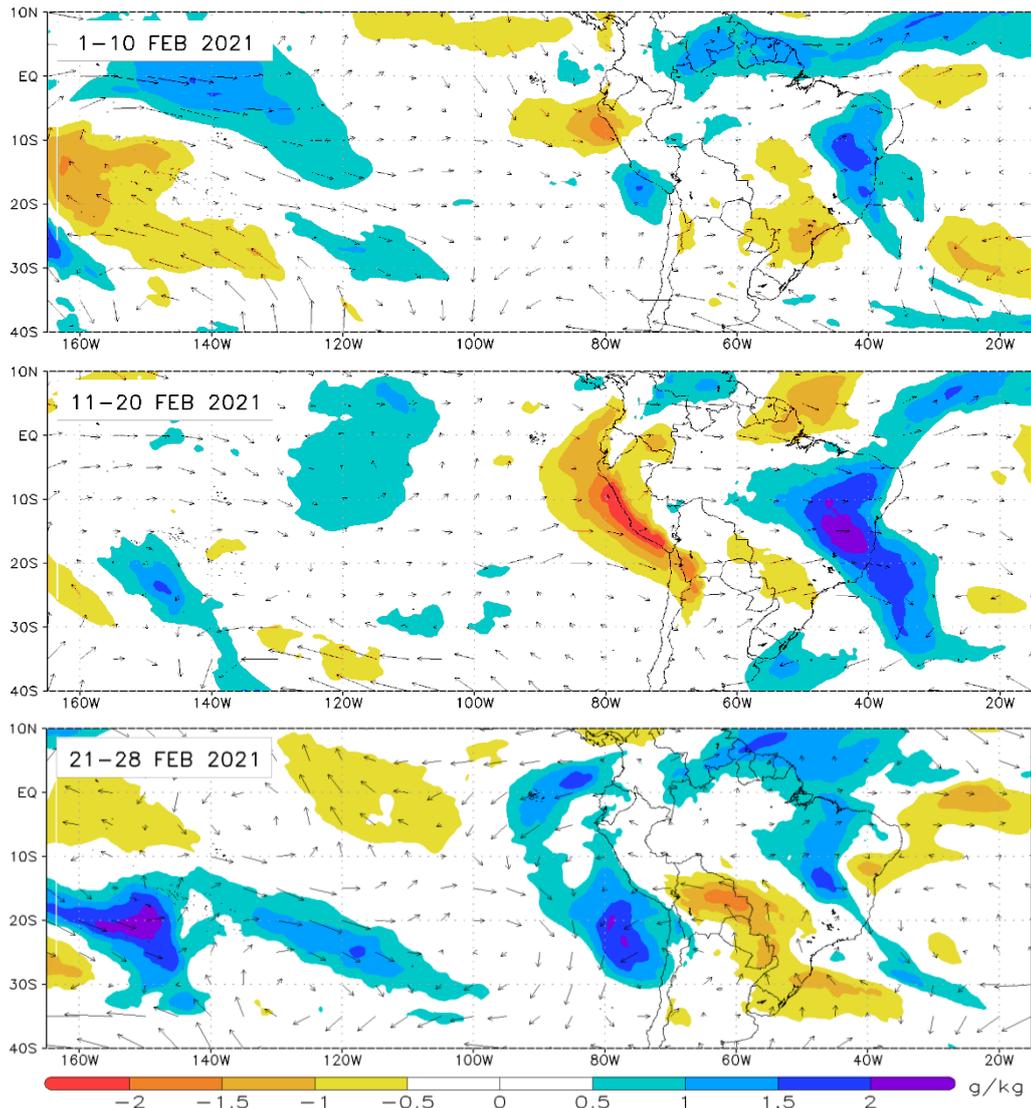
Posteriormente, en el transcurso de los últimos 8 días del mes, los vientos provenientes del sureste y este, facilitaron el desplazamiento gradual de la humedad hacia la región noroccidental del país, aumentando así el contenido de vapor de agua entre 3 y 4 g por cada kilogramo de aire seco.



**Figura 19.** Relación de mezcla (g/kg) y viento (vector) a 500 hPa

En la primera década del mes, la distribución espacial de las anomalías de relación de mezcla en la capa de 500 hPa (Figura 20), exhibió deficiencia de vapor de agua en los departamentos de Piura, Lambayeque, La Libertad, Cajamarca y Amazonas, con valores entre 0.5 y 2 g/kg por debajo de lo normal. En cuanto a la segunda decadiaria, se apreció una notable

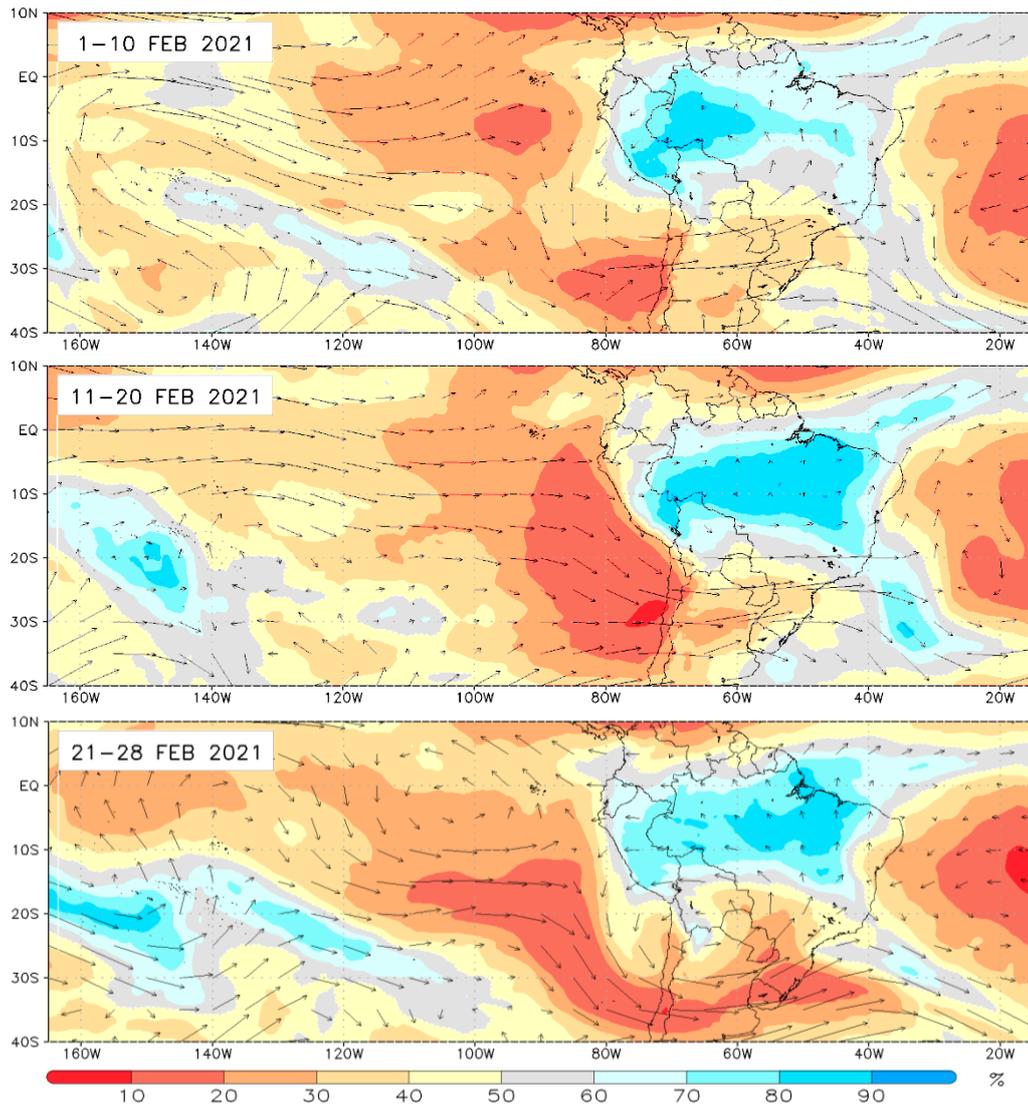
disminución en el contenido de vapor de agua en toda la vertiente del Pacífico, llegando a presentarse hasta 2.5 g/kg menos de lo acostumbrado; mientras que, en la vertiente del Amazonas, se alcanzó anomalías negativas de hasta 2 g/kg. Y durante el último período, el incremento gradual en la cantidad de vapor de agua hacia la región andina, e incluso en parte de la costa norte del país, mostró anomalías positivas. Esto se reflejó en un aumento de 0.5 a 1 g/kg en la relación de mezcla en comparación con sus valores normales.



**Figura 20.** Anomalías de relación de mezcla (g/kg) y viento (vector) a 500 hPa

Con respecto a los flujos de viento y humedad relativa promedio en la capa de 600 a 200 hPa (Figura 21) durante los primeros 10 días del mes, se observó que los vientos, ligados a la presencia de la vaguada entre 120° y 80°W, advectaron masas de aire con escasa humedad menor al 60 % hacia las zonas alto andina del noroeste del Perú. A medida que avanzaron los días, esta vaguada perdió profundidad en el segundo tramo del mes, canalizando vientos

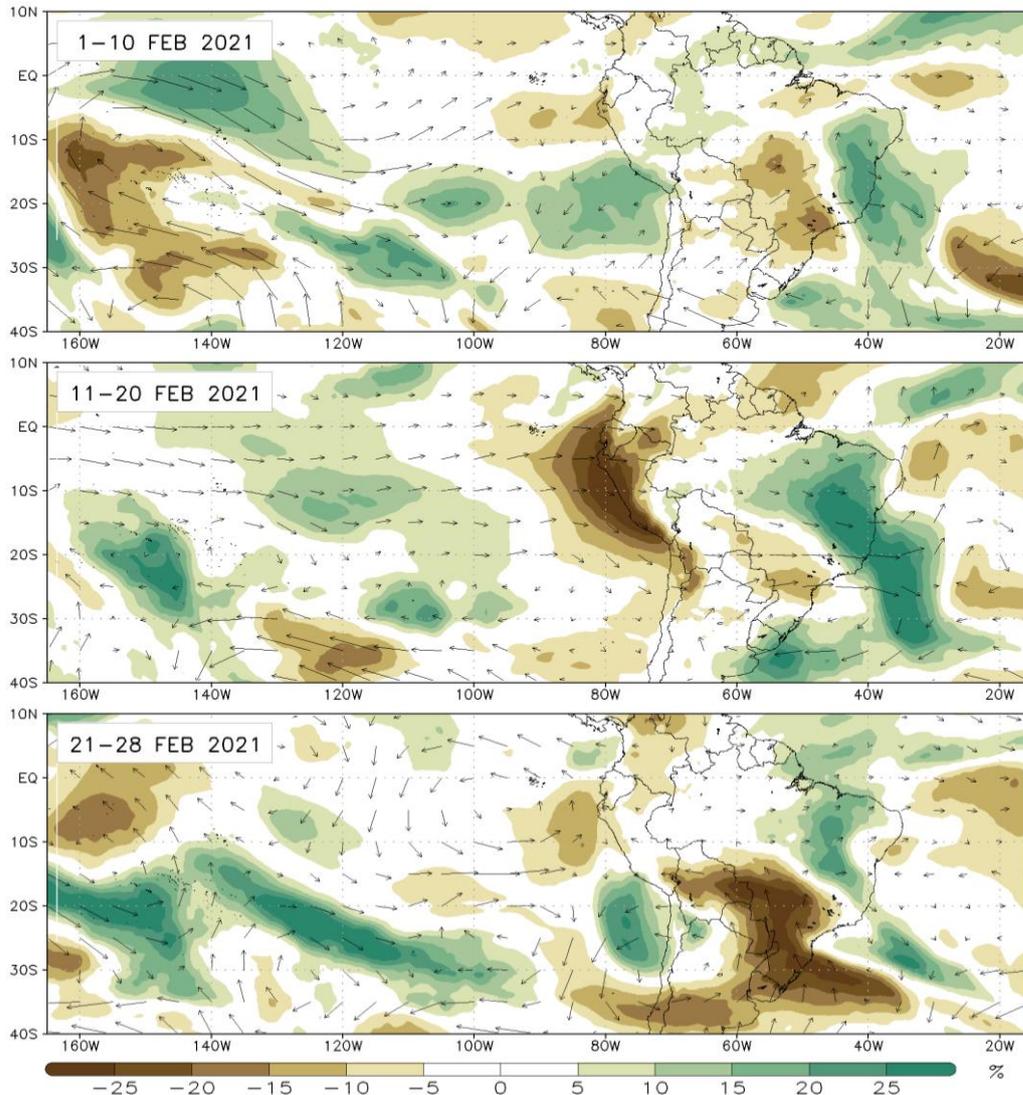
del oeste directamente hacia la sierra norte y disminuyendo la humedad relativa ponderada a un 20 y 30 %; esto causó que la humedad se desplazara hacia el sureste del país. Luego, la formación de un sistema de circulación antihoraria al norte de Chile disminuyó la entrada de vientos del oeste, ligados a una vaguada y otro sistema anticiclónico entre 120° y 90°W, como resultado, se obtuvo un incremento en la humedad relativa con valores de 50 a 70 % en el noroeste del territorio peruano.



**Figura 21.** Humedad relativa (%) y viento (vector) promedio entre los niveles de 600 y 200 hPa

A diferencia de la capa atmosférica de 500 hPa, el cálculo ponderado de las desviaciones de la humedad relativa y patrones de vientos entre 600 y 200 hPa (Figura 22), indican condiciones deficitarias a lo largo de cada una de las decadiarias del mes de febrero de 2021, con valores de humedad relativa en un 5 y 30 % por debajo de lo esperando para el noroeste del Perú. En los primeros 10 días del mes, este déficit se origina por los vientos del oeste

vinculados con la presencia y ubicación de la vaguada cercana al país; mientras que, en el segundo periodo de 10 días, los vientos presentaron una direccionalidad atípica netamente del oeste, ocasionando una marcada disminución de la humedad relativa. En cuanto al último intervalo de tiempo, la circulación antihoraria, frente a la zona norte del territorio peruano, coadyuvo el traslado de masas de aire con poca humedad hacia esta región.

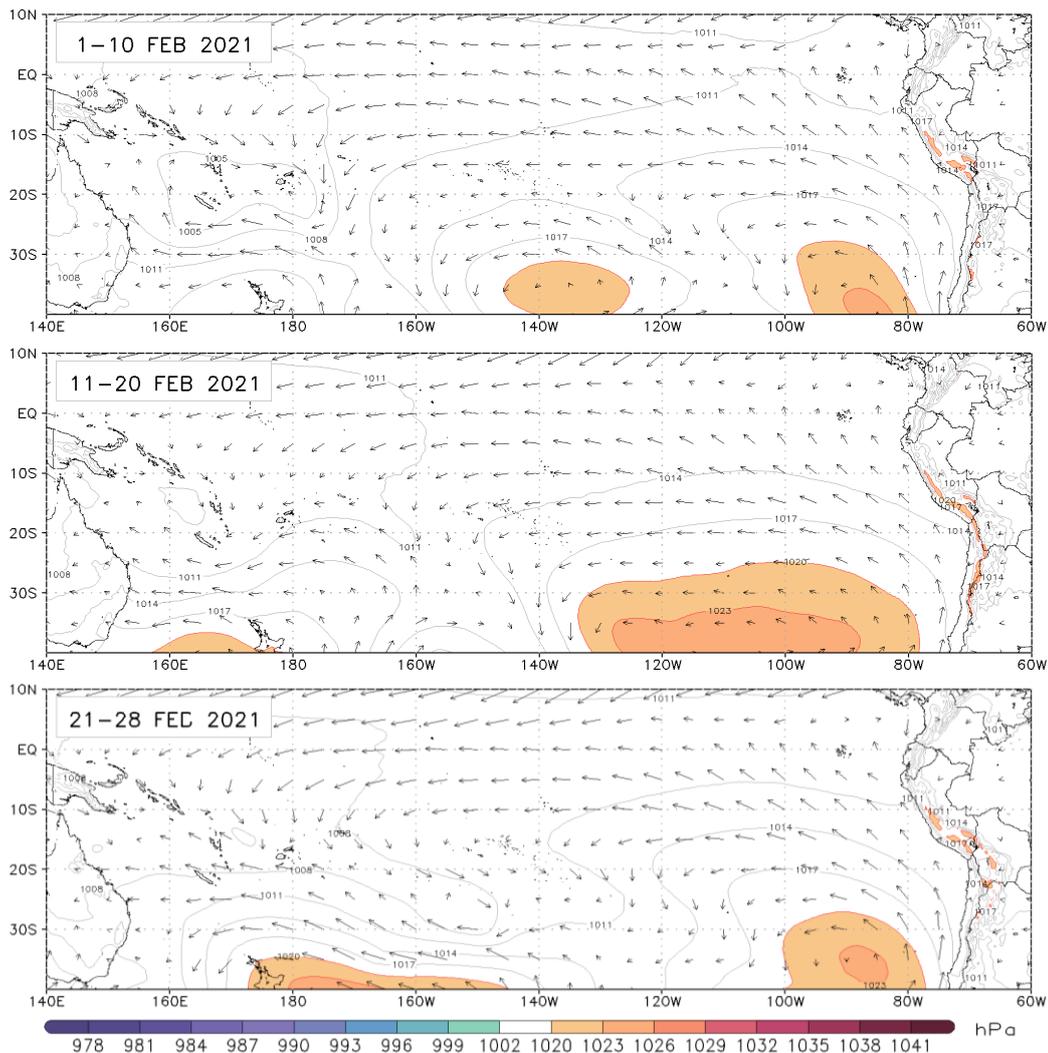


**Figura 22.** Anomalías de humedad relativa (%) y viento (vector) promedio entre los niveles de 600 y 200 hPa

#### 4.4.3 Troposfera baja

El Anticiclón del Pacífico Suroriental (APSO), un sistema de alta presión, mostró un fortalecimiento en cada período de diez días, mostrando núcleos de presión entre 1020 y 1023 hPa (Figura 23). La combinación del gradiente de presión horizontal, derivado de la posición y configuración del APSO, junto a la influencia de la fuerza de Coriolis provocada

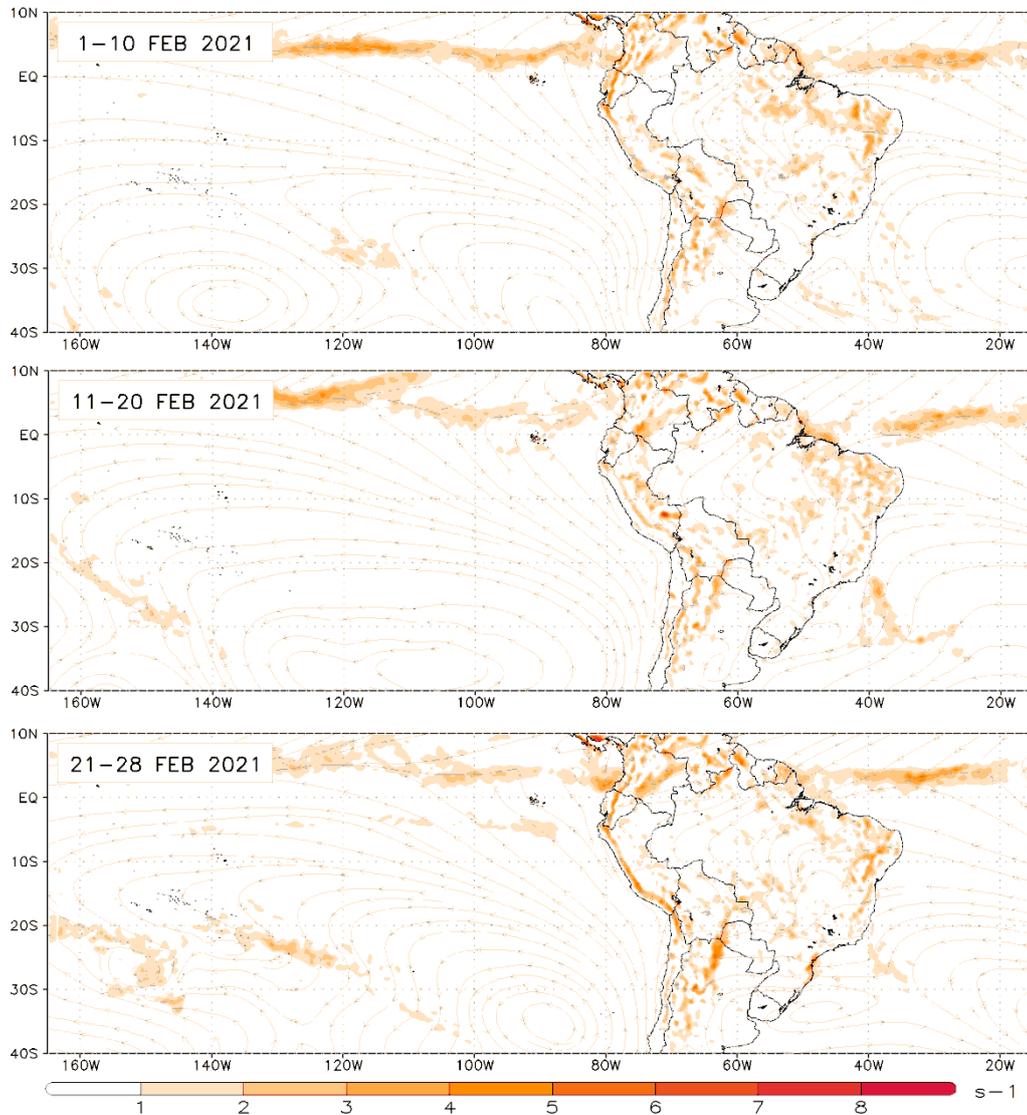
por la rotación terrestre, determinaron la velocidad y dirección de los vientos sobre el mar adyacente a las costas occidentales de Sudamérica (Martin, 2006). Esto a su vez impulsó un refuerzo en la corriente de Humboldt y estimuló los procesos de afloramiento costero. Los vientos mantuvieron una trayectoria que se extendió desde latitudes medias hasta la región tropical, lo que ocasionó que la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) se desplazara hacia el hemisferio norte (Figura 14).



**Figura 23.** Presión reducida a nivel del mar (hPa) y viento en vectores (1000 hPa)

Precisamente, los vientos alisios del hemisferio sur y hemisferio norte convergen en esta región limitada por la línea ecuatorial y 10°N, coadyuvando la formación de la ZCIT sobre esta parte del Pacífico y Atlántico (Figura 24), caracterizado por fuertes vientos ascendentes y convergencia de masas de aire húmeda provenientes de ambos hemisferios. Dada su posición, la ZCIT, no afectó significativamente las precipitaciones sobre el noroeste del Perú. Por otro lado, predominaron los vientos del noreste sobre la cuenca del Amazonas,

regulando el ingreso de humedad hacia la selva y sierra noroccidental del país. En las zonas más bajas de esta región, pudo contemplarse la poca convergencia de humedad al oeste del departamento de Loreto, Amazonas y parte de Cajamarca, lo que repercutió en una menor formación de nubes convectivas.

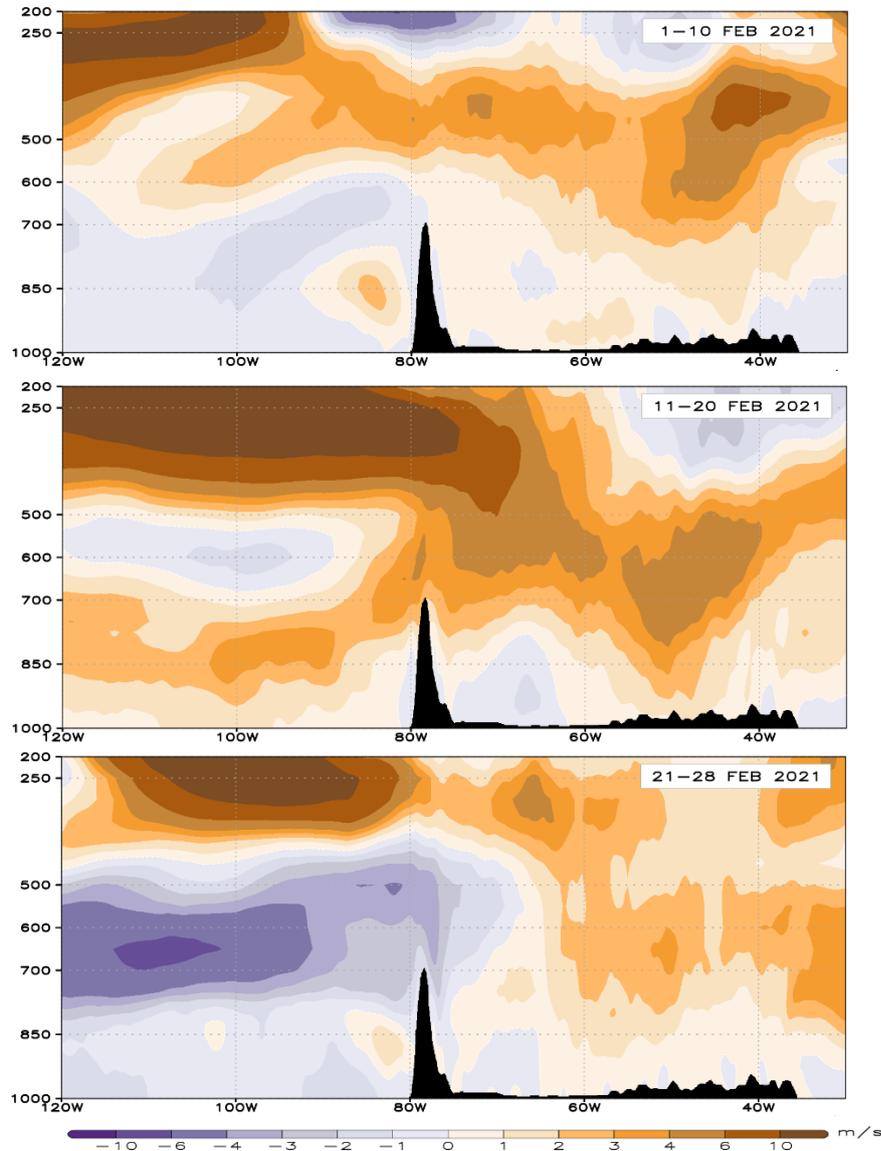


**Figura 24.** Convergencia de humedad (s-1) y viento en líneas de corriente (950 hPa)

#### 4.4.4 Cortes de sección transversal

Tomando como referencia que nuestra zona de monitoreo se encuentra entre  $80^{\circ}$  y  $77^{\circ}$ W (Figura 25), en los primeros 10 días se observaron predominantemente anomalías de vientos del oeste de 700 a 300 hPa con valores entre 0 y 4 m/s. Asimismo, en los siguientes 10 días, las fluctuaciones positivas fueron más notorias entre 700 y 200 hPa, registrando velocidades mayores a 2 m/s. Este comportamiento atípico de los vientos restringió la entrada de humedad al sector noroeste del país, actuando como un bloqueo. Sin embargo, en los últimos

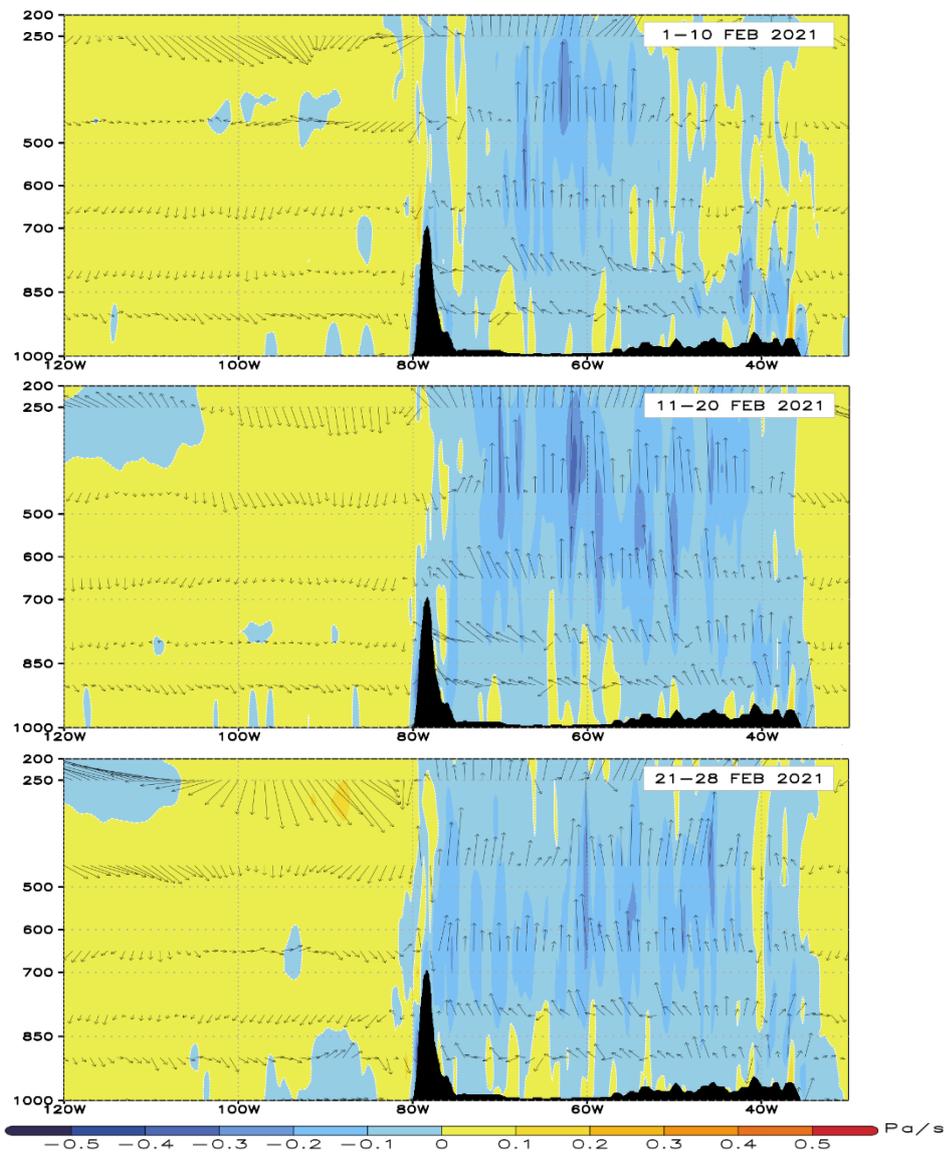
10 días del mes, los vientos del este se hicieron más presentes en las regiones andinas y selváticas de nuestra área, lo que propició un aumento gradual de la humedad, entre 700 y 450 hPa.



**Figura 25.** Perfil latitudinal de anomalías de viento (m/s) entre 1000 y 200 hPa

Así mismo, en cada una de las decadiarias del mes de febrero (Figura 26), la vertiente occidental de los Andes expresó valores de omega positivos, es decir, movimientos verticales descendentes de masas de aire entre las capas isobáricas de 1000 y 200 hPa, asociados a condiciones que desfavorecen el proceso de desarrollo vertical de las nubes con precipitaciones en la sierra y selva de nuestro ámbito de monitoreo. Y, durante la primera y segunda decadiaria, la vertiente oriental de la Cordillera exhibió una mezcla movimientos ascendentes y descendentes; mientras que, el último periodo de análisis, esta zona presentó

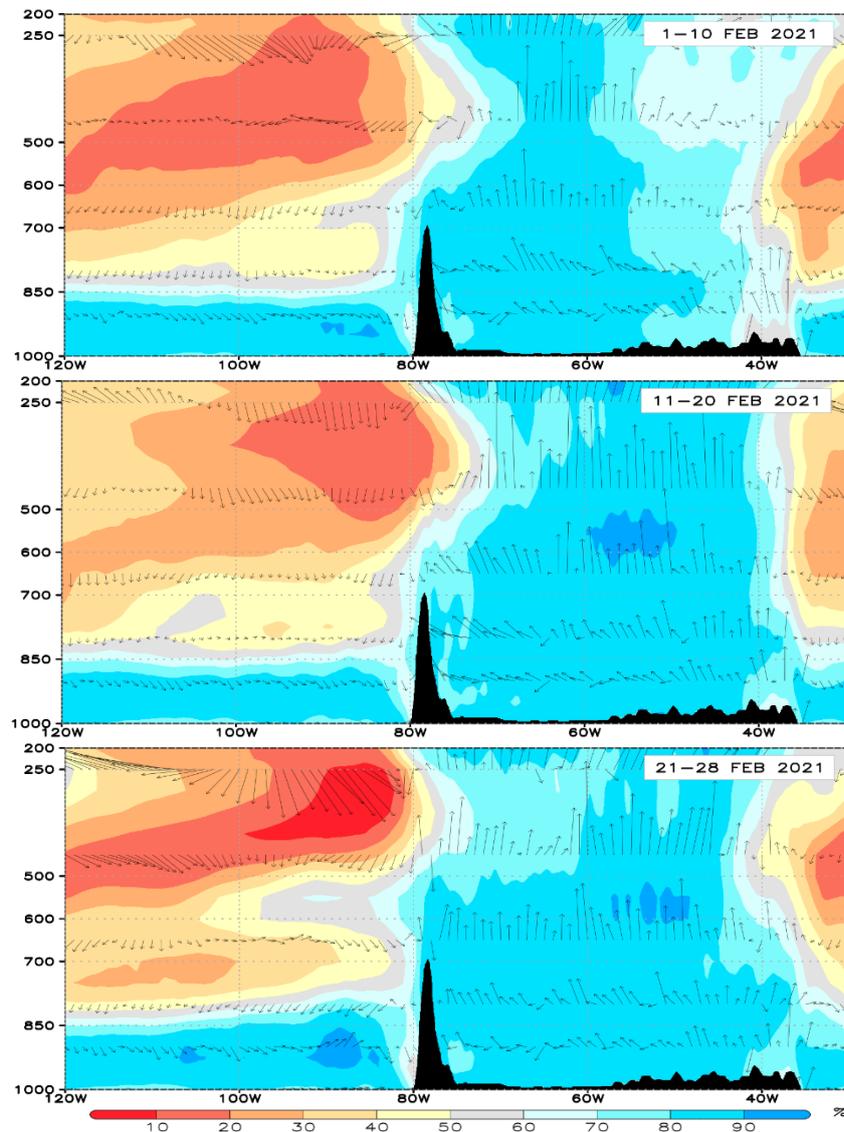
una predominancia de variaciones negativas que favorecieron la formación de nubes con precipitaciones (Centella et. al., 2006).



**Figura 26.** Perfil latitudinal de la velocidad vertical de presión (Pa/s) entre 1000 y 200 hPa

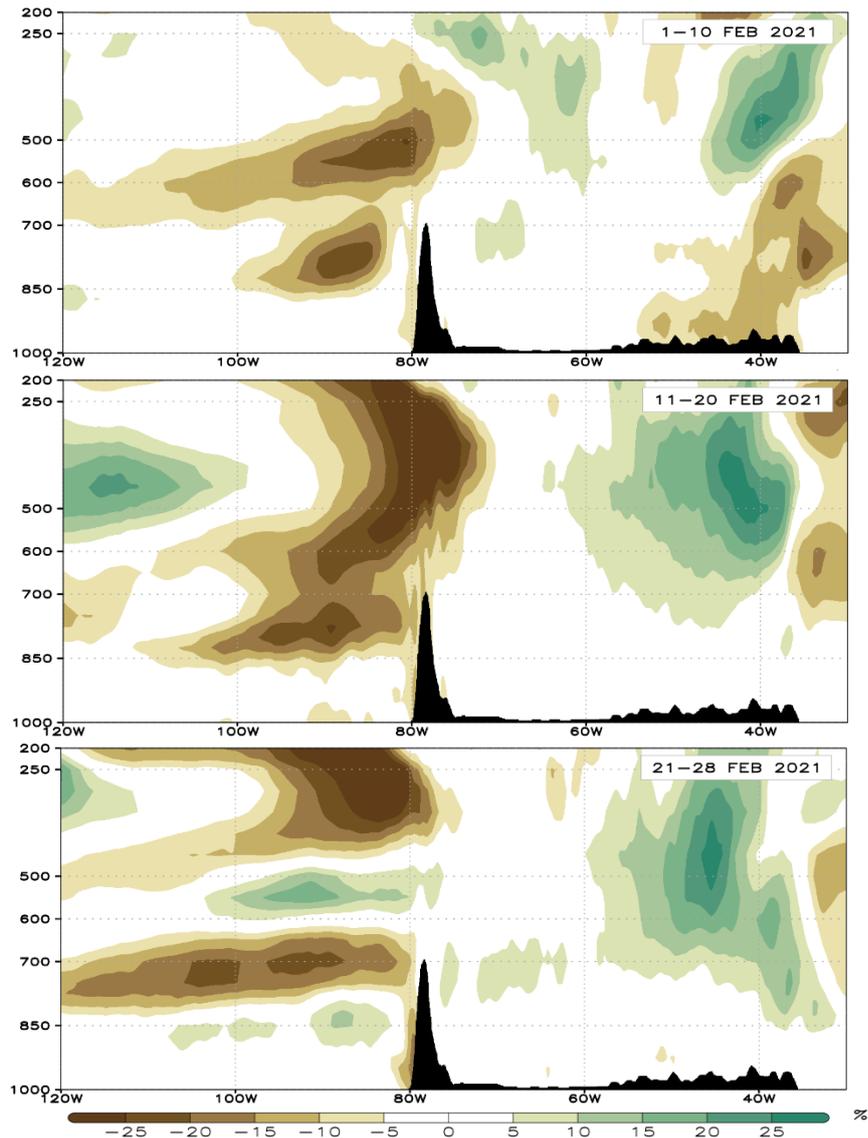
Además, durante los primeros días de análisis, la humedad relativa sobre la vertiente occidental de la Cordillera de los Andes presentó una marcada diferencia con la vertiente oriental, obteniendo entre 30 y 50 % de humedad relativa (Figura 27) afectando notoriamente los registros de precipitación y disminución de los caudales de los ríos. Incluso, las anomalías de humedad relativa (Figura 28) contempló una notable deficiencia entre 800 y 300 hPa sobre esta región. En contraste, la zona oriental experimentó humedad normal y ligeramente por encima de lo acostumbrado hasta los 600 hPa, pero deficiente hasta el nivel de 250 hPa. De manera similar, la segunda decadiaria, experimentó bajos contenidos de

humedad en la zona occidental que oscilaron de 5 a 50 %, condiciones deficitarias para este periodo. Además, esta deficiencia se extendió hasta la vertiente oriental de 700 a 200 hPa.



**Figura 27.** Perfil latitudinal de la humedad relativa (%) y viento vertical entre 1000 y 200 hPa

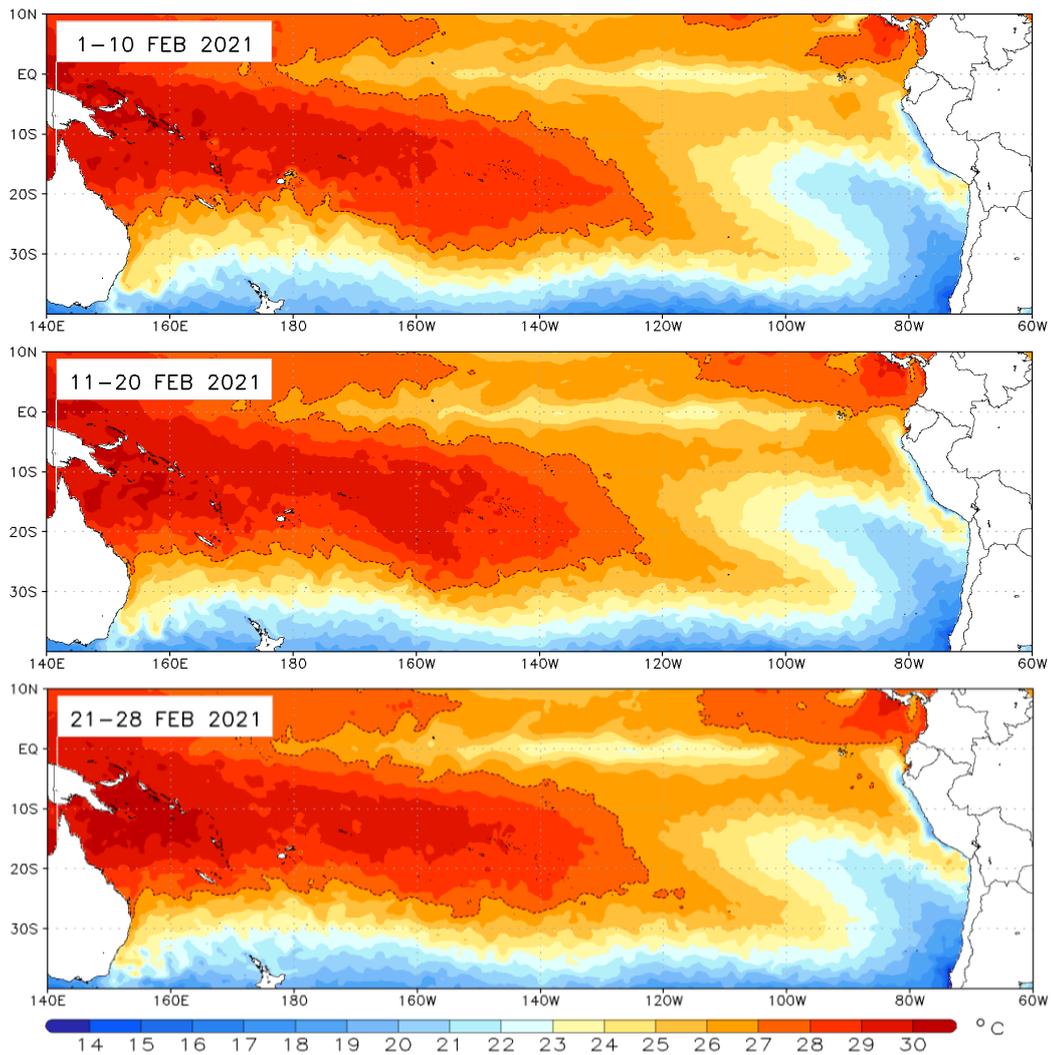
Respecto a la tercera decadiaria, la vertiente del Pacífico mostró dos capas con escasa humedad de 850 a 600 hPa y de 500 a 200 hPa, con valores que oscilaron entre 5 y 50 % de humedad relativa. Estos valores estuvieron por debajo de los valores acostumbrados para los últimos días del mes febrero. Mientras tanto, el ingreso continuo y progresivo de la humedad hacia la vertiente del Amazonas, coadyuvaron la presencia de 60 a 95 % de humedad relativa, valores entre sus rangos normales y ligeramente superiores a lo esperado. En este último tramo del mes, comparado a los periodos de 10 días anteriores, la deficiencia de humedad relativa quedó rezagada sobre la zona andina occidental.



**Figura 28.** Perfil latitudinal de las anomalías de humedad relativa (%) entre 1000 y 200 hPa

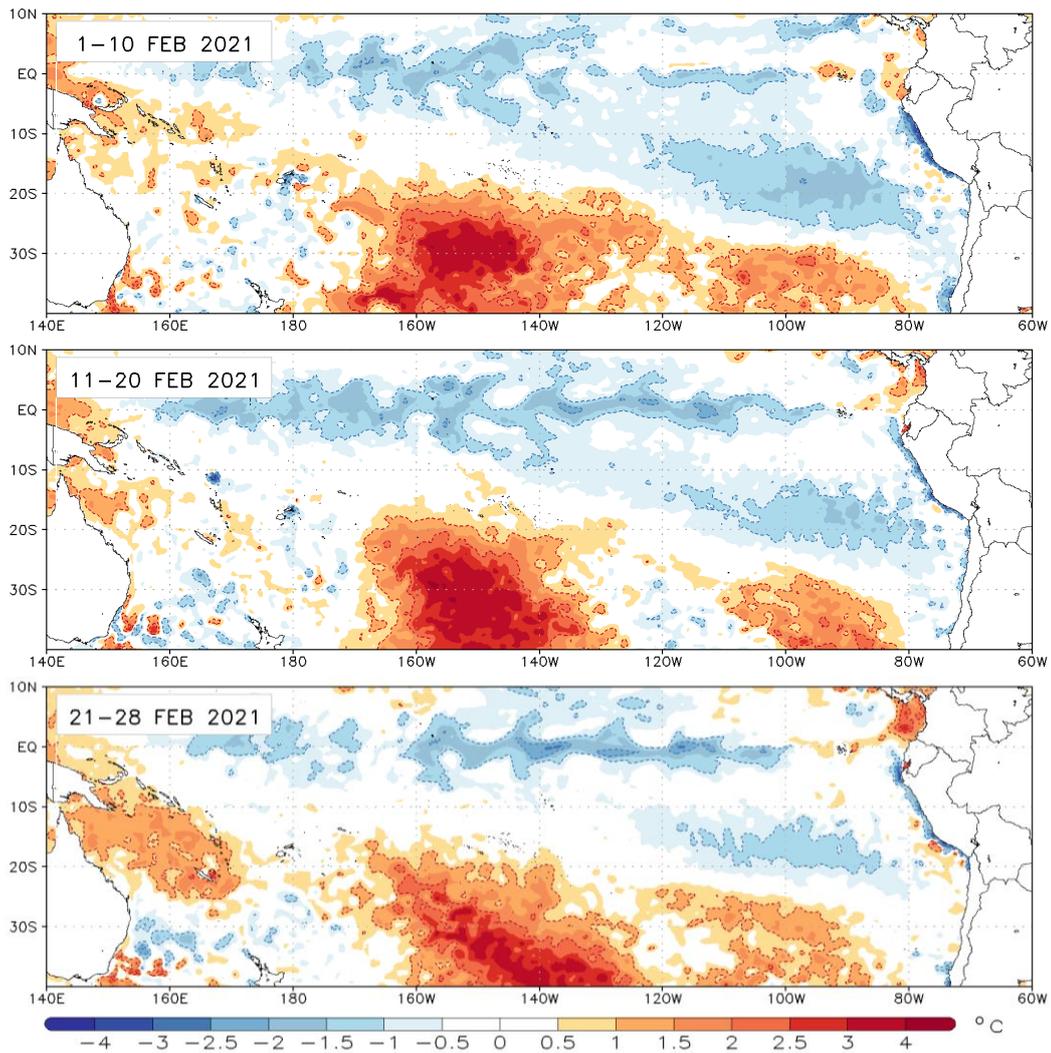
#### 4.4.5 Temperatura superficial del mar (TSM)

La distribución espacial de los valores promedio de la TSM durante las tres décadas de febrero de 2021 revela que, en el mar de Grau, las temperaturas fueron bajas, oscilando entre 19 y 25 °C; mientras tanto, en la región del Niño 1+2, se observó que las aguas con temperaturas de 26 °C se extendieron hacia el sur; al mismo tiempo, las regiones del Niño 3 y Niño 3.4 mostraron temperaturas entre 23 y 26 °C. Sin embargo, es importante mencionar que la isoterma de 27 °C, la cual suele indicar fases de alta y baja actividad convectiva en la costa y sierra norte del Perú (según IGP, 2018 & Suarez, 2019), estuvo desplazada hacia el hemisferio norte, frente a las costas de Ecuador, Colombia y parte de América Central. Por otro lado, al este de Nueva Zelanda y regiones marítimas adyacentes a Australia, presentaron una continuidad en la capa superior del mar temperaturas superiores a los 27 °C (Figura 29).



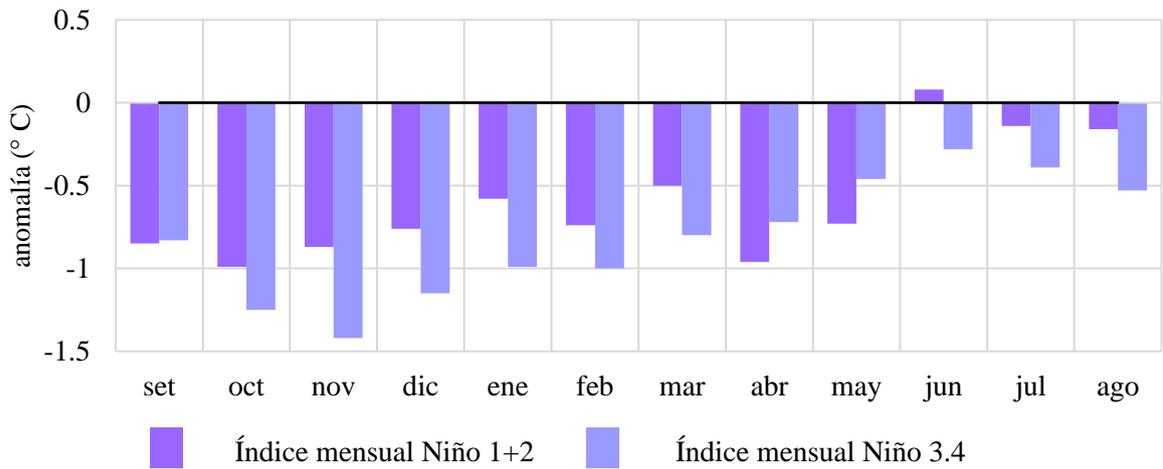
**Figura 29.** Temperaturas superficiales del mar (°C) para febrero de 2021

Estas temperaturas superficiales del mar mostraron condiciones frías a lo largo de la costa peruana, potenciadas por el afloramiento costero de aguas ricas en nutrientes y la influencia de la corriente de Humboldt (Woodman & Takahashi, 2014), registrando anomalías de hasta  $-4.0\text{ }^{\circ}\text{C}$  en el primer período de 10 días, y hasta  $-3.0\text{ }^{\circ}\text{C}$  en los dos períodos siguientes. De igual manera, la banda ecuatorial y el sector suroriental del océano Pacífico evidenciaron temperaturas frías en la superficie con desviaciones más bajas de  $-2.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , vinculadas al surgimiento de aguas frescas y las corrientes que fluyen desde el norte y sur del Ecuador (Spring, 2000). En contraste, las aguas más cálidas cerca de las costas de Ecuador y Colombia mostraron variaciones positivas que oscilaron entre  $0.5$  y  $2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . (Figura 30).

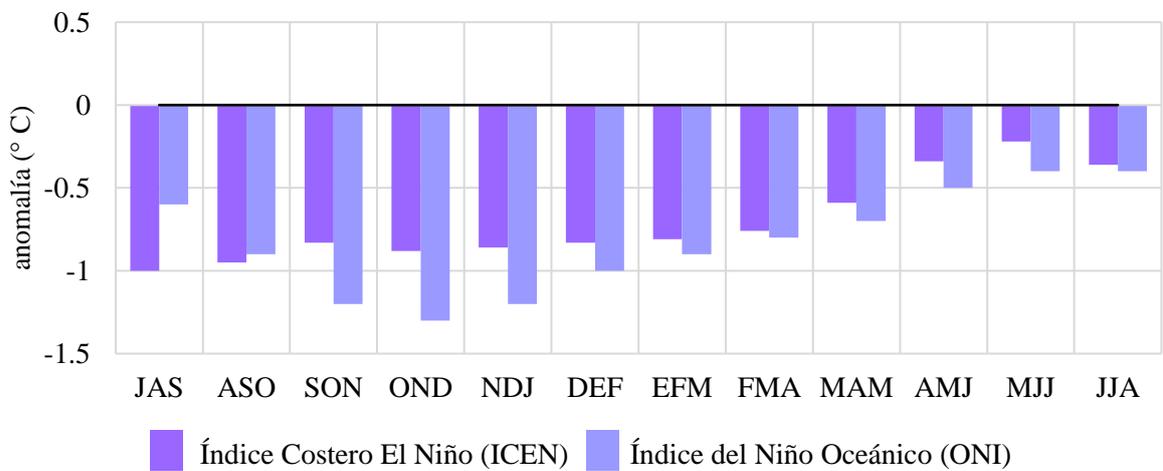


**Figura 30.** Anomalías de la temperatura superficial del mar (°C) para febrero de 2021

Como resultado, el Pacífico ecuatorial oriental manifestó temperaturas bajas en febrero de 2021, resultado de un proceso de enfriamiento en meses previos, registrando anomalías de -0.74 y -1 °C en las áreas Niño 1+2 y Niño 3.4, respectivamente (Figura 31). Estas cifras contribuyeron al promedio trimestral de los meses DEF, EFM y FMA, que mostró tendencias negativas, identificándose de esta manera, un ENSO en su etapa fría, conocida como La Niña (CIIFEN, 2022), pero de intensidad baja. Esta situación se alineó al enfriamiento del mar frente a la costa peruana, que registró anomalías negativas durante tres meses seguidos, según los índices ONI e ICEN (Figuras 32).



**Figura 31.** Anomalías mensuales en las regiones del Niño 1+2 y Niño 3.4, en el periodo 2020 - 2021



**Figura 32.** Distribución temporal del Índice Costero El Niño e Índice del Niño Oceánico para 2020 - 2021

Estas condiciones propiciaron una baja inyección de humedad en la atmósfera y una disminución de las precipitaciones en la costa y sierra noroccidental del país, debido a la correlación positiva existente que suele observarse con las regiones del Niño 1+2 y Niño 3.4 durante los meses de verano (Lagos et al, 2008).

## V. CONCLUSIONES

Las conclusiones serán abordadas según los objetivos específicos planteados:

- Objetivo Específico 1: Realizar el análisis exploratorio de datos pluviométricos de estaciones convencionales en el sector noroccidental del Perú.

Se detectó 51 estaciones con un mínimo del 95 % de registros de precipitaciones diarias durante el mes de febrero de 2021. Asimismo, debido a la coyuntura que tuvo la enfermedad por coronavirus (COVID-19), causada por el virus SARS-CoV-2, las estaciones de Bagua Chica (Amazonas), Cutervo, Llapa, Llama, San Miguel, Niepos, Huambos, Asunción, Tabaconas, Querocotillo, Cochabamba, San Benito, San Ignacio (Cajamarca) y Sinsicap (La Libertad) presentaron escasos o ningún registro en las planillas.

La distribución normal de la precipitación en el noroeste del país devela que los meses con mayores acumulados se dan entre diciembre de un año cualquiera hasta abril del año siguiente. Mientras tanto, los meses con menor precipitación se da de junio a setiembre. El periodo lluvioso puede tener variaciones negativas, es decir, deficiencias, el cual puede verse reflejado en la disminución de los caudales de los ríos y limitar la distribución de agua a la población.

- Objetivo Específico 2: Identificación de la frecuencia e intensidad de las precipitaciones y la variación temporal de los caudales de los principales ríos del norte peruano

En plena temporada lluviosa, febrero de 2021 se caracterizó por registros irregulares y bajos acumulados de precipitaciones en la zona andina y selvática de los departamentos de Piura, Lambayeque, La Libertad, Cajamarca y Amazonas. Durante la primera y segunda decadiaria, las regiones presentaron más del 60 % de los datos inferiores a 1 mm; mientras que, en la tercera decadiaria, Piura, La Libertad y Cajamarca conservaron esta proporción mayoritaria; no obstante, en Lambayeque y Amazonas, presentaron entre el 30 y 40 % de días secos en relación con la cantidad de estaciones monitoreadas.

Además, se detectó episodios de veranillo en la sierra de nuestra zona de monitoreo. Las estaciones de Chilete, Callancas, Augusto Weberbauer, Santa Cruz, Cajabamba, San Marcos, Cachachi y Mollepata destacaron por experimentar entre 17 y 22 días secos consecutivos.

Los bajos registros de precipitación en el noroeste del territorio peruano, se vio reflejada en la disminución de los caudales de los principales ríos de las cuencas hidrográficas de Chira, Chancay-Lambayeque y Jequetepeque. Según los datos hidrológicos del SENAMHI, se tuvo un periodo deficiente del flujo de agua que discurrieron por la superficie de los cauces, con variaciones negativas que oscilaron de 13 a 120 m<sup>3</sup>/s. Como resultado, los embalses de Poechos en Piura, Tinajones en Lambayeque y Gallito Ciego en La Libertad, mostraron una notable reducción en sus niveles de reserva a lo largo en el mes de febrero de 2021.

- Objetivo Específico 3: Caracterización de los acumulados de precipitaciones

Mediante el cálculo de las anomalías porcentuales de precipitación se determinó que durante la primera decadiaria, la deficiencia se concentró en la vertiente occidental de la Cordillera de los Andes de Piura, Lambayeque, La Libertad y Cajamarca. En este periodo, se alcanzó un déficit de hasta un 100 %.

En el transcurso de la segunda decadiaria, la deficiencia de precipitaciones se pudo evidenciar en los departamentos de Lambayeque, La Libertad, Cajamarca y Amazonas en un rango del 60 al 100 %. Y, debido a la presencia de precipitaciones en el último tramo de febrero de 2021, disminuyó la cantidad de estaciones con alta escasez inferiores al 70 %.

Las desviaciones estandarizadas de la precipitación mensual, determinadas por medio del SPI, permitió identificar con mayor precisión que sólo las estaciones de Julcán, Salpo y Quiruvilca, ubicadas en La Libertad, experimentaron condiciones extremadamente secas durante la temporada lluviosa con valores inferiores a -2; mientras que, 15 estaciones convencionales distribuidas en toda la región de análisis, exceptuando Lambayeque, mostraron condiciones severamente secas con cifras que variaron en un rango de -1.5 a -2. Otras 16 estaciones fueron caracterizadas como moderadamente secas con SPI de -1 a -1.5, y al menos una estación en cada departamento presentó condiciones ligeramente secas con SPI menores a 0.

- Objetivo Específico 4: Evaluar los cambios de las condiciones oceanográficas y atmosféricas relacionados con la reducción de precipitaciones y caudales de los principales ríos en el noroeste de Perú durante el mes de febrero de 2021

Durante los primeros días de febrero de 2021, la interacción de una vaguada sobre el Pacífico oriental y la posición de la Alta de Bolivia, asociada a una vaguada al noroeste de Brasil, limitan la zona de collado al extremo norte del territorio peruano, el cual ejerce un papel inhibitorio de nubes de gran desarrollo vertical debido a la convergencia en el nivel superior de la atmósfera y la subsidencia hacia niveles inferiores. En el nivel medio de la troposfera, la formación irregular de un sistema antihorario entre  $90^{\circ}$  y  $60^{\circ}$ W, permitió el ingreso de vientos del oeste hacia el noroccidente del Perú. Estos vientos actuaron como “bloqueo” de los flujos del este, que normalmente llegan a la región, ocasionando una disminución de la humedad con registros por debajo de 3 g/kg y anomalías negativas entre 0.5 y 2 g/kg de relación de mezcla. Además, la presencia de una vaguada y una circulación antihoraria, reflejos de niveles altos a través de la capa entre 600 y 200 hPa, favorecieron una notable caída de la humedad relativa hasta un 40 y 60 %.

En el transcurso de los siguientes 10 días, la Alta de Bolivia se debilitó y permitió el ingreso de vientos constantes del oeste con una notable convergencia en el nivel de 250 hPa. En niveles medios, se identificó dos sistemas de circulación antihoraria frente a Perú, entre  $100^{\circ}$  y  $80^{\circ}$ W, que favorecieron el ingreso de vientos provenientes del suroeste y oeste hacia la región monitoreada. Estos vientos limitaron el ingreso de humedad desde la cuenca del Amazonas hasta la parte norte de la Cordillera de los Andes, ocasionando anomalías negativas de relación de mezcla de 2.5 g/kg y deficiencia en un 30 % de humedad ponderada entre 600 y 200 hPa.

En el último periodo, la presencia de una dorsal con eje oblicua de NW-SE entre  $120^{\circ}$  y  $80^{\circ}$ W, la vaguada reducida con eje SWNE entre  $100^{\circ}$  y  $80^{\circ}$ W y la presencia de la Alta de Bolivia, coadyuvaron la formación de una zona de collado en el noroeste del Perú que restringió el crecimiento de nubes convectivas de gran desarrollo vertical. Se observó una notable convergencia en niveles altos sobre la región.

En 500 hPa, los vientos provenientes del sureste y este, facilitaron el desplazamiento gradual de la humedad hacia la región noroccidental del país, aumentando paulatinamente el contenido de vapor de agua entre 3 y 4 g por cada kilogramo de aire

seco. No obstante, la humedad relativa ponderada entre 600 y 200 hPa aún mostrada cierta deficiencia.

En todo el mes de febrero, los niveles inferiores de la atmósfera, debido a la intensidad y ubicación del Anticiclón del Pacífico Suroriental y la influencia de la fuerza de Coriolis provocada por la rotación terrestre, los vientos del sur y suroeste sobre el mar adyacente a las costas occidentales de Sudamérica, reforzaron la corriente de Humboldt y los procesos de afloramiento costero. Así mismo, la Zona de Convergencia Intertropical se vio replegada entre la línea ecuatorial y 10°N. Por otro lado, sobre la cuenca del Amazonas, predominaron los vientos del noreste, regulando el ingreso de humedad hacia la selva y sierra en el noroeste del país. En las zonas más bajas de esta región, la poca convergencia de humedad ocasionó menos formación de nubes convectivas.

La distribución de la temperatura superficial del mar, mostró la isoterma de 27 °C, que suele indicar fases de alta actividad convectiva en la costa y sierra norte del Perú, estuvo desplazada hacia el hemisferio norte, frente a las costas de Ecuador, Colombia y parte de América Central; mientras que, la temperatura del mar adyacente a la costa norte del país, oscilaron entre 19 y 25 °C con anomalías entre -1 y -4 °C.

Según los promedios trimestrales del ONI entre diciembre de 2020 y abril de 2021, la región Niño 3.4, se caracterizó por un ENSO en su etapa fría, conocida como La Niña; situación, que de acuerdo a los valores del ICEN, se alineó al enfriamiento del mar frente a la costa peruana, que registró anomalías negativas durante tres meses seguidos.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Se recomienda realizar estudios similares ante los bajos registros de precipitaciones durante la temporada lluviosa, en el noroeste del Perú, con la finalidad de identificar los cambios de las condiciones atmosféricas y oceánicas futuras, encontradas en este trabajo.

El monitoreo sobre la deficiencia de precipitaciones en la sierra norte es un tema de interés, dado que permite establecer mecanismos o planes de prevención antes impactos socioeconómicos en la población costera. Por tanto, se recomienda informar y concienciar a las personas sobre la importancia del uso responsable del agua, dado que el recurso puede volverse aún más escaso, mejorar y mantener la infraestructura de distribución de agua para minimizar pérdidas por filtraciones o roturas, promover prácticas agrícolas que utilicen menos agua, como la agricultura de conservación, el riego por goteo y el uso de cultivos menos dependientes del agua.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahrens, C. D. (2009). *Meteorology Today: An introduction to weather, climate and the environment* (9.). *Brooks / Cole Cengage Learning*.
- Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Refugiados. (2017, abril 7). Somalia ante la peor sequía de los últimos 60 años. *UNHCR – ACNUR*. Recuperado de: <https://eacnur.org/es/actualidad/noticias/emergencias/somalia-ante-la-peor-sequia-de-los-ultimos-60-anos>
- Alva, P. R. (2018). *Eventos Lluviosos y Secos en la Costa Norte de Perú durante el Niño 2016* [Tesis de ingeniería, Universidad Nacional La Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3189>
- Autoridad Nacional del Agua (2010). Plan de prevención ante la presencia de fenómenos naturales por inundaciones, deslizamientos, huaycos y sequias. Recuperado de: <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/82>
- Calle, V. & Unsihuay, F. (2012). *Meteorología General*. Universidad Nacional Agraria La Molina, departamento de Ingeniería Ambiental, Física y Meteorología.
- Centella, A., Lapinel, B. & Solano, O. (2006). La sequía meteorológica y agrícola en la República de Cuba y la República Dominicana, La Habana, Cuba, 174 pp. Recuperado de: [https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/cu/libro\\_sequia.pdf](https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/cu/libro_sequia.pdf)
- Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño. (2022). El Niño Oscilación del Sur. Recuperado de: <https://ciifen.org/el-nino-oscilacion-del-sur/>
- Coronado, R. (2014, febrero 19). Lambayeque: una de las regiones más afectadas por la sequía. *Radio Programas del Perú*. Recuperado de: <https://rpp.pe/peru/actualidad/lambayeque-una-de-las-regiones-mas-afectadaspor-la-sequia-noticia-671215>

- Curi, S. (2017). *Caracterización de las sequías hidrológicas en la vertiente peruana del Océano Pacífico*. [Tesis de ingeniería, Universidad Nacional La Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2803>
- García, A. N. (2008). *Metodología para la generación y evaluación de políticas de operación en sistemas de recursos hídricos* [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia]. <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/1970>
- García, J. (1994). Principios físicos de climatología. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- García, M. (2008) *Riesgo de sequía y vulnerabilidad socioeconómica en la cuenca del Guadalentín* [Tesis doctoral, Universidad de Murcia]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=18857>
- Garreaud, R. (2009). The Andes climate and weather. *Advances in Geosciences*, 22, 3 - 11 <https://doi.org/10.5194/adgeo-22-3-2009>
- 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. *USAF Environmental Technical Applications Center*, 95 (4), 1 – 114. Recuperado de: <https://pdfs.semanticscholar.org/3813/c201225fae6fe2436636d4b2d4776e145399.pdf>
- Hersbach, H.; Bell, W.; Berrisford, P.; Horányi, A. J.; Nicolas, J.; Radu, R.; Schepers, D.; ...Dee, D. (2019). Global reanalysis: goodbye ERA-Interim, hello ERA5. *ECMWF*, 159, 17 - 24. Recuperado de: <https://www.ecmwf.int/en/elibrary/81046-global-reanalysis-goodbye-era-interim-hello-era5>
- Holton, J. R. (2004). An Introduction to Dynamic Meteorology. (5). *ELSEVIER*.
- Hurtado, G. (1996). Estadísticas de sequía y heladas meteorológicas en Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Recuperado de: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/009375/009375.pdf>
- Instituto Internacional de Investigación para el Clima y Sociedad. (2023). Tutorial de estadísticas en climatología y anomalías estandarizadas. *IRI - University*. Recuperado de: <https://iridl.ldeo.columbia.edu/dochelp/StatTutorial/Climatologies/index.html#Comp>

- Jha, A. [BBC News Mundo]. (2019, febrero 28). Por qué el agua es una de las cosas más raras del Universo [Archivo video]. Recuperado de:  
[https://www.youtube.com/watch?v=-O7sw3Pe5TI&ab\\_channel=BBCNewsMundo](https://www.youtube.com/watch?v=-O7sw3Pe5TI&ab_channel=BBCNewsMundo)
- Komorowski, M., Marshall, D. C., Saliccioli, J. D., & Crutain, Y. (2016). *Exploratory data analysis. Secondary analysis of electronic health records*, Springer Nature. 185-203.  
[https://www.researchgate.net/publication/308013250\\_Secondary\\_Analysis\\_of\\_Electronic\\_Health\\_Records](https://www.researchgate.net/publication/308013250_Secondary_Analysis_of_Electronic_Health_Records)
- Martin, J. E., (2006), *Mid-Latitude Atmospheric Dynamics: A First Course*. Wiley.
- Ministerio de Agricultura. (2012). Plan de gestión de riesgos y adaptación al cambio climático en el sector agrario periodo 2012-2021.  
<https://sinia.minam.gob.pe/documentos/plan-gestion-riesgos-adaptacion-cambio-climatico-sector-agrario>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2020). Definiciones de tipos de sequía. *MITECO*. [https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/observatorio-nacional-de-la-sequia/que-es-la-sequia/Observatorio\\_Nacional\\_Sequia\\_1\\_1\\_tipos\\_sequia.aspx](https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/observatorio-nacional-de-la-sequia/que-es-la-sequia/Observatorio_Nacional_Sequia_1_1_tipos_sequia.aspx)
- Mwadzaya, T. (2022, mayo 22). El Cuerno de África necesita ayuda urgente para afrontar la peor sequía de los últimos 40 años. *Noticias ONU | Mirada global Historias humanas*. Recuperado de: <https://news.un.org/es/story/2022/05/1508872>
- Núñez, J. y K. Verbist. (2018). Atlas de Sequía de América Latina y el Caribe. *UNESCO y CAZALAC*, 204. [http://dgf.uchile.cl/rene/PUBS/AtlasSequia\\_latam\\_UNESCO.pdf](http://dgf.uchile.cl/rene/PUBS/AtlasSequia_latam_UNESCO.pdf)
- Lagos, P., Y. Silva, E. Nickl, & K. Mosquera, 2008: El Niño-related precipitation variability in Perú, *Advances in Geosciences*, 14, 231-237. Recuperado de: [https://repositorio.igp.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12816/3306/Lagos\\_et\\_al\\_2008\\_Advances\\_Geosciences.pdf?sequence=5&isAllowed=y](https://repositorio.igp.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12816/3306/Lagos_et_al_2008_Advances_Geosciences.pdf?sequence=5&isAllowed=y)
- Occhiuzzi, S. & Basualdo, A. (2013). Determinación de zonas homogéneas de riesgo para cereales y oleaginosas en Argentina. *Instituto de Ciencias del Seguro*. Recuperado de:

<https://documentacion.fundacionmapfre.org/documentacion/publico/es/media/group/1074761.do>

Organización Meteorológica Mundial. (2006). Vigilancia y alerta temprana de la sequía: conceptos, progresos y desafíos futuros. *OMM*, 1 - 28. Recuperado de: [http://www.droughtmanagement.info/literature/WMO\\_drought\\_monitoring\\_early\\_warning\\_es\\_2006.pdf](http://www.droughtmanagement.info/literature/WMO_drought_monitoring_early_warning_es_2006.pdf)

Organización Meteorológica Mundial. (2012). Índice normalizado de precipitación guía del usuario. *OMM*. Recuperado de: [https://www.droughtmanagement.info/literature/WMO\\_standardized\\_precipitation\\_index\\_user\\_guide\\_es\\_2012.pdf](https://www.droughtmanagement.info/literature/WMO_standardized_precipitation_index_user_guide_es_2012.pdf)

Organización Meteorológica Mundial. (2016). Manual de indicadores e índices de sequía. *OMM y Asociación Mundial para el Agua*. Recuperado de: [https://www.droughtmanagement.info/literature/WMO-GWP\\_Manual-de-indicadores\\_2016](https://www.droughtmanagement.info/literature/WMO-GWP_Manual-de-indicadores_2016)

Organización Meteorológica Mundial. (2017). Directrices de la Organización Meteorológica Mundial sobre el cálculo de las normales climáticas. Recuperado de: [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=4167](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4167)

Organización Mundial de la Salud. (2022, septiembre 14). Reseña normativa de la OMS: Pruebas de detección de la COVID-19, 8(1). Recuperado de: [https://www.who.int/es/publications/i/item/WHO-2019-nCoV-Policy\\_Brief-Testing-2022.1](https://www.who.int/es/publications/i/item/WHO-2019-nCoV-Policy_Brief-Testing-2022.1)

Ortega, D.; Mejía, E.; Palacios, E. & Rendón, L. (2008). *Análisis y caracterización de la sequía en el distrito de riego 005 delicias, Chihuahua* [IV Seminario]. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/275963788\\_Analisis\\_y\\_Caracterizacion\\_de\\_la\\_Sequia\\_en\\_el\\_Distrito\\_de\\_Riego\\_005\\_Delicias\\_Chihuahua](https://www.researchgate.net/publication/275963788_Analisis_y_Caracterizacion_de_la_Sequia_en_el_Distrito_de_Riego_005_Delicias_Chihuahua)

Pantoja, H. (2018). *El Evento Hidrometeorológico durante la sequía del 2004 y sus efectos en las actividades socioeconómicas de Lambayeque* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/UNPRG/6051>

- Pareja, J. (1936). El clima del Perú. *Revista de la Universidad Católica*, 5(29), 1 - 11.  
Recuperado de: <http://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/52939>
- Peterson, T., Folland, C., Gruza, C., Hogg, W., Mokssit, A. & Plummer, N. (2001). Report on the activities of the working group on climate change detection and related rapporteurs 1998-2001. *Organización Meteorológica Mundial*, 1071 (47), 1 – 65.  
Recuperado de: <http://etccdi.pacificclimate.org/docs/wgccd.2001.pdf>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2012). Sinopsis: Crisis en el Cuerno de África. Recuperado de:  
[https://www.undp.org/content/dam/undp/library/crisis%20prevention/Spanish/Horn\\_of\\_Africa\\_spanish\\_april2012.pdf](https://www.undp.org/content/dam/undp/library/crisis%20prevention/Spanish/Horn_of_Africa_spanish_april2012.pdf)
- Rivadeneira, S. (2019). *Corrección de estimaciones de precipitaciones por satélite GPM-IMERG usando técnica de mezcla sobre las cuencas Chillón, Rímac y Lurín* [Tesis de ingeniería, Universidad Nacional La Molina].  
<http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/4075>
- Rivas, P. R. (2019). *Identificación de patrones de circulación característicos en la formación de precipitación en Lima Metropolitana y Callao durante 1980 – 1995*. [Tesis de ingeniería, Universidad Nacional La Molina].  
<http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/4227>
- Rojas, J. & Eche, J. C. (2006). La Temperatura de la Superficie del Mar Peruano a partir de las Imágenes avhrr / NOAA (2000 - 2003). *Revista de Investigación de Física de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, 9(01), 27-30. Recuperado de:  
<https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/fisica/article/view/8611>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. (2013). Estandarización para el registro de la metadata. Subdirección de Gestión de Redes de Observación - Dirección de Redes de Observación y Datos. Recuperado de:  
<https://www.senamhi.gob.pe/load/file/00711SENA-73.pdf>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. (2014). Estimación de umbrales de precipitaciones extremas para la emisión de avisos meteorológicos. *Senamhi*. Recuperado de: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01402SENA-6.pdf>

- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. (2019). Caracterización espacio temporal de la sequía en los departamentos altoandinos del Perú (1981-2018). *Senamhi*. Recuperado de: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-78.pdf>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. (2021). Condiciones climáticas actuales. Recuperado de: *Senamhi*. <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=condiciones-climaticas>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. (2021). Glosario de términos relacionados a sequías, gestión del riesgo y cambio climático. *Proyecto Pachayatiña/Pachayachay. SENAMHI-HELVETAS- PREDES*. Recuperado de: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01405SENA-7.pdf>
- Silva, M. (2010). *Vórtice Ciclónico de Alto Nivel Asociado à Corrente de Jato no Nordeste do Brasil nos Anos 1998-2007*. [Tesis de maestría, Universidade Federal de Alagoas]. <http://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/883>
- Spring, S. (2000). Tide and Current Glossary. Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica, 1 - 33. Recuperado de: <https://tidesandcurrents.noaa.gov/publications/glossary2.pdf>
- Sociedad Meteorológica Americana. (2013, setiembre 19). Drought. AMS. Recuperado de: <https://www.ametsoc.org/ams/index.cfm/about-ams/ams-statements/statements-of-the-ams-in-force/drought/>
- Tallaksen, L. & van Lanen, H. A. J. (2004). Hydrological drought. Processes and estimation methods for streamflow and groundwater. *Hydrology and Quantitative Water Management WIMEK*, 48 (2), 1 - 579. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-13352>
- Wallace, J. & Hobbs, P. (2006). Academic Press. Atmospheric Science an Introductory Survey. *University of Washington* (2). <https://doi.org/10.1016/C2009-0-00034-8>
- Waylen, P. & Poveda, G. (2002). El Niño-Southern Oscillation and aspects for western South American hydro-climatology. *Hydrological Processes*, 16(6), 1247 - 1260. <https://doi.org/10.1002/hyp.1060>
- Wilhite, D. A. & Glantz, M. H. (1985). Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions. *Water International*, 10(3), 111-120. <https://doi.org/10.1080/02508068508686328>

- Woodman, R. & Takahashi, K. (2014). ¿Por qué no llueve en la costa del Perú (salvo durante El Niño)? Boletín técnico: Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño, *Instituto Geofísico del Perú*, 1 (6), 4-7. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12816/5046>
- Xurong, M. & Xiaohui, Y. (2014). Drought Conditions and Management Strategies in China. Recuperado de: [http://www.droughtmanagement.info/literature/UNW-DPC\\_NDMP\\_Country\\_Report\\_China\\_2014.pdf](http://www.droughtmanagement.info/literature/UNW-DPC_NDMP_Country_Report_China_2014.pdf)
- Zuta, S. & Urquiza, W. (1972). Temperatura promedio de la superficie del mar frente a la costa peruana, periodo 1928-1969. *IMARPE*, 2(8). Recuperado de: <http://biblioimarpe.imarpe.gob.pe/handle/123456789/963>

## **VIII. ANEXOS**

**Anexo 1:** Información de estaciones meteorológicas convencionales

<b>ID</b>	<b>Código</b>	<b>Departamento</b>	<b>Nombre</b>	<b>Lat. (°)</b>	<b>Lon. (°)</b>	<b>Altitud (m s.n.m.)</b>	<b>Clas.</b>
1	104058	Piura	Ayabaca	-4.64	-79.71	2633	CP
2	105016	Piura	Chalaco	-5.04	-79.79	2296	CP
3	105023	Piura	Tuluce	-5.48	-79.35	2233	PLU
4	105064	Piura	Huarmaca	-5.57	-79.53	2178	CO
5	100105	Piura	Porculla	-5.84	-79.51	2142	PLU
6	105024	Piura	Hacienda Shumaya	-5.37	-79.36	1991	PLU
7	105055	Piura	Huancabamba	-5.25	-79.45	1954	CP
8	105022	Piura	Sondorillo	-5.34	-79.42	1694	CO
9	104019	Piura	Sapillica	-4.78	-79.98	1466	PLU
10	100131	Piura	Santo Domingo	-5.04	-79.87	1457	CO
11	104059	Piura	Sausal de Culucan	-4.75	-79.76	997	CO
12	106060	Lambayeque	Cueva Blanca	-6.13	-79.41	3300	PLU
13	106037	Lambayeque	Incahuasi	-6.23	-79.32	3052	CP
14	108045	La Libertad	Cachicadan	-8.09	-78.15	2900	CO
15	107054	La Libertad	Callancas	-7.77	-78.48	1501	CO
16	107092	La Libertad	Huangacocha	-7.94	-78.07	3763	PLU
17	107009	La Libertad	Huamachuco	-7.82	-78.04	3186	CO
18	108043	La Libertad	Julcán	-8.04	-78.49	3385	PLU
19	108046	La Libertad	Mollepata	-8.19	-77.95	2708	PLU
20	108044	La Libertad	Quiruvilca	-8.00	-78.31	4047	PLU
21	108001	La Libertad	Salpo	-8.00	-78.62	3250	CO
22	107028	Cajamarca	Augusto Weberbauer	-7.17	-78.49	2673	MAP
23	100015	Cajamarca	Bambamarca	-6.68	-78.52	2495	CP
24	107068	Cajamarca	Cachachi	-7.45	-78.27	3203	CO
25	107008	Cajamarca	Cajabamba	-7.62	-78.05	2625	CO
26	106022	Cajamarca	Chancay Baños	-6.58	-78.87	1677	CO
27	107058	Cajamarca	Chilete	-7.22	-78.84	848	PLU
28	105065	Cajamarca	Chontalí	-5.64	-79.09	1626.5	CO
29	106034	Cajamarca	Chota	-6.55	-78.65	2468	CO
30	106084	Cajamarca	Chotano Lajas	-6.56	-78.74	2148.2	PLU
31	106077	Cajamarca	Chugur	-6.67	-78.74	2757	PLU
32	107052	Cajamarca	Contumazá	-7.37	-78.82	2542	CO

Continuación ...

<b>ID</b>	<b>Código</b>	<b>Departamento</b>	<b>Nombre</b>	<b>Lat. (°)</b>	<b>Lon. (°)</b>	<b>Altitud (m s.n.m.)</b>	<b>Clas.</b>
33	105057	Cajamarca	El Limón	-5.92	-79.32	1110	CO
34	107002	Cajamarca	Granja Porcón	-7.04	-78.63	3149	CO
35	105067	Cajamarca	Jaén	-5.68	-78.77	618	CP
36	107055	Cajamarca	Lives	-5.32	-79.29	1787	CO
37	107017	Cajamarca	Magdalena	-7.27	-78.68	1700	CO
38	107037	Cajamarca	Namora	-7.20	-78.33	2744	CO
39	106065	Cajamarca	Hacienda Pucará	-6.04	-79.13	1012	PLU
40	100113	Cajamarca	Quebrada Shugar	-6.69	-78.46	3292.7	PLU
41	105053	Cajamarca	Sallique	-5.65	-79.32	1750	CO
42	107005	Cajamarca	San Juan	-7.30	-78.48	2234	CO
43	107006	Cajamarca	San Marcos	-7.32	-78.17	2287	CO
44	106056	Cajamarca	Santa Cruz	-6.62	-78.95	2002	CO
45	106061	Cajamarca	Tocmoche	-6.41	-79.36	1435	CO
46	106068	Cajamarca	Udima	-6.82	-79.09	2466	CO
47	106011	Amazonas	Chachapoyas	-6.20	-77.86	2536	CO
48	105040	Amazonas	El Pintor	-5.80	-78.55	973	PLU
49	105042	Amazonas	Jamalca	-5.89	-78.24	1173	CO
50	105079	Amazonas	Jazán	-5.95	-77.98	1354	CO
51	105046	Amazonas	Magunchal	-5.89	-78.19	632	PLU

**Anexo 2:** Información de estaciones hidrológicas

<b>ID</b>	<b>Código</b>	<b>Departamento</b>	<b>Estación</b>	<b>Lat. (°)</b>	<b>Lon. (°)</b>	<b>Altitud (m s.n.m.)</b>	<b>Clas.</b>
1	47E9177A	Piura	El Ciruelo	-4.3	-80.17	225	H
2	47E0D438	Piura	Alamor	-4.47	-80.39	116	H
3	47E1D6C	Lambayeque	Racarrumi	-6.67	-79.33	500	H
4	4724D566	Cajamarca	Cirato	-6.66	-79.07	959	H
5	4726E508	Cajamarca	Yonan Gore	-7.25	-79.1	457	H
6	211001	La Libertad	Salinar	-7.67	-78.8	450	H

**Anexo 3:** Información de los principales reservorios en el norte del país

<b>ID</b>	<b>Cap. Max Útil (MMC)</b>	<b>Departamento</b>	<b>Reservorio</b>	<b>Lat. (°)</b>	<b>Lon. (°)</b>	<b>Altitud (m s.n.m.)</b>
1	438.3	Piura	Poechos	-4.66	-80.50	98
2	331.6	Lambayeque	Tinajones	-6.63	-79.44	212.5
3	366.6	Cajamarca	Gallito Ciego	-7.23	-79.17	350

**Anexo 4:** Normales climáticas estándares y medias 1991-2020

<b>ID</b>	<b>Código</b>	<b>Departamento</b>	<b>Nombre</b>	<b>1°d</b>	<b>2°d</b>	<b>3°d</b>	<b>Clima</b>
1	104058	Piura	Ayabaca	96.2	81.1	88.8	266
2	105016	Piura	Chalaco	74.9	78.8	67.8	221.5
3	105023	Piura	Tuluce	64.2	54.6	44.5	163.3
4	105064	Piura	Huarmaca	86.0	76.8	89.2	252
5	100105	Piura	Porculla	67.8	66.2	57.4	191.4
6	105024	Piura	Hacienda Shumaya	32.2	30.6	31.8	94.6
7	105055	Piura	Huancabamba	26.4	22.3	22.6	71.3
8	105022	Piura	Sondorillo	17.7	16.4	16.1	50.3
9	104019	Piura	Sapillica	66.2	63.4	60.4	190
10	100131	Piura	Santo Domingo	97.6	103.5	91.8	292.9
11	104059	Piura	Sausal de Culucan	23.5	24.8	27.7	75.9
12	106060	Lambayeque	Cueva Blanca	46.3	33.1	33.9	113.3
13	106037	Lambayeque	Incahuasi	34.7	32.5	31.3	98.4
14	108045	La Libertad	Cachicadan	65.4	59.6	53.3	178.2
15	107054	La Libertad	Callancas	36.9	33.7	31.5	102.1
16	107092	La Libertad	Huangacocha	70.8	52.7	52.9	176.4
17	107009	La Libertad	Huamachuco	53.2	48.3	43.5	145
18	108043	La Libertad	Julcán	65.3	60.2	44.6	170.1
19	108046	La Libertad	Mollepata	41.8	38.9	32.5	113.2
20	108044	La Libertad	Quiruvilca	71.3	62.0	57.4	190.7
21	108001	La Libertad	Salpo	47.5	38.6	33.9	118.7
22	107028	Cajamarca	Augusto Weberbauer	36.0	33.3	27.7	97.1
23	100015	Cajamarca	Bambamarca	36.8	31.0	30.6	98.3
24	107068	Cajamarca	Cachachi	48.6	44.0	43.7	136.3
25	107008	Cajamarca	Cajabamba	55.1	45.4	48.4	148.9
26	106022	Cajamarca	Chancay Baños	38.7	27.0	27.1	92.7
27	107058	Cajamarca	Chilete	19.6	17.8	15.8	53.2
28	105065	Cajamarca	Chontali	48.6	44.9	37.9	131.4
29	106034	Cajamarca	Chota	39.4	31.2	29.4	100.1
30	106084	Cajamarca	Chotano Lajas	44.4	33.0	35.8	113.1
31	106077	Cajamarca	Chugur	87.1	76.3	79.2	242.6
32	107052	Cajamarca	Contumazá	59.3	46.2	59.4	165

Continuación ...

<b>ID</b>	<b>Código</b>	<b>Departamento</b>	<b>Nombre</b>	<b>1°d</b>	<b>2°d</b>	<b>3°d</b>	<b>Clima</b>
33	105057	Cajamarca	El Limón	18.0	22.2	14.7	54.9
34	107002	Cajamarca	Granja Porcón	79.4	84.0	63.9	227.2
35	105067	Cajamarca	Jaén	31.9	30.1	29.2	90.5
36	107055	Cajamarca	Lives	53.4	38.8	47.9	140.2
37	107017	Cajamarca	Magdalena	32.7	27.4	28.6	88.6
38	107037	Cajamarca	Namora	43.8	42.0	39.5	125.4
39	106065	Cajamarca	Hacienda Pucará	29.5	24.6	22.7	76.7
40	100113	Cajamarca	Quebrada Shugar	40.2	38.0	35.7	114
41	105053	Cajamarca	Sallique	26.9	22.6	34	83.4
42	107005	Cajamarca	San Juan	77.9	64.6	58.6	201.1
43	107006	Cajamarca	San Marcos	43.8	36.6	38.4	118.8
44	106056	Cajamarca	Santa Cruz	30.2	27.4	21.1	78.7
45	106061	Cajamarca	Tocmoche	68.0	54.7	68.2	190.8
46	106068	Cajamarca	Udima	51.6	39.3	49.8	140.8
47	106011	Amazonas	Chachapoyas	42.3	36.1	25.4	103.9
48	105040	Amazonas	El Pintor	25.7	21.2	19.3	66.1
49	105042	Amazonas	Jamalca	44.8	48.3	47.1	140.2
50	105079	Amazonas	Jazán	24.6	19.5	19.1	63.2
51	105046	Amazonas	Magunchal	33.4	34.8	36.9	105.2

Nota: 1°d, 2°d y 3°d representan la primera, segunda y tercera decadiaria respectivamente

**Anexo 5:** Percentiles de eventos extremos de las precipitaciones

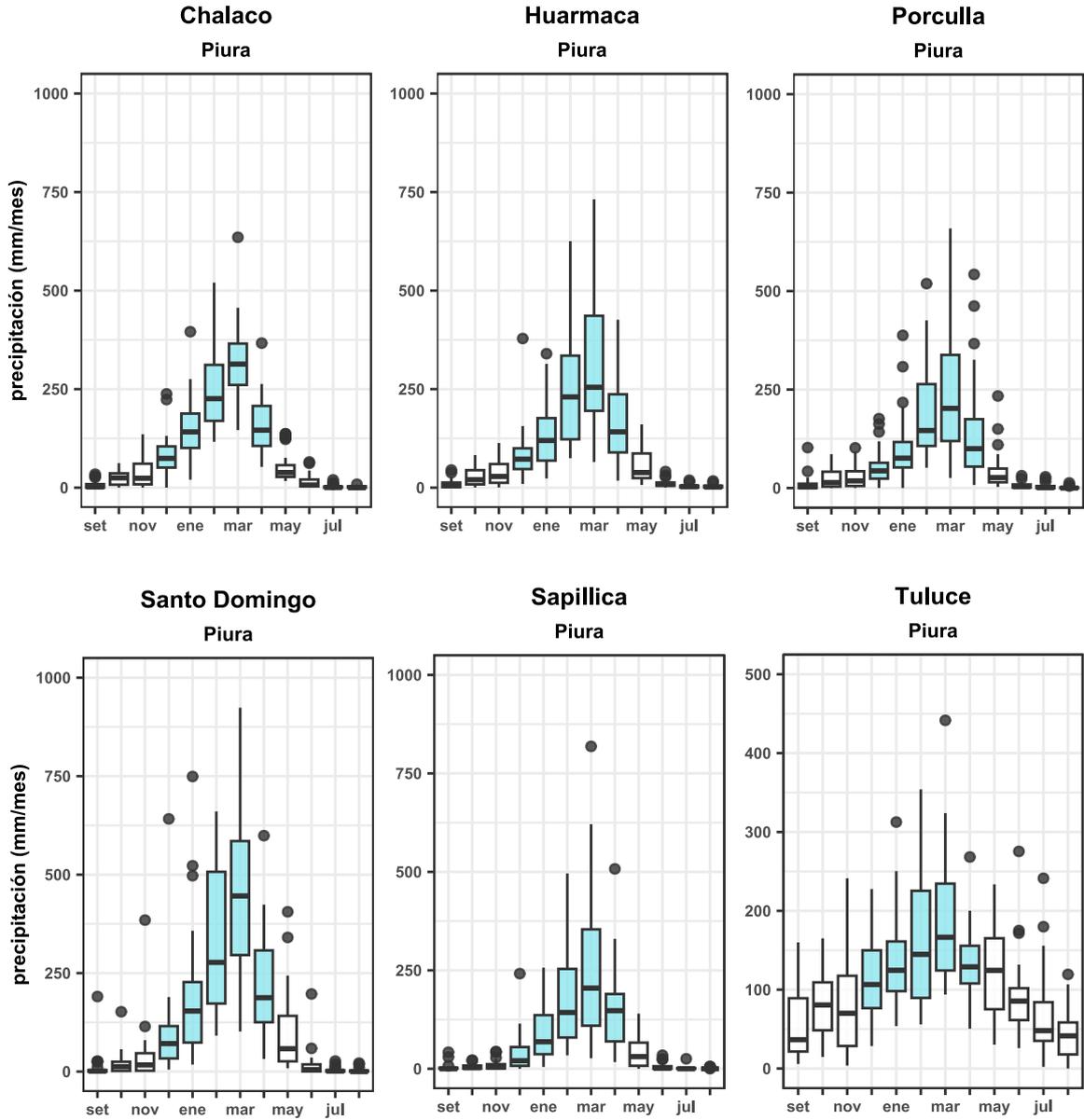
<b>ID</b>	<b>Código</b>	<b>Departamento</b>	<b>Nombre</b>	<b>P90</b>	<b>P95</b>	<b>P99</b>
1	104058	Piura	Ayabaca	32.1	41.0	59.9
2	105016	Piura	Chalaco	24.4	32.8	53.8
3	105023	Piura	Tuluce	20.9	29.8	47.5
4	105064	Piura	Huarmaca	25.2	36.2	61.7
5	100105	Piura	Porculla	20.0	26.4	39.8
6	105024	Piura	Hacienda Shumaya	29.5	30.7	42.9
7	105055	Piura	Huancabamba	14.7	19.5	30.0
8	105022	Piura	Sondorillo	19.0	24.3	37.2
9	104019	Piura	Sapillica	18.7	26.0	47.9
10	100131	Piura	Santo Domingo	33.4	48.3	75.4
11	104059	Piura	Sausal de Culucan	14.3	18.5	29.5
12	106060	Lambayeque	Cueva Blanca	18.8	23.3	38.4
13	106037	Lambayeque	Incahuasi	16.8	23.0	38.4
14	108045	La Libertad	Cachicadan	17.7	22.0	30.5
15	107054	La Libertad	Callancas	14.7	19.1	32.0
16	107092	La Libertad	Huangacocha	21.5	25.2	35.4
17	107009	La Libertad	Huamachuco	19.3	24.5	35.1
18	108043	La Libertad	Julcan	18.9	23.2	33.7
19	108046	La Libertad	Mollepata	15.7	19.4	30.1
20	108044	La Libertad	Quiruvilca	19.7	24.5	34.5
21	108001	La Libertad	Salpo	14.8	19.0	28.6
22	107028	Cajamarca	Augusto Weberbauer	12.6	15.9	25.4
23	100015	Cajamarca	Bambamarca	13.2	17.5	27.4
24	107068	Cajamarca	Cachachi	21.7	26.1	43.2
25	107008	Cajamarca	Cajabamba	18.3	23.7	33.4
26	106022	Cajamarca	Chancay Baños	20.3	27.3	47.5
27	107058	Cajamarca	Chilete	14.3	19.6	29.8
28	105065	Cajamarca	Chontali	18.1	25.9	45.9
29	106034	Cajamarca	Chota	17.5	23.3	38.8
30	106084	Cajamarca	Chotano Lajas	19.5	27.1	39.5
31	106077	Cajamarca	Chugur	26.0	35.0	58.5
32	107052	Cajamarca	Contumazá	20.4	29.9	64.9

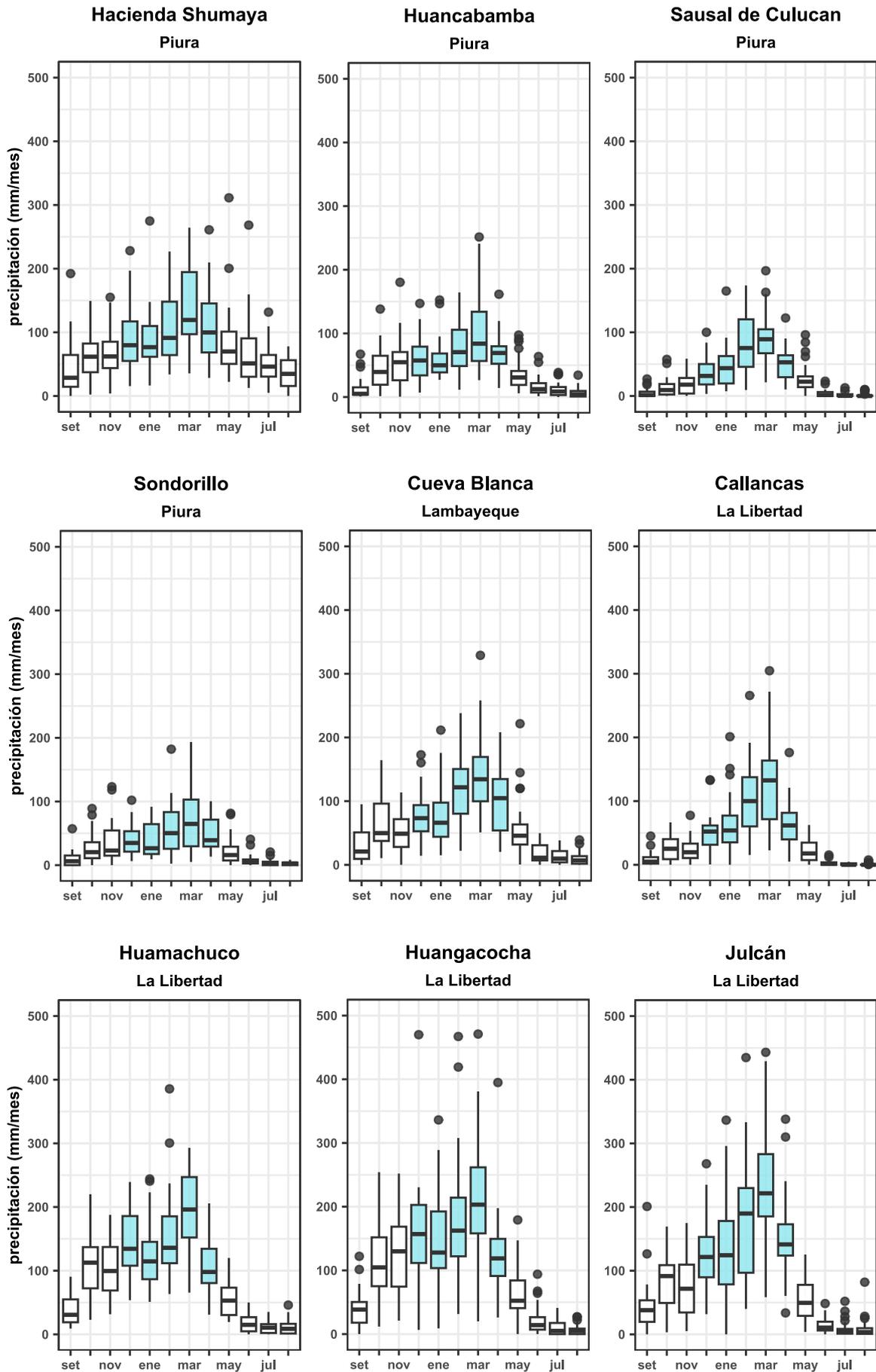
Continuación ...

<b>ID</b>	<b>Código</b>	<b>Departamento</b>	<b>Nombre</b>	<b>P90</b>	<b>P95</b>	<b>P99</b>
33	105057	Cajamarca	El Limón	19.0	25.8	45.1
34	107002	Cajamarca	Granja Porcón	22.8	30.3	46.3
35	105067	Cajamarca	Jaén	17.3	26.7	44.1
36	107055	Cajamarca	Lives	18.9	27.4	41.6
37	107017	Cajamarca	Magdalena	14.2	18.6	24.2
38	107037	Cajamarca	Namora	16.1	20.3	31.1
39	106065	Cajamarca	Pucara	18.8	25.0	50.8
40	100113	Cajamarca	Quebrada Shugar	14.8	19.6	30.0
41	105053	Cajamarca	Salique	16.8	25.8	35.6
42	107005	Cajamarca	San Juan	20.9	29.3	42.6
43	107006	Cajamarca	San Marcos	17.3	22.7	35.4
44	106056	Cajamarca	Santa Cruz	17.0	20.1	33.2
45	106061	Cajamarca	Tocmoche	25.0	36.5	62.3
46	106068	Cajamarca	Udima	19.5	26.7	47.8
47	106011	Amazonas	Chachapoyas	15.5	20.6	31.5
48	105040	Amazonas	El Pintor	15.3	21.9	44.5
49	105042	Amazonas	Jamalca	24.0	31.6	60.6
50	105079	Amazonas	Jazán	12.8	17.5	35.8
51	105046	Amazonas	Magunchal	24.6	35.0	55.9

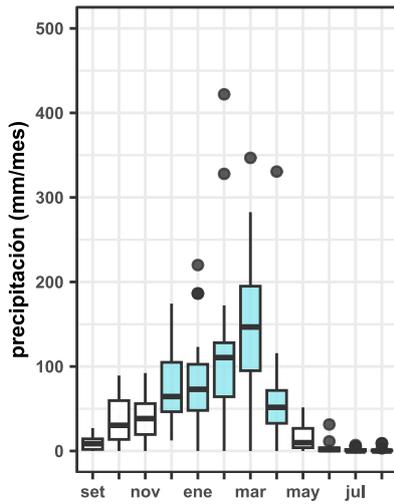
Nota: P90, P95 y P99 son percentiles que representan condiciones lluviosas, muy lluviosas y extremadamente lluviosas, en ese orden

**Anexo 6:** Precipitaciones mensuales en el periodo de 1991 - 2020.

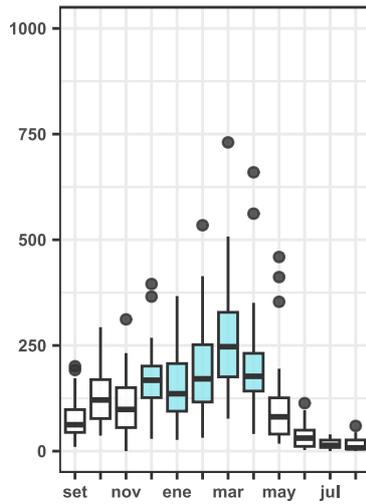




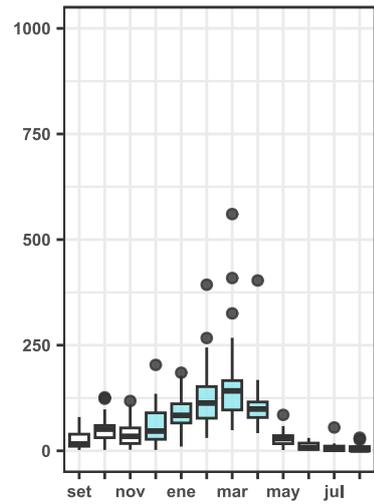
**Mollepata**  
La Libertad



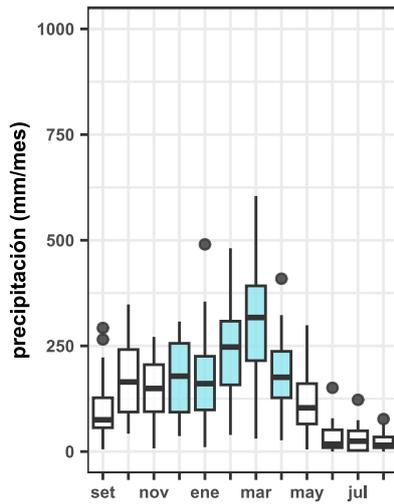
**Quiruvilca**  
La Libertad



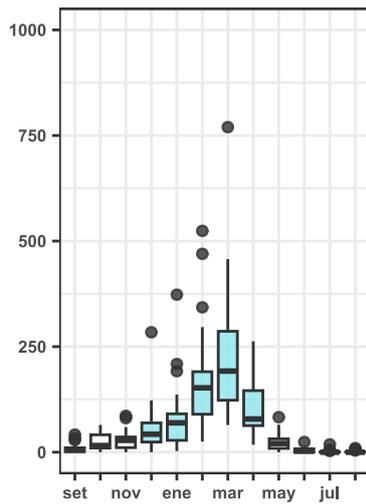
**Salpo**  
La Libertad



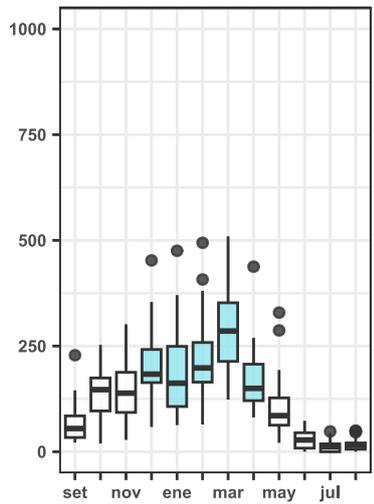
**Chugur**  
Cajamarca



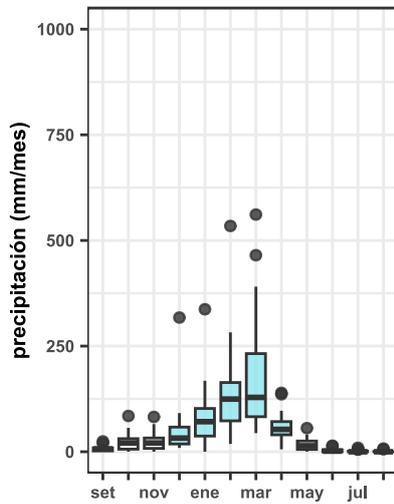
**Contumazá**  
Cajamarca



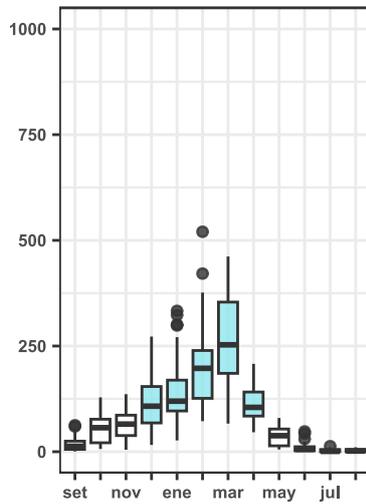
**Granja Porcón**  
Cajamarca



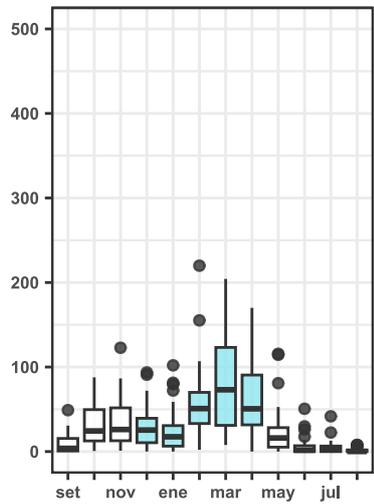
**Lives**  
Cajamarca



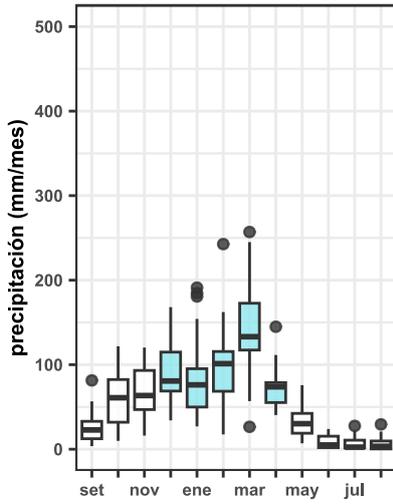
**San Juan**  
Cajamarca



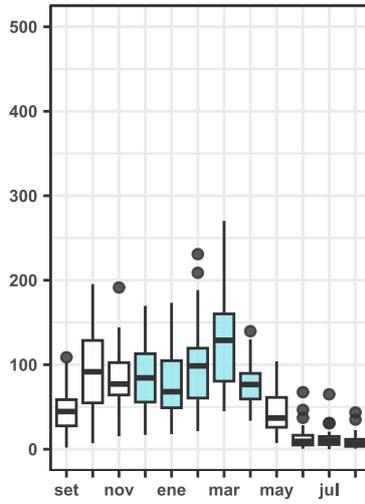
**El Limón**  
Cajamarca



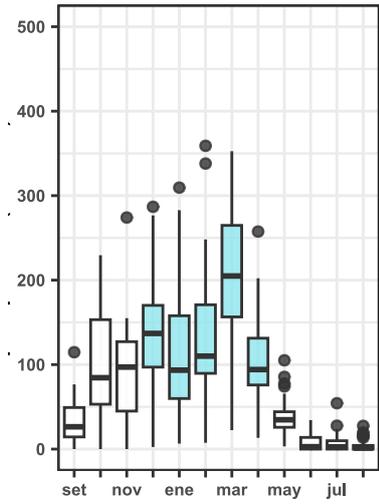
**Augusto Weberbauer**  
Cajamarca



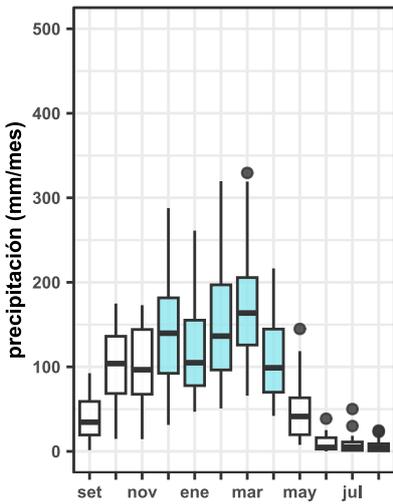
**Bambamarca**  
Cajamarca



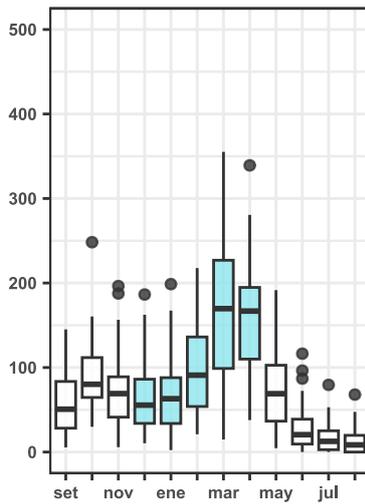
**Cachachi**  
Cajamarca



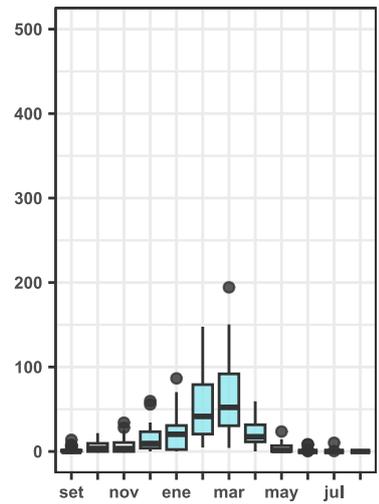
**Cajabamba**  
Cajamarca



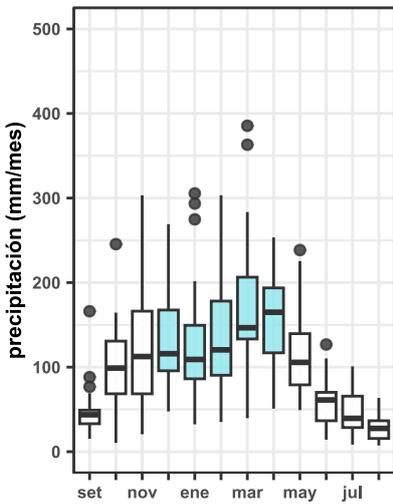
**Chancay Baños**  
Cajamarca



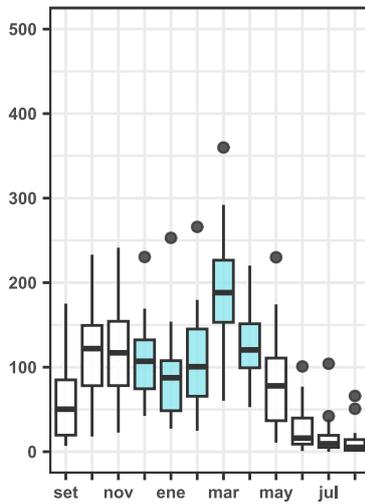
**Chilete**  
Cajamarca



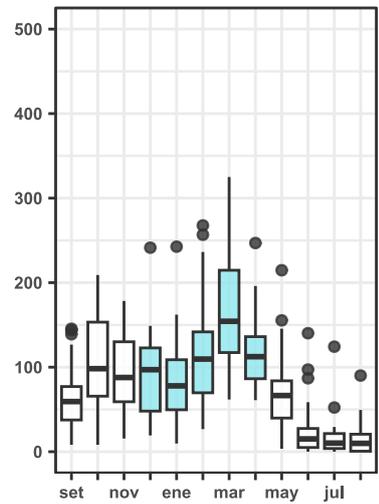
**Chontalí**  
Cajamarca



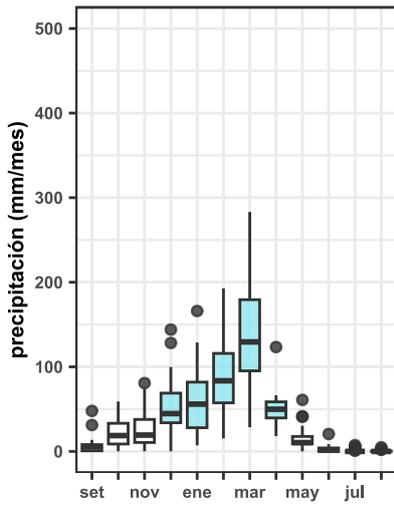
**Chota**  
Cajamarca



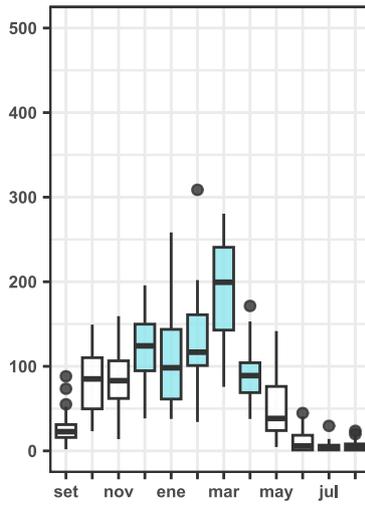
**Chotano Lajas**  
Cajamarca



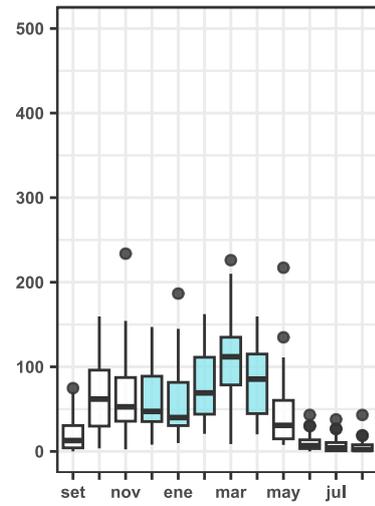
**Magdalena  
Cajamarca**



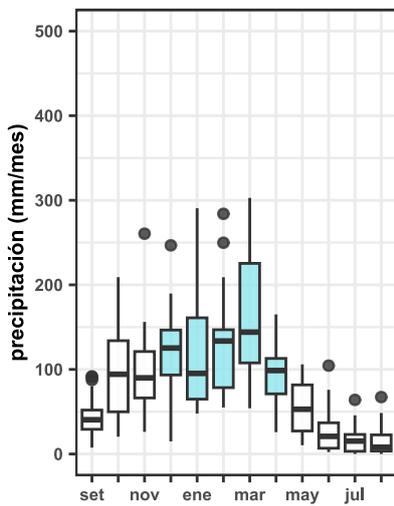
**Namora  
Cajamarca**



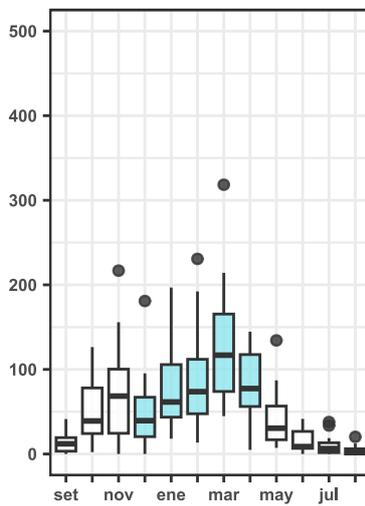
**Hacienda Pucará  
Cajamarca**



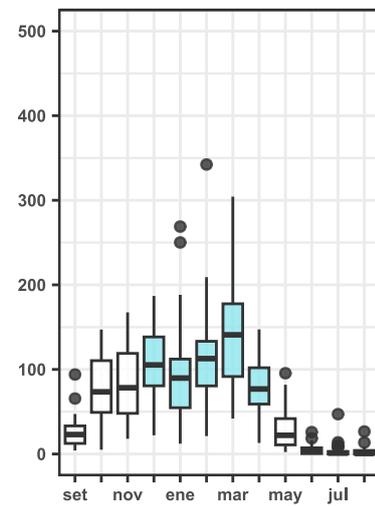
**Quebrada Shugar  
Cajamarca**



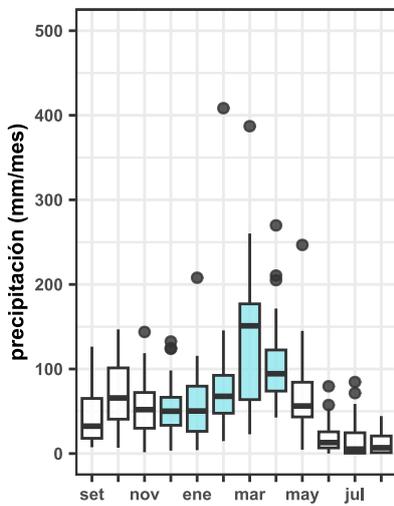
**Sallique  
Cajamarca**



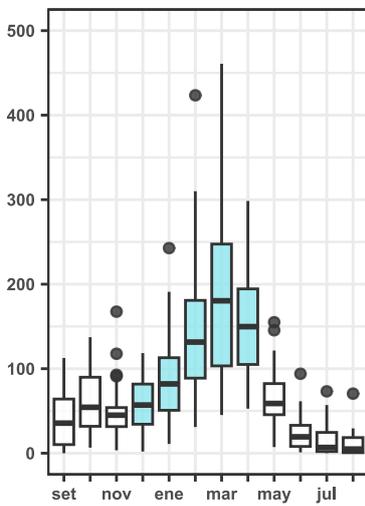
**San Marcos  
Cajamarca**



**Santa Cruz  
Cajamarca**



**Udima  
Cajamarca**



**Chachapoyas  
Amazonas**

