

SENAMHI PERÚ

ATLAS DE TEMPERATURAS DEL AIRE Y PRECIPITACIÓN DEL PERÚ



Subdirección de Predicción Climática

Dirección de Meteorología y
Evaluación Ambiental Atmosférica



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



BICENTENARIO
PERÚ 2021

ATLAS DE TEMPERATURAS DEL AIRE Y PRECIPITACIÓN EN EL PERÚ

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ - SENAMHI
PROYECTO APOYO A LA GESTIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Rubén José Ramírez Mateo

Ministro del Ambiente

Ken Takahashi Guevara

Presidente Ejecutivo del Senamhi

Gabriela Teófila Rosas Benancio

**Dirección de Meteorología y Evaluación Ambiental
Atmosférica del Senamhi**

Grinia Jesús Avalos Roldán

Subdirección de Predicción Climática del Senamhi

Autores:

Cristina Davila Arriaga, Félix Cubas Saucedo, Wil Laura Laura, Tania Ita Vargas, Patricia Porras Vásquez, Anabel Castro Narciso, Irene Trebejo Varillas, Julio Urbiola Del Carpio, Grinia Avalos Roldán, Donna Villena Acho, Marcia Valdez, Diego Rodríguez Zimmermann, Lourdes Menis Alvarez

Equipo SIG

Donna Villena Acho, Wil Laura Laura,
Cristina Davila Arriaga, Patricia Porras Vásquez

Revisores

Ken Takahashi Guevara, Carlos López-Ocaña, Amelia Díaz Pabló, Esequiel Villegas Paredes, Nelson Quispe Gutiérrez

Edición, diseño y diagramación:

RED ACTIVA SOLUCIONES GRAFICAS SAC

Primera edición: Septiembre de 2021

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2021-09797

ISBN: 978-612-48315-5-3

Impresión:

RED ACTIVA SOLUCIONES GRAFICAS S.A.C.

Jr. Napo 343 - Urb. Chacra Colorada - Breña, Lima - Perú
Cel.: 975459305 E-mail: ventas@redactiva.com.pe

Tiraje: 200 ejemplares

© Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI)

Jr. Cahuide 785, Jesús María, Lima- Perú. Teléfono:
(01) 614-1414

www.gob.pe/senamhi

Todos los derechos reservados.

Prohibida la reproducción de esta guía por cualquier medio, total o parcialmente, sin permiso expreso.

El Proyecto de Apoyo a la Gestión del Cambio Climático (Gestión CC), en su Fase 2, es una iniciativa del gobierno peruano, liderado por el Ministerio del Ambiente y el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi). Es financiado por la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación - COSUDE, ejecutado por Libélula Instituto para el Cambio Global y South South North.

El segundo componente del proyecto Gestión CC, busca mejorar la información sobre el clima para la toma de decisiones. Por ello, colabora con el Senamhi para la elaboración de los estudios de Cambio Climático que contempla los Servicios Climáticos para la Salud y su contribución a Nuestro Desafío Climático (NDC)

PREFACIO

El Atlas de Temperatura del Aire y Precipitación del Perú, en el capítulo 1, describe las características geográficas de la Costa, Sierra y Selva del país, mencionando a la vez la importancia de los sistemas hídricos superficiales de las vertientes del Pacífico, Atlántico y del lago Titicaca; para terminar con un análisis de los principales controladores climáticos atmosféricos, oceánicos y orográficos del ámbito nacional.

El capítulo 2 explica la definición de las variables meteorológicas consideradas en este documento técnico, con la finalidad de presentar un marco teórico inicial que ayude en el entendimiento de la descripción sobre las características climáticas abordadas en los siguientes capítulos.

El capítulo 3 se refiere a los datos de temperaturas máxima y mínima del aire, y precipitación como insumos principales del presente estudio, tomados de los registros de 515 estaciones meteorológicas convencionales de la red nacional del SENAMHI ubicadas en las diferentes regiones del país, adicionalmente 136 estaciones meteorológicas ubicadas en las zonas amazónica de Ecuador, Colombia, Brasil y Bolivia, que hacen un total de 651 puntos de observación meteorológica. Otro aspecto importante de este capítulo es el marco metodológico para el control de calidad de dichos datos y el cálculo de las normales climáticas, de conformidad con las recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial. Con esa información, se elaboraron los pluviogramas de las estaciones meteorológicas consideradas.

Para la elaboración de los mapas climáticos de temperatura del aire y precipitación a nivel mensual, estacional y anual, se generó un modelo estadístico de interpolación (regresión lineal múltiple) que involucra los datos observados e información satelital. La validación del modelo de interpolación consideró supuestos estadísticos que corroboraron la significancia de los resultados. En el proceso de validación, también

se tomaron como referencia mapas ambientales nacionales, como el ecológico y el de ecosistemas, producidos por el Ministerio del Ambiente – MINAM.

El capítulo 4 constituye la parte sustancial del Atlas, en los cuales se analizan la variabilidad espacio – temporal de las temperaturas máxima y mínima del aire y la precipitación, con énfasis en el ciclo anual, estacional y el comportamiento de estas variables durante los años Niño más significativos para el país. En este sentido, se describen los regímenes termo-pluviométricos que caracterizan el clima de la Costa, Sierra Occidental, Sierra Oriental y Selva del Perú, con sus transiciones y diferencias latitudinales de norte a sur entre dichas regiones.

INTRODUCCIÓN

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI, tiene por misión brindar a la sociedad peruana información fundamental sobre el estado del tiempo y las condiciones climáticas predominantes y sus respectivos pronósticos en las diferentes regiones del país tanto a nivel rural como urbano, así como estudios e investigaciones aplicadas con la finalidad que las personas y población en general, así como las instituciones públicas y privadas puedan tomar decisiones convenientes para el mejor desarrollo de sus actividades personales y productivas.

El complejo proceso que sigue el SENAMHI para generar y poner en valor la información climática, se inicia con la toma de los datos meteorológicos que se registran en las estaciones meteorológicas distribuidas en todo el territorio nacional. De las diferentes variables atmosféricas que se miden, como la temperatura del aire, precipitación pluvial, humedad atmosférica, viento, radiación solar, evaporación y evapotranspiración, presión atmosférica y horas de sol, son las temperaturas extremas del aire y la precipitación las variables de mayor importancia por ser las más requeridas por los diferentes usuarios.

“El Atlas de Temperatura del aire y Precipitación del Perú” que a continuación se presenta, se basa justamente en el análisis técnico exhaustivo de los registros diarios de las temperaturas máximas y mínimas del aire y la precipitación, recogidas de las estaciones a nivel nacional tomando como referencia el período de 1981 al 2010 para el cálculo de las normales climáticas. Para ello, se ha tomado en consideración los factores dominantes que controlan el clima en el ámbito nacional, que incluyen sistemas de circulación atmosférica, patrones de la temperatura superficial del mar y corrientes oceánicas, y también factores topográficos, orográficos e hidrográficos locales.

La minuciosa labor de análisis desplegada por el equipo técnico del SENAMHI para inferir sobre el clima en la región amazónica y en regiones sobre los 4500 m s. n. m. donde no se cuenta con una red densa de estaciones, no sólo ha requerido del conocimiento de

los mecanismos físicos que modulan el clima local, sino además ha demandado el uso de tecnología digital actualizada y técnicas de interpolación robustas para una tener una adecuada representación espacial de las condiciones medias de las temperaturas del aire y precipitación en el Perú a escala estacional y anual, tomando también en consideración los impactos de eventos extremos de El Niño.

Es así, que el Atlas generado se constituye en un documento con información indispensable para el conocimiento de las condiciones climáticas predominantes en cada una de las regiones naturales del Perú, cuyo uso y aplicación es de suma utilidad para las actividades de crecimiento económico y desarrollo poblacionales, institucionales y académicas locales, regionales y nacionales; pero además es trascendente para el estudio y seguimiento de los impactos del cambio climático en el país.

El SENAMHI desea expresar su gratitud a los profesionales e instituciones del país, que aportaron significativamente en la elaboración del Atlas. Especialmente, amerita una mención especial y agradecimiento al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología de Ecuador - INAMHI, al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia - IDEAM, al Instituto Nacional de Meteorología de Brasil - INMET y Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de Bolivia - SENAMHI, por facilitar información meteorológica de sus estaciones situadas en el área amazónica cercana a la frontera con Perú, así como a especialistas de las Direcciones Zonales del SENAMHI-Perú por su valiosa contribución en el proceso de validación de los mapas climáticos.

ÍNDICE

1. Aspecto general.....	9
1.1. Ubicación geográfica	9
1.2. Medio físico	9
1.3. Controladores climáticos	13
1.3.1. Controladores meteorológicos	13
1.3.2. Controladores Oceánicos	19
1.3.3. Controladores Continentales	20
2. Variables Meteorológicas.....	24
2.1. Temperatura máxima del aire	24
2.2. Temperatura mínima del aire	24
2.3. Precipitación pluvial	25
2.3.1. Pluviómetro tipo Hellmann 200 cm ²	25
2.3.2. Pluviógrafo de flotador tipo Hellmann	26
3. Datos y Síntesis Metodológicas.....	28
3.1. Estaciones Meteorológicas.....	28
3.2. Tratamiento de Datos Meteorológicos	28
3.3. Normales Climáticas	31
3.4. Información Satelital	32
3.5. Validación del Modelo Estadístico de Interpolación	33
3.6. Validación Cruzada	36

3.7.	Interpolación Espacial de Variables Climáticas	38
3.8.	Validación de mapas climáticos	39
3.9.	Limitaciones de los mapas climáticos	40
4.	Distribución espacio-temporal de la temperatura del aire y la precipitación pluvial en el Perú	41
4.1.	Ciclo anual por regiones.....	50
4.1.1.	Costa	50
4.1.2.	Sierra occidental	55
4.1.3.	Sierra oriental	60
4.1.4.	Selva.....	69
4.2.	Comportamiento estacional de la temperatura del aire y la precipitación	72
4.2.1.	Verano	73
4.2.2.	Otoño.....	82
4.2.3.	Invierno	90
4.2.4.	Primavera	98
4.3.	Climatología durante eventos El Niño.....	105
4.3.1.	Precipitación.....	106
5.	ANEXOS.....	111
5.1.	Lista de estaciones meteorológicas.....	111
5.2.	Tabla de normales climatológicas.....	111
6.	GLOSARIO.....	113
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	121

LISTA DE ACRÓNIMOS

AAS: Anticiclón del Atlántico Sur

AB: Alta de Bolivia

ANA: Autoridad Nacional del Agua

APSO: Anticiclón del Pacífico Sur Oriental

CCNB: Corriente en Chorro de Niveles Bajos

CHIRPS: Climate Hazard Infrared Precipitation with Stations, Monthly Precipitation

DANA: Depresión Atmosférica de Niveles Altos

DEM: Digital Elevation Model - Modelo de Elevación Digital

ENOS: El Niño - Oscilación del Sur

IDW: Inverse Distance Weighting - Distancia Inversa Ponderada

IGN: Instituto Geográfico Nacional

LST: Land Surface Temperature - Temperatura de la Superficie Terrestre

MODIS: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

NASA: National Aeronautics and Space Administration - Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio

NGA: National Geospatial-Intelligence Agency - Agencia Nacional de Inteligencia-Geoespacial

OMM: Organización Meteorológica Mundial

SENAMHI: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología

SRTM: Shuttle Radar Topography Mission - Misión Topográfica Shuttle Radar

TSM: Temperatura Superficial del Mar

ZCAS: Zona de Convergencia del Atlántico Sur

ZCIT: Zona de Convergencia Inter Tropical

ATLAS DE TEMPERATURAS DEL AIRE Y PRECIPITACIÓN PLUVIAL DEL PERÚ

1. ASPECTO GENERAL

1.1. Ubicación geográfica

El territorio peruano se encuentra situado al sur de la línea ecuatorial, en la región central y occidental de América del Sur. Limita por el norte con Ecuador y Colombia, por el este con Brasil, por el sureste con Bolivia, por el sur con Chile y por el oeste con el océano Pacífico sobre el cual tiene el dominio marítimo de 200 millas náuticas de ancho (MINDEF et al., 2005), equivalente a 370 370 km. La línea costera tiene una longitud de 1200 millas náuticas (Zuta y Guillen, 1970), equivalente a 2222 km. El dominio marítimo peruano es la región más extensa del país, con una extensión aproximada de 823 044 km².

De acuerdo a Stralher (2010), el territorio peruano se ubica en la zona ecuatorial, comprendida al norte de latitud 10°S (entre 0°2'S y 10°S), y una zona tropical al sur de latitud 10°S, hasta la frontera con Chile (18°21'3''S).

1.2. Medio físico

Tradicionalmente, el territorio peruano ha sido dividido en tres regiones naturales: Costa, Sierra y Selva. La orografía del territorio peruano varía en altitud desde el nevado Huascarán, a 6768 m s. n. m., el más alto de la zonas ecuatorial y tropical de la Tierra, ubicado en el Callejón de Huaylas (Áncash) hasta el punto más bajo, a una profundidad de 34 metros por debajo del nivel del mar, en el desierto de Sechura (Piura). En la selva, lado oriental del país, la cota altitudinal más baja es de 78 m s. n. m., en el distrito de Caballococha (Loreto) (IGN, 1992), donde el río Amazonas sale del territorio peruano.

La Costa, 11.6% del territorio nacional, es una franja situada entre el litoral del Pacífico y los contrafuertes de la cordillera occidental de los Andes y está formada por pampas desérticas áridas, tablazos, superficies rocosas, y acantilados empi-

nados en la Costa sur principalmente (cordillera de costa) (IGN, 2015). Esta franja desértica es interrumpida por valles de vertientes de la cordillera occidental andina que drenan en el Pacífico. Esta región está fuertemente influenciada por la temperatura superficial del mar (TSM) y por la capa límite atmosférica marina (tropósfera baja y húmeda), siendo su característica climática principal la escasez de lluvias, debido a la interacción entre los factores atmosféricos, oceánicos y continentales como el Anticiclón del Pacífico Sur Oriental, la fría corriente marina de Humboldt y la cordillera occidental de los Andes.

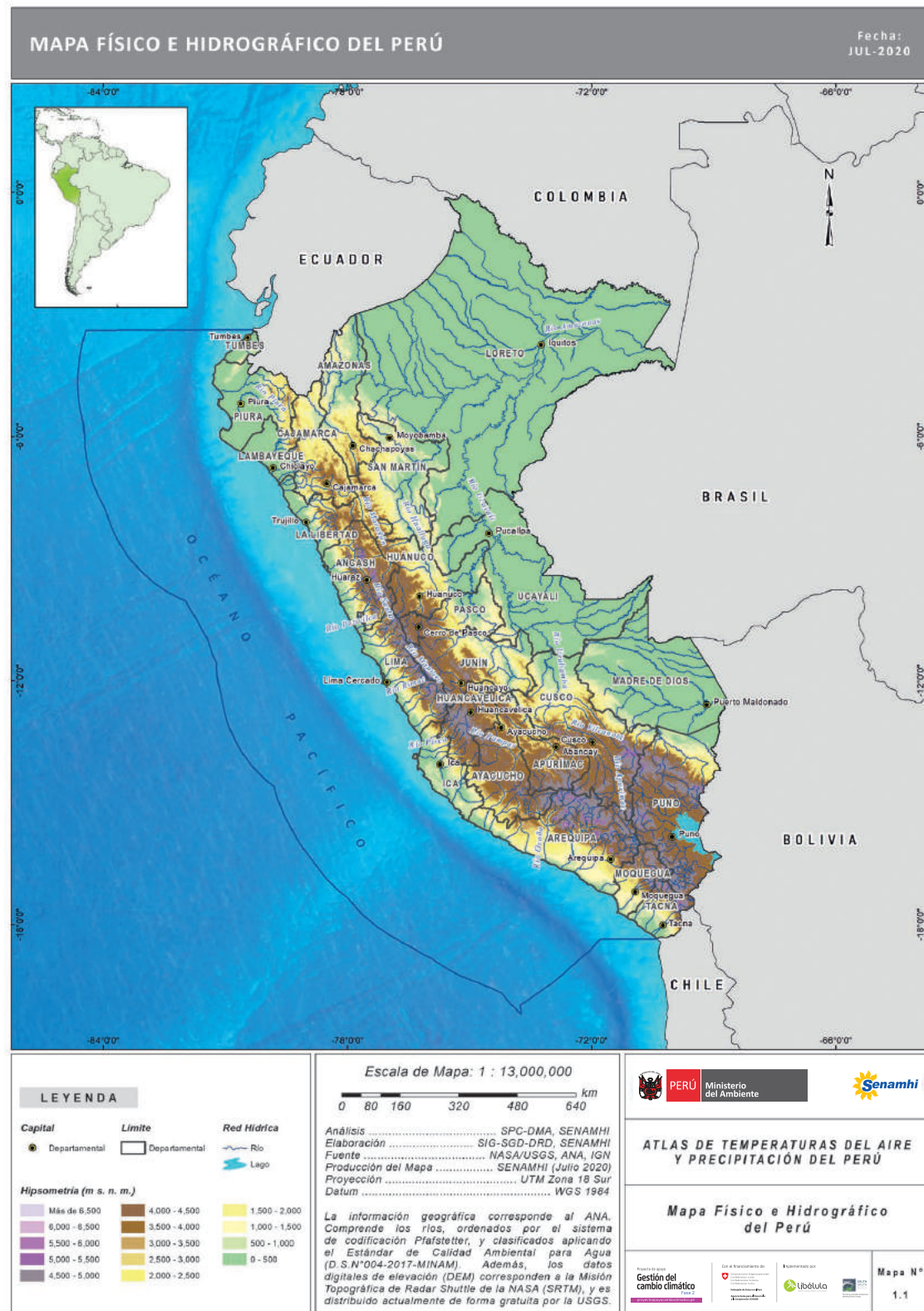
La Sierra ocupa el 28.1% del territorio peruano. Su configuración orográfica está determinada por la cordillera de los Andes, conformada por tres ramales geomorfológicos principales: las cordilleras occidental, central y oriental, que se extienden de norte a sur, con aproximadamente 40 picos que tienen altitudes mayores a 6000 m s. n. m. (IGN, 2015), 19 de ellos cubiertos por glaciares o nevados de extensiones relativamente pequeñas (ANA, 2018). Los Andes en el Perú son más anchos en el sur y más angostos hacia el norte; asimismo, son más altos en el sur y centro del país y más bajos en el norte. La cordillera oriental norte y central son las de menor altitud y están

mayormente cubiertas de vegetación arbórea, por su altitud relativamente baja y por su clima pertenecen mayormente a la región de selva.

La compleja orografía del Perú (Mapa N° 1.1) y los altos gradientes altitudinales de la cordillera occidental y central principalmente, determinan gran variación climática dentro de espacios geográficos relativamente pequeños, con diversidad de microclimas a lo largo de las cuencas hidrográficas. Los diferentes pisos altitudinales, orientaciones, exposiciones y pendientes, con una gran diversidad geológica, permiten la existencia de una gran biodiversidad natural y también una gran agrobiodiversidad.

La Selva amazónica es la región más extensa de nuestra geografía, ocupando el 60.3% de su superficie (IGN, 2015). Su relieve es relativamente uniforme en la denominada Selva Baja o llano amazónico, lo que favorece la existencia de extensiones amplias con climas uniformes y la cobertura de bosques tropicales húmedos. La Selva hacia el oeste de la llanura amazónica, denominada selva alta o ceja de selva, tiene gradientes altitudinales más abruptos y es la más lluviosa del territorio peruano, presentando ecosistemas de bosques húmedos y bosques de neblinas.

El sistema hidrográfico del Perú (Mapa N° 1.1) comprende la vertiente del Pacífico, la vertiente del Atlántico y la vertiente del lago Titicaca (ANA, 2016). La Vertiente del Pacífico está conformada por 62 cuencas hidrográficas de ríos que nacen de los deshielos y lluvias de la alta cordillera occidental de los Andes y bajan hacia el océano Pacífico cruzando el desierto costero. La vertiente del Atlántico genera 84 cuencas hidrográficas de ríos principales, de mayor recorrido y caudal que los costeros, y nacen de los deshielos y lluvias de la Sierra Oriental y de la Selva, drenando en el océano Atlántico, por el río Amazonas como el mayor y más caudaloso del mundo. La vertiente del lago Titicaca, endorreica, en el sureste del país, está formada por 13 cuencas hidrográficas de ríos de corto recorrido que nacen de deshielos, lluvias, lagunas y manantiales de la cordillera y Altiplano andino del departamento de Puno, y que desembocan en el lago Titicaca, del que sale el río Desaguadero hacia Bolivia.



Mapa N° 1.1. Mapa físico e hidrográfico del Perú

1.3. Controladores climáticos

Los controladores climáticos del Perú se pueden agrupar en meteorológicos, oceánicos y continentales.

1.3.1. Controladores meteorológicos

Los controladores meteorológicos son sistemas meteorológicos a escala continental y mesoescala, que determinan en gran medida el tiempo y clima del Perú. Estos controladores incluyen sistemas atmosféricos tanto tropicales como de latitudes medias y altas, resaltando la presencia de dos tipos de masas de aire dominantes, las del Pacífico y del Atlántico, todos los cuales y en conjunto con los controladores oceánicos y continentales condicionan la climatología de la temperatura y la precipitación en el Perú. Cabe mencionar que, los controladores meteorológicos y la totalidad de fenómenos meteorológicos a los cuales habitantes del planeta Tierra están expuestos como la precipitación, descargas eléctricas, vientos, etc. ocurren en la tropósfera. Esta es la capa más superficial de la atmósfera, la cual se caracteriza por el descenso de temperatura del aire con la altura a

razón de $\sim 6.5^{\circ}\text{C}/\text{km}$; no obstante, hay situaciones en las cuales una capa dentro de la tropósfera presenta un incremento de la temperatura con la altura, lo cual se denomina como inversión térmica (Wallace y Hobbs 2006). La altura de la tropósfera no es la misma a lo largo del globo, pues presenta una altura de 16 km en el ecuador y solo unos 8 km en los polos (Figura N° 1.2). Estas diferencias se deben a las diferencias en temperatura, la latitud, altitud, la estación y los cambios diarios en la presión de superficie (Barry y Chorley 1998).

1.3.1.1. Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT)

La ZCIT (Figura N° 1.1) se refiere a la convergencia de los vientos Alisios del noreste con los del sureste en la zona ecuatorial-tropical, que genera una cadena de tormentas convectivas en constante movimiento, siguiendo la migración estacional del sol (que provee la energía) desde el Trópico de Cáncer, en el hemisferio norte, hasta el Trópico de Capricornio, en el hemisferio sur, pasando por el ecuador durante los solsticios. En el continente, la ZCIT se ubica donde

el aire está más húmedo dentro de la vaguada ecuatorial, zona de baja presión atmosférica donde se dan las mayores precipitaciones. En el océano, la ZCIT está más influenciada por la magnitud y distribución espacial de las temperaturas del mar que por el máximo de radiación solar en su migración latitudinal, por lo cual sobre el océano ésta tiende a ubicarse sobre las aguas más calientes.

Sobre el continente, las tormentas asociadas están mucho más dispersas y la ZCIT sigue la marcha anual del sol con dirección norte-sur, aunque con un cierto retardo temporal, debido a la menor inercia termal del calentamiento del aire en el continente. Sobre el océano, la gran inercia termal de la capa de mezcla oceánica genera un retardo mucho mayor en el calentamiento de la atmósfera, lo cual origina un desfase del posicionamiento latitudinal de aproximadamente 10° de latitud al norte de la línea ecuatorial. El aire húmedo en ascenso hasta la tropósfera alta hace que el vapor de agua se condense o se solidifique, procesos que liberan gran cantidad de calor.

En la región andina del Perú, principalmente en los meses de verano, es difícil la identificación de una ZCIT continua, ya que el efecto orográfico

modifica considerablemente tanto el patrón de circulación como la interacción superficie-atmósfera. En cambio, en las regiones más planas y homogéneas como sobre los océanos, la ZCIT sí se establece e identifica claramente. Las tormentas asociadas a la ZCIT abarcan gran parte de la cuenca amazónica peruana y las que se desarrollan en el norte de Argentina, Paraguay y sur de Brasil.

1.3.1.2. Anticiclón del Pacífico Sur Oriental (APSO)

El APSO (Figura N° 1.1) es un sistema meteorológico de alta presión atmosférica permanente, bien definido y confinado sobre el océano Pacífico, dado que las altas montañas de la cordillera occidental andina bloquean su migración hacia el este (Gilford et al., 1992). Está presente en la tropósfera durante todo el año, siendo sostenido por la convergencia de los vientos en la tropósfera alta (Hastenrath, 1991), lo cual crea subsidencia (brazo descendente de la circulación Hadley).

Su centro anticiclónico, con una presión de 1026 hPa en octubre, está más cerca al ecuador geográfico (25°S, 90°O) y en abril más lejano, con una presión de 1021 hPa (35°S, 92°O). El aire en la tropósfera baja, circula en forma antihoraria sobre

grandes extensiones del océano Pacífico tropical y subtropical este, así como sobre una estrecha franja costera al oeste de los Andes occidentales. Su frontera por el norte es la ZCIT y por el sur, el frente polar con sus perturbaciones ciclónicas (Kämpf y Chapman 2016).

Los vientos alisios del sureste asociados al anticiclón, al interactuar con la vertiente occidental de los Andes, la franja costera, la corriente de Humboldt, los afloramientos costeros y la frecuente y extensa capa de nubes bajas sobre el Pacífico tropical este, mantienen la temperatura superficial del mar (TSM) peruano y chileno anómalamente baja, en relación a su media latitudinal (Ruthland et al., 2003). En consecuencia, el anticiclón con su subsidencia asociada y fortalecida por temperaturas superficiales del mar muy frías, es el causante principal de la aridez de la Costa peruana, y de la semiaridez de la Sierra occidental sur y central.

El tiempo meteorológico en la Costa y Sierra occidental peruana, depende de la intensidad y ubicación del centro anticiclónico, así como de las distintas configuraciones espaciales que adoptan los campos de presión.

Durante los eventos El Niño, el anticiclón se debilita ostensiblemente, de tal modo que los vientos Alisios asociados también se debilitan, lo que trae consigo una disminución o desaparición de los afloramientos y la corriente de Humboldt pierde velocidad. Todo ello, contribuye al calentamiento del mar peruano y que en la costa norte el tiempo meteorológico se tropicalice (incremento de la temperatura del aire y de las lluvias). Durante los eventos La Niña, ocurre lo contrario.

1.3.1.3. Anticiclón del Atlántico Sur (AAS)

El AAS (Figura N° 1.1) es el sistema meteorológico que modula el tiempo y el clima al este de los Andes peruanos. Es un sistema de circulación antihoraria y permanente en la tropósfera, cuyo centro de acción está posicionado sobre el océano Atlántico sur, más próximo a África que a Sudamérica.

El periodo de lluvias en el Perú, tiene su origen cuando el centro de acción del AAS se ubica próximo al continente africano, por lo que la tropósfera al este de los Andes peruanos y en toda la Amazonía sudamericana tiende a ser inestable. El aire húmedo presente en la cuenca amazónica es movilizad

manera horizontal y vertical, formando nubes productoras de lluvias en las tardes cuando los movimientos verticales ascendentes se intensifican. El ascenso del aire húmedo es favorecido por las cordilleras andinas que cruzan el territorio nacional de norte a sur (efecto de forzamiento orográfico).

Los vientos Alisios del sureste, transportan grandes cantidades de humedad hacia la cuenca del río Amazonas, principalmente por el delta de su desembocadura en el Atlántico. Las fuentes de humedad para las lluvias en el territorio peruano son: el agua evaporada del Atlántico tropical sur transportado por los vientos Alisios, la evapotranspiración en la Amazonía oeste brasileña y la evapotranspiración en la Amazonía peruana.

El periodo de escasez de lluvias en el territorio peruano se da cuando el centro del anticiclón del Atlántico Sur se intensifica y su influencia se extiende hasta las vertientes orientales de la cordillera de los Andes, promoviendo una atmósfera estable (inhibición de los movimientos verticales ascendentes) sobre gran parte de la cuenca del Amazonas. En este periodo, los vientos alisios húmedos están direccionados hacia la selva colombiana y venezolana.

1.3.1.4. Frentes Fríos

Los frentes fríos (Figura N° 1.1) son bandas nubosas formadas por el levantamiento de una masa de aire cálida y húmeda (ligera), desplazada por una masa fría y seca (más pesada) que se dirigen desde la Patagonia y pampas argentinas hacia al noreste del continente sudamericano. Estas bandas nubosas intensas y profundas, de miles de kilómetros de longitud, se extienden desde el suroeste del océano Atlántico hasta la selva norte de Bolivia. Promueven el ingreso de humedad desde la Selva norte peruana y Amazonía oeste brasileña, hacia la Selva baja y alta de los departamentos de Ucayali, Madre de Dios, Cusco y Puno. Este sistema meteorológico ocurre mayormente en los meses de invierno (estación seca).

1.3.1.5. Alta de Bolivia (AB)

El AB (Figura N°1.1) es un sistema atmosférico de circulación antihoraria en la tropósfera alta, el cual, durante el periodo más frecuente de lluvias (enero - marzo) se encuentra ubicado sobre el territorio de Bolivia, a 12 km sobre el nivel del mar. Se forma como consecuencia del calentamiento solar (calor sensible) del

Altiplano peruano - boliviano - chileno y de la gran cantidad de calor liberado en la atmósfera baja, sobre la Selva media y alta, cuando el vapor de agua cambia de estado gaseoso a líquido (liberación de calor latente). El calor induce el ascenso del aire húmedo y cálido a la tropósfera media y alta, formándose nubes de gran desarrollo vertical (cumulonimbos), responsables de la abundante lluvia.

Durante el periodo seco (abril - agosto) la Alta de Bolivia no está presente. En el período de inicio de lluvias (setiembre - noviembre) se encuentra de manera irregular e intermitente. La lluvia en la Selva y Sierra del Perú es inducida por la dinámica de este sistema meteorológico cuando su centro se encuentra geográficamente ubicado sobre el centro del territorio boliviano.

1.3.1.6. Corriente en Chorro Subtropical

La corriente en chorro subtropical (Figura N° 1.1) es un sistema meteorológico de configuración ondulada, considerado como la columna vertebral de los movimientos atmosféricos a escala planetaria. En Sudamérica es el sistema que modula la ubicación, intensidad y configuración

de la Alta de Bolivia; por lo tanto, tiene influencia indirecta sobre el tiempo y clima del territorio peruano. En la estación de invierno ocasionalmente y por muy pocos días, se ubica sobre el sur del Perú.

La Corriente en Chorro Subtropical, está ubicada a los 12 000 m s. n. m., caracterizada por vientos intensos con componente oeste (noroestes y suroestes), con velocidades que superan los 120 km/h. En invierno, se ubica sobre el norte del territorio chileno y puede alcanzar ocasionalmente velocidades mayores a 300 km/h. Durante los meses de verano (periodo de lluvias en el Perú) migra al centro de Chile, con vientos asociados de menor velocidad.

1.3.1.7. Corriente en Chorro de Niveles Bajos

El jet sudamericano de niveles bajos (Figura N° 1.1) es el viento máximo de nivel bajo (500 a 1500 m s. n. m.), que fluye paralelo a los Andes orientales del sur del Perú y Bolivia, el cual transporta humedad a escala continental desde la cuenca amazónica hacia el sur, hasta la cuenca del río de La Plata. El transporte, se intensifica al este de los Andes en las cercanías de Santa Cruz de la Sierra,

Bolivia, donde la Corriente en Chorro de Nivel Bajo alcanza las máximas velocidades, además de que está presente todo el año debido a los efectos dinámicos y termodinámicos que produce la configuración de los Andes en la circulación atmosférica media y baja. En condiciones normales, está presente intermitentemente en el territorio peruano, modulando las precipitaciones.

Cuando ocurren eventos El Niño, la Corriente en Chorro de Nivel Bajo se intensifica y es más frecuente, transportando el aire húmedo desde la cuenca amazónica hacia la cuenca del río de La Plata. Los vientos del este hacia los Andes peruanos disminuyen en intensidad y por ende, ello se traduce en menos lluvia en la zona peruana. Cuando ocurren eventos La Niña sucede lo contrario, esta Corriente en Chorro es menos frecuente y de menor intensidad, por lo tanto, las lluvias en el territorio nacional tienden a ser mayores a sus valores normales.

1.3.1.8. Depresión Atmosférica de Niveles Altos (DANA)

La DANA (Figura N° 1.1) es un sistema meteorológico de circulación ciclónica (giro en sentido horario), que se desarrolla

en las estaciones de otoño e invierno en la tropósfera alta y media de los trópicos, sobre el océano Pacífico sureste, con trayectorias hacia el continente sudamericano.

Cuando se ubica al oeste de la costa norte de Chile y al oeste de la costa sur de Perú, favorece el transporte horizontal de aire frío y húmedo desde el norte y noreste de Chile hacia la Sierra sur del Perú, originando precipitaciones sólidas tipo nieve durante la tarde y noche sobre la superficie terrestre si los movimientos verticales ascendentes son ligeros. La velocidad del viento en la Sierra y la cantidad de nieve precipitada dependen de la intensidad y grado de enfriamientos en el centro de la DANA. Ocasionalmente, cuando la DANA llega a niveles bajos (1500 m s. n. m. o menos) de la atmósfera, genera precipitaciones tipo lluvia o llovizna en la Sierra sur occidental y Costa sur del Perú.

1.3.1.9. Baja Amazónica

La baja amazónica (Figura N° 1.1) es un sistema meteorológico semipermanente que incrementa la convección atmosférica en verano, lo cual implica la activa formación nubosa y pluviosidad asociada.

Se ubica sobre la Amazonía oeste de Brasil y Amazonía peruana y se caracteriza por presiones atmosféricas menores o iguales a 1005 hPa. Las principales causas físicas de la baja presión atmosférica parecen ser el calentamiento de la superficie terrestre en las primeras horas del día y el calor liberado en la condensación.

1.3.2. Controladores Oceánicos

El área marítima frente a la costa del Perú presenta características particulares, originadas por la presencia del sistema de corrientes superficiales y los afloramientos de aguas frías, que producen variaciones de la temperatura superficial y el nivel medio del mar, así como de la concentración de nutrientes en toda la columna de agua, dentro de las primeras 30 millas desde el litoral.

El tiempo y clima de la costa peruana son regulados directamente por la temperatura superficial del agua de mar (TSM). La baja temperatura del mar peruano estabiliza y enfría a la masa de aire que circula sobre él, favoreciendo la formación de nieblas y neblinas costeras al condensarse la humedad atmosférica en contacto con la superficie fría del mar, principalmente

en el otoño e invierno (Vallaux, 1931). El mar frío, la subsidencia asociada a la alta presión atmosférica del Anticiclón del Pacífico Sur Oriental y la inversión térmica producida, limitan el ascenso del aire para formar nubes productoras de lluvias, propiciando la formación de nubes estratos y estratocúmulos de junio a setiembre en gran parte de la costa.

La interacción entre la Corriente de Humboldt, que fluye de sur a norte a lo largo de la costa occidental de Sudamérica, y la Corriente Peruana Costera (Kämpf y Chapman 2016), con flujo en la misma dirección, como un "jet de afloramiento costero" debido a los vientos Alisios del sureste canalizados por la vertiente andina del Pacífico, ejerce una significativa influencia sobre el clima de la costa peruana, regulando temperaturas del aire durante el invierno, con cielos cubiertos, neblinas y ausencia de lluvias. No obstante, su ubicación geográfica en latitud tropical, la costa no tiene un clima que corresponda a la zona intertropical; las aguas frías asociadas a esta corriente y la inversión térmica, originan más bien un clima desértico y templado.

Hay ocasiones en las que la Corriente de Humboldt no llega a emerger debido al debilitamiento de los Alisios del sureste, y los vientos del norte llevan

aguas calientes hacia el sur, conocida como Corriente El Niño, que reemplaza temporalmente a la corriente de agua fría principalmente en el extremo norte de la costa. Dependiendo de las condiciones atmosféricas y de la estacionalidad de las lluvias, puede producirse un ascenso de la TSM de hasta 10°C, generándose lluvias intensas e inundaciones. Si esta anomalía de la TSM supera el umbral +0.5°C por tres meses consecutivos, se define la presencia de El Niño Costero¹.

Las corrientes marinas del Perú, son también fuertemente afectadas por la variabilidad interanual a gran escala causada por los eventos El Niño Oscilación Sur - ENOS. Durante fuertes eventos El Niño, la circulación oceánica se trastoca debilitándose las corrientes de aguas frías y las anomalías atmosféricas de gran escala favorecen el calentamiento del mar peruano y de todo el Pacífico ecuatorial, transformando radicalmente el tiempo y clima usuales en la costa, cambiando de templado y desértico a cálido y lluvioso, típico de los trópicos (tropicalización), principalmente en la costa norte y central. Durante los eventos La Niña, ocurre lo contrario; es

decir, se intensifican los vientos sobre la superficie del océano y los afloramientos de aguas frías hacia el ecuador. Disminuyen las temperaturas diurnas y nocturnas a lo largo de la costa, aumenta la humedad relativa y la cobertura nubosa asociada con neblinas y las lloviznas se incrementan más de lo normal.

1.3.3. Controladores Continentales

La cordillera de los Andes es el principal controlador continental del clima de Sudamérica. Desde el punto de vista climático, hasta los 5000 m s. n. m. aproximadamente las cordilleras del centro y del sur bloquean en gran medida el flujo del aire húmedo e inestable amazónico hacia la costa y a la vertiente occidental de la cordillera, contribuyendo a las condiciones de aridez de la costa, y de semiaridez de toda la sierra occidental. El bloqueo de aire húmedo también se manifiesta en las lluvias disminuidas que ocurren en las vertientes bajas de los valles interandinos tales como en el valle del río Marañón y valle del Apurímac. Las

¹Nota Técnica: Definición operación de El Niño/La Niña y sus magnitudes en la costa del Perú.

<http://enfen.gob.pe/download/icen-nota-tecnica-definicion-operacional-de-los-eventos-el-nino-y-la-nina-y-sus-magnitudes-en-la-costa-del-peru/>

cordilleras del norte al ser relativamente bajas y fragmentadas permiten que el aire húmedo ingrese más hacia la sierra y la costa, por lo cual la sierra norte es la más lluviosa. Las cumbres de las cordilleras (algunas cubiertas de hielo perenne) también son consideradas como “torres de agua” (Kohler et al., 2014), dado que sus vertientes o pendientes favorecen la formación de nubes productoras de precipitaciones orográficas (líquidas y sólidas) que alimentan a todos los ríos peruanos que nacen en las cumbres.

La cordillera occidental también bloquea la penetración de aire seco hacia la sierra oriental y a la selva. La gran sequedad de la sierra occidental sur (vertiente occidental), en parte se debe al flujo diurno de aire seco o muy seco hacia las partes altas, el cual al mezclarse con el aire húmedo del este se diluye y contribuye a la semiaridez de esa región.

Durante la primavera y el verano, el calentamiento del Altiplano y las cordilleras colindantes (calor sensible) favorece el desarrollo del sistema meteorológico de atmósfera alta denominado Alta de Bolivia, sistema que modula las precipitaciones en el territorio.

PATRONES DE CIRCULACIÓN EN ATMÓSFERA BAJA SOBRE AMÉRICA DEL SUR

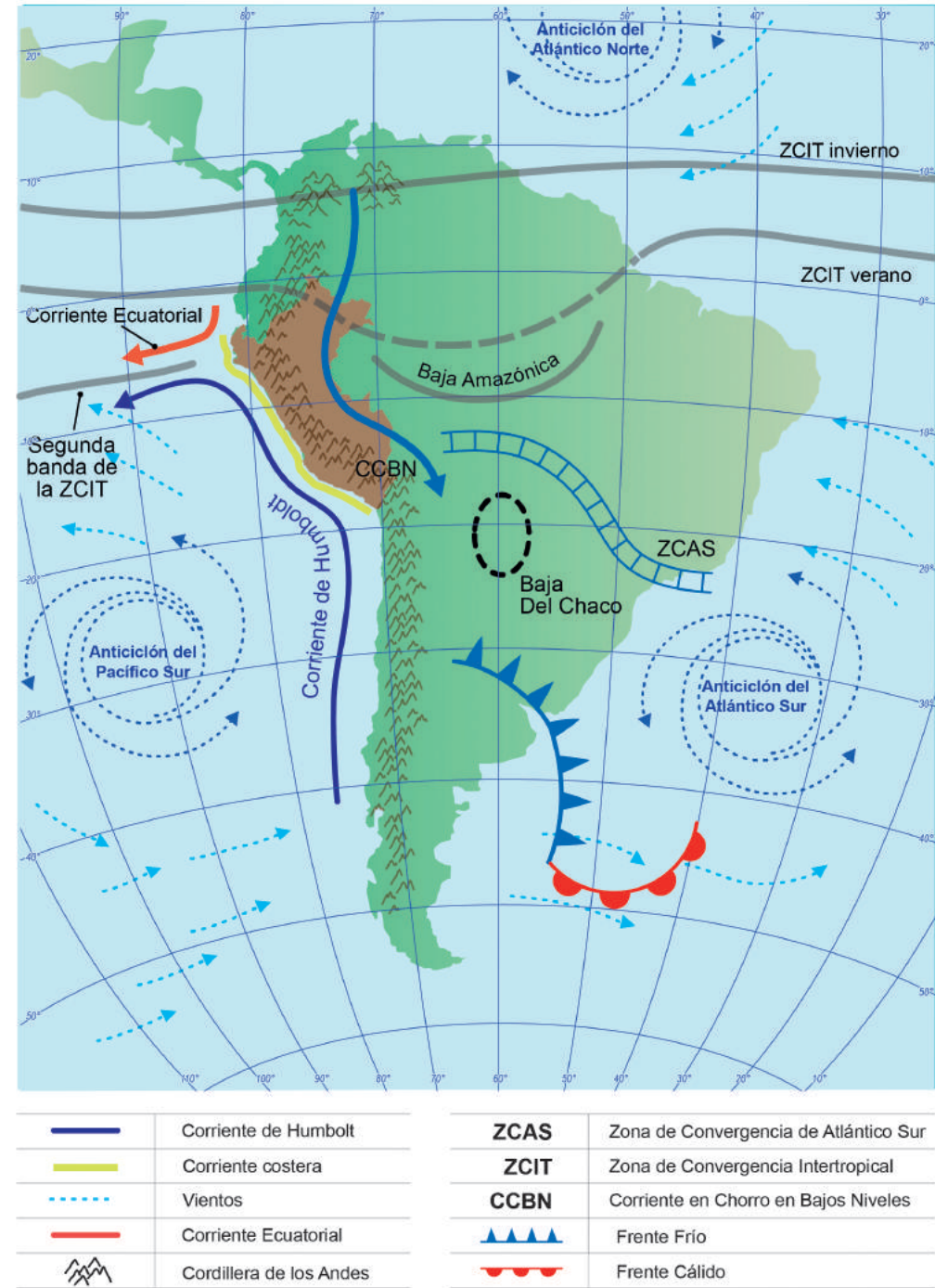


Figura N° 1.1. Patrones de circulación atmosférica en bajos niveles sobre América del Sur. Adaptado de Barreto, C., 2016; Quispe, K., 2017

PATRONES DE CIRCULACIÓN EN ATMÓSFERA ALTA SOBRE AMÉRICA DEL SUR

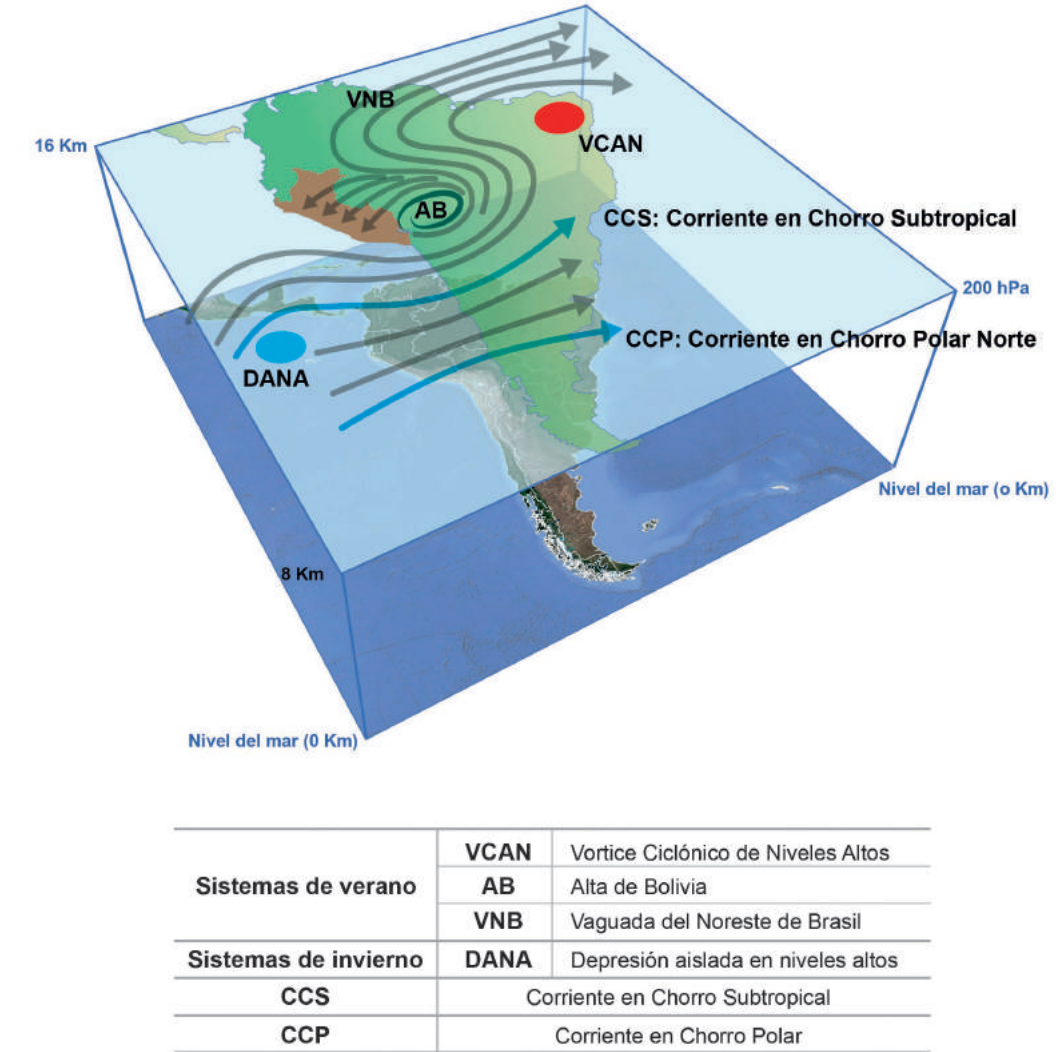


Figura N° 1.2. Patrones de circulación atmosférica en altos niveles sobre América del Sur (hPa, presión atmosférica en hecto Pascales). Adaptado de Barreto, C., 2016; Quispe, K., 2017

2. VARIABLES METEOROLÓGICAS

2.1. Temperatura máxima del aire

La temperatura es el grado de calor o la cantidad de energía que tiene una sustancia, ya sea sólida, líquida o gaseosa. En este sentido, la temperatura máxima diaria, es el valor más alto de la temperatura del aire presentada en un día o en un período determinado de tiempo y su unidad de medida es en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$). Se presenta dos o tres horas después del mediodía cuando el cielo tiene pocas nubes o está despejado y cuando el suelo ha absorbido durante varias horas la radiación solar.

El termómetro de máxima (Figura N° 2.1), cuyo elemento sensible es el mercurio (Hg), es el instrumento que permite conocer de modo exacto esta variable. Asimismo, este instrumento se ubica en la caseta meteorológica, a 1,5 m sobre la superficie del suelo, conjuntamente con el termómetro de mínima.

2.2. Temperatura mínima del aire

La temperatura mínima diaria, es el valor más bajo de la temperatura del aire presentada en un día o en un período determinado de tiempo y su unidad de medida es en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$). Normalmente se produce en las primeras horas de la mañana ya que, durante las noches, en ausencia de la radiación solar directa, se produce la pérdida de calor debido a la irradiación terrestre, que origina un descenso considerable de la temperatura de la superficie del suelo y del aire cerca del suelo. Si el cielo está cubierto de nubes bajas principalmente, la temperatura mínima será más alta por la menor pérdida de irradiación terrestre (efecto invernadero). En cielo despejado, el enfriamiento del suelo y del aire es mayor, lo que favorece la ocurrencia de heladas meteorológicas y agronómicas y nieblas.

El termómetro de mínima, cuyo elemento sensible es el alcohol, es el instrumento que mide de modo preciso esta variable. Al igual que el termómetro de máxima, se ubica en la caseta meteorológica donde ambos termómetros mantienen una disposición horizontal (Figura N° 2.1).

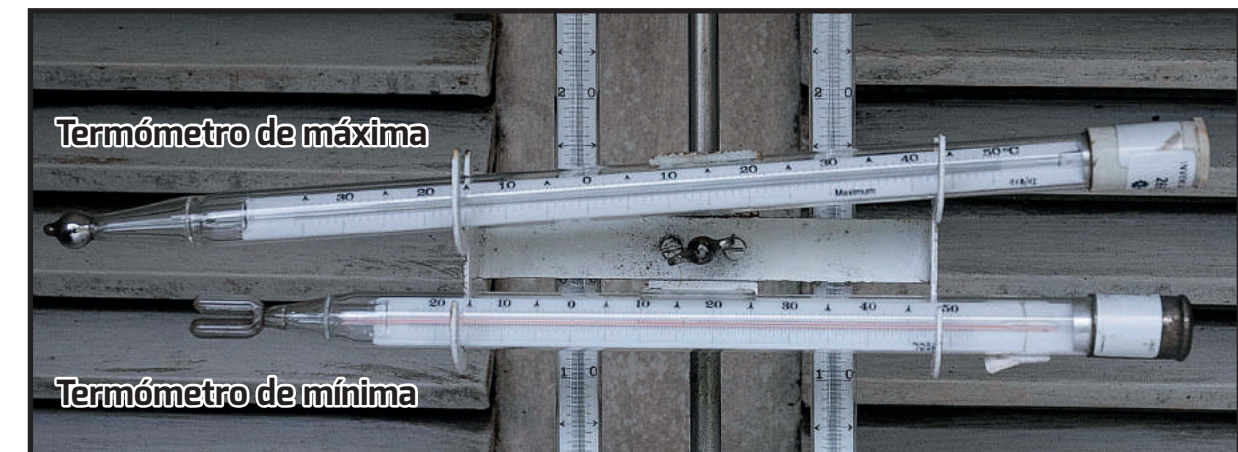


FIGURA N° 2.1 Termómetros de máxima y mínima en caseta meteorológica.

2.3. Precipitación pluvial

La precipitación pluvial, en adelante precipitación, es agua que cae desde la atmósfera a la superficie de la tierra, en cualquiera de los estados, sólido, líquido o mezcla (agua-nieve). Por la naturaleza de la precipitación, esta puede ser convectiva, orográfica y frontal. Por el tipo de la precipitación, esta puede ser una llovizna o lluvia. Otras formas incluyen rocío, escarcha-helada negra, niebla congelante, lluvia congelante, rime y granizo.

La cantidad de precipitación se mide usualmente en milímetros (mm) o pulgadas (in) de profundidad de agua líquida, de la sustancia acuosa que ha caído en un punto dado durante un período de tiempo específico. Los instrumentos que

se utilizan para determinar la cantidad de precipitación son: los pluviómetros (instrumento de lectura directa) y pluviógrafos (instrumento registrador).

2.3.1. Pluviómetro tipo Hellmann 200 cm²

Es un cilindro cuya boca receptora conformada por un anillo de bronce con borde biselado tiene un área de captación de 200 cm², su fondo tiene la forma de un embudo y ocupa aproximadamente la mitad del cilindro. El agua recolectada va a través del embudo a una vasija de boca estrecha denominada depósito en el cual se almacena el agua para su posterior medición, a su vez este depósito se encuentra alojado en un colector.

Para la medición del agua recolectada en el pluviómetro se utiliza una probeta de vidrio o de plástico graduado, adaptada al pluviómetro que nos da la lectura directamente en unidades de longitud (mm), con divisiones largas que definen los milímetros y divisiones cortas que definen décimas de milímetros.

2.3.2. Pluviógrafo de flotador tipo Hellmann

Es un instrumento que nos permite obtener el registro continuo de las caídas de lluvia en un periodo de tiempo. De igual forma podemos determinar la hora de inicio y término, evaluar la intensidad de la precipitación para cada instante de tiempo.

La lluvia que cae sobre el área de captación, va a través de una manguera hacia el colector superior, en cuyo interior se encuentra el flotador de bronce con un eje vertical saliente que contiene al mecanismo de registro con su brazo porta plumilla. A medida que el nivel en el colector sube, el flotador también sube y acciona el mecanismo de registro con su brazo porta plumilla (la pluma descartable se desliza sobre una banda de registro graduada de 0 a 10 mm). Al llenarse el colector se acciona un sifón de

vidrio que elimina el agua depositada en ella hacia el colector inferior y el flotador vuelve a su posición inicial, de esta forma la plumilla caerá hasta la parte inferior de la banda de registro (línea cero de la banda de registro), que es accionada por un tambor con sistema de relojería, y queda listo para comenzar a registrar nuevamente. Si la precipitación continúa, el flotador con el mecanismo de registro y su brazo porta plumilla comienza a subir de nuevo y va graficando una curva ascendente (Figura N° 2.2).

En temporadas de lluvia cuando el sifón descarga al colector superior, con frecuencia se produce la descarga exactamente después de una caída de lluvia de 10 mm; cuando llueve muy fuerte o cuando el aparato sufre sacudidas; este proceso de descarga ocurre generalmente debajo de los 10 mm.



FIGURA N° 2.2 Partes del pluviógrafo

- | | |
|---|--|
| a) Área de captación 200 cm ² | e) Sifón de vidrio |
| b) Eje vertical con flotador | f) Colector superior |
| c) Eje fijo con piñón de relojería | g) Tambor de rotación con sistema de relojería |
| d) Mecanismo de registro con brazo porta plumilla | h) Colector inferior |
| | i) Manguera. |

3. DATOS Y SÍNTESIS METODOLÓGICAS

3.1. Estaciones Meteorológicas

Se han utilizado 651 estaciones meteorológicas convencionales para la generación de los mapas climáticos de precipitación a nivel nacional: 443 para temperaturas mínimas y 442 para temperaturas máximas, en el período climático de referencia 1981 - 2010. En el Mapa N° 3.1, se muestra la distribución espacial de las estaciones meteorológicas y en el Cuadro N° 3.1, la cantidad de estaciones meteorológicas utilizadas por cada sector geográfico, incluyendo las estaciones cercanas a las zonas de frontera con los países vecinos de Colombia, Ecuador, Bolivia y Brasil. En el Anexo 2, se presenta la lista total de estaciones utilizadas con su respectiva información de ubicación geográfica y altitud.

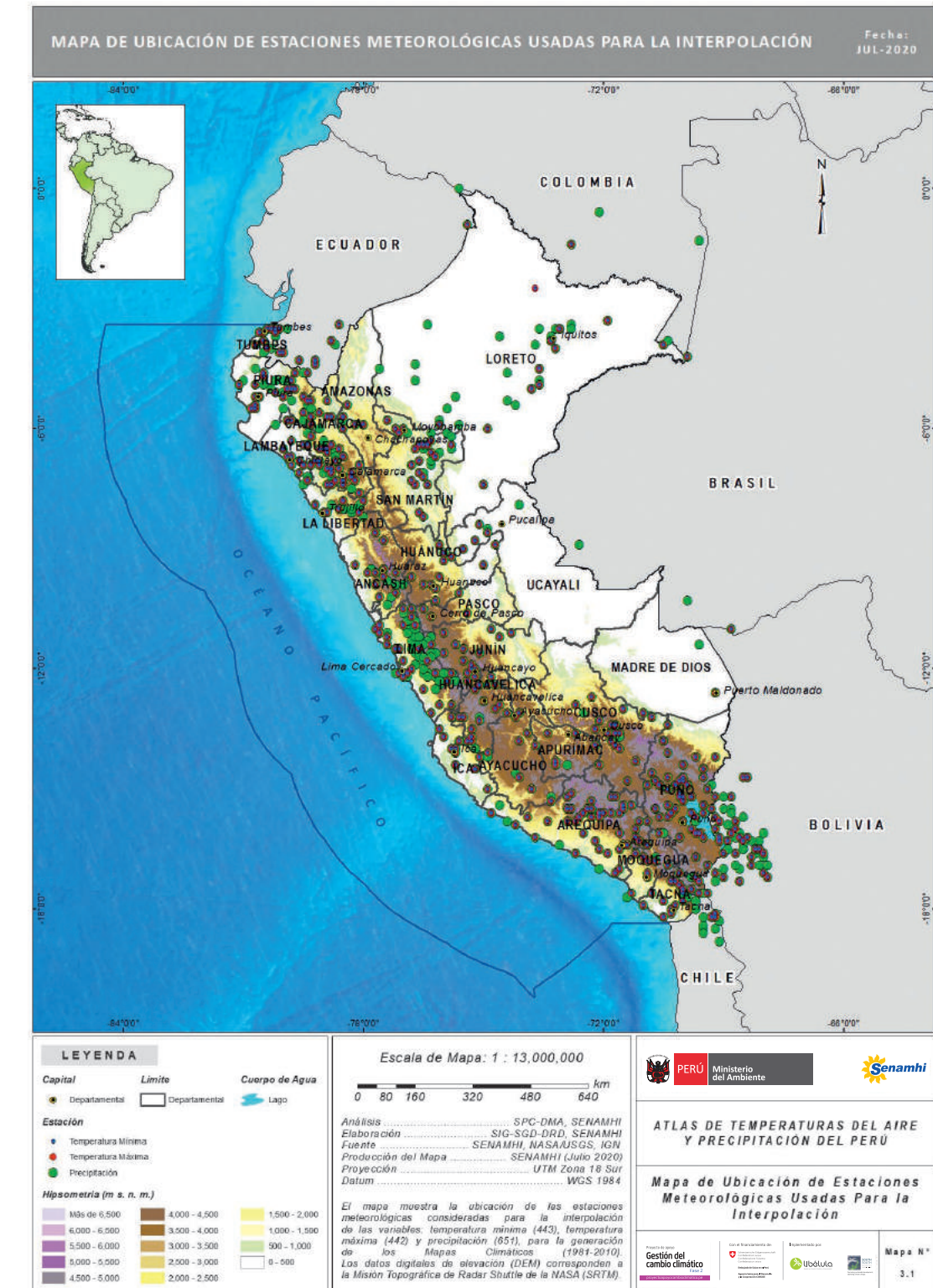
3.2. Tratamiento de Datos Meteorológicos

La información climática obtenida de las estaciones meteorológicas convenciona-

les recibió un control de calidad mediante la metodología planteada en el informe técnico, "Control de Calidad de Temperatura Máxima y Mínima del Aire de Estaciones Meteorológicas Convencionales Clausuradas y Paralizadas del SENAMHI y Tratamiento de Datos Climáticos" (SENAMHI, 2019). Para ello, se cumplieron los cinco criterios recomendados por la Organización Meteorológica Mundial (OMM N°1186, 2003²; OMM N°1425, 2008³): verificación de grandes errores, prueba de tolerancia, prueba de consistencia interna, prueba de coherencia espacial y prueba de coherencia temporal.

Tras aplicar los criterios de calidad para cada variable meteorológica utilizada, se procedió a verificar los valores dudosos de la base datos digital mediante la comparación con las planillas meteorológicas del SENAMHI, corrigiendo los datos errados y recuperando información esencial para proceder al cálculo de las normales.

² https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=11635#.XxdISyhKhPY
³ https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=16664#.XxdIhShKhPY



Mapa N° 3.1. Mapa de ubicación de estaciones meteorológicas

Cuadro N° 3.1. Número de estaciones meteorológicas según variable meteorológica (precipitación pluvial, temperatura máxima y temperatura mínima) por departamento del Perú y contribuciones de países limítrofes. Para mayor detalle de las estaciones ver el Anexo 2.

DEPARTAMENTOS	NÚMERO DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS		
	PRECIPITACIÓN	TEMPERATURA MÁXIMA	TEMPERATURA MÍNIMA
AMAZONAS	7	5	5
ÁNCASH	19	11	11
APURIMAC	6	5	5
AREQUIPA	46	42	42
AYACUCHO	13	10	10
CAJAMARCA	43	35	35
CALLAO	2	1	1
CUSCO	19	17	17
HUANCAVELICA	18	16	16
HUANUCO	12	12	12
ICA	14	14	14
JUNÍN	19	16	16
LA LIBERTAD	17	9	9
LAMBAYEQUE	16	14	14
LIMA	64	27	27
LORETO	39	15	15
MADRE DE DIOS	3	2	2
MOQUEGUA	11	9	9
PASCO	4	4	4
PIURA	32	20	20
PUNO	43	43	43
SAN MARTÍN	29	21	21
TACNA	22	18	19

TUMBES	12	9	9
UCAYALI	5	4	4
PAISES LIMÍTROFES			
SENAMHI-BOLIVIA	111	50	50
IDEAM	6	2	2
INAMHI	16	11	11
INMET	3		
Total general	651	442	443

3.3. Normales Climáticas

Los mapas generados corresponden a la representación espacial de las normales climáticas reglamentarias⁴ de precipitación y temperaturas máximas y mínimas. Se calcularon según el Reglamento Técnico “Normas Meteorológicas de carácter general y prácticas recomendadas” de la Organización Meteorológica Mundial - OMM (OMM N°49, 2015 - actualización del 2019). Se siguieron las recomendaciones de la Guía de Prácticas Climatológicas N° 100 (OMM, 2011) y las Directrices de la OMM sobre el cálculo de las normales climáticas (OMM N° 1203, 2017).

El período de referencia para el cálculo de las normales climatológicas reglamentarias está comprendido entre los años 1981 -2010 (actualizable cada 10 años⁵), las que se utilizan para el análisis del clima reciente, recomendado por la OMM y ratificado en la Nota Técnica N°001-2019-SENAMHI-DMA “Orientaciones para el análisis del clima y determinación de los peligros asociados al cambio climático” (SENAMHI, 2020). En la Nota Técnica, también se define que, para los análisis en el contexto de cambio climático y variabilidad del clima en Perú, el período de referencia reglamentario es 1971 - 2000.

⁴ Medias o promedios de los datos climatológicos calculadas para los siguientes períodos consecutivos de 30 años: 1 de enero de 1981 a 31 de diciembre de 2010, 1 de enero de 1991 a 31 de diciembre de 2020, y así sucesivamente (OMM N°49, 2019).

⁵ El siguiente período de referencia de las normales climatológicas reglamentarias será 1991-2020, y así sucesivamente.

En el Anexo 3, se muestra el cuadro de los valores de las normales climatológicas reglamentarias de los períodos 1981 - 2010 y 1971 - 2000, por cada estación meteorológica.

3.4. Información Satelital

Entre las variables topográficas empleadas, se encuentra el Modelo de Elevación Digital (DEM, por sus siglas en inglés) con una resolución espacial de 90 m, el cual proviene de la Misión Topográfica Shuttle Radar (SRTM, por sus siglas en inglés), que es un proyecto internacional entre la Agencia Nacional de Inteligencia-Geoespacial (NGA, por sus siglas en inglés) y la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA, por sus siglas en inglés). El DEM brinda información de elevación, latitud y longitud.

Para la caracterización de temperaturas del aire, se utilizó información promedio (1981 - 2010) de observaciones de Temperatura de la Superficie Terrestre (LST, por sus siglas en inglés) proveniente

del producto de observación terrestre Aqua MYD11A2 (Wan et al., 2004) del Sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), que tiene una resolución espacial de 1 km, usando las imágenes día y noche del satélite como covariables de los valores de temperatura máxima y mínima, respectivamente⁶.

El producto MYD11A2 estima la LST a partir de la señal térmica infrarroja recibida por el sensor MODIS, mediante el algoritmo *split-window* que utiliza la absorción diferencial en bandas infrarrojas adyacentes para corregir la atenuación atmosférica y las emisividades basadas en la clasificación de la cubierta terrestre para tener en cuenta la variabilidad de la emisividad superficial (Oyler et al., 2015).

En el caso de la precipitación, se utilizó como variable explicativa las regiones geográficas del Perú, Costa, Sierra y Selva, con el objetivo de generar una mayor diferencia entre estas zonas al momento de interpolar la variable meteorológica en el modelo de regresión lineal múltiple. Además, se utilizó como covariable información de satélite de

⁶ IRI Data Library: https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.USGS/.LandDAAC/.MODIS/.version_005/

los valores de precipitación promedio acumuladas mensualmente, del período 1981-2010, proveniente de Monthly precipitation, Climate Hazard Infrared Precipitation with Stations (CHIRPS) versión 2 (Funk C. et al., 2015), que tiene una resolución espacial de 0.05°.

CHIRPS⁷ es el producto de dos procesos para el cálculo de las precipitaciones. El primer proceso consiste en estimar la precipitación infrarroja, producto al cual se le denomina CHIRP, por sus siglas en inglés (Climate Hazards Group IR Precipitation). La estimación de precipitación infrarroja agrupada cada 5 días (péntada) es generada a partir de los datos satelitales, calculando el porcentaje de tiempo durante la péntada, donde las observaciones infrarrojas indican topes de nubes frías cuyos umbrales son menores a 235 K. Posteriormente, ese valor se convierte en milímetros de precipitación por medio de regresiones previamente determinadas. En el segundo proceso, los datos de estaciones meteorológicas son integrados con los datos de CHIRP para producir el producto final CHIRPS (Funk C. et al., 2014).

⁷ IRI Data Library: <https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.UCSB/.CHIRPS/.v2p0/.monthly/.global/.precipitation/>

Todas las capas de covariables ráster fueron llevadas a una única resolución de 100 m de resolución espacial por celda.

3.5. Validación del Modelo Estadístico de Interpolación

El modelo estadístico de interpolación para la estimación de los mapas climáticos de temperatura y precipitación fue el de regresión lineal múltiple, por la relación que se establece entre la variable dependiente y las variables independientes. Este método permitió hacer uso de la información geográfica, información del DEM e información del Sensor MODIS para el caso de los mapas de temperaturas. Para el caso de los mapas de precipitación, se utilizó la transformación logarítmica antes de aplicar la regresión lineal múltiple, con el objeto de llevar esta variable no lineal a una distribución lineal; las variables independientes fueron el DEM, regiones naturales e información del CHIRPS.

El uso de la regresión lineal múltiple implica analizar cuatro supuestos que se deben de cumplir para que los resultados sean confiables y no presenten una sub o sobre estimación de significancia (Osborne y Waters, 2002).

SUPUESTO 1: Distribución normal de las variables

Los residuos se deben distribuir de forma normal con media cero

SUPUESTO 2: Relación lineal entre las variables dependientes e independientes

Cada predictor numérico tiene que estar linealmente relacionado con la variable respuesta Y , mientras los demás predictores se mantienen constantes, de lo contrario no se puede introducir en el modelo. La forma más recomendable de comprobarlo es representando los residuos del modelo frente a cada uno de los predictores. Si la relación es lineal, los residuos se distribuyen de forma aleatoria entorno a cero. Estos análisis son solo aproximados, ya que no hay forma de saber si realmente la relación es lineal cuando el resto de predictores se mantienen constantes (Figura N° 3.1).

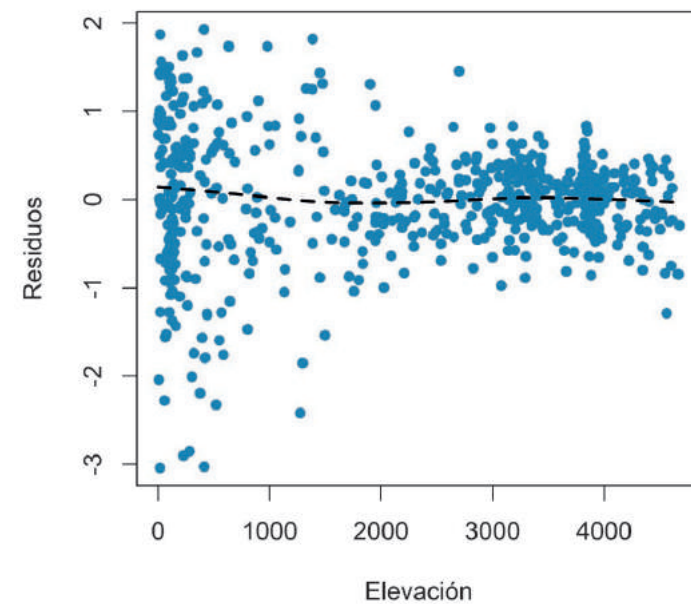


Figura N° 3.1. Dispersión de la elevación (variable dependiente) con los residuos del logaritmo de la precipitación (variable independiente).

SUPUESTO 3: Homocedasticidad

La varianza de los residuos debe de ser constante en todo el rango de observaciones. Para comprobarlo se representan los residuos. Si la varianza es constante,

se distribuyen de forma aleatoria manteniendo una misma dispersión y sin ningún patrón específico. Una distribución cónica es un claro identificador de falta de homocedasticidad.

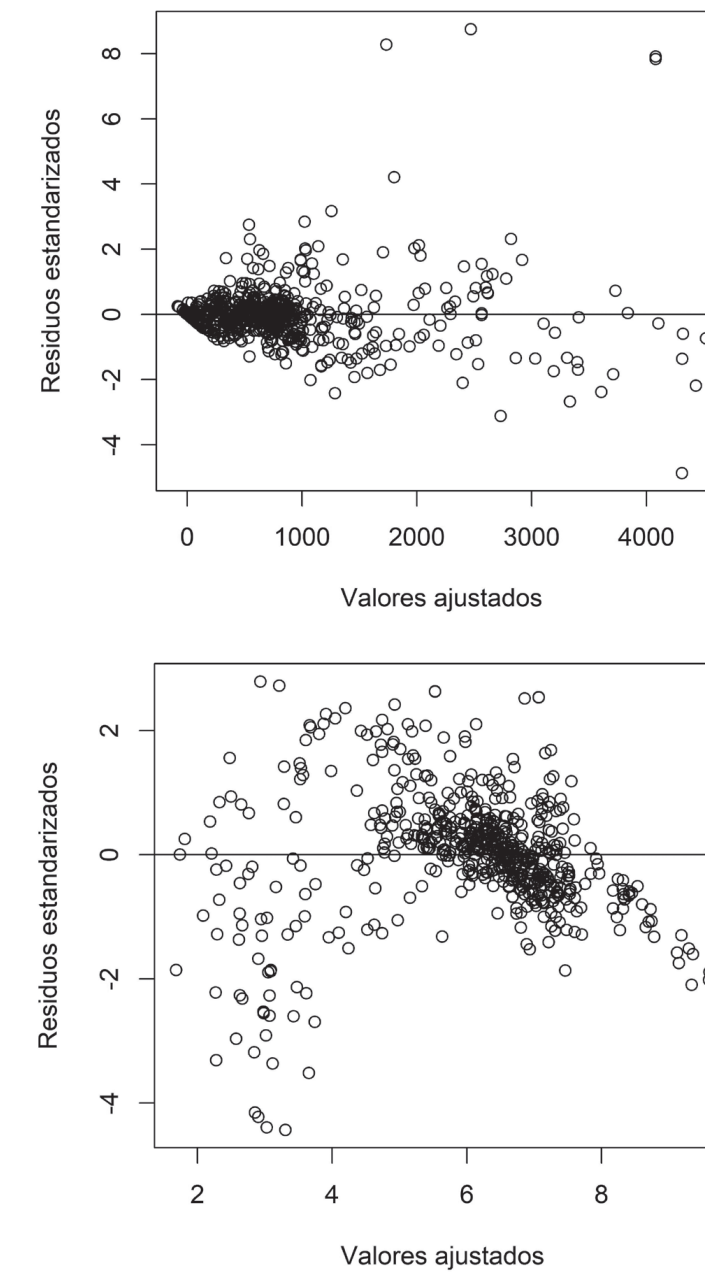


Figura N° 3.2. Dispersión cónica (izquierda) y gráfica de dispersión aleatoria (derecha).

SUPUESTO 4: Ausencia de multicolinealidad

La multicolinealidad se produce cuando existe una fuerte correlación entre las variables explicativas o cuando existe una perfecta combinación lineal entre ellas. Una de las consecuencias de la multicolinealidad radica en la dificultad de efectuar una evaluación de la importancia que tiene cada predictor (Poole y Farrel, 1970).

El método para detectar la presencia de multicolinealidad es por medio del factor de inflación de la varianza (VIF, por sus siglas en inglés). Dicho factor estadístico, indica que un predictor tiene una fuerte relación lineal con otro predictor si el valor del VIF es mayor a 10; asimismo, considerando el promedio de este indicador, si el mismo es mayor que 1, la multicolinealidad posiblemente genera un problema de sesgo en el modelo de regresión.

3.6 Validación Cruzada

Se aplica la validación cruzada por el método k segmentos para validar que el método estadístico sea representativo aun cuando se utilice nuevas observaciones. La validación cruzada k segmentos consiste en particionar los datos en k segmentos de igual o casi igual tamaño, posteriormente se realizan k repeticiones de entrenamiento y validación de tal manera que dentro de cada repetición se retiene un pliegue diferente de los datos para la validación, mientras que los k-1 segmentos restantes se usan para el procesamiento, estos datos se estratifican comúnmente antes de dividirse en k segmentos, para este caso se establece 10 repeticiones (Refaeilzadeh et al., 2008).

Se evalúan medidores de bondad de ajuste: Error Medio Cuadrático (RMSE), coeficiente de determinación (R^2) y error medio absoluto (MAE) (Cuadro N° 3.2).

Cuadro N° 3.2. Medidores de bondad de ajuste por variable meteorológica y mes

MESES	Temperatura máxima			Temperatura mínima			Precipitación		
	RMSE	R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE
ENERO	2.3	0.9	1.8	1.7	0.9	1.2	0.6	0.8	0.5
FEBRERO	2.2	0.9	1.6	1.7	0.9	1.1	0.6	0.8	0.4
MARZO	2.2	0.9	1.7	1.8	0.9	1.2	0.7	0.8	0.5
ABRIL	2.3	0.9	1.8	2.0	0.9	1.4	0.6	0.9	0.5
MAYO	2.5	0.8	2.0	2.5	0.9	1.7	0.7	0.8	0.6
JUNIO	2.7	0.8	2.2	2.7	0.9	1.9	0.8	0.8	0.6
JULIO	2.9	0.8	2.4	2.7	0.9	2.0	0.7	0.8	0.6
AGOSTO	3.0	0.7	2.5	2.6	0.9	1.8	0.7	0.8	0.5
SEPTIEMBRE	3.0	0.8	2.4	2.4	0.9	1.6	0.7	0.8	0.6
OCTUBRE	2.9	0.8	2.3	2.3	0.9	1.6	0.6	0.9	0.4
NOVIEMBRE	2.8	0.8	2.2	2.2	0.9	1.5	0.5	0.9	0.4
DICIEMBRE	2.5	0.8	2.0	2.0	0.9	1.4	0.5	0.9	0.4

Los mayores valores de R^2 y menores valores obtenidos del RMSE y MAE indican que presenta una mejor estimación. Tal como se observa en el Cuadro N° 3.2. Los resultados indican una mejor estimación para la temperatura máxima durante los meses de enero a abril. Para la temperatura mínima y la precipitación presentan una mejor estimación desde octubre a abril. Los valores obtenidos en los demás meses son aceptables.

Dichos resultados indican que el método de regresión lineal múltiple es aceptable para estimar a nivel espacial las variables de temperaturas máximas y mínimas del aire y precipitación.

3.7 Interpolación Espacial de Variables Climáticas

La regresión recoge la relación entre las variables calculadas y distintas variables independientes. Los residuos representan la variabilidad que no queda recogida por la relación determinista representada por

las funciones de regresión (Hengl et al., 2007; Hengl, 2009).

El modelo de regresión múltiple para las temperaturas del aire y precipitación se representa bajo las ecuaciones 1 y 2:

Debido a que la selección de las variables ambientales: Elevación (*Elev*), Latitud (*Lat*), Longitud (*Lon*), Región geográfica (*RG*) y estimación satelital (*LST* y *CHIRPS*), más adecuadas para la predicción de las variables climáticas: temperatura máxima (*Tx*), temperatura mínima (*Tn*) y precipitación (*PP*), es clave en este método de interpolación (Agnew y Palutikof, 2000).

Los residuos fueron calculados mediante el método de interpolación determinístico denominado Distancia Inversa Ponderada (IDW, por sus siglas en inglés). El IDW supone que cada punto medido tiene una influencia local que disminuye con la distancia. Este método da mayores pesos a los puntos más cercanos a la ubicación de predicción y los pesos disminuyen en función de la distancia,

$$Y(Tx|Tn) = a_0(Elev) + a_1(Lat) + a_2(Lon) + a_3(LST \text{ día/noche}) \quad (1)$$

$$Y(\log(PP)) = a_0(Elev) + a_1(Lat) + a_2(Lon) + a_3(RG) + a_4(\log(CHIRPS)) \quad (2)$$

de ahí el nombre de distancia inversa ponderada.

La precisión en la estimación de la variable meteorológica, al hacer la interpolación espacial, fue limitada por la baja densidad de estaciones en algunas regiones, tal es el caso de la Amazonía y sectores de la región andina. Debido a que el análisis fue realizado a escala nacional, la contribución de cada predictor o covariable podría estar sujeto a variaciones locales especialmente en espacios homogéneos y/o montañosos.

Al usar como un predictor la información del sensor MODIS se incurre en un probable problema de multicolinealidad con la variable predictora de altitud, lo que limitaría la habilidad de la estimación de la variable a interpolar; sin embargo, el uso de este predictor es necesario para una mejor estimación a nivel espacial.

Para obtener una mejor estimación en la interpolación espacial de las variables meteorológicas, se debería incrementar la cantidad de información climática de estaciones meteorológicas convencionales distribuidas en el país, con lo cual incrementaría la habilidad de la estimación de la variable a explicar en el modelo de regresión lineal múltiple.

3.8 Validación de mapas climáticos

La validación de los mapas de caracterización de temperaturas máximas y mínimas de aire y de precipitación a nivel mensual, estacional y anual se llevó a cabo en diferentes reuniones internas con los especialistas del SENAMHI; además, de realizarse reuniones con los especialistas de las Direcciones Zonales.

La finalidad de la validación fue corroborar la información espacial de topografía, que ayudó en identificar los núcleos importantes de precipitación en Cusco (Quincemil), así como en otras localidades de los departamentos de Amazonas y Loreto. También se revisaron estudios climáticos que fueron generados por los países vecinos como Ecuador, Colombia y Brasil. Adicionalmente, se tomaron como referencia el Mapa Ecológico del Perú (INRENA, 1995), el Mapa de Cobertura Vegetal (MINAM, 2015), información del libro "South America South of the Amazon River. A Climatological Study" (Gilford. et al., 1992) entre otras literaturas pertinentes. Asimismo, el juicio experto y el conocimiento local de los especialistas de las Direcciones Zonales fue vital al momento de identificar superávits o déficits de precipitación generados por el modelo de interpolación.

3.9 Limitaciones de los mapas climáticos

Es importante mencionar que, los mapas climáticos interpolados presentan ciertas limitaciones partiendo de la premisa que el proceso de interpolación depende de la cantidad de puntos usados como insumo para los cálculos. Independiente al método que se use para interpolar espacialmente o suavizar, la baja densidad de estaciones convencionales consideradas y que cuentan con la normal climática del período 1981 - 2010, influyen en la interpolación generando polígonos separados llamados "ojos de buey" por su forma casi circular, sobre todo en la región oriental. Esta situación se observa con mayor claridad en los mapas climáticos de precipitación debido al comportamiento complejo que presenta y alta variabilidad en cada región del país, además de no seguir exactamente una relación directa con la altitud, que es una de las covariables consideradas en las ecuaciones de la interpolación. Respecto a los mapas climáticos de las temperaturas del aire, presentan una mejor distribución espacial gracias a la influencia directa de la altitud en la variabilidad térmica.

Con la intención de mejorar la distribución espacial de la precipitación, se consideraron puntos de estaciones conven-

cionales paralizadas y/o clausuradas a nivel nacional, las cuales no necesariamente cuentan con datos en el período 1981 - 2010 pero que pueden aportar en la variabilidad de lluvias en zonas donde no se tiene información. Así mismo, se ha incluido información de fuentes teóricas con la finalidad de aumentar la densidad de puntos para la interpolación.

4. Distribución espacio-temporal de la temperatura del aire y la precipitación pluvial en el Perú

Los Mapas N° 4.1 y 4.2 corresponden a los promedios anuales de temperatura máxima y temperatura mínima, respectivamente. En ellos se observa que, la distribución espacial de las temperaturas máximas en la costa exhibe un gradiente N - S, con los mayores valores sobre la costa norte del país, pero también muestra una variación O - E, asociado a la distancia al mar. Tal es así que, en el interior de Piura el promedio anual de la temperatura máxima alcanza entre los 31°C y 33°C; mientras que, en Tacna, solo se alcanza entre 25°C y 27°C. La temperatura mínima también muestra el gradiente N - S, pero no tan marcado, con los mayores valores anuales en Tumbes y Piura (19°C - 21°C) y los menores valores en Moquegua y Tacna (17°C - 19°C).

En la Sierra Occidental, la temperatura máxima se presenta casi constante durante el año con una variación máxima de alrededor de 2°C entre el mes más cálido y el más frío. Por el contrario, la temperatura mínima tiene comportamiento más asociado a la estacionalidad con temperaturas mínimas más bajas durante invierno y, más altas durante los meses de verano, asimismo más bajas conforme

la altitud aumenta y hacia mayores latitudes. En ese sentido, el rango térmico se amplifica durante los meses de otoño e invierno pudiendo alcanzar una variación entre la noche y el día, alrededor de 20°C.

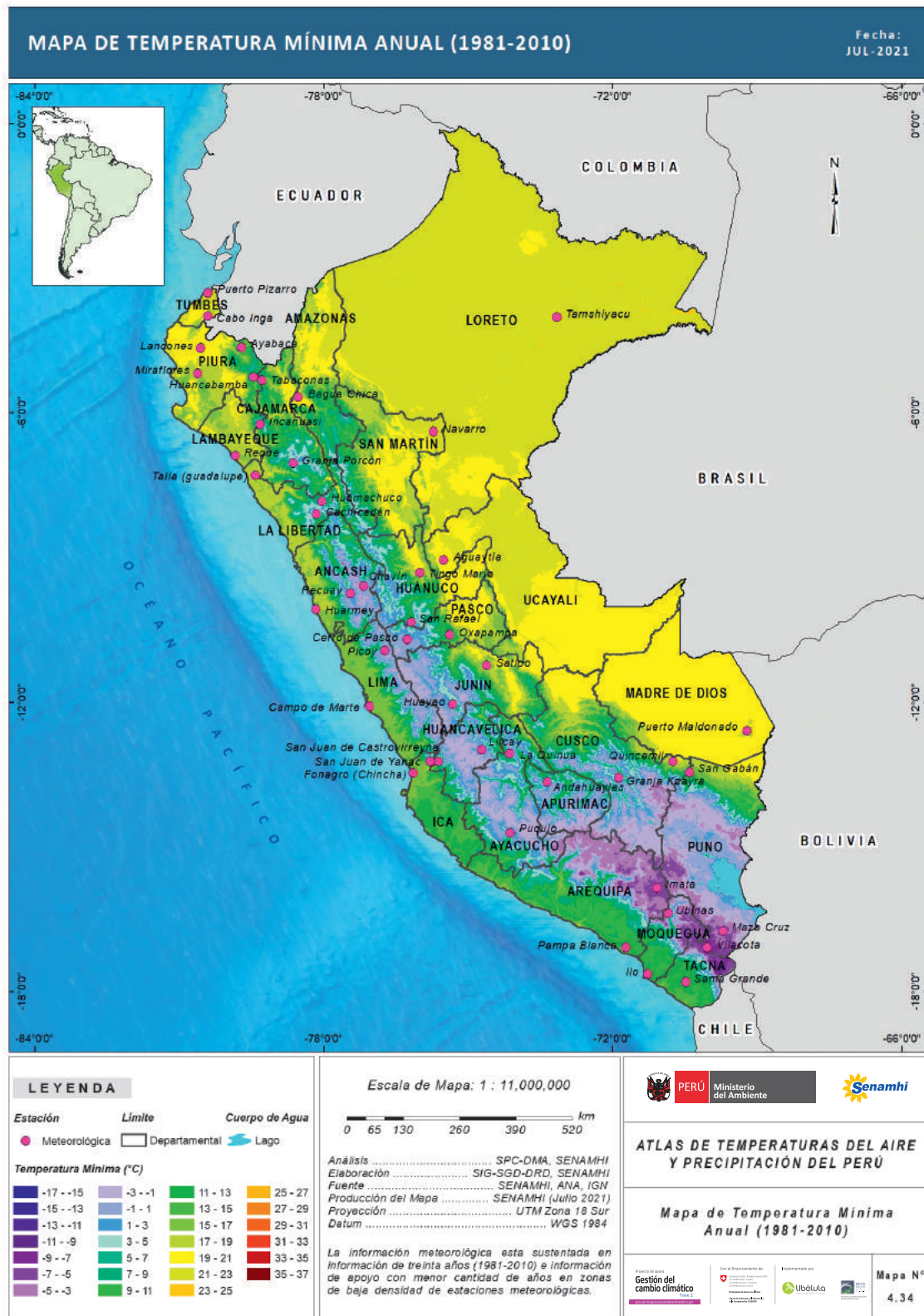
En la Sierra Oriental, los registros anuales de temperatura máxima se mantienen casi constante durante el año, con una variación mensual uniforme de apenas 2.3°C en promedio, mientras que la temperatura mínima muestra una marcada estacionalidad hacia latitudes más altas y conforme aumenta la altitud, generando un mayor rango térmico diurno en el periodo de bajas temperaturas, de mayo a setiembre. En estos meses, la variación promedio mensual de la temperatura mínima se diferencia en el sector norte con 2.1°C, en el centro con 4.6°C y al sur con 8.3°C.

En la Selva del Perú, el rango anual térmico es de 2°C a 3°C, lo cual contrasta con el rango diurno en invierno, que es más de 10°C. Durante el año, las temperaturas máximas y mínimas del aire se mantienen casi constantes, presentando valores máximos entre los meses de septiembre

y febrero, y mínimos entre junio y agosto. El aire en la Selva es cálido, con temperaturas que varían con la elevación y latitud del lugar, siendo mayores hacia el norte y en zonas bajas, y menores hacia el sur y a mayores elevaciones. Es así que, en la Selva alta las temperaturas son menores que en la Selva baja, lo que se puede observar en las estaciones meteorológicas de Quincemil (651 m s. n. m.), departamento de Cusco; San Gabán (635 m s. n. m.), departamento de Puno; Satipo (660 m s. n. m.), departamento de Junín; y Tingo María (657 m s. n. m.), departamento de Huánuco, en comparación con Oxapampa (1850 m s. n. m.), departamento de Pasco.



Mapa N° 4.1. Temperatura máxima del aire, promedio anual (Periodo 1981 – 2010)



Mapa N° 4.2. Temperatura mínima del aire, promedio anual (Periodo 1981 – 2010)

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
PROMEDIO (mm)	101.3	117.4	115.4	50.9	11.9	5.5	3.3	5.5	13.1	38.1	49.9	76.5	588.8
PORCENTAJE (%)	17.2	19.9	19.6	8.7	2.0	0.9	0.6	0.9	2.2	6.5	8.5	13.0	100

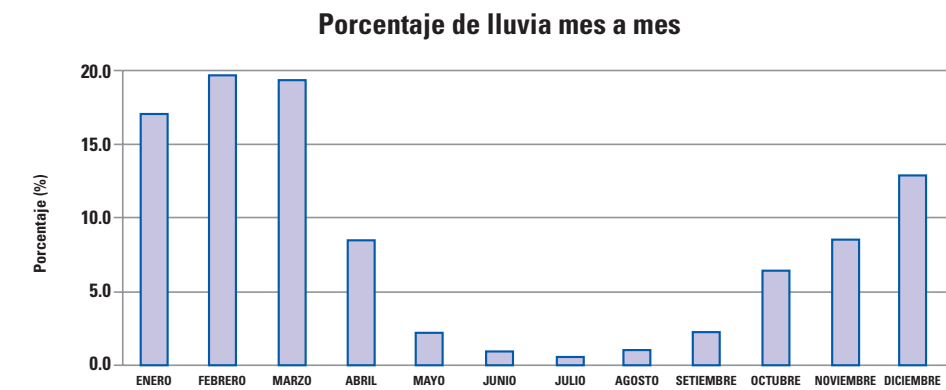


Figura N° 4.1. Valores (mm) y porcentaje (%) de precipitación mensual de todas las estaciones a nivel nacional (periodo 1981 - 2010)

Respecto a la precipitación a lo largo del país, en promedio, esta presenta un marcado ciclo estacional, en el cual los mayores acumulados ocurren en los meses de verano y los menores, en los meses de invierno (Figura N° 4.1); no obstante, existen variaciones en la estacionalidad dependiendo de la región natural, las cuales serán descritas más adelante.

El Mapa N° 4.3 muestra la distribución espacial de los acumulados anuales de precipitación. A nivel anual, la Costa norte registra las mayores precipitaciones y va disminuyendo hacia el centro y al sur. En el extremo este de Tumbes,

colindante con el Ecuador y a mayor altitud (Cabo Inga), las lluvias son más intensas y totalizan anualmente entre 900 a 1200 mm. Hacia el litoral de Tumbes (Puerto Pizarro) y al norte de Piura (Lancones), totalizan al año entre 501 a 700 mm. Hacia la zona centro de Piura, las lluvias acumulan entre 201 y 300 mm al año. En Lambayeque y La Libertad se registra una precipitación anual entre 21 a 50 mm. En la costa central y sur las precipitaciones se presentan del tipo lloviznas o garúas. En la costa de Áncash, las precipitaciones anuales bordean los 4 a 5 mm, en tanto que en Lima e Ica la precipitación anual es de 6mm a 10mm. En Arequipa y Moquegua, por debajo de

los 500 m s. n. m. se totaliza anualmente de 4 a 5 mm de precipitación, en tanto que en Tacna (Sama Grande), debido a que la brisa marítima ingresa hacia mayores altitudes, la precipitación anual alcanza entre 21 a 50 mm.

En la Sierra Occidental, la variación espacial de los acumulados anuales (Mapa N° 4.3), es influenciada por factores geográficos como la orografía de los Andes (Gilford, 1992; Garreaud et al., 2009) y la distancia de la cordillera a la ZCIT (Úbeda y Palacios, 2008). En este sentido, se observa una variación con la altitud, siendo mayores los acumulados conforme se asciende a la cordillera desde el desierto costero; y una variación en sentido N - S, con los mayores acumulados en la zona norte de la región. Esto último, se debe a que entre los 16°S y 24°S los Andes actúan como una barrera al flujo de humedad desde la Selva, condicionando mayores precipitaciones en la vertiente oriental (incluyendo el Altiplano) que en su contraparte occidental, la cual es conocida como región de sombra de lluvia por presentar menores acumulados (Gilford, 1992); además, la cuenca baja de la región sur de la Sierra Occidental está más expuesta a la subsidencia asociada al Anticiclón del Pacífico Sur, modulando también su ciclo estacional de precipitaciones (Gilford, 1992). Tal es así que, en

la Sierra norte occidental, la precipitación varía entre los 51 - 80 mm en las zonas bajas y hasta los 2001 - 3000 mm en las zonas elevadas de la sierra de Piura. Mientras que, en la región central occidental, las precipitaciones se encuentran en el rango de los 21 - 50 mm en las zonas bajas y hasta los 1501 - 2000 mm en las zonas altas. En la sierra sur occidental, los acumulados anuales varían entre los 16 - 20 mm en las zonas bajas, alcanzando los 1201 - 1500 mm en las zonas más altas de la vertiente.

A una escala de tiempo interanual, la variabilidad de las precipitaciones durante la estación lluviosa (septiembre - abril) en esta parte del país, están influenciadas por el ENOS (Lavado-Casimiro y Espinoza, 2014). Si bien la dinámica atmosférica asociada a El Niño varía de un evento a otro, incluyendo los acumulados de precipitación (Imfeld et al., 2019; Sanabria et al., 2017; Sanabria et al., 2019), el patrón espacial de las lluvias se mantiene entre los eventos extremos El Niño (Sanabria et al., 2019). Las mayores precipitaciones se producen en la zona norte debido al incremento del flujo de humedad desde el océano Pacífico, como en los eventos 1982 - 83 y 1997 - 98 o desde la Amazonía como el evento de 2015 - 16, aumentando la convección en esta parte del país; mientras la región

sur registra una reducción de las mismas (Sanabria et al., 2019), observándose, además, un gradiente zonal este - oeste, más pronunciado al sur de los 15°S (Sanabria et al., 2017). Durante eventos La Niña, las lluvias se incrementan en la zona sur de la Sierra occidental (Lavado-Casimiro y Espinoza 2014).

En la Sierra Oriental, la distribución de la precipitación es muy variable. En el sector norte, la menor altitud de la cordillera oriental permite el ingreso de más flujo de aire húmedo hacia el flanco occidental de la cordillera norte, por lo cual los acumulados anuales son más altos que en la sierra oriental central y sur. Así, en la sierra de los departamentos de Amazonas y San Martín precipita más de 2000 mm, mientras que en la sierra alta de Cajamarca y La Libertad precipita más de 1500 mm. También hay localidades donde los acumulados anuales de precipitación anual son extremadamente bajos para su ubicación latitudinal (6°S), como es el caso del valle de Chamaya y Huancabamba, así en la localidad de Huancabamba llueve 500 mm (Mapa N° 4.3). En esta región las lluvias incrementan con la altitud, mas no es así en el flanco oriental de la cordillera central.

En la Sierra Oriental centro, las precipitaciones están fuertemente modula-

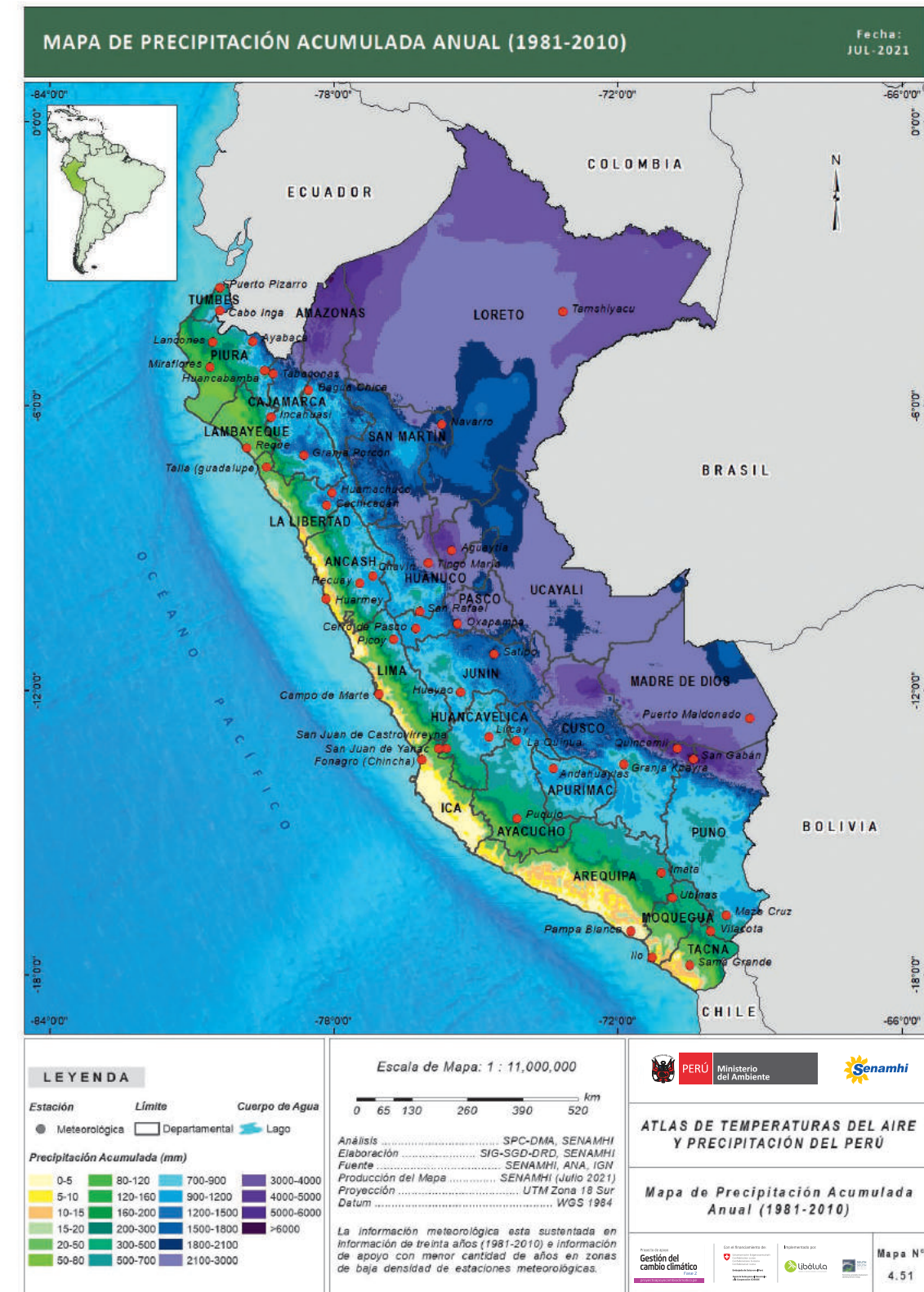
das por la configuración topográfica de los valles, montañas y cordilleras. En términos generales, las precipitaciones disminuyen con la latitud e incrementan con la altitud hasta aproximadamente los 4400 m s. n. m., donde precipita aproximadamente 1000 mm de forma anual. Desde la cota mencionada hasta la cima de las montañas más altas (nevados), los acumulados anuales disminuyen hasta aproximadamente 700 mm. Es importante señalar que, las precipitaciones en zonas muy altas son en un muy alto porcentaje tipo nieve, a mayor altitud mayor frecuencia de precipitación tipo nieve. La variabilidad espacial de las precipitaciones es alta; así los acumulados anuales más bajos ocurren en el fondo de los valles donde precipita 500 mm o menos; como es el caso de las localidades de Huánuco; Tarma y Caraz; los acumulados anuales más altos ocurren en las localidades más orientales de la cordillera central donde precipita aproximadamente 2000 mm (Mapa N° 4.3).

En la Sierra Oriental sur, las precipitaciones acumuladas anuales disminuyen de norte a sur. De este a oeste, precipita más en las localidades orientales de la cordillera del mismo nombre, por estar más expuestas al flujo de aire húmedo e inestable de la cuenca amazónica. En términos generales, hay

una disminución de las precipitaciones con la altitud, así las localidades menos lluviosas se encuentran en las cimas de las montañas de la cordillera volcánica y de la cordillera del Barroso (entre Moquegua y Tacna), donde precipita aproximadamente 400 mm. En una franja estrecha, ubicada en la cuenca media del río Urubamba (entre Ollantaytambo y Cay Cay), se encuentra un espacio geográfico semiárido donde precipita anualmente 500 mm o menos. Entre las cotas 1500 a 3000 m s. n. m., área de mayor precipitación anual, se ubica en la sierra de las provincias de Sandia, Carabaya, Canchis, Quispicanchis y Paucartambo, donde precipita aproximadamente 2000 mm de forma anual. De manera muy localizada, en isla Taquile, ubicada en el norte del Lago Titicaca en el Altiplano, ocurre un máximo de lluvia anual de 1300 mm, siendo el lugar donde ocurre las máximas lluvias de toda la cuenca del lago Titicaca (Mapa N° 4.3).

A nivel anual, las mayores precipitaciones en la selva (Mapa N° 3.3), están en el rango de 2000 a 5000 mm, que se registran en la selva baja de las provincias de Putumayo, Maynas, Loreto y Datem del Marañón, hacia el límite con la frontera de Colombia y Ecuador, departamento de Loreto, están influenciadas por su posición ecuatorial. La selva, al sur de

las provincias de Alto Amazonas (Ucayali) y Requena (Loreto) y los departamentos de San Martín, Ucayali y Madre de Dios, es homogénea y recibe precipitaciones anuales entre 900 y 2000 mm. Las lluvias se incrementan de norte a sur, con sus mayores valores sobre los 600 m s. n. m., donde se alcanzan los máximos anuales de precipitación en el país, como en la localidad de Quincemil (Cusco) 6914 mm, y San Gabán (Puno) 6629 mm.



Mapa N° 4.3. Distribución espacial de la precipitación pluvial, promedio anual (periodo 1981-2010)

4.1 Ciclo anual por regiones

4.1.1. Costa

La Costa peruana es considerada una de las más áridas del mundo y está ubicada entre las latitudes 3°24'13''S y 18°20'07''S. Por el oeste limita con el océano Pacífico, por el este con la cordillera de los Andes, por el norte con Ecuador y por el sur con Chile. Es una franja desértica adyacente al océano Pacífico, que al norte del país se hace más extensa al estar más lejanos los Andes del litoral. En esta parte, específicamente en el desierto de Sechura (Piura), la Costa alcanza los 150 km de extensión hacia el este desde el litoral hasta la cordillera andina.

En el centro, la Costa se angosta a unos 30 km desde la provincia de Trujillo (La Libertad) hasta el departamento de Lima, debido a que las estribaciones de los Andes se acercan al litoral. En el departamento de Ica, el desierto se extiende unos 60 km desde el litoral al este en la provincia de Ica. El desierto se estrecha en la zona litoral de los departamentos de Arequipa y Moquegua, elevándose sobre los 900 m s. n. m. formando las pampas de Santa Rita de Sihuas, Majes y La Joya (Arequipa) y La

Clemesí (Moquegua), las que se extienden por más de 50 km al noreste, hasta las estribaciones de los Andes occidentales. En Tacna, el desierto penetra desde el litoral hasta por encima de los 800 m s. n. m.

La configuración geográfica del litoral costero, las vertientes de los Andes occidentales y factores climáticos como las lluvias estivales, permiten que en la Costa norte se presente hacia el interior el Bosque estacionalmente seco, cuya densidad se incrementan hacia el extremo norte y hacia los pisos altitudinales superiores (MINAM, 2015). El Bosque se establece en las zonas aledañas a los cauces de agua, dominado por especies leñosas como el "algarrobo", "faique", "aromo" y "sapote", especialmente en Lambayeque y Piura (MINAM, 2019).

Hacia el centro y sur de la Costa, la influencia de la corriente marina fría de Humboldt y las neblinas advectivas, favorecen la formación de ecosistemas de "lomas" en áreas pequeñas muy espaciadas geográficamente, a modo de oasis de vegetación de neblinas en invierno y prima-

vera (MINAM, 2019). Estas se presentan entre los 8°S y 18°S, distribuidas desde la provincia de Trujillo (La Libertad) hasta el departamento de Tacna, mayormente entre los 300 y 700 m s. n. m. y en un rango que puede fluctuar entre los 100 y cerca de 1000 m s. n. m. La vegetación es mayormente herbácea y efímera en las laderas con algunos arbustos y, en algunos casos, árboles muy dispersos a mayor altitud en colinas expuestas con una humedad relativa por encima de 80%. A fines de primavera y en el verano siguiente, la vegetación herbácea desaparece y la leñosa se deseca.

Los factores climáticos, topográficos y vertientes de los Andes occidentales modulan las temperaturas del aire, permitiendo que a lo largo de la Costa se cultiven bajo riego grandes extensiones de frutales y hortalizas de exportación y de consumo nacional.

En esta región, la variación mensual de la temperatura del aire no es amplia debido al efecto termorregulador del océano Pacífico. En este sentido, en la Costa, las temperaturas del aire están influenciadas por la TSM, por ende, en las zonas donde se presentan los afloramientos, la temperatura superficial del mar y del litoral suele presentar valores más fríos, es decir, si la TSM se encuentra sobre o por

debajo de sus rangos normales, la Costa presentará temperaturas superiores o inferiores a su normal, respectivamente. Es así que, la temperatura del aire en la Costa norte está influenciada por la TSM; es decir, por la corriente fría de Humboldt que viene del sur y la corriente cálida del Niño que entra por el norte, así como, por las incursiones de masas de agua cálida procedente del noreste. Las localidades más cercanas al litoral presentan un rango diurno (diferencia entre la temperatura máxima y mínima del aire) entre 7°C a 8°C; mientras que, las localidades más continentales presentan rangos diurnos entre 9°C y 10°C. Las temperaturas máximas más altas se registran entre enero y febrero con valores de 34.1°C en Lancones y Miraflores (Piura); en tanto que, las temperaturas mínimas más bajas se registran entre junio y agosto, con valores alrededor de los 16°C en Lancones (Piura) y 18°C en Cabo Inga (Tumbes). La Costa piurana registra las temperaturas más altas del país. Ver Figura N° 4.2.

La Costa norte presenta lluvias más frecuentes e intensas en la estación de verano. La zona más lluviosa se encuentra al este del departamento de Tumbes, limítrofe con el Ecuador, como producto del desplazamiento de la ZCIT, con precipitaciones de mayor

intensidad en marzo (257 mm), totalizando 935 mm al año en la estación de Cabo Inga. Aquí se encuentra el bosque tropical del Pacífico, sobre terrenos accidentados a ondulados (MINAM, 2019). Hacia el litoral de Tumbes, por Puerto Pizarro y al norte del departamento de Piura, hacia Lancones, las lluvias de mayor intensidad se presentan entre febrero y marzo (132 mm al mes) totalizando anualmente alrededor de 460 mm. Aledaño a Puerto Pizarro se presentan formaciones vege-

tales de Manglares establecidos en estuarios y zonas intermareales de aguas salobres (MINAM, 2019). En la ciudad de Piura, ubicada a unos 50 km del litoral, la precipitación anual es de 235 mm al año, con el mayor registro de 66 mm en marzo. Ver Figura N° 4.2. Asimismo, en las ciudades de Reque (Lambayeque) y Talla Guadalupe (La Libertad) se registran precipitaciones entre 9 a 15 mm en marzo y febrero respectivamente, totalizando menos de 47 mm al año. Ver Figura N° 4.2.

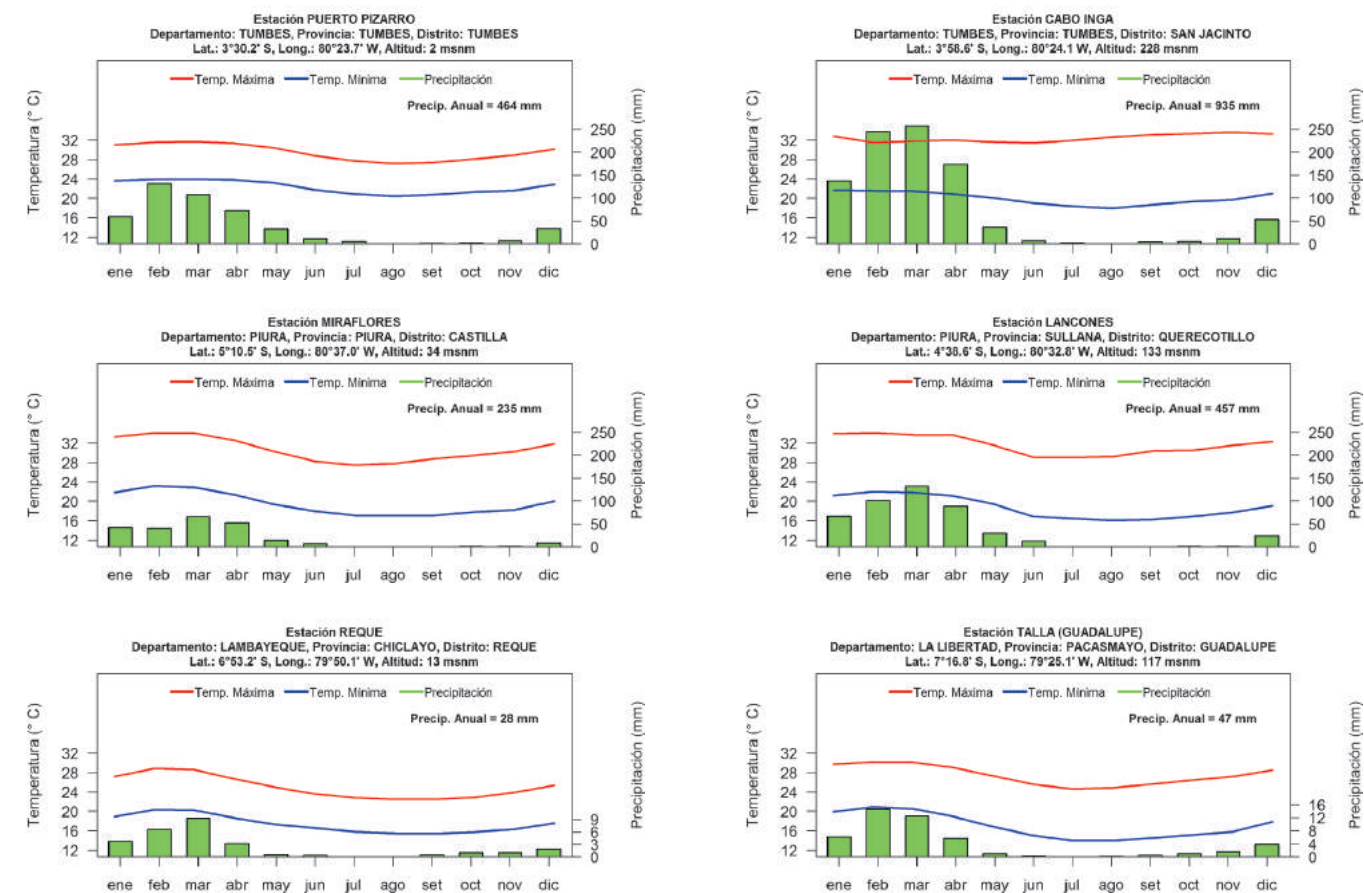


Figura N° 4.2. Variación mensual de las normales (periodo 1981 - 2010) de temperaturas extremas del aire y precipitación de las estaciones meteorológicas ubicadas en la Costa norte del Perú.

En la Costa sur del país, las temperaturas del aire descienden paulatinamente, debido a la influencia de la Corriente de Humboldt, tales así que en la Costa central las estaciones de Huarmey (Áncash) y Campo de Marte (Lima) presentan temperaturas máximas entre 25.5°C y 28.4°C en verano y de 18°C a 20.3°C en invierno; y temperaturas mínimas entre 18°C y 20°C en verano y 13.5°C a 14.9°C en invierno. El rango diurno durante el verano oscila en promedio dentro de los 8°C y en invierno, de 4.5°C. Al igual que en la Costa norte, las localidades más próximas al litoral presentan menor rango diurno de temperatura que las localidades ubicadas en el interior del continente. La incursión de masas de aire cálidas del norte, desde el mar hacia la Costa central, influyen en el buen tiempo en la zona, con mayor brillo solar, subiendo ligeramente las temperaturas diarias. En contraste,

cuando se intensifican los vientos del sur (10 m/s aproximadamente), este sector presenta días nublados y temperaturas diarias ligeramente por debajo de su normal, dando una sensación térmica de frío. Ver Figura N° 4.3.

En la Costa central la precipitación es de tipo llovizna o garúa. En Huarmey, se presentan lloviznas con mayor frecuencia en el verano. El resto de la Costa central, incluyendo el departamento de Lima, es más húmeda y nubosa principalmente en invierno debido a la convergencia de humedad atmosférica, originada por la fuerte subsidencia sobre el tope de las nubes estratos (base de la inversión térmica) y por los vientos locales del suroeste y/o sur, que transportan la humedad evaporada desde el mar peruano hacia las estribaciones andinas cerca al litoral (SENAMHI, 2020).

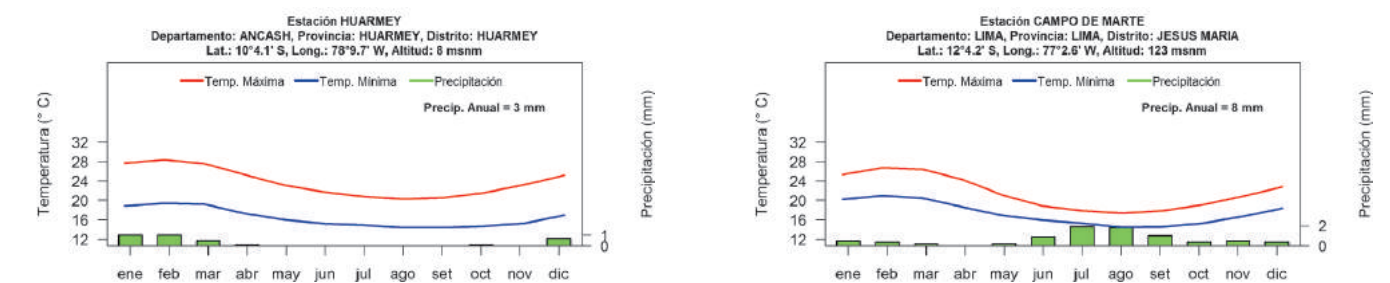


Figura N° 4.3. Variación mensual de las normales (periodo 1981 - 2010) de temperaturas extremas del aire y precipitación de las estaciones meteorológicas ubicadas en la Costa centro del Perú.

En la Costa sur, las temperaturas del aire suelen ser más bajas en comparación al resto de la Costa, debido a que en este sector la Corriente de Humboldt es más fría; tal es así que, las temperaturas máximas oscilan entre 28°C y 30°C en verano, y en invierno entre 20°C y 22°C. En tanto, las temperaturas mínimas fluctúan entre 16°C y 20°C en verano y entre 14°C y 10°C en invierno. Es importante mencionar que las estaciones meteorológicas ubicadas en Ica y Arequipa, registran mayor rango diario de temperatura en verano y menor en invierno (entre 7.5°C y 9.8°C en verano y entre 6°C y 7.5°C en invierno), en cambio en estaciones ubicadas en Moquegua y

Tacna es mayor el rango térmico en el invierno (entre 11.2°C y 12.3°C en verano y 8.3°C a 11.4°C en invierno).

En la Costa sur, en los departamentos de Ica, Arequipa Moquegua y Tacna, las precipitaciones son del tipo llovizna y muy escasas, presentándose con mayor frecuencia en verano e invierno, con totales anuales inferiores a los 9 mm en las estaciones meteorológicas de Fonagro (Chincha), Ica; Pampa Blanca, Islay, Arequipa; e Ilo, Moquegua, ubicadas en altitudes inferiores a los 500 m s. n. m. En Tacna, donde la brisa marítima puede penetrar a mayores altitudes, la precipitación puede acumu-

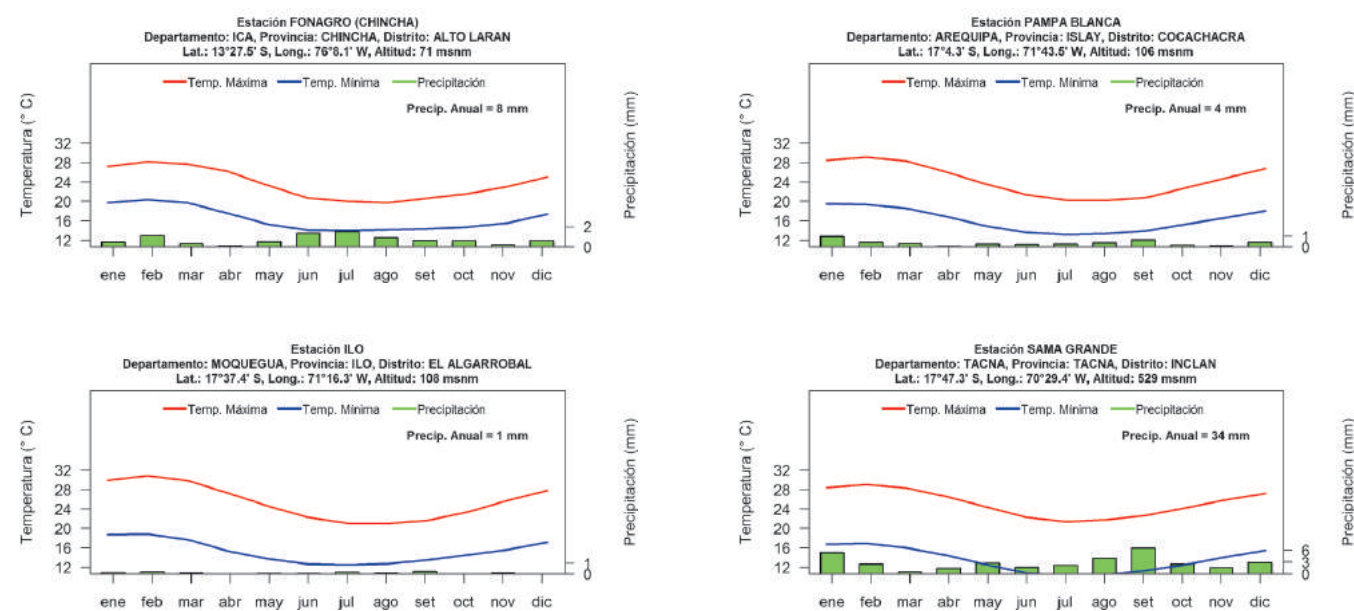


Figura N° 4.4. Variación mensual de las normales (periodo 1981 - 2010) de temperaturas extremas del aire y precipitación de las estaciones meteorológicas ubicadas en la Costa sur del Perú

lar hasta 34 mm anuales, como es el caso en Sama Grande, donde la precipitación es 5 mm y 7 mm en los meses de enero y septiembre, respectivamente. Ver Figura N° 4.4.

4.1.2. Sierra occidental

La Sierra de la cordillera occidental de los Andes peruanos que drena en el océano Pacífico, atraviesa el país en dirección NO - SE, desde Piura en el norte, hasta Tacna y Puno en el sur, paralelo al litoral costero (Gilford, 1992; SENAMHI, 2020). Esta franja de topografía compleja y valles estrechos se extiende desde los 1000 m s. n. m. en el límite con el desierto costero hasta la línea divisoria de aguas en la alta cordillera, que alcanza su mayor altitud sobre el Nevado Huascarán (6768 m s. n. m.) en la Cordillera Blanca (Áncash) (Gilford, 1992).

Esta región comprende diversos ecosistemas como el matorral andino, pajonal de puna seca y puna húmeda, bosque relicto montano de la vertiente occidental, bofedal y las zonas periglacial y glacial, entre otros (MINAM, 2019). En las zonas más bajas y áridas sobre los 1000 m s. n. m. se presentan formaciones de cactáceas columnares; conforme

aumenta la humedad disponible, entre los 2000 y 3500 m s. n. m. aparece el matorral andino, caracterizado por arbustos espaciados, con cobertura herbácea en la estación lluviosa, entre fines de primavera y el verano. El bosque relicto montano es de mayor cobertura en el norte. Sobre los 3500 m s. n. m. predomina el pastizal de puna, más seco al sur y más húmedo del centro hacia el norte. Los oconales o bofedales aparecen sobre los 3800 y 4000 m s. n. m. en las zonas de deshielo y nacientes de los ríos. La temperatura y la precipitación en la Sierra Occidental están moduladas principalmente por factores climáticos y orográficos, que determinan condiciones semiáridas en las partes bajas y medias, y subhúmedas en la parte alta de la cordillera de los Andes frente al océano Pacífico. Los factores climáticos de mayor relevancia son el Anticiclón del océano Pacífico Sur Oriental (APSO) y los vientos Alisios predominantes del este y sureste en niveles bajos; mientras que, en niveles medios y altos de la atmósfera las vaguadas, DANAs y la Alta de Bolivia, son factores climáticos importantes en esta región (Gilford et al., 1992). La altitud de los Andes occidentales, que en latitudes del centro y sur del país sobrepasan los 5000 m s. n. m., es un factor orográfico que modula la temperatura, pues con-

forme se asciende en la cordillera las condiciones térmicas son más frías; asimismo, la altitud de los Andes contribuye a que la humedad del Atlántico no pase hacia la vertiente occidental andina (Gilford et al., 1992). Además, existen evidencias de la influencia que ejercen las condiciones térmicas océano - atmosféricas del Pacífico tropical durante los eventos de El Niño y La Niña en la temperatura del aire, sobre todo en las temperaturas máximas y en menor magnitud sobre las mínimas (Trasmonte et al., 2010). Del mismo modo, se ha evidenciado que la variabilidad de las precipitaciones durante la estación lluviosa está influenciada por el ENSO (Lavado-Casimiro y Espinoza, 2014). Si bien la dinámica atmosférica asociada a El Niño varía de un evento a otro, incluyendo los acumulados de precipitación (Imfeld et al., 2019; Sanabria et al., 2017; Sanabria et al., 2019), el patrón espacial de las lluvias se mantiene entre los eventos extremos El Niño (Sanabria et al., 2019). Las mayores precipitaciones se producen en la zona norte debido al incremento del flujo de humedad desde el océano Pacífico, como en los eventos 1982 - 83 y 1997 - 98 o desde la Amazonía como el evento de 2015 - 16, aumentando la convección en esta parte del país; mientras que, la región sur registra una reducción de las mismas

(Sanabria et al., 2019), observándose, además, un gradiente zonal E - O, más pronunciado al sur de los 15°S (Sanabria et al., 2017). Durante eventos La Niña, las lluvias se incrementan en la zona sur de la Sierra Occidental (Lavado-Casimiro y Espinoza 2014).

El ciclo anual de la temperatura del aire en la Sierra Occidental muestra diferencias en la variabilidad de las temperaturas máxima y mínima. La más notoria de estas diferencias, propia de ambas variables, se presenta en cuanto a los valores alcanzados en cada zona (norte, central y sur) de esta vertiente. La temperatura máxima no reporta variaciones importantes mes a mes en las estaciones de la Sierra Occidental, sólo la temperatura mínima del aire muestra estas diferencias a nivel anual, principalmente en las localidades ubicadas a una mayor altitud. Tal es así que, entre junio y agosto las temperaturas mínimas disminuyen, incluso bajo los 0°C, principalmente en el sector sur de esta región. En cuanto a las precipitaciones, al igual que en la vertiente oriental de la cordillera, el régimen de precipitación en esta vertiente es anual (Kaser, 2001; Rau y Condom, 2010); es decir, las precipitaciones se incrementan desde septiembre y alcanzan los mayores acumulados, del total anual en el verano, para disminuir hacia abril y ser escasas

entre mayo y agosto con medias mensuales cercanas a los 0 mm. No obstante, en estos meses se presentan precipitaciones sólidas en las zonas altas del centro y sur (SENAMHI 2018).

En el sector norte de la Sierra Occidental, la evolución mes a mes de las temperaturas extremas del aire (Figura N° 4.5) muestra diferencias de hasta 2.9°C respecto a la temperatura máxima y, hasta 3.1°C respecto a la temperatura mínima. La temperatura máxima más elevada se alcanza en septiembre en Ayabaca (Piura) con 19.0°C y, en agosto en las estaciones de Incahuasi (Lambayeque), Granja Porcón (Cajamarca) y Cachicadán (La Libertad) con valores de 15.4°C, 17.5°C y 22.7°C, respectivamente. Cabe indicar que, en Incahuasi, el máximo valor ocurre también en los meses de septiembre y octubre. Los valores más bajos de la temperatura máxima ocurren entre febrero y marzo, debido al incremento de la nubosidad producto de las precipitaciones y, alcanzan valores entre los 13.8°C en Incahuasi y, hasta los 19.8°C en Cachicadán. Respecto a la temperatura mínima, los menores valores de esta variable se presentan en julio, alcanzando los 9.0°C en Ayabaca, de 6.2°C en Incahuasi, de 1.5°C en Granja Porcón y, de 5.3°C en Cachicadán.

En cuanto a la precipitación, los mayores acumulados mensuales se registran principalmente en la zona alta de Piura. En esta zona, las precipitaciones se incrementan de manera gradual desde septiembre y alcanzan su pico máximo a finales del verano, en marzo, llegando a superar los 300 mm/mes en Ayabaca; los 240 mm/mes, en Granja Porcón, los 170 mm/mes en Cachicadán y, solo los 100 mm/mes en Incahuasi. Si bien las precipitaciones empiezan a disminuir en abril, en algunos puntos de la región las mismas se mantienen sobre los 50 mm/mes aún en el mes de mayo. Además, en los meses de invierno (junio, julio y agosto), las precipitaciones son mayores que en otras zonas de la vertiente occidental, alcanzando valores entre los 4 y 26 mm. Ver Figura N° 4.5.

En el sector central de la Sierra Occidental, al igual que en el sector norte, las temperaturas máximas no muestran grandes variaciones a lo largo del año (Figura N° 4.6). Los valores más altos de esta variable ocurren entre agosto y septiembre en las estaciones de Recuay (Áncash), Picoy (Lima), Puquio (Ayacucho) y San Juan de Yanac (Ica), alcanzando los 22.3°C, 20.2°C, 18.3°C y 20.0°C, respectivamente, solo en San Juan de Castrovirreyna (Huancavelica), el valor más alto, de 25.1°C, se alcanza

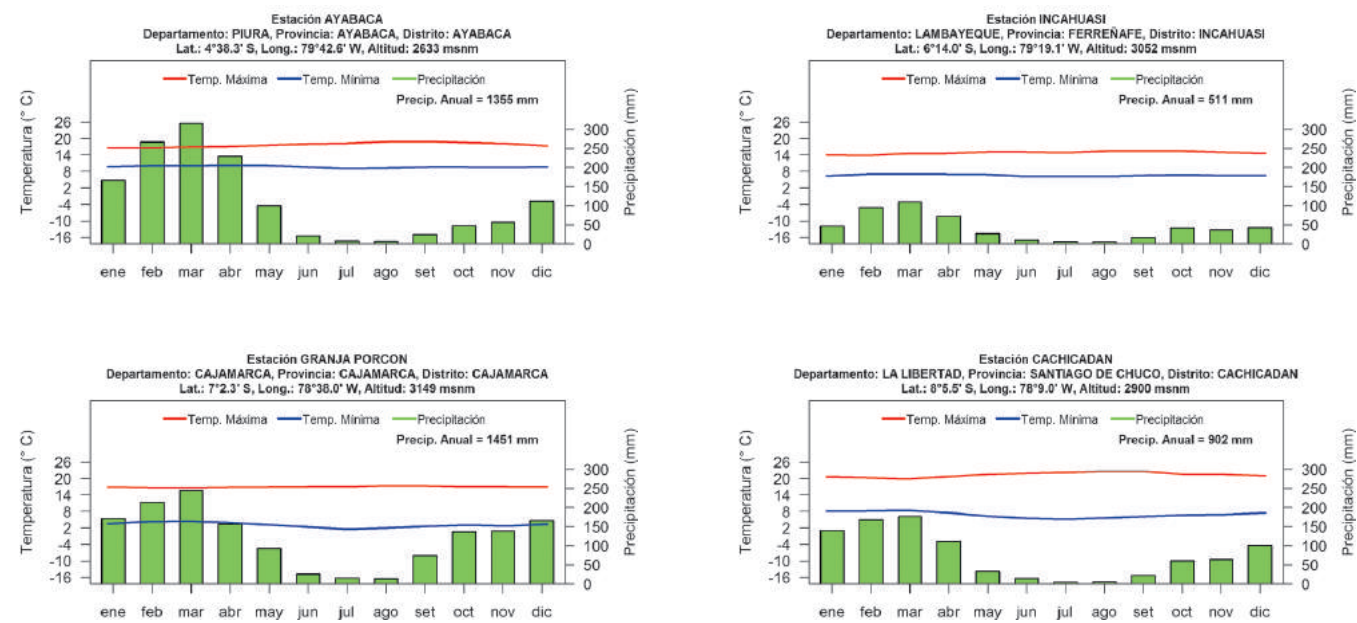


Figura N° 4.5. Variación mensual de las normales (periodo 1981 - 2010) de temperaturas extremas del aire y precipitación de las estaciones meteorológicas ubicadas en la Sierra Occidental norte del Perú.

en mayo. En cuanto a la temperatura mínima, los valores más bajos de esta variable ocurren en julio, alcanzando los 0.6°C en Recuay, 3.9°C en Picoy, 2.1 en Puquio, 11.5°C en San Juan de Yanac y de 12.0°C en San Juan de Castrovirreyna.

Respecto a la precipitación este sector de la Sierra Occidental, a pesar de registrarse menores montos mensuales de precipitación, la evolución mensual de las mismas es similar a la zona norte, principalmente en Áncash y Lima, donde el pico máximo de las lluvias también ocurre en marzo con 160.2 mm en Recuay y 105.6 mm en Picoy; mientras que, en

Ica y Huancavelica, las precipitaciones recién se incrementan a partir de octubre y su pico máximo ocurre en febrero, con acumulados de 44.4 mm en San Juan de Yanac, Ica y 55.0 mm en San Juan de Castrovirreyna, Huancavelica. Ver Figura N° 4.6. En los meses invernales, las precipitaciones sólidas son comunes en las partes altas de esta región que, aunque son menos frecuentes que en el verano su intensidad es mayor (SENAMHI 2018).

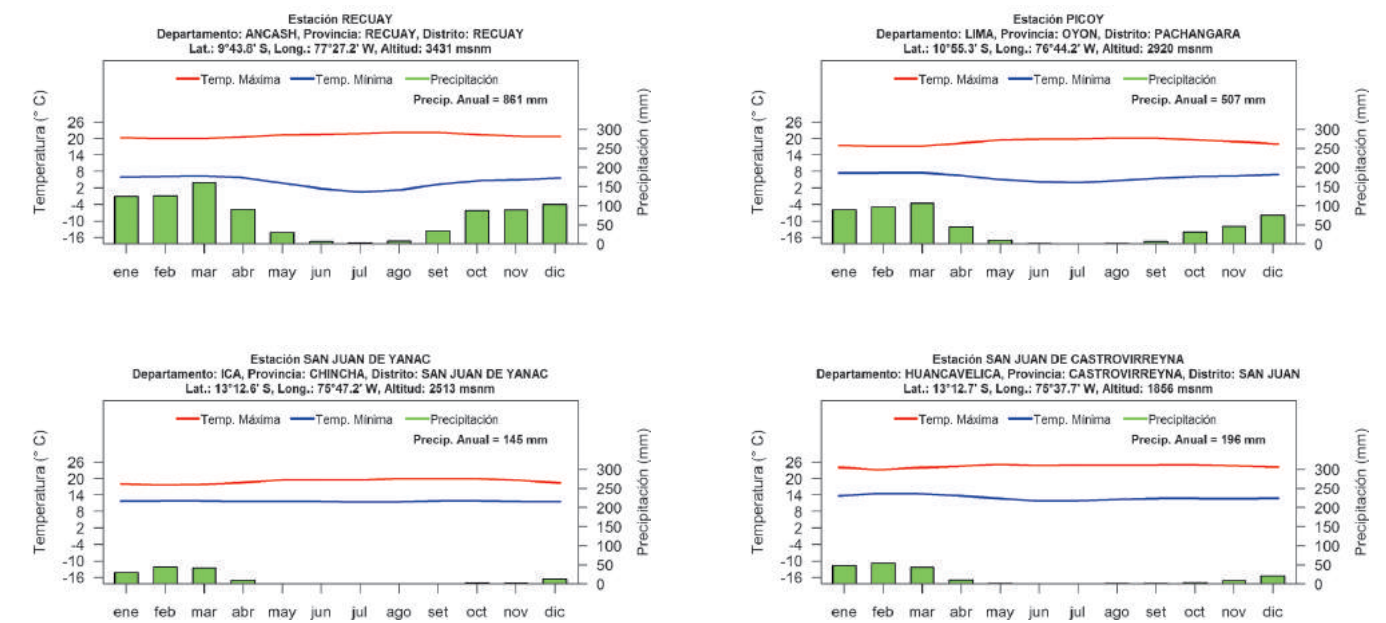


Figura N° 4.6. Variación mensual de las normales (periodo 1981 - 2010) de temperaturas extremas del aire y precipitación de las estaciones meteorológicas ubicadas en la Sierra Occidental norte del Perú.

Finalmente, la evolución mensual de la temperatura máxima en el sector sur de la Sierra Occidental (Figura N° 4.7), también muestra ligeras variaciones, aunque los valores alcanzados son, en promedio, menores que los sectores central y norte. Los mayores valores de esta variable, ocurren en noviembre, alcanzando los 14.5°C en Imata (Arequipa), los 20.0°C en Ubinas (Moquegua) y los 14.6°C en Vilacota (Tacna). Respecto a la temperatura mínima, en las zonas altas de esta vertiente, se suelen presentar valores negativos a lo largo del año, como en Imata y Vilacota. Asimismo, los valores

más bajos de esta variable se alcanzan en julio, cuando la temperatura del aire desciende hasta los -12.4°C en Imata, hasta los 0.8°C en Ubinas y hasta los -14.6°C en Vilacota.

En cuanto a las precipitaciones, estas muestran un incremento notorio desde noviembre y el pico máximo de precipitaciones se registra en febrero, con montos mensuales que varían entre 106.3 mm en Puquio (Ayacucho), 83.3 mm Ubinas y 149.2 mm en Vilacota; solo en Imata se registra la mayor precipitación mensual en enero con 129.0 mm, no muy

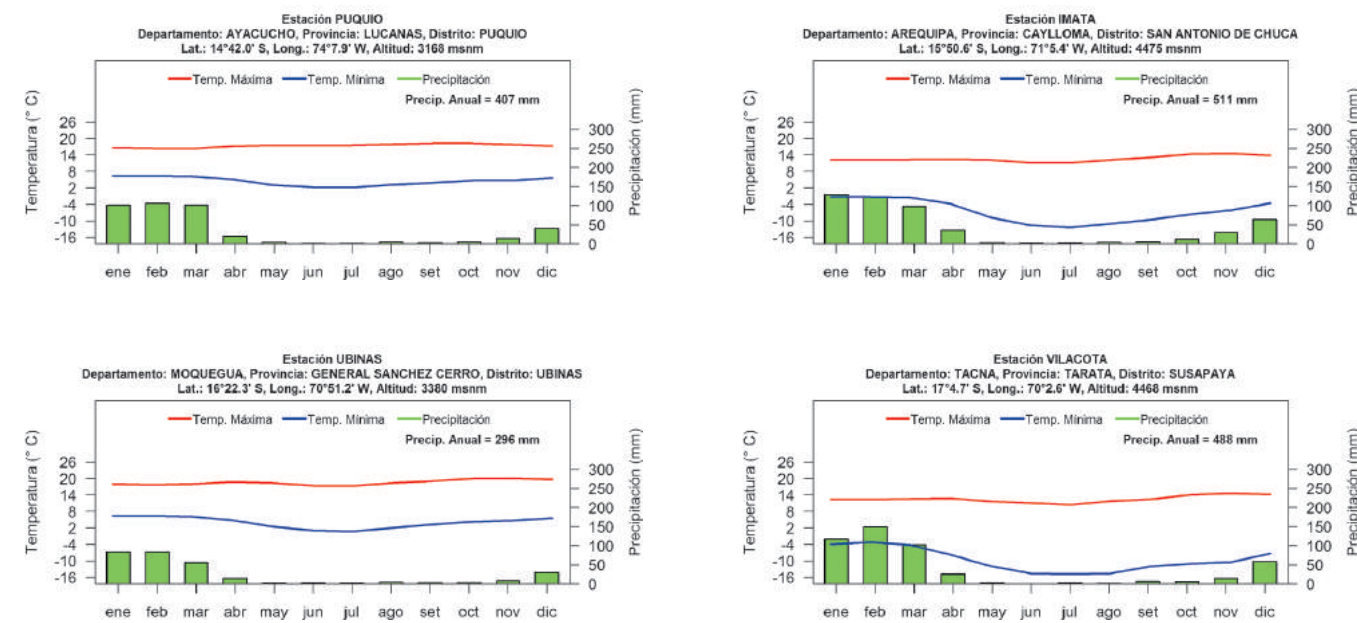


Figura N° 4.7. Variación mensual de las normales (periodo 1981 - 2010) de temperaturas extremas del aire y precipitación de las estaciones meteorológicas ubicadas en la Sierra Occidental norte del Perú.

lejos de los 122.8 mm que registra en febrero (Figura N° 4.7). En los meses de invierno, las precipitaciones son mínimas, comparadas con los otros sectores, pues a pesar de presentar nevadas intensas en dichos meses, estas son poco frecuentes (SENAMHI, 2018).

4.1.3. Sierra oriental

El flanco oriental de los Andes peruanos abarca parte de la Sierra de Piura, Cajamarca, La Libertad, Áncash,

Huancavelica y Ayacucho y toda la Sierra de Huánuco, Pasco, Junín, Apurímac, Cusco y Puno, teniendo como límite la cota de 2500 m s. n. m. al este de los Andes. Así mismo, según la altitud, también pertenece a la Sierra Oriental áreas de las provincias de Utcubamba, Bongará, Luya y Chachapoyas (Amazonas), así como las partes altas de las provincias de Mariscal Cáceres y Tocache (San Martín) (SENAMHI, 2020).

En la Sierra Oriental norte, los Andes son de menor altitud y ancho que en la región central y sur del país,

notoriamente en sus cordilleras central y oriental. Es así que, montañas sobre los 3500 m s. n. m. ubicadas en los departamentos que limitan con el Ecuador, están muy aisladas; montañas con altitudes mayores a 4000 m s. n. m., están restringidas a espacios pequeños de los departamentos de Cajamarca, Amazonas y al extremo oeste del departamento de San Martín. Esta configuración fisiográfica facilita el ingreso de aire húmedo e inestable (lluvias de verano) desde la cuenca amazónica hacia el oeste y ocasionalmente hasta el desierto costero.

En la Sierra Oriental central, la Cordillera Blanca, por su gran altitud y orientación N - S limita el ingreso de aire húmedo e inestable procedente de la cuenca amazónica hacia el Callejón de Huaylas y a la Cordillera Negra, lo cual determina la existencia de un clima semiárido en las localidades de la Cordillera Negra y cuenca baja del río Santa. La Cordillera Blanca junto con las cordilleras de Huallanca y Huayhuash, canalizan el flujo de aire húmedo de la cuenca del río Marañón hacia el Nudo de Pasco. Además, en las provincias altas del departamento de Junín (Junín, Yauli, Jauja y Concepción) y en las provincias Daniel Alcides Carrión y Cerro de Pasco, en el departamento de Pasco, las cordilleras de los Andes convergen

formando el Nudo de Pasco, altiplano de superficie relativamente llana, a la cual se le considera una "torre de agua" donde nacen varios ríos, siendo los principales el Marañón que discurre hacia el norte, el Mantaro hacia el sur y el río Huallaga que fluye al noreste.

En la Sierra Oriental sur, las cordilleras de Carabaya y Vilcanota son las más altas de los Andes orientales, contienen una importante masa glaciaria, con muy alto porcentaje de precipitación en forma de nieve sobre los 4500 m s. n. m. Por su gran altitud y orientación N - S, limita el ingreso al Altiplano de aire húmedo e inestable procedente de la cuenca amazónica, determinando un clima semiárido en el Altiplano suroeste. Además, en las partes altas de las provincias de Quispicanchis, Canchis y Canas del departamento de Cusco, y de la provincia de Melgar en el departamento de Puno, se forma el Nudo de Vilcanota, considerado una "torre de agua" del que nacen ríos importantes como el Urubamba, el Paucartambo y un afluente principal del río Ramis. En el Nudo de Vilcanota y en la cordillera de Carabaya, convergen en las tardes de verano las brisas de valle y montaña con los vientos tropicales del este o noreste de niveles medios de la atmósfera, dando lugar a movimientos verticales

ascendentes del aire húmedo, que forman nubes productoras de lluvias (Gilford et al, 1992). Finalmente, en el altiplano de Puno, se encuentra el lago Titicaca a 3800 m s. n. m., el más grande del país con una superficie de 8400 km², compartido con Bolivia. Es una fuente local importante de humedad para las precipitaciones en el altiplano al norte y noroeste del Lago. Estas lluvias ocurren generalmente en verano, entre el mediodía y las primeras horas de la noche y son mayormente localizadas debido a su origen convectivo.

Al largode la Sierra Oriental se encuentran diversos tipos de ecosistemas. En el extremo norte, entre Piura y Cajamarca, se presentan páramos. En el norte de Cajamarca la vegetación secundaria es de pastizales. En el extremo oriental de los departamentos de Cajamarca y La Libertad, domina el ecosistema andino de transición con vegetación herbácea y arbustiva húmeda. En la sierra oriental del centro y sur, la vegetación es herbácea de tipo césped con gramíneas de porte bajo y áreas de bofedales, a excepción de la parte sur de Puno donde predomina el pajonal de puna seca. Las zonas agrícolas y matorrales andinos con presencia de cactáceas, se presentan en toda la extensión de la sierra oriental (MINAM, 2019).

El comportamiento térmico de la Sierra Oriental está modulado principalmente por la altitud de los Andes, disminuyendo la temperatura con la altitud; y con la latitud, es decir, la variación térmica de norte a sur, con un mayor rango térmico diario conforme se va alejando de la zona ecuatorial. También influyen en las características térmicas del aire, los vientos zonales y meridionales, así como la cobertura nubosa, asociados a controladores meteorológicos ZCIT, la DANA y la posición de la Corriente en Chorro Subtropical en la parte central y sur del país.

La intensidad y duración de los eventos de precipitación (lluvia, nieve, granizo) en la Sierra Oriental del Perú son influenciadas directa e indirectamente por la dinámica e interacción de Controladores meteorológicos, oceanográficos y continentales y, en menor medida, por la transpiración de la vegetación, que a su vez depende de la humedad del suelo. Esta es una importante fuente de humedad conjuntamente con el agua evaporada de la superficie del océano Atlántico ecuatorial y Atlántico tropical norte y sur que, junto con el vapor de agua transpirada por el bosque amazónico peruano, brasileño, ecuatoriano y boliviano (agua reciclada), son transportados hacia el oeste, hacia

territorio peruano por los vientos alisios, principalmente. Además, a escala local el agua evaporada de los cuerpos de agua como lagos, lagunas, humedales y ríos, son fuentes importantes para los procesos de precipitación en esta región.

En la Sierra Oriental norte, los mayores valores mensuales de temperatura máxima se registran en el distrito de Huancabamba (Piura) situado a 1954 m s. n. m., fluctuando entre 23.1°C en julio y 25.9°C en noviembre; y los menores valores ocurren en el distrito de Huamachuco (La Libertad) a 3186 m s. n. m., entre 17.6°C en marzo y 19.1°C en septiembre. En el caso de la temperatura mínima, los valores promedios mensuales en la parte norte de la Sierra Oriental, fluctúan aproximadamente entre 12.0°C a 14.0°C en la parte baja de la vertiente, en Huancabamba y Tabaconas (Cajamarca); mientras que, en la parte alta (Huamachuco), varía entre 4.4°C en julio y 7.3°C en febrero (Figura N° 4.8). Las precipitaciones generalmente ocurren en las tardes y primeras horas de la noche e incrementan en magnitud y frecuencia en función de la altitud, es decir, a mayor altitud mayor precipitación y frecuencia de lluvias. Además, estas son mayormente líquidas al no existir cordilleras que excedan los

4500 m s. n. m. Ocasionalmente, hay granizadas muy localizadas, asociadas a nubes de gran desarrollo vertical como los cumulonimbos.

Las precipitaciones anuales muestran un régimen bimodal, es decir, con dos máximos, el principal ocurre en verano y el otro en la primavera. Los acumulados anuales en las localidades de esta región son muy variables, propio de la zona ecuatorial y de la compleja fisiografía, como lo muestran las precipitaciones anuales de Huancabamba y Tabaconas, localidades muy cercanas entre sí, donde precipitan 499 y 1036 mm, respectivamente (Figura N° 4.8). Estas variaciones espaciales están determinadas por la altitud, exposición al flujo de aire húmedo procedente de la cuenca amazónica (barlovento o sotavento de la cordillera central o cadena de montañas locales), circulaciones atmosféricas locales como las brisas de valle y montaña, la elevación y pendiente de las barreras topográficas, y por la evapotranspiración local.

Las mayores precipitaciones ocurren en las partes más altas, sobre 2500 m s. n. m., de las provincias cajamarquinas de Hualgayoc, Celendín, Cajamarca, San Pablo y San Miguel, donde los totales anuales superan los 1400 mm. En las localidades más altas

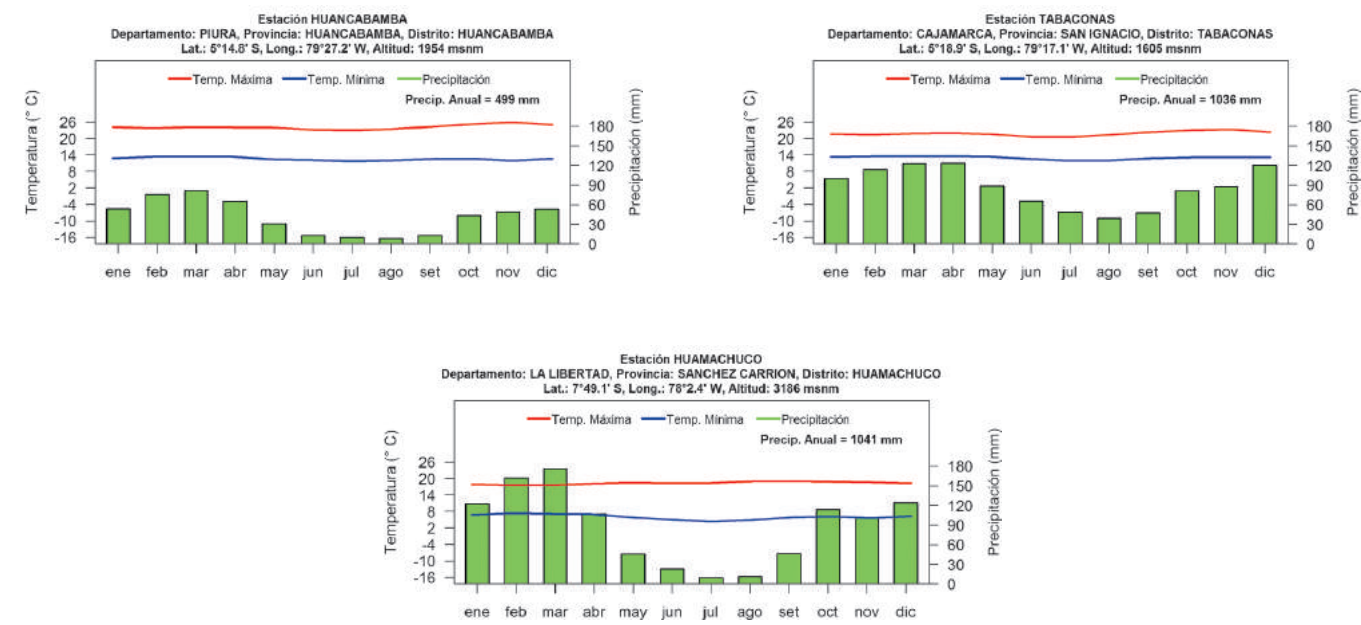


Figura N° 4.8. Variación mensual de las normales (periodo 1981 - 2010) de temperaturas extremas del aire y precipitación de las estaciones meteorológicas ubicadas en la Sierra Oriental norte del Perú.

de las provincias liberteñas de Sánchez Carrión, Santiago de Chuco y Otuzco, las lluvias acumuladas al año superan los 1000 mm (Figura N° 4.8).

Se puede deducir que, por su ubicación geográfica y ecosistemas presentes (no hay estaciones meteorológicas), que en la Sierra del departamento de Amazonas (provincias de Bongará, Luya y Chachapoyas), Sierra de San Martín (provincia de Mariscal Cáceres y Tocache), y Sierra del extremo este del departamento de la Libertad (provincias de Pataz y Bolívar), los acumulados anuales pueden superar los 1500 mm al estar más expuestas al aire húmedo

e inestable procedente de la cuenca amazónica.

Hay evidencias ecológicas que indican que las partes bajas de los valles de los ríos Chamaya, Utcubamba, Chinchipe y Alto Marañón, son semiáridas, con precipitaciones que no superaría los 500 mm anuales. Esta anomalía pluviométrica se debería a su ubicación a sotavento de la cordillera central y a las brisas de valle y montaña intensas que se desarrollan desde el mediodía, originando subsidencia, causante de la semiaridez.

En la parte central de la Sierra Oriental, la temperatura máxima fluctúa en promedio

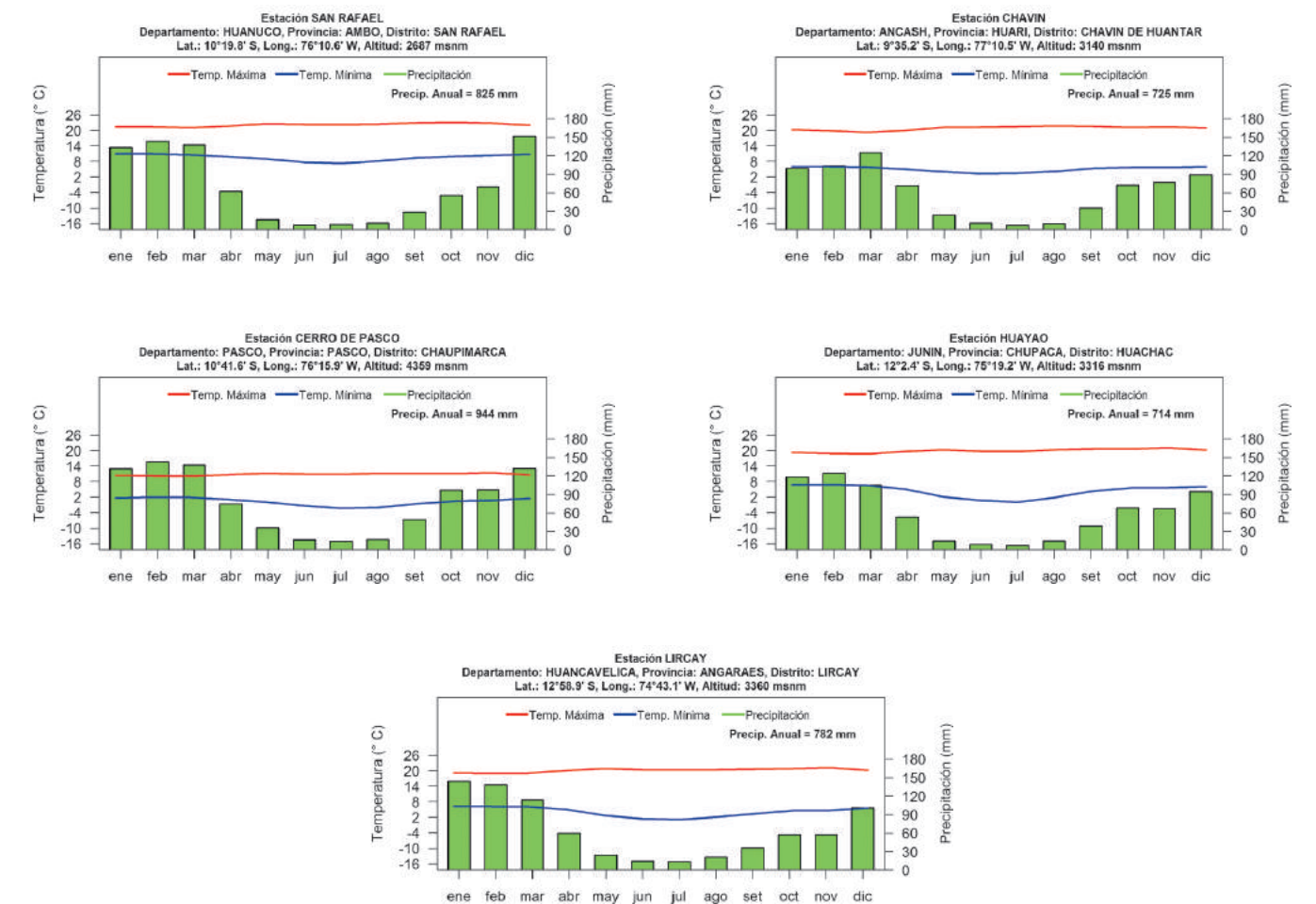


Figura N° 4.9. Variación mensual de las normales (periodo 1981 - 2010) de temperaturas extremas del aire y precipitación de las estaciones meteorológicas ubicadas en la Sierra Oriental centro del Perú.

entre 19.0°C en febrero y 22°C en agosto en las localidades de San Rafael (Huánuco), Chavín (Áncash), Huayao (Junín) y Lircay (Huancavelica). En las partes más altas, como Cerro de Pasco (Pasco) la temperatura máxima bordea los 9.4°C en marzo y 11.0°C en agosto. La temperatura mínima en la Sierra Oriental centro presenta una estacionalidad ligeramente más marcada que en la parte

norte, con mayores valores en los meses de primavera y verano, alcanzando los 10.9°C en San Rafael y menores valores, inclusive con valores negativos, en invierno de hasta -2.1°C en Cerro de Pasco (Figura N° 4.9).

La temporada de bajas temperaturas en la región andina se extiende de mayo a septiembre, periodo en el que las heladas

meteorológicas (temperaturas mínimas iguales o inferiores a los 0°C medidos a 1.5 m), se presentan con mayor frecuencia e intensidad (SENAMHI, 2010). La parte central de la Sierra Oriental registra heladas meteorológicas con un promedio mensual de 10 a 23 días, con una intensidad de hasta -8.8°C (SENAMHI, 2019).

Las precipitaciones, orográficas y convectivas, mayormente líquidas y localizadas, suelen ocurrir entre el mediodía y las 10 de la noche (hora local), con mucha variación en el espacio y el tiempo, acentuada por la complejidad de la orografía. Las precipitaciones generalmente se incrementan en frecuencia con la altitud hasta los 4200 m s. n. m., es decir, a mayor altitud mayor cantidad acumulada de precipitación estacional y anual. En las montañas donde el ambiente es generalmente ventoso, la medición de la precipitación es subestimada al no caer verticalmente en el pluviómetro, es decir, a mayor velocidad del viento mayor será la subestimación.

En esta zona de la Sierra Oriental, ocasionalmente hay granizadas localizadas, asociadas a nubes de gran desarrollo vertical. Los totales anuales y estacionales más bajos de lluvia se dan en el fondo de los valles, y los más altos entre los 4000 y 4500 m s. n. m.

Sobre esta franja altitudinal y en la vertiente este de las cordilleras, un alto porcentaje de las precipitaciones son del tipo aguanieve y nieve. La cantidad total anual de precipitación disminuye a partir de los 4500 m s. n. m. debido al escaso contenido de agua del aire saturado a temperaturas inferiores a 5°C. Este tipo de precipitación, es frecuente en verano y esporádica en el resto de estaciones astronómicas.

Las precipitaciones anuales muestran un régimen unimodal, con un solo máximo que ocurre en verano. Los acumulados de precipitación anual en esta región son muy variables al estar ubicada en una zona de transición entre las vertientes semiáridas y áridas al oeste y un bosque tropical muy lluvioso al este. Las precipitaciones anuales en las localidades de Tarma y Huánuco son de 330 y 406 mm, respectivamente (no mostradas en los gráficos) y, las precipitaciones anuales de 904 mm en Cerro de Pasco y 1097 mm en Marcapomacocha, evidencian esta alta variabilidad (Figura N° 4.9).

La temperatura máxima en la parte sur de la Sierra Oriental fluctúa en promedio entre 17.6°C en marzo y 21.7°C en octubre en La Quinoa (Ayacucho), Granja Kcayra (Cusco) y Andahuaylas (Apurímac). Cabe señalar que existen zonas muy elevadas

que superan los 4000 m s. n. m. donde la temperatura máxima es menor y varía en el rango de 14.6°C en julio y 18°C en noviembre como en Mazo Cruz (Puno). Respecto a las temperaturas mínimas, la parte sur de la Sierra Oriental registra los más bajos valores de este sector climático, con valores mensuales promedio entre -1.6°C en julio (Granja Kcayra) y 8.9°C en enero (Andahuaylas), e inclusive llegan hasta -13.3°C en invierno (Mazo Cruz) (Figura N° 4.10).

En cuanto a la ocurrencia de heladas meteorológicas, al presentar valores más bajos de temperatura mínima, la parte sur registra una mayor frecuencia de heladas con un promedio entre 22 a 30 días y una intensidad de hasta -25.2°C (SENAMHI, 2019).

Otro evento meteorológico importante en la región andina es la caída de nieve (precipitación de agua en estado sólido), en zonas por encima de los 3500 m s. n. m. (Quispe, 2014). La mayor frecuencia de nevadas ocurre en los meses de verano, con cinco a seis eventos en promedio al mes; sin embargo, se pueden presentar en todo el año en las partes más altas de la vertiente oriental sur de los Andes (SENAMHI, 2018). Las nevadas están asociadas a la ocurrencia de DANAS y vaguadas en altura, que impulsan el

ingreso de aire frío proveniente de latitudes altas, los cuales al encontrar humedad en el ambiente favorece la precipitación sólida y cobertura nubosa, ocasionando a su vez la disminución de la temperatura máxima y el aumento de la temperatura mínima en las áreas afectadas. Estas condiciones tienen impacto en la salud de la población al mantener la temperatura del aire en día relativamente bajas.

Las precipitaciones en Ayacucho, Apurímac y Cusco se incrementan en frecuencia con la altitud. Las precipitaciones tipo nieve son frecuentes sobre los 4500 m s. n. m. principalmente en la vertiente este de las cordilleras de Vilcabamba, Urubamba, Vilcanota, Carabaya y Apolobamba por estar más expuestas al flujo de aire húmedo procedente de la cuenca amazónica.

Los acumulados anuales de precipitación tienden a disminuir a mayor latitud; es así que, en la Sierra de Ayacucho, Apurímac y Cusco el periodo de lluvias es de 4 meses, de diciembre a marzo, mientras que en la Sierra oeste y suroeste de Puno la duración del periodo lluvioso es de aproximadamente tres meses (segunda quincena de diciembre a primera quincena de marzo), con los mayores acumulados en enero.

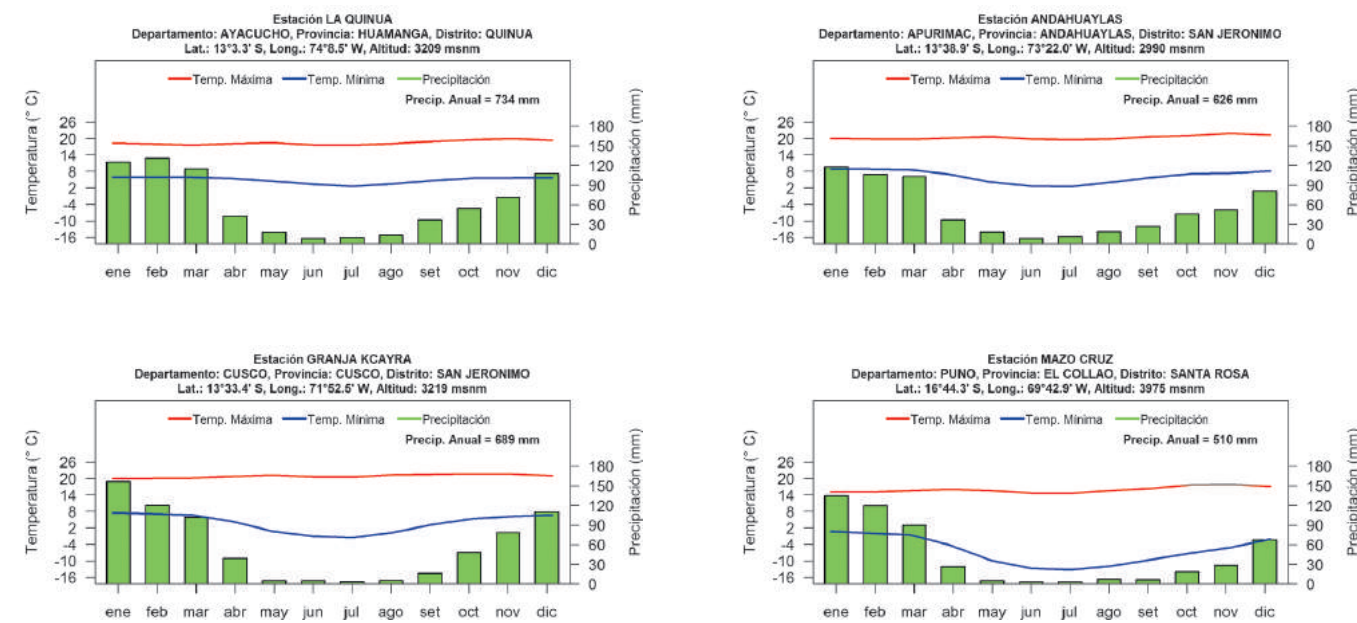


Figura N° 4.10. Variación mensual de las normales (periodo 1981 - 2010) de temperaturas extremas del aire y precipitación de las estaciones meteorológicas ubicadas en la Sierra Oriental sur del Perú.

Los acumulados anuales registrados en las estaciones meteorológicas La Quinua (Ayacucho), Andahuaylas (Apurímac), Granja Kcayra (Cusco) y Mazo Cruz (Puno) son 734, 626, 688 y 509 mm, respectivamente (Figura N° 4.10). Sobre los 4500 m s. n. m., las precipitaciones tipo lluvia tienden a disminuir y las de tipo nieve, a aumentar. Lo más probable es que los acumulados anuales cerca de las cumbres sean menores a 500 mm, ya que el aire saturado a temperaturas de 5°C o negativas contienen poca humedad.

Los totales anuales y estacionales más bajos de lluvia ocurren en el valle del río Urubamba, en las localidades de Urubamba y Cay Cay, con acumulados anuales de 472 y 435 mm, respectivamente. Los más altos ocurren en la vertiente este de las cordilleras nevadas orientales y en la isla Taquile, al noroeste del lago Titicaca, donde precipita 1284 mm anuales, el más alto de todo el altiplano sudamericano. Asimismo, cabe precisar que, los acumulados anuales de lluvia disminuyen más en la dirección suroeste del altiplano.

4.1.4. Selva

La Selva baja se encuentra ubicada en la gran penillanura amazónica o llano subandino (al pie de los Andes), cuya área es además de ser la más extensa del país, muy importante pues alberga grandes bosques de producción. Su límite superior está alrededor de los 600 m s. n. m. y se extienden hasta las fronteras amazónicas del país, presenta una de las más ricas formaciones de vida de la Tierra, con una alta biodiversidad de plantas de hasta 300 especies de árboles/ha. En la Selva baja se ubican en dos tipos de paisajes, una planicie inundable que recorre adyacente a lo largo de los ríos y que es inundada varios metros arriba durante el periodo de creciente; y el otro formado por tierra firme no inundable, incluyendo las colinas bajas (MINAM, 2019). Las precipitaciones anuales mínimas para mantener el bosque húmedo son de 1500 mm. Son hábitat de una gran diversidad de árboles con presencia de otras plantas como arbustos, lianas, palmeras diversas, especialmente el aguaje (*Mauritia flexuosa*) predominante en suelos hidromórficos (con gran almacenamiento de carbono), gramíneas de la familia del bambú llamadas paca (*Guadua spp.*), helechos diversos y muchas otras formas vegetales. Los ecosistemas acuáticos son lagos o lagunas ("cochas"), ríos

de aguas negras y de aguas turbias o blancas y pantanos de una gran riqueza hidrobiológica (FAO, 2016).

La Selva alta se encuentra ubicada en el flanco oriental de los Andes peruanos, desde los 600 m s. n. m. hasta aproximadamente los 3600 m s. n. m., en el límite sur y centro con la puna y en el límite norte con la jalca y el páramo, entre 3000 y 3200 m s. n. m. El paisaje fisiográfico está dominado por el sistema de montañas desde bajas hasta altas, con fuertes pendientes, caracterizado por su alta humedad, existiendo zonas de neblina permanente. Los bosques son densos y su fisonomía y florística varían al ascender o descender los pisos altitudinales. Es característico la presencia notable de epífitas (bromelias, orquídeas), helechos y algunas palmeras (MINAM, 2019). Por sus características de ubicación en cabeceras de cuencas, su clima y sus suelos de alta capacidad de almacenamiento son proveedores de agua de buena calidad y de regímenes más estables que permiten mantener caudales importantes en los ríos de la parte baja en los meses de estiaje (FAO, 2016).

La Selva peruana, ubicada en la región ecuatorial y tropical al norte y este del país, está influenciada por controladores



Figura N° 4.11. Variación mensual de las normales (periodo 1981 - 2010) de temperaturas extremas del aire y precipitación de las estaciones meteorológicas ubicadas en la Selva baja del Perú.

climáticos como la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), la Alta de Bolivia (AB), el Anticiclón del Atlántico Sur (AAS), la presencia de frentes fríos y los Andes peruanos, que modulan la temperatura del aire en la Amazonía, la cual es normalmente cálida, con un régimen térmico de reducida oscilación estacional durante el año. Además, los efectos locales de valle y montaña, influyen en

el ingreso de vientos que transportan humedad atmosférica favoreciendo la presencia e intensidad de las lluvias en el transcurso del año.

En la selva baja, los valores promedio de temperatura máxima fluctúan entre los 30°C en julio y los 34°C en octubre, y la temperatura mínima fluctúa entre los 18°C en julio y 22°C en diciembre, como



Figura N° 4.12. Variación mensual de las normales (periodo 1981 - 2010) de temperaturas extremas del aire y precipitación de las estaciones meteorológicas ubicadas en la Selva alta del Perú.

se muestra en las estaciones meteorológicas de Puerto Maldonado (Madre de Dios), Tamshiyacu (Loreto), Aguaytía (Ucayali), Bagua Chica (Amazonas) y Navarro (San Martín). Ver Figura N° 4.11.

Sin embargo, cuando ocurren los denominados Friajes, ocasionados por el ingreso de frentes fríos desde el sur de la Amazonía peruana y generalmente

asociados a vientos de alta velocidad (Marengo, 1983), el aire frío se expande por toda la región, generando un descenso brusco en las temperaturas máximas y mínimas del aire. Esta disminución de temperatura puede ser de hasta 14°C respecto al promedio, siendo más fuerte hacia el sur y duran entre 3 a 5 días (Gilford et al., 1992).

A lo largo del año, la lluvia en la zona norte de la Selva baja en los departamentos de Loreto, San Martín y Amazonas, presentan valores entre 40 a 120 mm/mes; en la zona central, los departamentos de Ucayali, Huánuco, Pasco y Junín, entre 60 y 240 mm/mes; y en la zona sur, los departamentos de Cusco, Puno y Madre de Dios, entre 90 y 350 mm/mes. Ver Figura N° 4.11.

En la Selva alta, los valores mensuales promedio de temperatura máxima fluctúan entre los 28°C en junio y 34°C en octubre, la temperatura mínima fluctúa entre los 12°C en julio y 20°C en enero, como se muestra en las estaciones meteorológicas de Quincemil (Cusco), San Gaban (Puno), Oxapampa (Pasco) Satipo (Junín) y Tingo María (Huánuco). Ver Figura N° 4.12.

La lluvia en la Selva alta es favorecida por la abrupta topografía con la ocurrencia de mayor cantidad de lluvia, a la que se suma el ingreso de humedad atmosférica en niveles bajos aunados con los frentes. Es así que, en la zona norte, la provincia de Condorcanqui (Amazonas) presenta valores entre 110 y 240 mm/mes. En la zona centro, en el límite de la provincia de Leoncio Prado (Huánuco) con la provincia de Padre Abad (Ucayali) los valores fluctúan entre 70 y 310 mm/

mes. Mientras que, en la zona sur, en el límite de las provincias de Paucartambo y Quispicanchi (Cusco) con la provincia de Carabaya (Puno); así como en las provincias de Manú y Tambopata (Madre de Dios) los valores oscilan entre 190 y 650 mm/mes. Las zonas más lluviosas en el país, se ubican en la Selva alta del sur, en Quincemil, provincia de Quispicanchi (Cusco) y en San Gabán, provincia de Melgar (Puno). Ver Figura N° 4.12.

4.2 Comportamiento estacional de la temperatura del aire y la precipitación

De forma estacional, el período lluvioso presenta el mayor porcentaje del acumulado total de las lluvias a nivel nacional con un 27.9% en primavera y 56.8% en verano. Las estaciones de otoño e invierno son consideradas períodos secos, pues los acumulados de precipitación representan solo 11.6% y 3.7% de lluvias anuales, respectivamente (Figura N° 4.13).

En los siguientes ítems, se describe el comportamiento termo pluviométrico de las regiones climáticas del país según las estaciones astronómicas del año: verano, otoño, invierno y primavera. Es importante mencionar que, los meses

Porcentaje de lluvia por estación de año

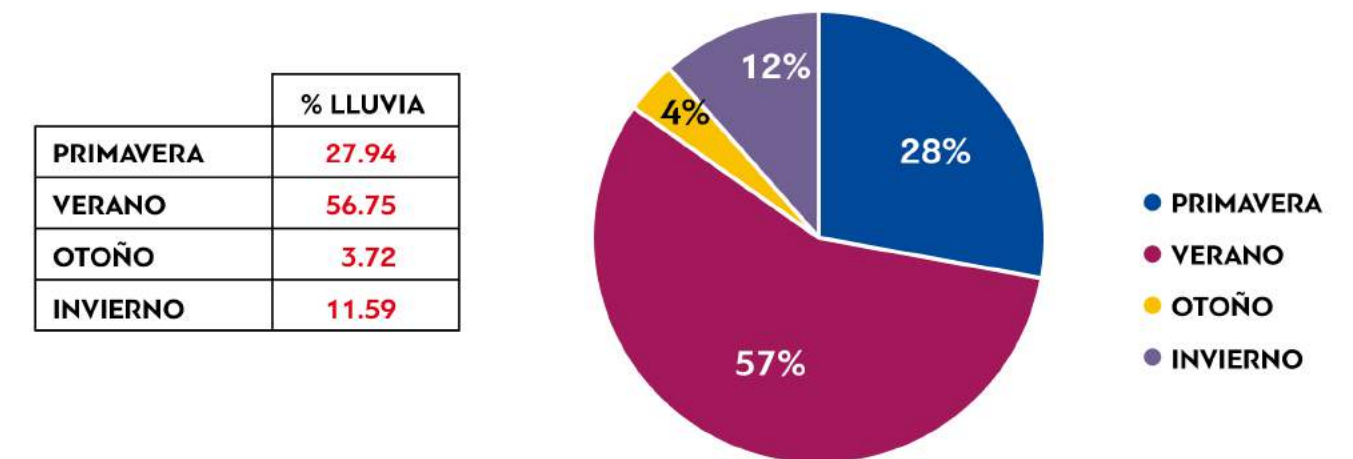


Figura N° 4.13. Porcentaje de lluvia a nivel nacional por estación del año

considerados para el verano son enero, febrero y marzo; para otoño son abril, mayo y junio; para invierno son julio, agosto y septiembre y, finalmente para primavera son octubre, noviembre y diciembre.

4.2.1 Verano

a) Costa

Durante el verano, la Costa norte en los departamentos de Tumbes, Piura y Lambayeque presentan temperaturas máximas de 31°C a 33°C desde el nivel del mar hasta aproximadamente los 400 m s. n. m y temperaturas mínimas

entre 21°C y 23°C. Sobre esta cota y bajo los 1000 m s. n. m se tienen temperaturas máximas entre 27°C y 31°C y mínimas de 19°C a 21°C, como es el caso del Parque Nacional Cerros de Amotape, Tumbes y el Coto de Casa El Angolo (Piura). Por otro lado, pequeñas áreas de las provincias de Sechura, Piura y Sullana, presentan temperaturas máximas más altas durante todo el año, con valores de 33°C e incluso a 35°C; cubriendo mayor área en febrero y menor, en enero y marzo. Otra particularidad se observa en las zonas más costeras de Lambayeque y La Libertad, entre los distritos de Mórrope (Lambayeque) y Santiago de Cao (La Libertad), donde en enero se tienen temperaturas máximas de 29°C a 31°C y

mínimas de 19°C a 21°C; comportamiento que está relacionado al núcleo de afloramiento costero entre las latitudes de 6°S y 7°S, donde la TSM es más baja comparada con áreas aledañas (Mapa N° 4.4 y Mapa N° 4.5).

En la Costa central, en las provincias de Santa, Casma y norte de Huarmey (Áncash) entre el nivel del mar hasta aproximadamente los 400 m s. n. m. se tienen temperaturas máximas de 31°C a 33°C y temperaturas mínimas de 19°C a 21°C, y sobre esta cota hasta los 1000 m s. n. m. la temperatura va descendiendo según se incrementa la altitud, presentándose temperaturas máximas en el rango de 29°C a 25°C y mínimas de 19°C a 15°C. En la región costera de Lima, las áreas ubicadas entre el nivel del mar y aproximadamente la cota 700 m s. n. m. presentan temperaturas máximas entre 27°C y 29°C y en Huaura y Cañete se pueden encontrar zonas con valores de temperatura máxima de 29°C a 31°C. Sobre esta cota y hasta los 1000 m s. n. m. las temperaturas máximas están en el rango de 27°C a 25°C y mínimas, entre 19°C y 21°C. Entre el nivel del mar y hasta los 1000 m s. n. m., se tienen temperaturas mínimas de 19°C a 15°C (Mapa N° 4.4 y Mapa N° 4.5). En la Costa sur, en las provincias de Pisco e Ica del departamento de Ica, entre el

nivel del mar y los 700 m s. n. m., los valores de temperatura máxima oscilan entre 31°C y 33°C, con mínimas de 17°C a 19°C, y en los meses de febrero y marzo en los distritos de Ica y Ocucaje, hay pequeñas zonas con valores de temperatura máxima de 33°C a 35°C. Entre los 700 y 1000 m s. n. m., se registran temperaturas máximas entre 27°C y 29°C y mínimas de 19°C a 15°C. En Arequipa, Moquegua y Tacna, las temperaturas máximas fluctúan entre 27°C y 29°C y las mínimas, entre 19°C a 15°C, con algunas áreas con temperaturas máximas de 25°C a 27°C (Mapa N° 4.4 y Mapa N° 4.5).

Respecto a las precipitaciones, alrededor del 70% de las lluvias se presentan en el verano. En el extremo de la Costa norte, las precipitaciones más intensas se presentan hacia la frontera con Ecuador (Cabo Inga) totalizando para el verano de 500 a 700 mm de precipitación, descendiendo hacia litoral de Tumbes (Puerto Pizarro) y norte de Piura (Lancones), con un total de 200 a 300 mm. Hacia el centro de Piura las lluvias son de menor frecuencia y con un acumulado de 121 a 160 mm en el verano. Entre Chiclayo y Trujillo, las lluvias son de menor intensidad y frecuencia totalizando entre 21 a 50 mm durante el verano (Mapa N° 4.6).

En la Costa central y parte de la Costa sur (Áncash, Lima, Ica, Arequipa y Moquegua), en altitudes inferiores a los 500 m s. n. m., las precipitaciones se presentan en forma de llovizna o garúa, con cantidades inferiores a los 3 mm en el verano. Se incrementa más al sur en Tacna, debido al mayor ingreso de la brisa marina a altitudes por debajo de los 1000 m s. n. m. (Sama Grande), acumulándose de 6 a 10 mm en toda la estación de verano (Mapa N° 4.6).

b) Sierra Occidental

Las temperaturas máximas en la Sierra Occidental casi no varían al paso de la estacionalidad. En verano, estación lluviosa, las temperaturas mínimas también se conservan debido al colchón nuboso que suele formarse. Es así que, la amplitud térmica a lo largo del día es menor que en otras épocas del año, independientemente de la altitud, latitud y continentalidad; esto, se evidencia en los registros termopluviométricos de Ayabaca en Piura (2633 m s. n. m.) y Vilacota en Tacna (4468 m s. n. m.), donde el rango térmico estacional es de ~10°C y ~19°C, respectivamente (Mapa N° 4.4 y Mapa N° 4.5).

Durante el verano, la Sierra Occidental registra el mayor porcentaje de precipitaciones, respecto al total anual. Tal es así que durante esta estación el 54.2% de las lluvias anuales se registran en la Sierra Occidental norte; mientras que, en la sierra central y sur, el porcentaje de lluvias durante el verano es mayor, con un 61.9% y 74.1%, respectivamente. A pesar de estas diferencias porcentuales, durante los meses de enero a marzo, a lo largo de la vertiente occidental de los Andes peruanos, se registran las lluvias más importantes, cuyos mayores acumulados se registran en las zonas elevadas del norte y centro de la vertiente. Los valores más altos de precipitación se presentan en la Sierra de Piura y las cumbres de la Cordillera Blanca en Áncash, con montos de hasta 1500 mm en este trimestre. Entre Lima, Arequipa y Tacna, los mayores acumulados (de hasta 1100 mm), solo se presentan en las zonas elevadas de las Cordilleras de Huayhuash y Raura (norte de Lima), en las Cordilleras de Ticlla y Llongote (sur de Lima), y en las cumbres del Coropuna y zonas próximas a ésta en Arequipa (Mapa 4.6). En este trimestre, el flujo divergente del Alta de Bolivia favorece la ocurrencia de precipitaciones (Lenters y Cook, 1999; Vuille 1999), con la humedad necesaria trasladada desde la cuenca Amazónica por vientos del este en niveles medios (Garreaud et al., 2003)

e incluso desde niveles bajos a través de circulaciones locales (Junquas et al., 2017). Además, estudios recientes muestran una pequeña contribución de humedad desde la propia cuenca del Pacífico hacia el Altiplano y vertiente oriental (Perry et al., 2014, 2017; Junquas et al., 2017) (Mapa N° 4.6).

c) Sierra Oriental

Durante los meses de verano, las partes bajas del sector norte de la Sierra Oriental, provincia Huancabamba (Piura y San Ignacio y Jaén (Cajamarca) registran valores promedio de temperatura máxima, entre 21°C y 25°C. Mientras que, en las partes más elevadas, provincias Cajabamba, San Marcos, Celendín y Chota (Cajamarca) y Sánchez Carrión, Bolívar y Patate (La Libertad), se registran los menores valores promedio de temperatura máxima del año, entre 13°C y 17°C, debido a la cobertura nubosa en la época de lluvias que impide el ingreso directo de radiación solar (Mapa N° 4.4 y Mapa N° 4.5).

Situación similar se mantiene en el sector central (provincias Huari, Antonio Raimondi, Asunción, Carlos Fermín Fitzcarrald, Mariscal Luzuriaga,

Pomabamba, Sihuas y parte oriental de Pallasca, Yungay y Bolognesi (Áncash); provincias Lauricocha y Yarowilca y parte occidental de Marañón, Huacaybamba, Huamalíes, Dos de Mayo, Huánuco y Ambo (Huánuco); provincias Daniel Alcides Carrión y Pasco (Pasco); provincias Junín, Yauli, Tarma, Jauja, Concepción, Chupaca y Huancayo (Junín); y provincias Huancavelica, Churcampa, Acobamba, Angares, parte occidental de Tayacaja y norte de Huaytará (Huancavelica)) y en el sector sur de la Sierra Oriental (provincias Huamanga, Vilcashuamán, Cangallo, Víctor Fajardo, Huancasancos, Sucre, parte occidental de Huanta y La Mar, y norte de Lucanas (Ayacucho); todo el departamento de Apurímac; parte centro y sur de Cusco y Puno), donde el promedio de la temperatura máxima en verano fluctúa entre 11°C a 18°C, con algunas zonas altas más frías entre 9°C a 11°C (Mapa N° 4.4).

Respecto a la temperatura mínima, los más altos valores del año se registran en el verano en toda la Sierra Oriental, diferenciándose en la parte baja del sector norte con rango promedio de 9°C a 13°C; parte alta del sector norte, entre 5°C a 9°C; sector central, entre 1°C a 7°C, con extremos de -1°C a 1°C en las zonas más elevadas; y sector sur entre -3°C a 5°C (Mapa N° 4.5).

En cuanto a las precipitaciones, el verano es la estación donde la ZCIT y la AB están presentes en la circulación atmosférica afectando a todo el territorio nacional. El ingreso de aire húmedo e inestable desde la cuenca amazónica hacia el oeste es persistente y se extiende desde la tropósfera baja hasta la tropósfera alta. En esta estación, ocurren las máximas precipitaciones, las más duraderas y son muy frecuentes en relación a las que ocurren en el otoño e invierno. El porcentaje de lluvias del verano, respecto del total anual, es de aproximadamente el 40%. Las precipitaciones ocurren principalmente después del mediodía.

La Sierra Oriental tiene como límite las cadenas de montañas altas con pendientes muy abruptas como las cordilleras nevadas de Huagoruncho y Huaytapallana, ubicadas cerca al llano amazónico. Estas cordilleras bloquean el flujo de aire amazónico húmedo e inestable hacia el oeste, favoreciendo el desarrollo de las lluvias orográficas en las vertientes orientales. En esta estación, se incrementa la frecuencia de lluvias y los totales estacionales aumentan con la altitud. Los porcentajes de lluvias en verano respecto del total anual en las localidades de Chavín, San Rafael, Cerro de Pasco, Huayao, Marcapomacocha y Lircay, son 45%, 50%, 44%, 50%, 46% y 50%, respectivamente (Mapa N° 4.6).

En los valles semiáridos de Huánuco y Tarma, las precipitaciones en verano son 183 y 159 mm, 45% y 48 % del acumulado anual de 406 y 330 mm, respectivamente. Estos son los lugares de menor precipitación de la región (Mapa N° 4.6), al estar rodeados de cadenas de montañas relativamente altas, que bloquean el ingreso de aire húmedo que viene del este.

En la Sierra Oriental central y sur, la presencia de las cordilleras de Vilcanota, Carabaya y Apolobamba, cuyas montañas son casi continuas y sobrepasan los 5000 m s. n. m. funcionan como un bloqueo del flujo de aire húmedo hacia el oeste y suroeste. Aquí, la Puna es más extensa, donde el aire húmedo e inestable se redistribuye en un área mucho más grande. Aún en verano, sobre el sur del departamento de Puno esporádicamente ingresan vientos del oeste con escasa humedad y, por lo tanto, las lluvias son escasas o ausentes, acentuando su variabilidad espacial y temporal. Las cantidades acumuladas en el verano en las localidades de Quinoa (371 mm), Andahuaylas (326 mm), Granja Kcayra (378 mm) y Mazo Cruz (344 mm), representan el 51%, 52%, 55%, y 67% del total anual, respectivamente (Mapa N° 4.6).

d) Selva

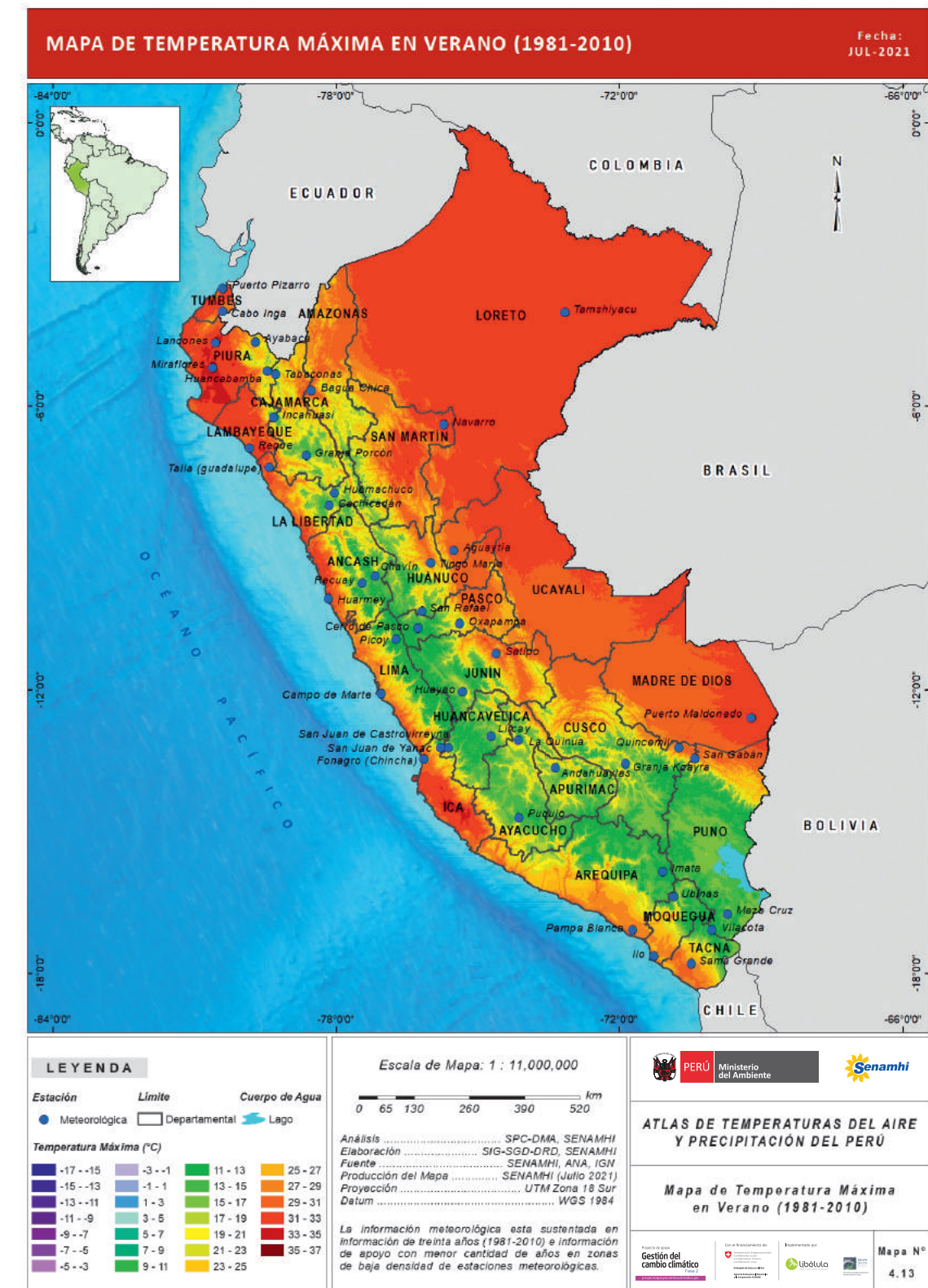
Durante el verano, la parte norte de la Selva presenta temperaturas máximas entre 29°C y 35°C y mínimas, entre 19°C y 25°C. En los Mapas N° 4.4 y N° 4.5, se puede ver menores temperaturas hacia el oeste de la zona de Selva, en las provincias de Bagua, Utcubamba y Luya (Amazonas), conforme se incrementa la elevación del lugar hacia la banda oriental de los Andes. Las mayores temperaturas están al este, como en la provincia de Putumayo (Loreto), con máximas de 33°C a 35°C y mínimas de 23°C a 25°C.

En la Selva central, se puede observar que en las provincias de Coronel Portillo y Purús (Ucayali) las temperaturas del aire son un poco más elevadas respecto a sus alrededores, con 27°C a 33°C las máximas y 21°C a 23°C las mínimas. Las temperaturas van disminuyendo conforme se incrementa la elevación hacia el oeste, como en la provincia de Oxapampa (Pasco) donde la temperatura disminuye en 10°C o 12°C, con respecto a la temperatura en Selva baja central.

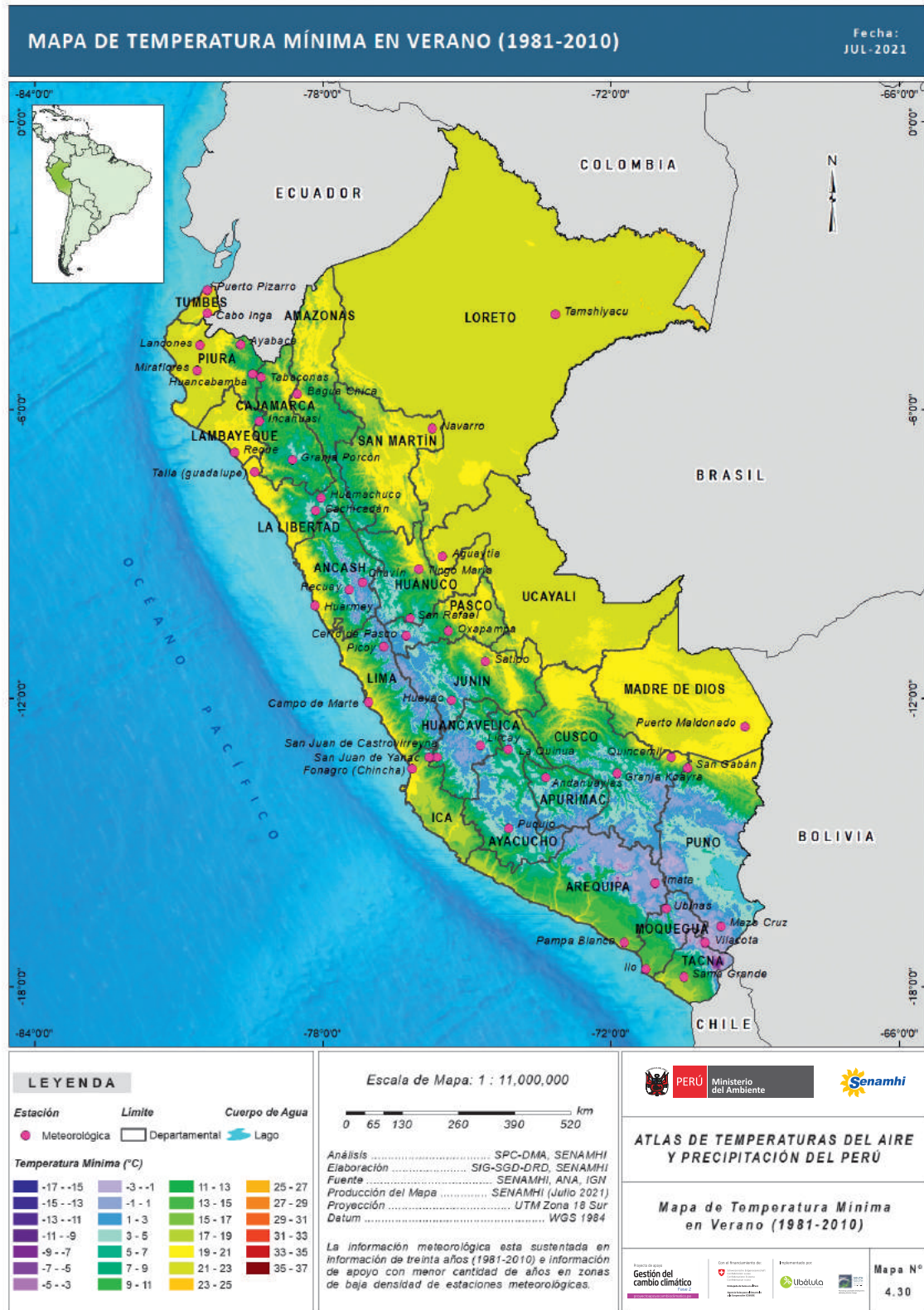
En la Selva sur, las temperaturas disminuyen ligeramente y se encuentran en el rango de 29°C a 31°C las máximas y de 15°C a 23°C las mínimas, debido a que

se encuentra a mayor latitud. Además, se observa que al este del sector las temperaturas se incrementan, como es el caso en parte de las provincias de Tambopata y Tahuamanu (Madre de Dios), donde las máximas están en el rango de 31°C a 33°C y las mínimas, de 19°C.

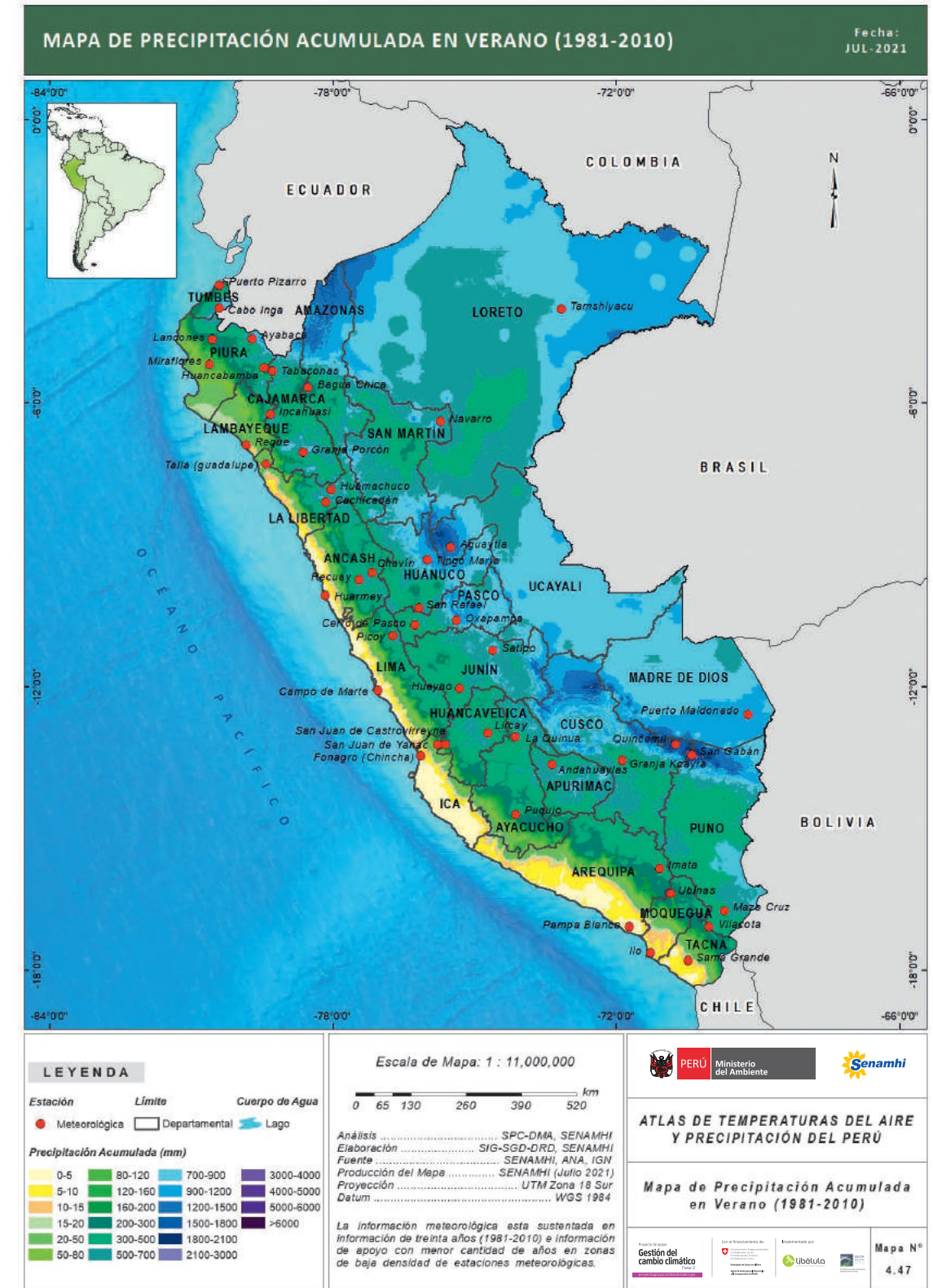
A nivel trimestral, las mayores precipitaciones, entre 700 y 1500 mm, que se registran en la selva baja de las provincias de Putumayo, Maynas, Loreto y Datem del Marañón (Loreto) hasta el límite fronterizo con Colombia y Ecuador, están influenciadas por su posición ecuatorial. La Selva de las provincias de Alto Amazonas, Ucayali y Requena, al sur del departamento de Loreto y los departamentos de San Martín, Ucayali y Madre de Dios, es un área homogénea con precipitaciones entre 300 y 700 mm (Mapa N° 4.6).



Mapa N° 4.4. Mapa de Temperatura Máxima en verano. Periodo 1981-2010



Mapa N° 4.5. Mapa de Temperatura Mínima en verano. Periodo 1981-2010



Mapa N° 4.6. Mapa de Precipitación en verano. Periodo 1981-2010

4.2.2 Otoño

a) Costa

En la Costa norte, entre Tumbes y la provincia de Lambayeque, en otoño se presentan temperaturas máximas de 29°C a 31°C, y en áreas más costeras de la provincia de Contralmirante Villar (Tumbes) e interior de las provincias de Sullana y Piura (Piura) se tienen temperaturas máximas de 31°C a 33°C. En estos departamentos, las temperaturas mínimas están en el rango de 19°C a 21°C, a excepción los Cerros de Amotape donde se presentan temperaturas mínimas de 15°C a 17°C. Otro comportamiento particular se evidencia entre Chiclayo (Lambayeque) y Paiján (La Libertad) donde las temperaturas máximas se encuentran entre 27°C y 30°C; mientras que, al sur de Paiján las temperaturas máximas descienden hasta los 21°C, con temperaturas mínimas más homogéneas entre 15°C y 17°C. En la Costa central, Áncash presenta temperaturas máximas entre 27°C a 29°C, con algunos núcleos de 29°C a 31°C en la provincia de Santa; mientras que, las temperaturas mínimas en esta zona están entre 17°C y 19°C. En Lima, las temperaturas máximas oscilan entre 21°C y 25°C y las mínimas, entre 15°C a 17°C. En la Costa sur, durante el otoño Ica presenta temperaturas

máximas entre 27°C a 29°C, con áreas al interior del continente que registran temperaturas máximas de 29°C a 31°C, y temperaturas mínimas de 11°C a 15°C; registrándose menores temperaturas en las áreas que se encuentran en el centro de las provincias de Pisco, Ica y Nazca. En el resto de la Costa sur, desde el nivel del mar hasta los 1000 m s. n. m. se tienen temperaturas máximas de 23°C a 25°C, con pequeños núcleos en Ilo, Moquegua y Sama, Tacna; y mínimas de 11°C a 15°C (Mapa N° 4.7 y Mapa N° 4.8).

En la estación de otoño, las precipitaciones disminuyen en toda la costa. En Tumbes y Piura, las lluvias representan del 20% al 30% del acumulado anual. En el extremo de la costa norte, la zona más húmeda y limítrofe de Tumbes con el Ecuador (Cabo Inga), las lluvias totalizan entre 200 a 300 mm en el otoño. En el litoral de Tumbes (Puerto Pizarro) y norte de Piura (Lancones), las lluvias descienden a 121 - 160 mm; y en el centro del departamento de Piura, la precipitación es de 51 y 80 mm. Entre Chiclayo y Trujillo, las escasas lloviznas totalizan en el otoño entre 6 a 10 mm y representan cantidades cercanas al 15% del total

anual. En la costa central y la costa sur (Lima, Ica, Arequipa, Moquegua y Tacna), la precipitación acumulada para el otoño es similar a la estación de verano. En localidades ubicadas por debajo de los 500 m s. n. m., las escasas lloviznas totalizan para toda la estación menos de 3 mm; más hacia el sur y a altitudes inferiores a los 1000 m s. n. m. como en Sama Grande, departamento de Tacna, las lloviznas son más frecuentes y acumulan entre 6 a 10 mm (Mapa N° 4.9).

b) Sierra Occidental

El otoño es un periodo de transición donde las lluvias en la Sierra Occidental van disminuyendo a la par con la humedad atmosférica, hasta llegar al periodo de estiaje, lo cual propicia la liberación de energía ganada en el día por irradiación en la noche, haciéndose evidente a finales del otoño, la disminución de las temperaturas mínimas. Esta condición se observa con mayor claridad en altitudes superiores a los 3000 m s. n. m, como en Recuay (Áncash), Imata (Arequipa) y Puquio (Ayacucho) (Mapa N° 4.8).

Durante este trimestre, la disminución de las precipitaciones es notoria a lo largo de los Andes; no obstante, en la Sierra Occidental norte del país las lluvias

representan un 21% del total anual y, las precipitaciones en la zona central y sur, acumulan el 10.4% y 6.2% del total anual. Respecto a los acumulados, durante estos meses la zona norte, incluyendo Áncash, continúa presentando los mayores valores (de hasta 500 mm) de la vertiente occidental; mientras que, desde Lima hacia el sur del país, la disminución de las precipitaciones es más notoria, con acumulados trimestrales de 160 mm en Lima y Huancavelica, de 120 mm en Ayacucho y Arequipa; y de hasta los 80 mm en Moquegua y Tacna. La disminución de las precipitaciones también varía en función de la cordillera, siendo las zonas fronterizas con la región costera las que presentan menores acumulados, principalmente en la zona sur y parte de la central de la vertiente occidental (Mapa N° 4.9). En esta estación las precipitaciones son mayores entre Piura y Áncash. La rápida disminución de las mismas hacia los sectores centro y sur de la vertiente occidental, se debe a la migración hacia el norte de los vientos del oeste a inicios del otoño (Garreaud et al., 2003). La zona sur es la primera en experimentar la influencia de los vientos secos del oeste; mientras que, el transporte de humedad desde la Amazonía hacia la zona central y norte aún se mantiene en abril, lo cual se refleja en los acumulados de precipitación

en ese mes, sobre los 100 mm en la Sierra norte occidental y sobre los 50 mm en la Sierra central occidental.

c) Sierra Oriental

En los meses de otoño, en la parte baja del sector norte de la Sierra Oriental, las temperaturas máximas promedio mantienen sus valores entre 21°C a 24°C; en tanto que, en la parte alta de los sectores norte, central y sur se incrementan ligeramente los registros en abril generando un segundo pico de temperaturas máximas del año, para luego ir disminuyendo hacia el invierno. En la parte alta del sector norte las temperaturas máximas fluctúan en un rango de 15°C a 19°C y en los sectores central y sur, entre 13°C y 19°C, en promedio. Las zonas más elevadas mantienen los valores bajos entre 9°C a 11°C, pero con menor espacio geográfico (Mapa N° 4.7).

En cuanto a la temperatura mínima, a partir de mayo comienza la temporada de bajas temperaturas con la ocurrencia de heladas meteorológicas, asociadas a cielos despejados, menor humedad atmosférica y vientos calmos (SENAMHI, 2010). Durante el otoño, en toda la Sierra Oriental los valores promedio de tem-

peratura mínima disminuyen. En la parte baja del sector norte, la temperatura mínima fluctúa entre 7°C y 11°C; en la parte alta del sector norte, entre 3°C y 7°C; en el sector central, con mayor espacio geográfico, entre -1°C y 3°C, con extremos de -3°C a -1°C en las zonas más elevadas; y en el sector sur, con mayor área, entre -5°C y -3°C, con extremos de hasta -5°C a -9°C en la parte centro occidental y sur del departamento de Puno (Mapa N° 4.8).

Respecto a las precipitaciones, en otoño disminuyen gradualmente, siendo aún significativas las que ocurren en abril y en la primera década de mayo, en los departamentos de Piura, Cajamarca y Amazonas. Esto se debe al paulatino incremento e intensificación de los movimientos verticales descendentes asociados al brazo descendente de la circulación Hadley y a la subsidencia del Anticiclón del Atlántico Sur (AAS), que limitan el desarrollo de nubes productoras de lluvias. Los Vientos Alisios asociados al ASS migran hacia el norte en sincronía con la ZCIT.

En el sector norte, se observa una disminución abrupta de las precipitaciones de abril a mayo, como puede verse en el Mapa N° 4.9. El porcentaje estacional, respecto al acumulado anual de lluvia, es

mayor al 20% en los departamentos de Piura, Cajamarca y Amazonas; conforme se incrementa la latitud este porcentaje disminuye como puede verse en las localidades de Celendín y Huamachuco donde son 15% y 17%, respectivamente. Del mismo modo, se puede apreciar en las localidades de Chavín, Cerro de Pasco, Huayao, Marcapomacocha y Lircay, donde el porcentaje de lluvias en marzo y abril respecto al anual total, son: 17% y 10%, 15% y 8%, 15% y 7%, 17% y 7% y 15% y 8%, respectivamente (Figura N° 3.9). En la primera década de abril, las precipitaciones son todavía significativas en la Sierra de los departamentos de Áncash, Huánuco y Cerro de Pasco. En toda la región, en el mes de junio las lluvias decrecen hasta alcanzar porcentajes menores al 2% del total anual.

En los meses de mayo y junio, sobre la cota de 4000 m s. n. m. esporádicamente ocurre precipitación tipo aguanieve y nieve; algunos eventos están asociados a las Depresiones Atmosféricas de Niveles Altos (DANAs), sistemas meteorológicos de corta duración que ocasionalmente se ubica sobre el mar peruano y chileno, induciendo flujo de aire húmedo desde el norte o noreste hacia las cordilleras de la sierra oriental centro y sur.

En otoño, los vientos de componente oeste (noroeste, oeste y suroeste) de niveles medios y altos de la atmósfera y con muy poco contenido de humedad, se extienden sobre el Altiplano y la Sierra Oriental, ocasionando que los eventos de lluvias sean generalmente insignificantes y muy esparcidos. La disminución de las lluvias respecto al verano es drástica (Mapa N° 4.9). Del total anual de precipitación, en las localidades de Quinua (68 mm), Andahuaylas (64 mm), Granja Kcayra (49 mm) y Mazo Cruz (34 mm), las lluvias de otoño apenas llegan al 9%, 10%, 7% y 7%, respectivamente. En la Sierra oriental sur de las cordilleras nevadas de Urubamba, Carabaya y Apolobamba, las precipitaciones disminuyen gradualmente con la altitud. En Crucero (4183 m s. n. m.) y Macusani (4345 m s. n. m.), provincia de Carabaya, departamento de Puno, la precipitación en otoño es solo de 83 mm y 46 mm, respectivamente.

d) Selva

En otoño, la región norte de la Selva presenta temperaturas del aire máximas entre 27°C a 35°C y mínimas, entre 17°C y 25°C, como se puede ver en los Mapas N° 4.7 y Mapa N° 4.8. Al oeste, en las provincias de Bagua, Utcubamba

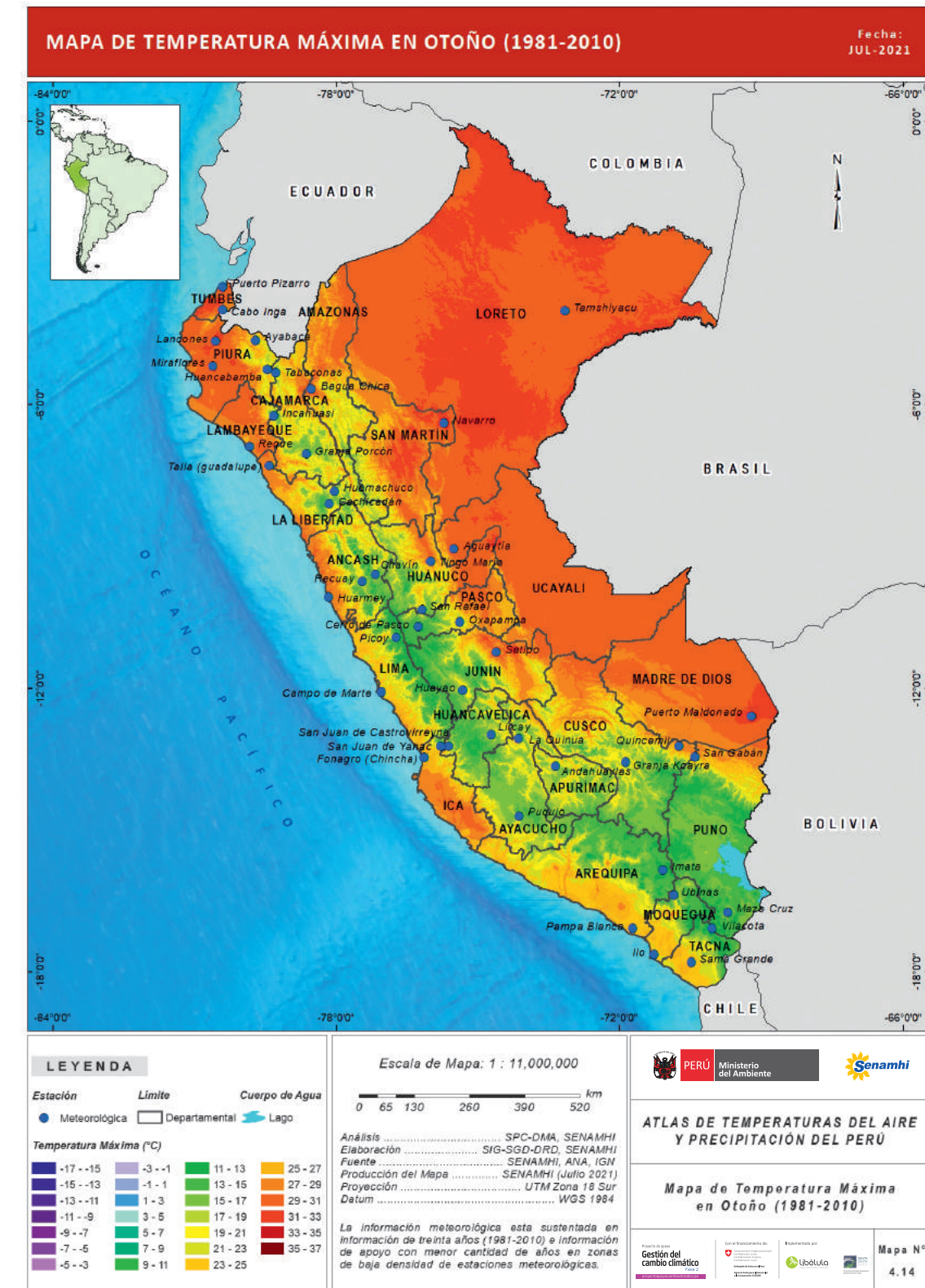
y Luya (Amazonas), Mariscal Cáceres y Tocache (San Martín), las temperaturas son más bajas con las máximas entre 27°C y 31°C y las mínimas, entre 17°C y 21°C, de acuerdo a la elevación del lugar. Mayores temperaturas se registran hacia el este, como en las provincias de Loreto, Maynas, Putumayo y Mariscal Ramón Castilla (Loreto) con valores máximos de 31°C a 35°C y mínimas de 21°C a 25°C.

En la Selva central, las temperaturas también disminuyen en esta estación; es así que en las provincias Coronel Portillo, Atalaya y Purús (Ucayali), las máximas oscilan entre 29°C y 31°C y las mínimas, entre de 19°C y 21°C. En Selva alta central, las temperaturas disminuyen aún más, encontrándose en el rango de 23°C a 27°C las máximas y de 11°C a 17°C las mínimas, como en la provincia de Oxapampa (Pasco).

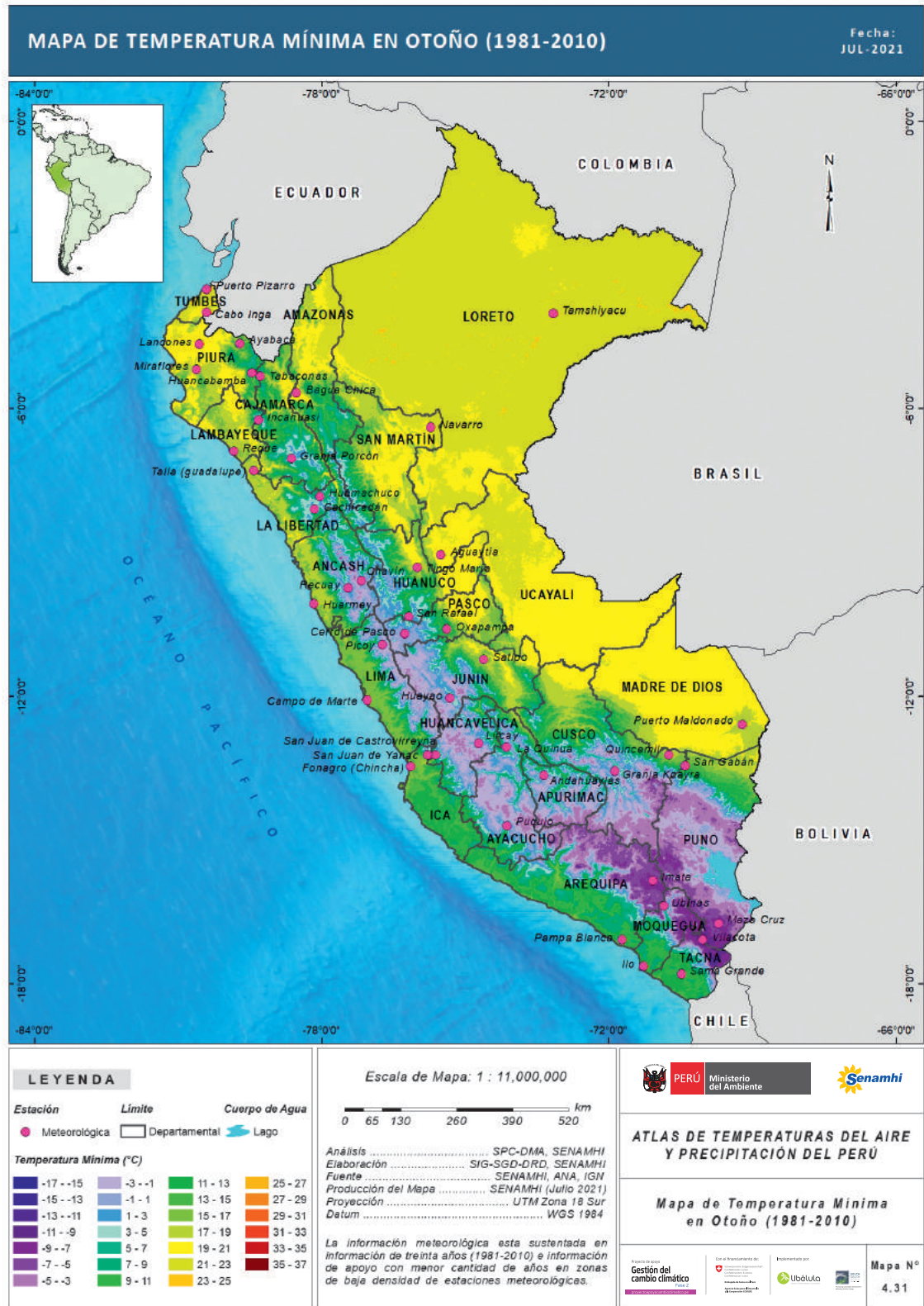
En la Selva sur, en este trimestre las temperaturas máximas se encuentran en el rango de 27°C a 31°C y las mínimas, de 17°C a 19°C. Hacia el este, en la Selva baja de la provincia de Tahuamanu (Madre de Dios), se encuentran las temperaturas más altas del sector, de 29°C a 31°C. Hacia el oeste, la Selva alta sur, en parte de las provincias de La Convención, Paucartambo, Quispicanchi

(Cusco) y Carabaya y Sandia (Puno), las temperaturas son menores que en la Selva baja sur en 4°C a 6°C.

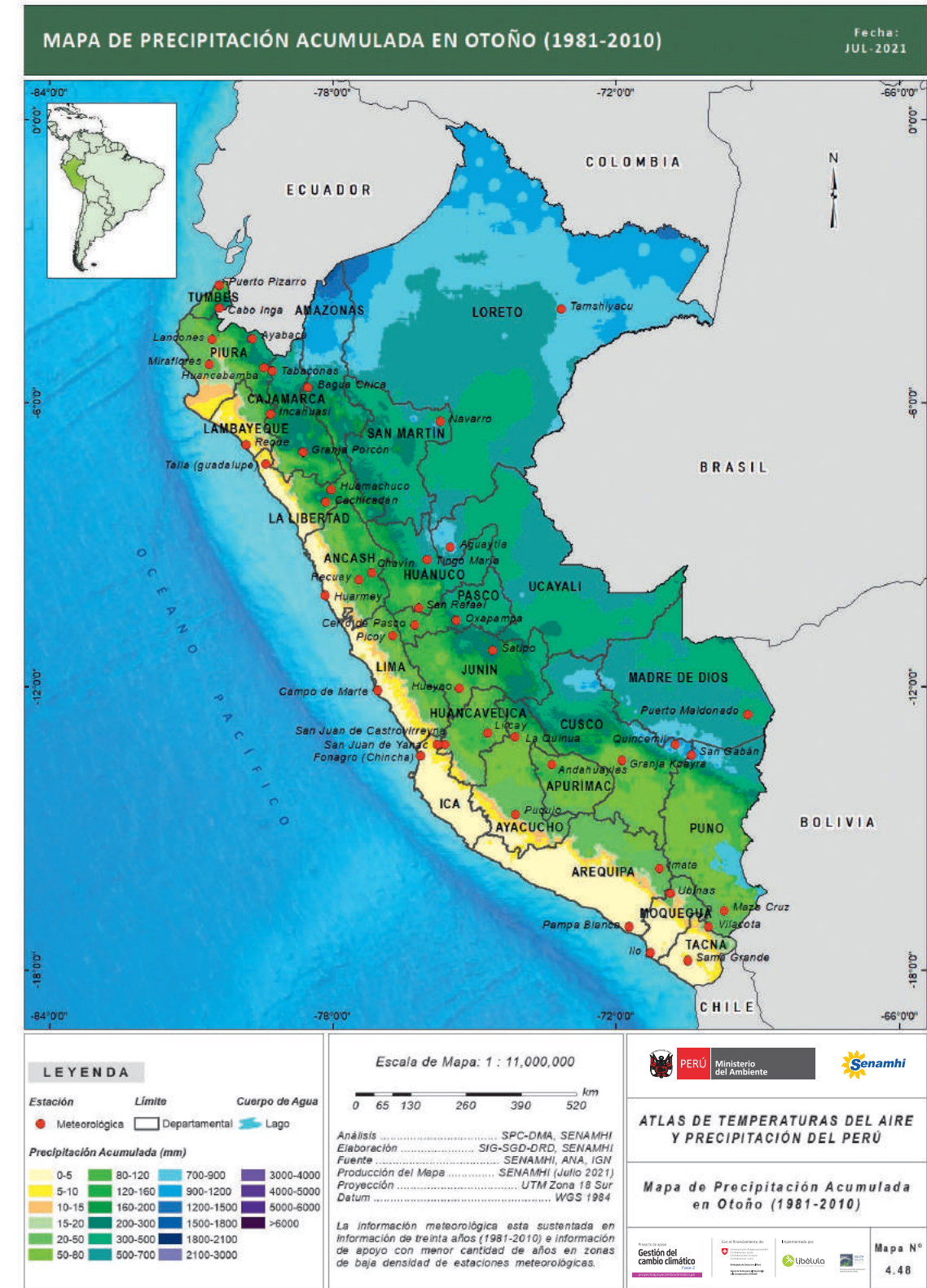
A nivel trimestral, las mayores precipitaciones, entre 700 y 1500 mm, que se registran en la Selva baja de las provincias de Putumayo, Maynas, Loreto y Datem del Marañón (Loreto) y una franja hacia el límite con la frontera de Colombia y Ecuador están influenciadas por su posición ecuatorial. En la Selva alta de las provincias de Condorcanqui (Amazonas), Leoncio Prado (Huánuco), Padre Abad (Ucayali), Paucartambo y Quispicanchi (Cusco), Carabaya (Puno) y las provincias de Manú y Tambopata (Madre de Dios), las mayores precipitaciones están bajo el Controlador Continental, la cordillera oriental de los Andes. La Selva de las provincias de Alto Amazonas, Ucayali y Requena (al sur del departamento de Loreto), departamento de San Martín y la provincia de Coronel Portillo (Ucayali), presentan valores de precipitación entre 200 y 700 mm. Desde la provincia de Atalaya (Ucayali) hasta Madre de Dios, el área es homogénea con precipitaciones entre 160 y 500 mm (Mapa N° 4.9).



Mapa N° 4.7. Mapa de Temperatura Máxima en otoño. Periodo 1981-2010



Mapa N° 4.8. Mapa de Temperatura Mínima en otoño. Periodo 1981-2010



Mapa N° 4.5. Mapa de Precipitación en otoño. Periodo 1981-2010

4.2.3. Invierno

a) Costa

Durante la estación de invierno, el departamento de Tumbes, zona central de Piura y norte de Lambayeque, presentan temperaturas máximas de 29°C a 31°C; mientras que en el área más costera de Piura y zonas sobre la cota de 600 m s. n. m., se tienen temperaturas máximas de 25°C a 29°C. Temperaturas máximas similares se presentan en la costa de Lambayeque y La Libertad, teniéndose en esta última un núcleo de 21°C a 23°C alrededor de Trujillo. Por otro lado, temperaturas mínimas en las zonas más cercanas al litoral de Tumbes alcanzan de 19°C a 2°C; al interior de Tumbes y en Piura, 17°C a 19°C; y en Lambayeque y La Libertad, entre 15°C y 17°C (Mapa N° 4.10 y Mapa N° 4.11).

En la Costa central, en las provincias de Chimbote y Casma (Áncash), se tienen temperaturas máximas de 27°C a 29°C y mínimas entre 17°C y 19°C; más hacia al sur en Huarmey, las temperaturas máximas oscilan entre 21°C y 25°C, y las mínimas, entre 15°C y 17°C. En el departamento de Lima, las temperaturas máximas se encuentren en promedio entre 21°C a 23°C en Barranca y Huacho, y entre 19°C y 21°C en la provincia de

Lima; y el afloramiento costero que se encuentra aproximadamente a los 12°S, determina que las temperaturas mínimas estén entre 13°C y 17°C (Mapa N° 4.10 y Mapa N° 4.11).

En la Costa sur, las temperaturas máximas oscilan entre 23°C y 25°C, a excepción de Yauca, Cháparra y Atiquipa, en la provincia de Caravelí (Arequipa), Ilo (Moquegua) y Pampa Blanca (Tacna) que presentan temperaturas máximas de 19°C a 23°C. Cabe señalar que, en gran parte de Ica se registran temperaturas máximas de 25°C a 29°C, mínimas de 13°C a 15°C en las zonas más cercanas al litoral de Chincha y Pisco, y de 9°C a 11°C en gran parte de Ica y Nazca. En el resto de la Costa sur, las temperaturas mínimas están entre 11°C y 15°C (Mapa N° 4.10 y Mapa N° 4.11).

En la estación de invierno la precipitación es muy escasa en la Costa norte, es la estación más seca. En Tumbes, las lluvias esporádicas bordean los 6 a 10 mm para toda la estación. En Piura, Lambayeque, La Libertad y parte de la costa central como en Huarmey (Áncash) las lloviznas son muy escasas o inexistentes, alcan-

zando menos de 1 mm. Sin embargo, en Lima, ubicada en la Costa central, las lloviznas son más frecuentes e intensas en el invierno, totalizando 5 mm para la estación, que representan el 55% de las lluvias del año.

En la Costa sur (Ica, Arequipa y Moquegua) por debajo de los 500 m s. n. m., las lloviznas presentan similar comportamiento que en el verano y otoño, alcanzando cantidades inferiores a 3 mm; sin embargo, más hacia el sur en Tacna, donde hay una mayor penetración de la brisa marítima hasta altitudes inferiores a los 1000 m s. n. m., las lloviznas son más frecuentes en la estación del invierno, llegando a acumularse entre 11 a 15 mm durante la estación, representando el 37% del total anual (Mapa N° 4.12).

b) Sierra Occidental

En los meses de invierno se manifiesta una mayor amplitud térmica entre la temperatura máxima y mínima del día, esto se debe al descenso de la temperatura mínima debido a la pérdida de energía por irradiación durante las noches, sobre todo en regiones de mayor altitud, como Imata (Arequipa) y Vilacota (Tacna) que en promedio puede descender alrededor

de -14 °C (Mapa N° 4.11). En esta época es usual que el cielo esté muy despejado durante el día y la noche debido a la predominancia de vientos del oeste y el ingreso de vientos fríos del APSO, sistema de altas presiones atmosféricas sobre el océano Pacífico sur, que en este periodo suele ser más intenso (Gilford et al., 1992).

Durante los meses de otoño e invierno, se presentan heladas mayormente de tipo radiativas que afectan a cultivos y pastizales debido al congelamiento. Ocurren en las noches despejadas con poco viento o en calma, con temperaturas del aire que caen por debajo de los 0°C, ocasionando que el balance térmico de la radiación tierra-atmósfera sea negativo porque el suelo emite mayor radiación que la recibida. Esta pérdida de energía se traduce en un enfriamiento rápido del suelo y plantas que pierden calor por radiación, provocando una inversión térmica; es decir, la temperatura del aire cerca del suelo está por debajo de 0°C, pero aumenta con la altura por encima del aire frío (FAO, 2010).

En el invierno, la precipitación se ve reducida en gran parte de Sierra Occidental, tal es así que, en la zona, central y sur de la vertiente, el porcentaje

de lluvias durante este trimestre alcanzan los 4.7%, 2.5% y 2.9%, respectivamente. Respecto a los montos de precipitación, el norte de esta región continúa presentando los mayores acumulados trimestrales en comparación con las zonas central y sur. Los montos mayores de precipitación se limitan a las zonas elevadas de la vertiente, como la Cordillera Blanca en Ancash, donde la precipitación en ese trimestre alcanza entre los 51 a 80 mm. Entre Lima y Huancavelica se presentan picos aislados con valores de hasta los 80 mm, pero en general, los montos varían entre los 4 y 5 mm en las partes bajas y, entre los 21 y 50 mm en las zonas más elevadas. En Arequipa y Moquegua las precipitaciones no sobrepasan los 50 mm en sectores altos de la cordillera; mientras que, en Tacna las precipitaciones no superan los 15 mm en este trimestre (Mapa 4.12). La disminución de las precipitaciones en esta estación está asociada al dominio de los vientos del oeste en gran parte del territorio al sur de los 10°S (Gilford, 1992; Garreaud et al., 2003). En los sectores central y sur, en esta estación se suelen presentar nevadas intensas en las zonas altas, aunque menos frecuentes que en las otras estaciones (SENAMHI, 2018) producidas por configuraciones de vaguada en altura, así como por las DANAs (SENAMHI 2018; Bonshoms et al., 2020).

c) *Sierra Oriental*

La temperatura máxima en invierno alcanza sus valores más bajos del año. La parte baja del sector norte de la Sierra Oriental, tiene los valores promedio más bajos del año en temperatura máxima, entre 17°C y 22°C; mientras que la parte alta de los sectores norte, central y sur, experimentan valores aún más bajos de temperatura máxima promedio. En la parte alta del sector norte, la temperatura máxima varía entre 14°C y 18°C y en los sectores central y sur, entre 12°C y 18°C. Las zonas más elevadas mantienen los valores bajos entre 9°C a 11°C, pero con menor espacio geográfico (Mapa N° 4.10).

Las temperaturas mínimas alcanzan sus más bajos valores en el año, ocurriendo la mayor frecuencia e intensidad de heladas meteorológicas en la región (SENAMHI, 2010) e incrementándose el rango térmico diario. La parte baja del sector norte registra temperaturas mínimas promedio entre 5°C y 11°C y la parte alta, entre 1°C y 5°C. En el sector central, donde aumenta el espacio geográfico, los valores oscilan entre -3°C y -1°C, con extremos de -5°C a -3°C en las zonas más elevadas. En el sector sur, en una mayor área, las temperaturas mínimas fluctúan entre -9°C y -5°C, con extremos

de hasta -13°C a -9°C en la parte centro occidental y sur del departamento de Puno (Mapa N° 4.11).

Las precipitaciones en invierno son escasas debido a la predominancia de los movimientos verticales descendentes (subsistencia), a la expansión de la influencia del Anticiclón del Atlántico Sur y a la intensificación del brazo descendente de la circulación meridional de Hadley, en la cuenca amazónica.

En los meses invernales, predomina el ingreso de masas de aire del este, mayormente estables y con muy poco contenido de humedad, por lo cual las cantidades de lluvia mensual es mucho menor al 10 % del total anual. En junio, julio y agosto, en las estaciones meteorológicas de la Sierra Oriental norte, Tabaconas y Huamachuco precipita 4.6%, 3.8% y 4.6% y 0.9%, 1.1% y 4.4% de sus totales anuales, respectivamente; así también ocurre en las localidades de Huancabamba y Celendín. En las estaciones meteorológicas del sector central, Chavín y Lircay reciben una precipitación de 1.0% en junio, 1.4% en julio y 4.9% en agosto; y 1.8% en junio, 2.7% en julio y 4.6% en agosto de los totales anuales, respectivamente (Mapa N° 4.12).

La precipitación estacional en La Quinua (61 mm) y Andahuaylas (57 mm), son significativamente mayores a las que se registran en las localidades de Granja Kcayra (25 mm) y Mazo Cruz (17 mm), debido a que el Altiplano y la Sierra Oriental sur de los departamentos de Apurímac y Cusco están mucho más expuestas a los vientos secos del oeste. La vertiente este de las cordilleras de Urubamba, Vilcanota, Carabaya y Apolobamba, también están afectadas por masas de aire con poco contenido de humedad, originada por la subsistencia asociada al Anticiclón del Atlántico Sur y el brazo descendente de la circulación de Hadley. Los acumulados del invierno en Crucero (46 mm) y Macusani (23 mm), representan el 6 y 3 % del total anual, respectivamente (Mapa N° 4.12). En esta estación, sobre la cota de 3800 m s. n. m. ocasionalmente ocurre precipitación tipo aguanieve y nieve; la mayoría de esos eventos están asociados a las DANAs.

d) *Selva*

En invierno, la temperatura del aire en la Selva norte fluctúa en un rango de 25°C a 35°C en las máximas y de 15°C a 23°C en las mínimas, como se puede ver en los Mapas N° 4.10 y Mapa N° 4.11. En las provincias de Bagua, Utcubamba, Luya

(departamento de Amazonas) y Mariscal Cáceres y Tocache (San Martín), las temperaturas máximas están en el rango de 27°C a 31°C y las mínimas, de 15°C a 21°C, dependiendo de la altitud del lugar. Hacia el este las temperaturas se incrementan, es así que, en la provincia de Putumayo (Loreto), las temperaturas máximas oscilan entre de 33°C y 35°C y las mínimas, entre 21°C y 23°C.

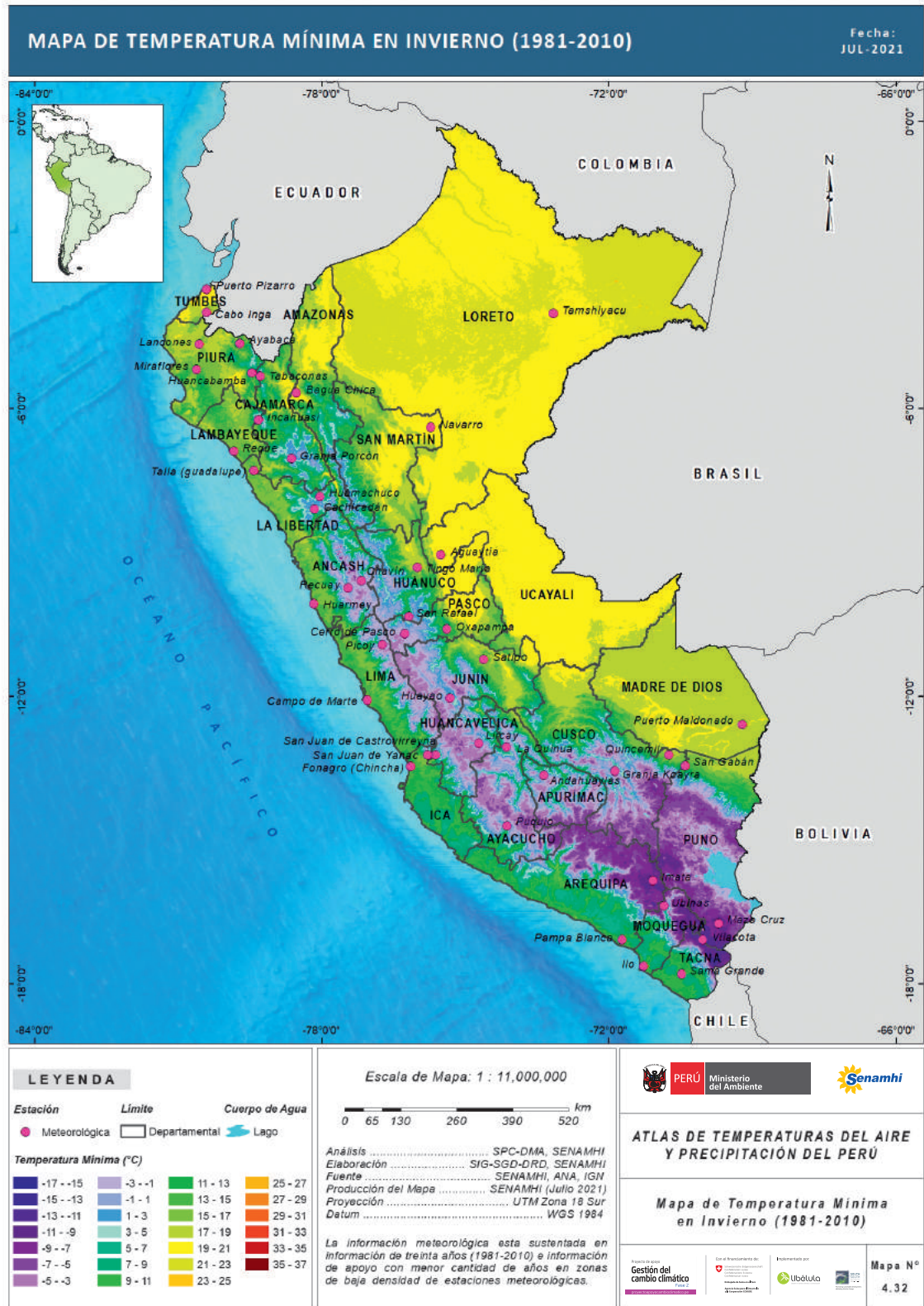
En la Selva central, en invierno las temperaturas del aire más altas se encuentran al norte del sector, como en las provincias de Padre Abad y Coronel Portillo (Ucayali) donde las temperaturas máximas son de 31°C a 33°C y las mínimas de 19°C a 21°C. En la Selva central alta las temperaturas están en el rango de 17°C a 31°C las máximas y de 13°C a 19°C las mínimas.

En la Selva sur, las temperaturas en la Selva alta como en las provincias de La Convención, Paucartambo, y Quispicanchi (Cusco) y Carabaya y Sandía (Puno), están en el rango de 23°C a 29°C en las máximas y de 11°C a 17°C en las mínimas. Hacia el este las temperaturas se incrementan; un ejemplo de ello es la provincia de Tahuamanu (Madre de Dios) donde las temperaturas máximas se encuentran en el rango de 29°C a 31°C y las mínimas, de 15°C a 17°C.

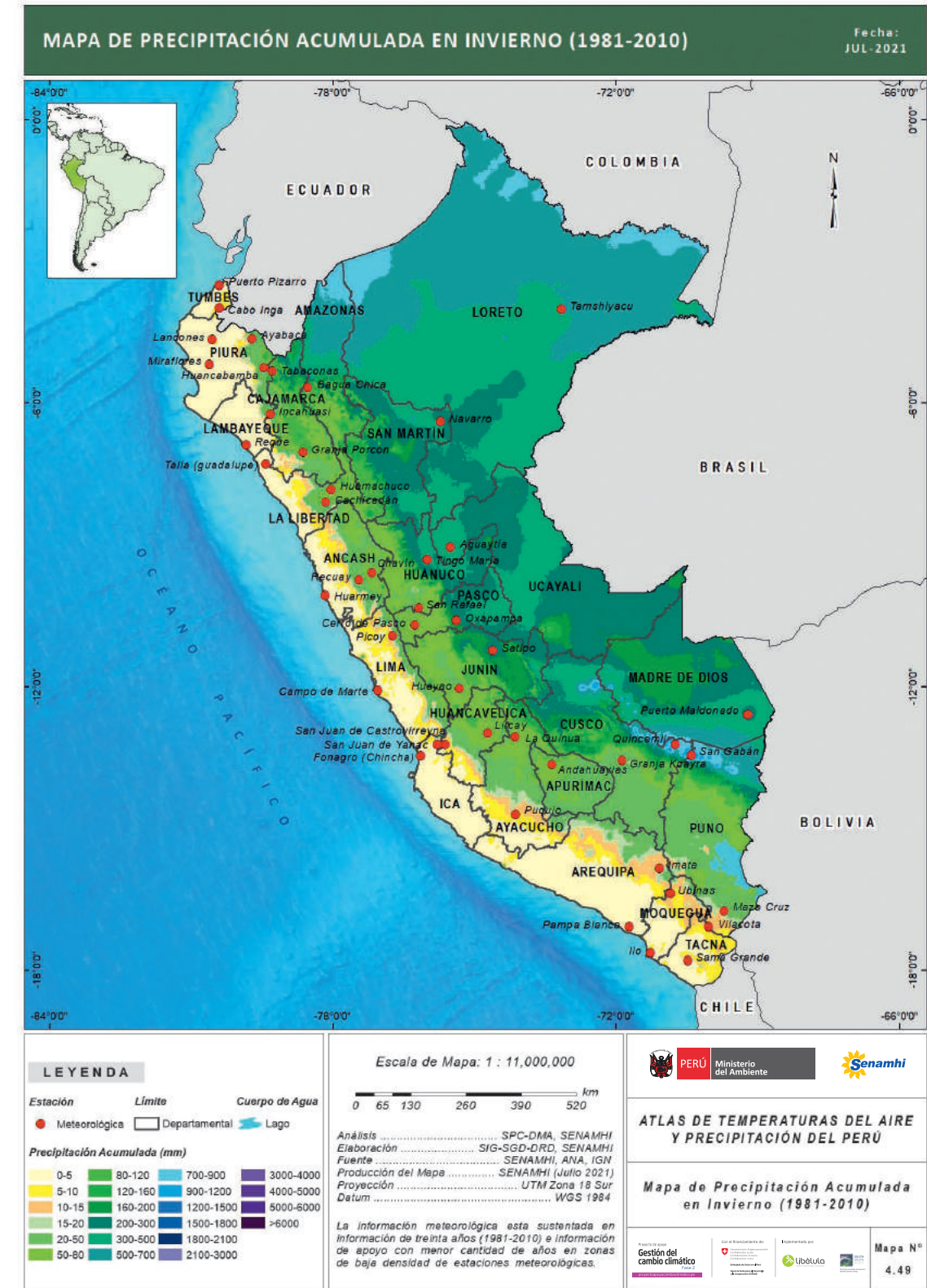
A nivel trimestral, las mayores precipitaciones, en el rango de 500 a 1100 mm, que se registran en la selva baja de las provincias de Putumayo, Maynas, Loreto, Datem del Marañón (Loreto) y una delgada franja hacia la frontera con Colombia y Ecuador están influenciadas por su posición ecuatorial. Las provincias de Alto Amazonas, Requena y Ucayali (Loreto), departamento de San Martín, las provincias de Padre Abad y Coronel Portillo (Ucayali), la provincia de La Convención (Cusco) y el departamento de Madre de Dios, presentan precipitaciones entre 300 a 700 mm. Las provincias de Atalaya y Purús (Ucayali), el noroeste de la provincia de Tambopata (límite con Ucayali), noroeste de la provincia de Manu (colindante con el departamento de Cusco) y el norte de las provincias de Sandía y Carabaya (Puno) presentan precipitaciones entre 80 y 160 mm (Mapa N° 4.12).



Mapa N° 4.10. Mapa de Temperatura Máxima en invierno. Periodo 1981-2010



Mapa N° 4.11. Mapa de Temperatura Mínima en invierno. Periodo 1981-2010



Mapa N° 4.12. Mapa de Precipitación en invierno. Periodo 1981-2010

4.2.4 Primavera

a) Costa

La primavera y el otoño son estaciones de transición, por ende, tienen similitudes en los valores de las temperaturas del aire en la Costa. En la Costa norte, Tumbes, Piura y parte de Lambayeque, presentan temperaturas máximas de 29°C a 31°C, con núcleos de 31°C a 33°C en Lancones, Sullana y Catacaos, Piura. En Chiclayo, Lambayeque y al norte de Áncash se tienen temperaturas máximas de 27°C a 29°C, con núcleos de 21°C a 27°C en Trujillo. Mientras que las temperaturas mínimas, en Tumbes y Talara presentan valores de 19°C a 21°C, en gran parte de los departamentos de Piura, Lambayeque y La Libertad, se tienen temperaturas de 17°C a 19°C, con pequeñas áreas en Chiclayo y Trujillo con temperaturas de 15°C a 17°C (Mapa N° 4.13 y Mapa N° 4.14).

En la Costa central, Áncash presenta temperaturas máximas de 27°C a 29°C y mínimas de 17°C a 19°C. En Lima, se tienen temperaturas de 23°C a 25°C, con pequeños núcleos de 21°C a 23°C en Huacho, Chilca y Mala; mientras que las temperaturas mínimas son más homogéneas, presentándose valores entre 15°C y 19°C. En la Costa sur, Ica

registra temperaturas máximas de 27°C a 29°C y mínimas, de 15°C a 19°C en la parte más cercana al litoral; y entre 29°C a 31°C y 13°C a 15°C, respectivamente, al interior del departamento. Entre Arequipa y Tacna se tienen temperaturas máximas de 23°C a 27°C y mínimas de 13°C a 19°C (Mapa N° 4.13 y Mapa N° 4.14).

En la estación de primavera, se reinician las lluvias en la costa norte. En el extremo este de Tumbes, límite con el Ecuador (Cabo Inga) las lluvias alcanzan de 51 a 80 mm en la estación; hacia la parte costera de Tumbes (Puerto Pizarro) y al norte de Piura (Lancones) las lluvias alcanzan entre 21 a 50 mm. De igual modo, al centro del departamento de Piura, las lluvias totalizan entre 11 a 15 mm; en tanto que, en Chiclayo y Trujillo, acumulan 6 a 10 mm en toda la primavera. En la costa central (Lima) y parte del sur (Ica, Arequipa y Moquegua), en altitudes menores a los 500 m s. n., las lloviznas son escasas y totalizan menos de 3 mm en la primavera; mientras que, en el extremo sur, en Tacna (Sama Grande), alcanzan de 6 a 10 mm; es decir, una cantidad similar al verano y otoño (Mapa N° 4.15).

b) Sierra Occidental

Este periodo es de transición con condiciones frías a más cálidas, lo que se observa en la temperatura mínima del aire, la cual va ascendiendo conforme avanza la estación. La amplitud térmica del día se va reduciendo con la altura, lo que se puede observar en Castrovirreyna, Huancavelica e Incahuasi, Lambayeque (Mapa N° 4.13 y Mapa N° 4.14). Las regiones ubicadas a menor altitud, no presentan mucha variación en la amplitud térmica durante el ciclo estacional anual.

En esta estación, las precipitaciones empiezan a incrementarse paulatinamente hacia los meses de verano. El porcentaje de precipitación en la Sierra Occidental norte es de 20%, respecto al total anual; mientras que, en la zona central y sur, el porcentaje alcanza el 25.2% y el 16.8%, respectivamente. La distribución espacial de la precipitación a lo largo de la Sierra Occidental un poco más homogénea en cuanto a los acumulados del trimestre. Entre Piura y Huancavelica, las zonas de mayor altitud presentan montos de hasta 500 mm, mientras que entre Ayacucho, Moquegua y Puno los acumulados trimestrales llegan a los 200 mm, y de forma localizada hasta los 300 mm. El extremo sur, presenta los menores acumulados con valores hasta los 120 mm entre Tacna y

Puno (Mapa N° 4.15). Esta estación, es de transición hacia el periodo húmedo, con precipitaciones incrementándose progresivamente a lo largo de la vertiente. Las mayores precipitaciones ocurren al norte de los 10°S por el predominio de los vientos secos del oeste al sur de dicha latitud y por la convergencia de humedad producto de las circulaciones locales en la zona norte de la Sierra occidental (Gilford, 1992). Hacia el sur, las precipitaciones son aisladas y producidas por el ingreso hacia el norte de vaguadas en altura (Gilford, 1992). Hacia fines del trimestre, los sistemas sinópticos alcanzan su posición y configuraciones típicas del verano.

c) Sierra Oriental

En primavera, se registran los valores más altos del año de las temperaturas diurnas en la región andina debido a la escasez de cobertura nubosa y aumento de la incidencia de energía solar a la superficie. La temperatura máxima en la parte baja del sector norte, fluctúa entre 21°C y 24°C y en la parte alta, entre 17°C y 21°C. En los sectores central y sur, los valores están entre 15°C y 21°C. En las zonas más elevadas, las temperaturas máximas mantienen los valores bajos entre 9°C a

11°C, pero con menor espacio geográfico (Mapa N° 4.13).

En el caso de las temperaturas mínimas, los valores aumentan paulatinamente hasta alcanzar sus máximos en verano. La parte baja del sector norte registra temperaturas mínimas promedio entre 7°C y 13°C y la parte alta, entre 3°C a 7°C. En el sector central, los registros oscilan entre -1°C a 5°C, con extremos de -3°C a -1°C en las zonas más elevadas; y en el sector sur, varían entre -1°C y 7°C, con extremos de hasta -5°C a -3°C en la parte centro occidental y sur del departamento de Puno (Mapa N° 4.14).

En la primavera, se inicia la temporada lluviosa debido por la migración de la ZCIT al sur de la línea ecuatorial, y la subsidencia asociada al Anticiclón del Atlántico Sur y a la circulación de Hadley que disminuyen gradualmente hasta desaparecer en diciembre cuando las lluvias se generalizan, indicando que en la cuenca amazónica el aire es húmedo e inestable. El flujo de aire húmedo desde la cuenca amazónica tiende a ser cada vez más persistente, siendo diciembre el mes de más lluvia en la estación. Las cantidades de lluvia al inicio de esta estación astronómica son significativas e incrementan mes a mes como puede verse en el Mapa N° 4.15. Asimismo, la

frecuencia de lluvias también se incrementa mes a mes, definiéndose el primer máximo mensual del régimen bimodal en la zona norte.

Del total anual, en primavera precipita aproximadamente el 30%, porcentaje que no dista mucho del que ocurre en verano, la estación más lluviosa y segundo máximo pluvial del régimen bimodal, como sucede en Tabaconas, Celendín y Huamachuco, donde acumulan 28%, 32% y 36%, respectivamente. En comparación con el sector norte, el porcentaje tiende a disminuir para el sector central, aproximadamente entre el 25 y 35%, para las localidades de Chavín, Cerro de Pasco, Huayao y Lircay. Los acumulados estacionales en las localidades de Quinua (233 mm), Andahuaylas (179 mm), Granja Kcayra (237 mm) y Mazo Cruz (114 mm), representan el 32%, 29%, 34% y 22% del total anual, respectivamente (Mapa N° 4.15). Esporádicamente, en el mes de setiembre ocurre precipitación tipo aguanieve y nieve, eventos que suelen estar asociados a las DANAs.

d) Selva

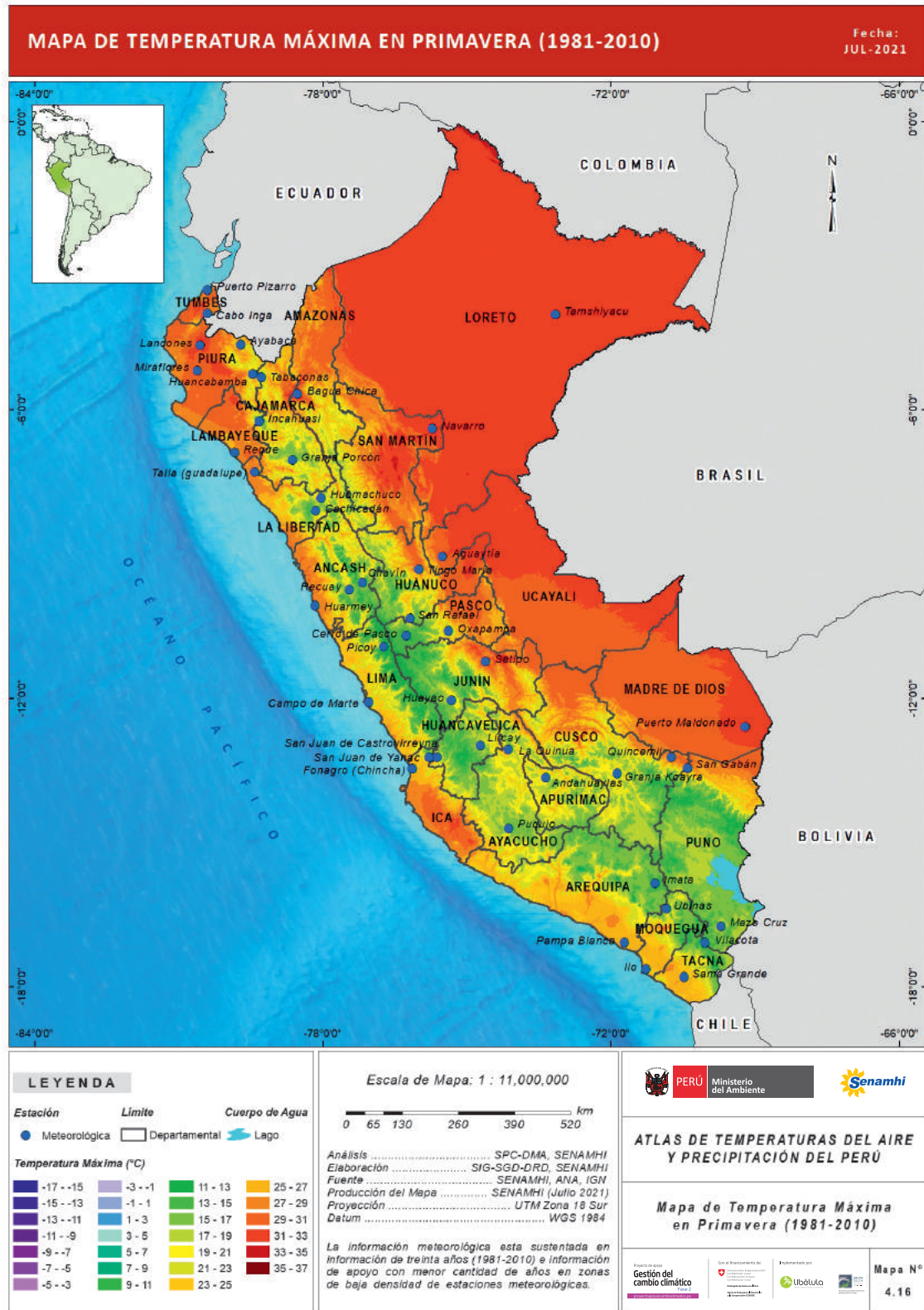
En la Selva norte, durante la primavera la temperatura máxima presenta un rango de 27°C a 35°C y la mínima, 19°C a 25°C. Se puede observar en los Mapas N° 4.13 y Mapa N° 4.14, que, en las provincias de Bagua, Utcubamba y Luya (Amazonas) y Mariscal Cáceres, Tocache y Rioja (San Martín), las temperaturas máximas están en el rango de 27°C a 33°C y las mínimas, de 19°C a 21°C las mínimas, dependiendo de la elevación del lugar. Hacia el este las temperaturas se incrementan, como en las provincias de Putumayo y Mariscal Ramón Castilla (Loreto) donde las temperaturas máximas registran de 33°C a 35°C y las mínimas, de 21°C a 23°C.

En la Selva central, las temperaturas del aire más altas se presentan al norte y este del sector; es el caso de las provincias de Padre Abad, Coronel Portillo y Purús (Ucayali) donde las temperaturas máximas son de 31°C a 33°C y las mínimas, de 17°C a 19°C. En la Selva central alta, provincias como Oxapampa (Pasco), las temperaturas máximas están en el rango de 19°C a 31°C y las mínimas, de 13°C a 21°C.

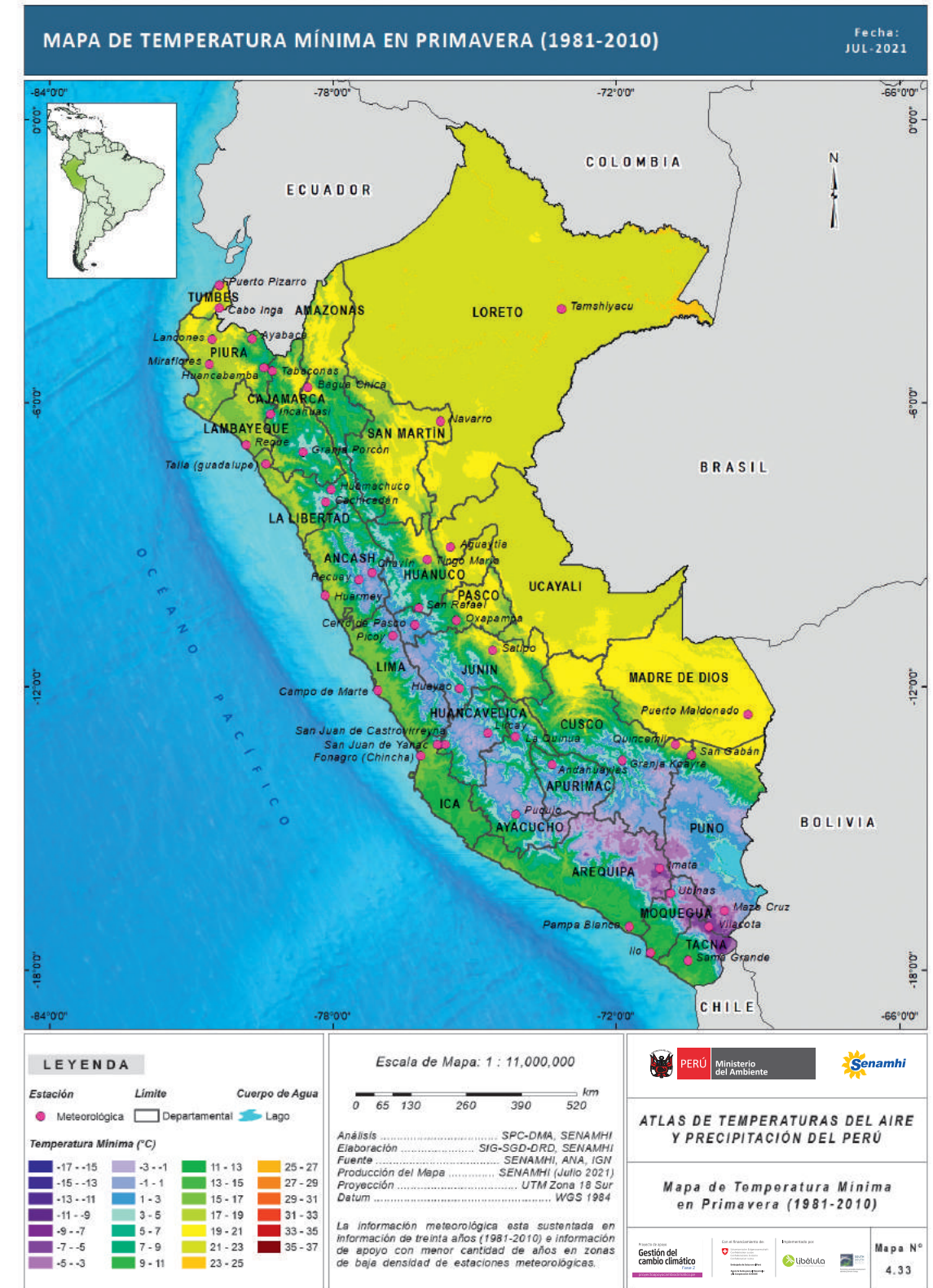
En la Selva sur, las temperaturas en la Selva alta hacia el oeste, en provincias como la Convención, Paucartambo

y Quispicanchi (Cusco) y Caraballa y Sandia (Puno), oscilan entre 25°C y 31°C las máximas y entre 13°C y 19°C las mínimas. Hacia el este las temperaturas se incrementan, pudiendo alcanzar valores máximos entre 31°C a 33°C y temperaturas mínimas de 19°C a 21°C, como en las provincias de Tambopata y Tahuamanu (Madre de Dios).

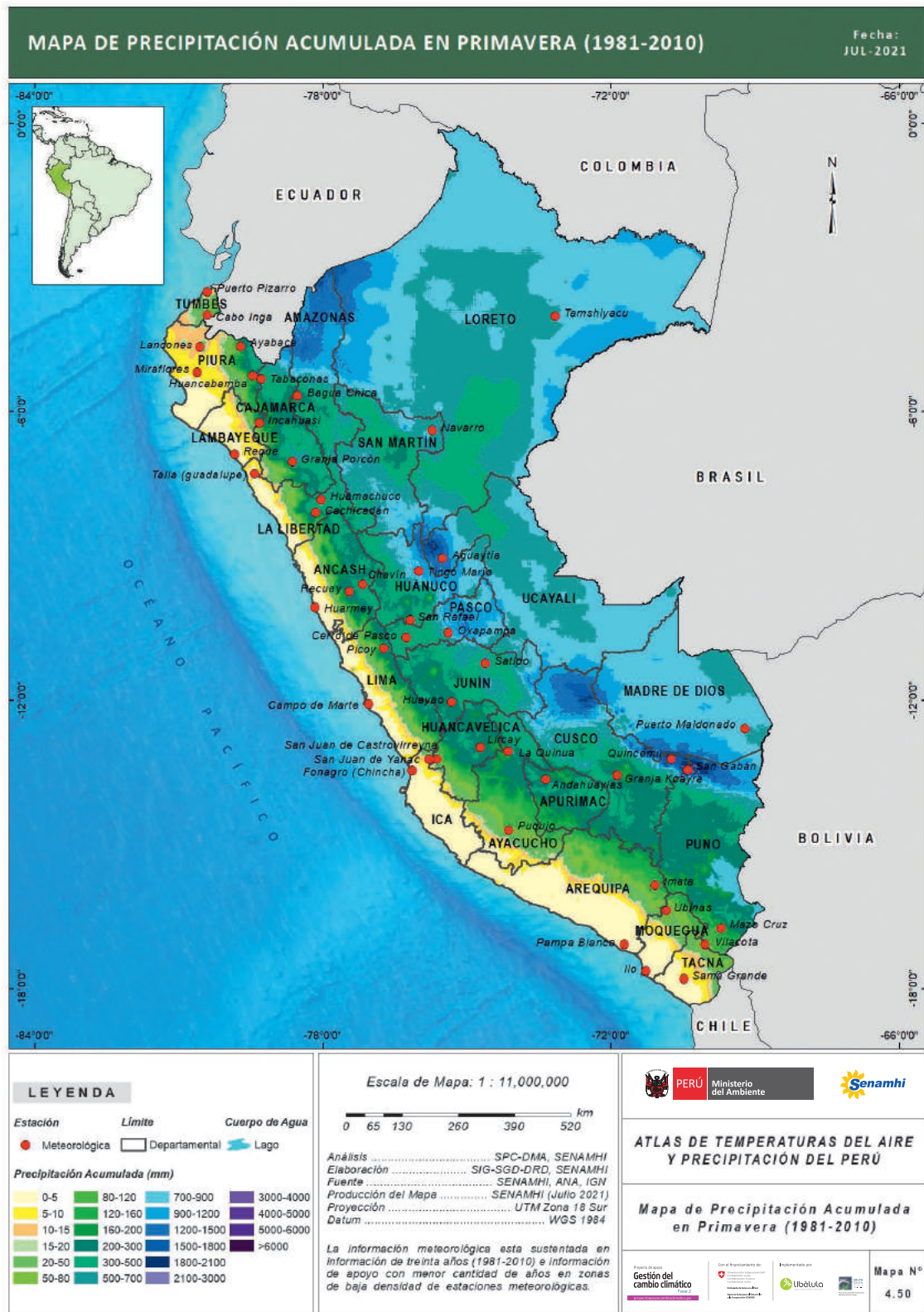
A nivel trimestral, las mayores precipitaciones, entre 700 y 1500 mm, que se registran en la Selva baja de las provincias de Putumayo, Maynas, Loreto y Datem del Marañón (Loreto) hacia el límite con la frontera de Colombia y Ecuador, están bajo el régimen de su posición ecuatorial. En la Selva alta de las provincias de Condorcanqui (Amazonas), en el límite de la provincia de Leoncio Prado (Huánuco) con la provincia de Padre Abad (Ucayali), las provincias de Paucartambo y Quispicanchi (Cusco) que limitan con la provincia de Carabaya (Puno) y las provincias de Manú y Tambopata (Madre de Dios), las mayores precipitaciones están determinadas por el Controlador Continental, la cordillera oriental de los Andes. La Selva al sur de las provincias de Alto Amazonas, Ucayali y Requena (Loreto) y los departamentos de San Martín, Ucayali y Madre de Dios, es un área homogénea con precipitaciones entre 300 y 700 mm (Mapa N° 4.15).



Mapa N° 4.13. Mapa de Temperatura Máxima en primavera. Periodo 1981-2010



Mapa N° 4.14. Mapa de Temperatura Mínima en primavera. Periodo 1981-2010



Mapa N° 4.15. Mapa de Precipitación en primavera. Periodo 1981-2010

4.3. Climatología durante eventos El Niño

La variabilidad climática interanual en el Perú está influenciada principalmente por El Niño, que reemplaza las condiciones oceánicas frías típicas de nuestro mar por condiciones cálidas, que no solo aumenta las temperaturas del aire en la costa, sino que permite la ocurrencia de lluvias intensas. Durante los eventos extremos de El Niño en los años 1983 y 1998, las lluvias intensas e inundaciones en la Costa fueron destructivas, y las altas temperaturas del mar se presentaron en el Pacífico ecuatorial oriental y central. Estos eventos de escala espacial global, están asociados al fenómeno de interacción entre la atmósfera y el océano en el Pacífico ecuatorial conocido como El Niño - Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés) y que, en sus casos más extremos, la activación de las tormentas en el Pacífico ecuatorial oriental y por consiguiente en el norte del mar peruano, es un mecanismo que les permite un mayor desarrollo (Takahashi & Dewite, 2016).

Las fases de ENSO cálidas (El Niño) y frías (La Niña) afectan el clima global a través de "teleconexiones" asociadas a las anomalías de TSM en el Pacífico

ecuatorial central, de manera que El Niño en dicha región tiende a producir condiciones más secas en la Sierra y Selva del Perú (Lavado y Espinoza, 2014; Sulca et al., 2017; Cai et al., 2020). Es así como, además de las lluvias, el evento de 1983, produjo una sequía severa en la Sierra sur, al igual que el evento de 1878 (Aceituno et al., 2009), mientras que El Niño de 2016 produjo sequías también en la Amazonía (L'Heureux et al., 2017; Jiménez-Muñoz et al., 2016). El evento "El Niño costero" de 2017 produjo fuertes lluvias, pero el calentamiento se restringió a zonas cercanas de la Costa, mientras que el Pacífico central se mantuvo relativamente frío (ENFEN 2017; Takahashi et al., 2018). Otros eventos "El Niño costero" notables fueron los de los años 1891 y 1925 (Takahashi y Martínez 2017). Debe considerarse que, asociado a El Niño, además de la influencia del océano Pacífico, también el océano Atlántico afecta la variabilidad climática, sobre todo en la región amazónica (Marengo y Espinoza 2016).

4.3.1 Precipitación

Durante el desarrollo de un episodio El Niño, dependiendo de su intensidad y temporalidad el comportamiento de las condiciones meteorológicas en el territorio nacional se alteran, provocando anomalías en el comportamiento de las lluvias y temperaturas del aire, principalmente en la vertiente occidental en los Andes peruanos (SENAMHI, 2014), las precipitaciones se intensifican en la Costa norte y dependiendo de su intensidad puede abarcar la Costa central y sur, desde Tumbes hasta Lima e Ica, favoreciendo la formación del ecosistema de Bosque estacionalmente seco de llanura, dominado por árboles espaciados de "algarrobo" y otras especies como "faique" y "sapote", con una marcada estacionalidad influenciada por el Fenómeno de El Niño (MINAM, 2019). Un efecto de los Niños excepcionales es también la formación de lagos y lagunas temporales que se forman en el desierto de Sechura, contribuyendo positivamente a la población del lugar (Woodman, 1997).

Desde 1981 a la fecha se han registrado dos grandes episodios extraordinarios de El Niño Oscilación Sur, ocurridos en los años 1982 - 1983 y 1997 - 1998, y un último evento denominado El Niño costero en 2017. Las anomalías de preci-

pitación (mm) calculadas a partir de los datos PISCO se muestran en la Figura N° 4.14.

a) El Niño 1982 - 1983

Según citas de Woodman (1997), en los últimos dos siglos, sólo el año 1925 seguido por 1891 (el más intenso del siglo pasado) compiten el calificativo de fenómenos El Niño Extraordinario. Aun así, se estima que las precipitaciones acumuladas en 1925 no llegaron ni a la mitad de lo registrado en 1983.

Horel y Cornejo Garrido (1986) afirman que los registros históricos de lluvias y caudales indican que las inundaciones en la Costa norte de Perú fueron más severas durante 1983 que en cualquier año anterior desde 1891. Se observaron por primera vez cantidades sustanciales de lluvia a lo largo de las laderas occidentales de la Cordillera de los Andes y la llanura costera del sur de Ecuador durante noviembre y diciembre de 1982, y continuó lloviendo en esta región hasta junio de 1983. En el norte de Perú, el inicio de las lluvias a lo largo de la Costa del Pacífico se retrasó hasta enero de

1983 y terminó abruptamente a mediados de junio de 1983.

En la Costa norte precipitaron alrededor de 3000 mm entre septiembre y mayo de 1983 y específicamente en Piura se presentaron los mayores núcleos durante el verano (SENAMHI, 2014). Es así que, el mes más lluvioso en la ciudad de Piura fue abril de 1983, con lluvias de 170 mm/día, acumulando 800 mm durante el mes y un total anual de 2340 mm. El caudal del río Piura alcanzó los 3500 m³/s (Woodman, 1997). En Tumbes, en la estación meteorológica Rica Playa donde el promedio multianual entre junio a mayo es de 257 mm durante los mismos meses del período 1982/83, se registró un acumulado de 5051 mm, representando una anomalía de 1860% (SENAMHI, 2009).

b) El Niño 1997 - 1998

La característica principal de El Niño 1997 - 1998, fue el excepcional incremento pluvial en la Costa peruana, sobre todo al norte, con excesos que superaron incluso a la fase setiembre-abril de El Niño 1982-1983 (SENAMHI, 2004).

Las precipitaciones acumuladas entre junio, 1997 y mayo, 1988, en la Costa norte, alcanzaron valores hasta de 3900 mm en Lancones (Piura) y en la Costa sur se presentaron acumulados significativos hasta de 45 mm en Punta Atico (Arequipa) (SENAMHI, 2009).

En el departamento de Tumbes las lluvias se iniciaron en noviembre 1997, incrementándose en febrero 1998, acumulando 701 mm en la estación meteorológica Tumbes, lo que significó 1945% de anomalía (SENAMHI, 2004).

En el departamento de Piura, las lluvias se elevaron desde diciembre 1997, alcanzando las mayores intensidades en enero, 1998. En la parte baja, los acumulados fueron de 458.7 y 773.8 mm en las estaciones Talara y Miraflores, respectivamente. En las cuencas medias como Chulucanas y Mallares, las lluvias más intensas se registraron en febrero y marzo, acumulándose 1095,2 y 692 mm, respectivamente (SENAMHI, 2004). El caudal del río Piura rompió todos los récords conocidos con 4300 m³/s, llegando a destruir dos puentes (Woodman, 1997).

El departamento de Lambayeque registró anomalías de precipitación mayores a 1500% sobre sus normales históricas en

sus zonas norte y central, con excesos mayores a 2500% sobre Reque, Chiclayo y alrededores y 3000% circunscrito a las localidades de Ferreñafe, Jayanca, Motupe, Olmos, litoral Lambayecano y límites con el departamento de Piura. Además, en la zona sureste (Nueva Arica, Oyotún, El Espinal y su periferia), se registraron lluvias en excesos mayores a 2000% sobre sus normales (SENAMHI, 2004).

c) El Niño costero 2017

En el evento El Niño Costero 2017, según reporte ENFEN (2017) se registraron lluvias frecuentes e intensas en la vertiente occidental de los Andes, principalmente en los sectores norte y central, concentradas en febrero y marzo. Ciudades como Piura, Chiclayo, Trujillo y Huarmey soportaron lluvias intensas que superaron récords históricos observados solamente en eventos El Niño extraordinarios. Durante el período crítico de lluvias intensas, se presentaron lluvias entre “fuertes” a “extremadamente fuertes”, principalmente en las zonas bajas y medias de Tumbes, Piura y Lambayeque por efecto de las altas temperaturas del mar y condiciones atmosféricas favorables.

Durante el verano del 2017, se acumularon entre 500 y 1000 mm en Tumbes, más de 1500 mm en zonas costeras de Piura, un máximo cercano a 700 mm en Lambayeque y 300 mm en la zona costera de La Libertad (SENAMHI, 2017b). Si bien los acumulados fueron menores a lo reportado en el mismo período durante los Niños de 1982 - 1983 y 1997 - 1998, en algunas localidades se ha evidenciado que el 2017 presentó acumulados que en solo 10 semanas lograron igualar aquellos registrados en el contexto de los dos eventos El Niño más intensos del siglo pasado con mayores tiempos de duración.

El desarrollo de este evento mostró cambios abruptos de las condiciones océano - atmosféricas en la región tropical del Pacífico Oriental; mientras que, en el Pacífico central (región Niño 3.4) las condiciones se mantuvieron entre ligeramente frías en diciembre a neutrales durante el verano de 2017. En la región Niño 1+2 la TSM, que presentó anomalías positivas de +0.4°C durante diciembre, alcanzó valores de +0.9°C en la segunda semana de enero y hasta +2.0°C a finales de dicho mes, con valores puntuales de +5°C y +6°C frente a las costas de Talara y Paita, respectivamente. Asimismo, la formación temprana de la segunda banda de la ZCIT favoreció el acoplamiento océano - atmósfera en la

región del Pacífico Oriental y hacia finales de enero ya se registraban lluvias de fuerte magnitud en Tumbes y Piura. En febrero, la TSM alcanzó los 28°C (con una anomalía de +1.6°C) en la región Niño 1+2 y, con valores puntuales de hasta 29°C frente a Piura. En marzo, persistieron los valores de 28°C en el Pacífico Oriental y las anomalías alcanzaron los +1.9°C. Finalmente, hacia finales de marzo e inicios de abril las aguas cálidas se replegaron hacia el norte y se observó también a disminución de las anomalías positivas de la TSM (SENAMHI, 2017b).

En cuanto a los patrones de circulación, el APSO que presentó su configuración habitual durante diciembre, se desplazó hacia el sur - oeste de su posición normal en enero y permitió el ingreso de vientos del norte hasta las costas de Lambayeque, esto, sumado al rápido calentamiento del mar propició la formación temprana de la segunda banda de la ZCIT, la cual se mantuvo desplazada al sur de su posición habitual hasta la primera quincena de marzo, posicionándose hasta los 10°S frente a las costas de La Libertad y Áncash. Hacia finales del verano, la migración hacia el norte y la intensificación del APSO apoyaron la persistencia de los vientos del sur y con ello el desplazamiento hacia el norte de la segunda banda de la ZCIT (SENAMHI 2017b).

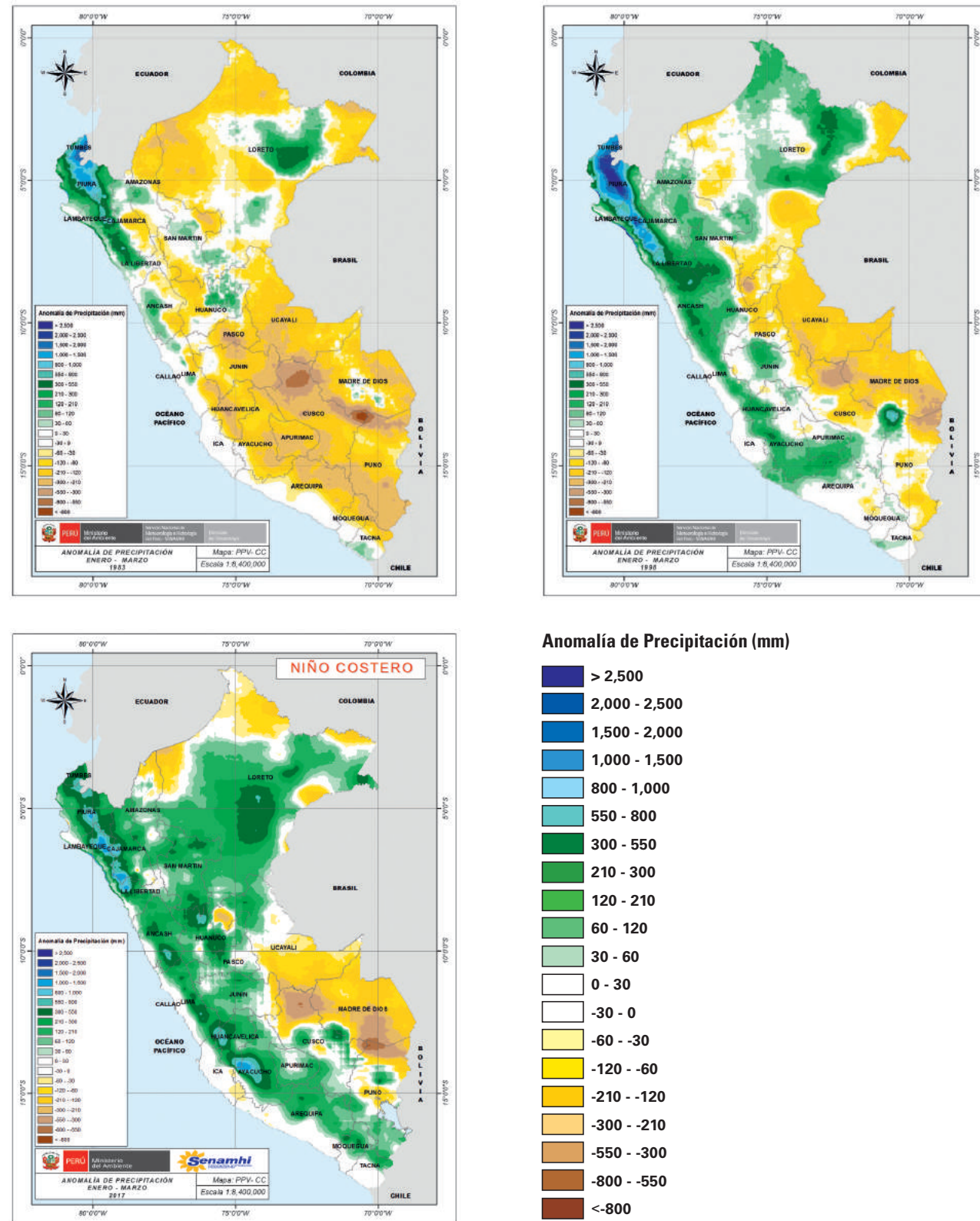


Figura N° 4.14. Anomalia de la precipitación (mm) para el verano de a) 1983, b) 1998 y c) 2017 calculadas con los datos del PISCO (Aybar et al., 2017)

5. ANEXOS

5.1 Lista de estaciones meteorológicas

5.2 Tabla de normales climatológicas



Enlace de anexos:

<https://www.senamhi.gob.pe/pdf/anexos-atlas-climatico.pdf>

6. GLOSARIO

Advección: Transporte predominantemente horizontal de calor (temperatura) o humedad por el viento.

Afloramiento: Ascenso del agua subsuperficial desde las capas profundas hacia las capas superficiales. En el océano el afloramiento se produce a lo largo de la costa y del ecuador debido a la remoción de aguas superficiales a causa de los vientos. Como consecuencia del afloramiento aguas frías y ricas en nutrientes emergen de las profundidades frente a las costas de Perú.

Alta presión: Región de la atmósfera donde la presión atmosférica en un nivel es mayor con relación a su contorno al mismo nivel, está asociado a subsidencia.

Baja presión: Región de la atmósfera donde la presión atmosférica en un nivel es menor en relación a su contorno al mismo nivel, está asociado a convección.

Barlovento: El lado de ceñida o el lado directamente influenciado por el viento, por ejemplo, la ladera de una cordillera que está expuesta al VIENTO PREVALENTE. Es lo opuesto al sotavento.

Brisas de valle y montaña: Sistema de vientos diurnos que soplan a lo largo del eje de un valle, por el día subiendo desde el valle, por la pendiente hacia la parte alta de montaña y por la noche bajando por la pendiente y el valle.

Calor latente: Es la cantidad de calor absorbido o liberado en las transformaciones de la sustancia agua en hielo, agua líquida y vapor de agua.

Calor sensible: Es la energía retenida por un cuerpo, en forma de calor que se puede monitorear o medir mediante termómetros.

Capa límite atmosférica: Es la capa más profunda de la tropósfera que está en contacto con la superficie de la Tierra. Esta capa suele ser turbulenta y está limitada por una capa estable de aire o inversión de temperatura. La altura de esta capa es varía en el tiempo y en el espacio, pudiendo extenderse desde decenas de metros en condiciones estables, hasta varios kilómetros en condiciones inestables.

Célula de Hadley: La circulación en cada hemisferio consiste en un movimiento del aire en niveles bajos hacia el ecuador, desde aproximadamente los 30° de latitud hasta el ecuador, ascenso del aire cerca del ecuador (Zona de Convergencia Intertropical, ZCIT), flujo hacia el polo en los niveles altos desde el ecuador hasta los 30° y movimiento descendente del aire cerca de los 30°.

Cinturón de altas presiones: Serie de núcleos de alta presión, en ambos hemisferios, alineados siguiendo aproximadamente los 35° de latitud. Los ejes de cada cinturón experimentan un débil desplazamiento meridiano anual.

Circulación sinóptica: Movimiento de la atmósfera por encima de la superficie de la Tierra que indica la distribución de los elementos atmosféricos y los parámetros derivados en las cartas sinópticas.

Coefficiente de determinación: Coeficiente de determinación o R^2 , se puede interpretar como la proporción de la variación de la predicción que se describe o explica por la regresión. Un análisis de regresión puede cuantificar la naturaleza y la fuerza de una relación entre dos variables, pero no puede indicar sobre qué variable causa la otra. Para una regresión

perfecta, $R^2 = 1$. Para una regresión completamente inservible, $R^2 = 0$.

Convección: Movimiento ascendente del aire provocado principalmente por el efecto de calentamiento que ocasiona la radiación solar en la superficie terrestre. Este fenómeno origina la formación de nubes de tipo cúmulos, los cuáles se pueden convertir en cumulonimbos (nubes de tormenta) si la convección es muy fuerte.

Cordilleras: Serie de montañas enlazadas entre sí.

Corrientes marinas: También denominadas corrientes oceánicas, son movimientos de las aguas del océano y de mares extensos, caracterizados por su regularidad, de naturaleza cíclica o, como una corriente que fluye a lo largo de un camino ya definido. Estas corrientes tienen como una de sus principales causas el movimiento terrestre y los vientos planetarios, así como la configuración de las costas y la ubicación de los continentes.

Corrientes superficiales: Son corrientes en la superficie de los océanos, las cuales son el resultado de varios procesos, especialmente de la fuerza del viento que actúa en la superficie del agua y de las diferencias de densidad. Un ejemplo

de estas corrientes son la corriente de Humboldt, la del Golfo y las corrientes Ecuatoriales.

Dorsal: Un área alargada de presión atmosférica relativamente alta en relación a las regiones vecinas, claramente identificada como un área con una forma aproximada de U cuya concavidad está dirigida hacia el anticiclón.

Error absoluto medio: El error absoluto medio (MAE, por sus siglas en inglés) es una de las medidas escalares de precisión de pronóstico para predicciones continuas más comunes de usar. El MAE es el promedio aritmético de los valores absolutos de las diferencias entre los valores observados y estimados. El MAE es cero si los pronósticos son perfectos y aumenta a medida que aumentan las discrepancias entre los pronósticos y las observaciones.

Error medio cuadrático: Es la raíz de la diferencia cuadrática promedio (RMSE, por sus siglas en inglés) entre los pares de pronóstico y observación. Esta medida es similar al MAE excepto que se usa la función de cuadratura en lugar de la función de valor absoluto. Por lo que el RMSE aumenta desde cero para pronósticos perfectos hasta mayores valores positivos a medida que

las discrepancias entre pronósticos y observaciones se vuelven cada vez más grandes.

Estabilidad atmosférica: Es el estado atmosférico en la cual las parcelas de aire húmedo no ascienden como para formar nubes productoras de lluvia.

Estacionalidad: La estacionalidad en este contexto se refiere a la variación aproximadamente regular de las variables de precipitación y temperatura que se evidencia durante el año; en el país tenemos dos periodos bien marcados que son: la temporada de bajas temperaturas que inicia en mayo y culmina en agosto, esta temporada coincide con el periodo de estiaje; también tenemos a la temporada húmeda o temporada de lluvias que inicia en setiembre y culmina en abril del siguiente año.

Estaciones astronómicas: Existen cuatro estaciones astronómicas durante el año. En el hemisferio sur cuando el sol está directamente sobre la línea ecuatorial (equinoccio) ingresamos a las estaciones de otoño (marzo) y primavera (setiembre); mientras que, cuando el sol está directamente sobre los trópicos (solsticio) de Cáncer y Capricornio se dan inicio a las estaciones de Invierno (junio) y verano (diciembre), respectivamente.

Es preciso mencionar que las estaciones astronómicas serán las mismas para la costa, sierra y selva del país con sus respectivas características climáticas de cada región.

Este tropical de niveles medios: Vientos del este de gran extensión vertical en la zona ecuatorial tropical donde confluyen los alisios de los dos hemisferios.

Estratocúmulos: Banco, manto o capa de nubes grises o blanquecinas, con contornos redondeados y situados en el nivel bajo. Elementos dispuestos de forma armoniosa. Anchura: 5 a 10° (5 dedos).

Friajes: Disminución brusca de la temperatura del aire en la Amazonía, asociado a una masa de aire frío, procedente del sur del continente. Este aire frío llega a la selva e ingresa por la región de Madre de Dios, desplazándose progresivamente hacia la selva central y norte. Los friajes están asociados al incremento de la velocidad del viento y la lluvia, sobre todo con el descenso repentino de la temperatura. Suelen presentarse entre los meses de mayo a octubre; sin embargo, se han registrado casos aislados en el verano.

Gradiente de temperatura: Es la diferencia de temperatura entre un lugar y otro en la dirección horizontal o vertical, usualmente se mide en °C/Km °C/m.

Humedad atmosférica: Contenido de vapor de agua en el aire. Se expresa como humedad absoluta, específica o razón de mezcla. Generalmente hablamos de humedad relativa, la cual indica el grado de saturación de la atmósfera, es decir, qué tan cerca o lejos está el vapor de agua que hay en el aire del punto de condensación. La humedad relativa se expresa en porcentaje (%).

Inestabilidad atmosférica: Es el estado Atmosférico en la cual las parcelas de aire húmedo ascienden lo suficiente como para formar nubes productoras de lluvia.

Inversión térmica: Distribución vertical de la temperatura de modo que esta aumente con la altitud.

Latitud: La distancia angular de un punto en la superficie de la Tierra al norte o al sur del Ecuador. (latitud 0 °). Es un factor importante, junto con la inclinación de la Tierra sobre su eje (ver inclinación axial), en la mala distribución de la radiación solar en todo el mundo.

Longitud: Distancia angular medida en grados sobre el ecuador entre el meridiano de un punto y otro de referencia, actualmente el que pasa por Greenwich.

Masas de aire: Volumen extenso de la atmósfera cuyas propiedades físicas, en particular la temperatura y la humedad en un plano horizontal, muestran sólo diferencias pequeñas y graduales. Una masa puede cubrir una región de varios millones de kilómetros cuadrados y poseer varios kilómetros de espesor. El aire, en consideración, forma, lo que se llama "masa de aire".

Modelo de elevación digital: Los modelos digitales de elevación (DEM, por sus siglas en inglés) son conjuntos de valores de elevación espaciados regularmente referenciados horizontalmente a una proyección Universal Transverse Mercator (UTM) o un sistema de coordenadas geográficas. Las celdas de la cuadrícula están espaciadas a intervalos regulares a lo largo de perfiles de sur a norte que están ordenados de oeste a este.

Modelo estadístico: Un modelo estadístico es una combinación de inferencias basadas en datos recopilados y comprensión de la variable de estudio que se utiliza para predecir la información en una forma idealizada. Un modelo

estadístico puede ser una ecuación o representación matemática derivada del análisis estadístico.

Montañas: El término montaña proviene del latín mons. En geografía, una montaña o un monte es un conjunto de rocas, tierra, piedras y, en su caso, lava, que forman una elevación natural de gran altura y de grandes dimensiones (mayor de 700 m) sobre el terreno. Al conjunto de montañas se le denomina cordillera, si es de forma longitudinal, o macizo, si es de forma más compacta o circular, aunque los volcanes no se agrupan ni en cordilleras ni en macizos.

Neblinas: Una suspensión en el aire que consiste en gotitas de agua microscópicas o partículas higroscópicas húmedas, que reduce la visibilidad en la superficie de la Tierra a no menos de 1 km (0,62 millas).

Nieblas: Gotas de agua suspendidas en la atmósfera en las proximidades de la superficie terrestre que afectan la visibilidad. Según la definición internacional, la niebla reduce la visibilidad por debajo de 1 km (0,62 millas). La niebla se diferencia de las nubes porque la base de la niebla está en la superficie de la tierra mientras que las nubes están por encima de la superficie.

Precipitación orográfica: Precipitación provocada o potenciada por uno de los mecanismos de elevación orográfica del aire húmedo. Muchos de los ejemplos clásicos de lugares que tienen una precipitación anual excesiva se encuentran en las laderas de barlovento de las montañas que enfrentan un viento constante de un océano cálido. Como otro ejemplo, los estratos orográficos de invierno (nubes de capa) a menudo producen el principal suministro de agua para las regiones semiáridas pobladas. La precipitación orográfica no siempre se limita al terreno ascendente, sino que puede extenderse una cierta distancia a barlovento de la base de la barrera (efecto de barlovento) y una corta distancia a sotavento de la barrera (desbordamiento). El lado de sotavento con respecto al flujo húmedo predominante se caracteriza a menudo como la sombra de la lluvia seca.

Precipitación convectiva: Precipitación causada por movimientos convectivos en la atmósfera. Formando partículas de precipitación en la corriente ascendente activa de una nube cumulonimbus, que crecen principalmente por la colección de gotitas de nubes (es decir, por coalescencia y / o borde) y caen no lejos de su corriente ascendente de origen.

Ráster: Un ráster es una matriz de celdas, también denominadas píxeles, organizadas en filas y columnas y que cubren alguna región del mundo (o incluso el mundo entero). Cada celda de una matriz representa una unidad de área cuadrada y contiene un valor numérico que es una medida o una estimación correspondiente a esa ubicación.

Regiones naturales del Perú: Las ocho regiones naturales del Perú es una tesis del geógrafo peruano Javier Pulgar Vidal formulada en 1938, dicho autor busca hacer una división sistemática del Perú en regiones naturales de acuerdo a pisos altitudinales, flora y fauna.

Regresión lineal múltiple: La regresión lineal múltiple es la situación más general de regresión lineal. Al igual que en el caso de la regresión lineal simple, busca resumir la relación entre las variables, también existe un único predictante pero a diferencia de la regresión lineal simple, en la regresión lineal múltiple hay más de un predictor.

Residuos: También llamados errores o residuales, indica las distancias entre los valores observados y estimados, se definen que hay un residuo para cada par de estos valores en la regresión. Donde

los pronósticos son más pequeños que las observaciones se considera que tienen errores negativos, y viceversa.

Satélite meteorológico: Satélite artificial de la Tierra que efectúa observaciones meteorológicas y las transmite a la Tierra. Puede recoger también información meteorológica procedente de plataformas y distribuirla a estaciones terrestres.

Sotavento: El lado a favor del viento o lado de espaldas al viento. Por ejemplo, el lado de una cadena de montañas que es resguardado del VIENTO PREVALENTE, como la región patagónica en América del Sur, que se encuentra en el lado de sotavento de los Andes, y por lo tanto está protegido de los vientos del oeste de latitudes medias.

Subsidencia: Lento movimiento descendente del aire desde la parte alta de la tropósfera hacia niveles más bajos, lo que ocasiona un incremento de la presión y ausencia de humedad y lluvias

Temperatura superficial del mar (TSM): Temperatura de la superficie del océano. Este término hace referencia a la temperatura representativa de unos pocos metros superiores del océano.

Transformación logarítmica: Es una de las transformaciones más comunes a los datos para obtener propiedades estadísticas deseadas de normalidad o varianza constante. Los datos en su estado inicial, no necesariamente tendrán estas propiedades estadísticas que son requeridos para aplicar un modelo de regresión lineal. La base del logaritmo puede ser 2, 10 o la constante logarítmica natural, la elección de la base es en gran medida una cuestión de interpretación conveniente.

Tropicalización: En el contexto del documento se refiere a "dar el carácter propio del clima tropical (muy cálido, húmedo y lluvioso) a zonas y/o ambientes que de por sí no lo tienen".

Vaguada: Un área alargada de presión atmosférica relativamente baja en relación a las regiones vecinas, claramente identificada como un área con una forma aproximada de U cuya concavidad está dirigida hacia las bajas presiones.

Variabilidad climática: Variaciones del estado medio y a otras características estadísticas (desviación típica, sucesos extremos, etc.) del clima en todas las escalas espaciales y temporales (años o interanuales, estaciones o intraestaciones, etc.) más amplias que

las de los fenómenos meteorológicos. (IPCC, 2013). Por lo tanto, la variabilidad climática se refiere a todas las variaciones del clima que estén por encima o debajo de sus valores promedios.

Viento: Aire en movimiento, a causa de los contrastes de presión atmosférica; sus datos básicos son los de dirección y velocidad o, para los marinos, con referencia a la escala de Beaufort o a alguna de sus variantes, fuerza. Las velocidades varían desde las rayanas con la calma (5 km/h.) a las huracanadas que exceden los 115 km/h. para alcanzar los máximos girando, excepcionalmente, a más de 400 km/h. en los tornados

Vórtices ciclónicos: El vórtice ciclónico de altos niveles son definidos como sistemas sinópticos cerrados de baja presión que se forman en alta troposfera, comúnmente llamadas bajas frías, pues presentan centro más frío que la periferia, están confinadas en altos niveles (encima de 5000 m de altura).

Vorticidad: Es una medida del giro o del movimiento circular que un fluido como el aire tiene al moverse.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aceituno, P.; del Rosario Prieto; M., Solari; M. E., Martínez; A., Poveda; G. y Falvey, M. (2009). The 1877-1878 El Niño episode: associated impacts in south America. *Climatic Change*, 92(3-4), 389-416.
- Agnew, M.D. y J. P. Palutikof. (2000). GIS-based construction of baseline climatologies for the Mediterranean using terrain variables. *Climate Research*, 14: 115-127.
- Autoridad Nacional del Agua-ANA, (2016). Priorización de Cuencas para la Gestión de los Recursos Hídricos. Ministerio de Agricultura y Riego - MINAGRI. Lima. (Hastenrath, 1991).
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2018). Inventario Nacional de Glaciares. Las cordilleras glaciares del Perú.
- Aybar, C.; Lavado-Casimiro, W.; Huerta, A.; Fernández, C.; Vega, F.; Sabino, E. & Felipe-Obando, O. (2017) Uso del Producto Grillado "PISCO" de precipitación en Estudios, Investigaciones y Sistemas Operacionales de Monitoreo y Pronóstico Hidrometeorológico. Nota Técnica 001 SENAMHI-DHI-2017, Lima-Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.12542/260>
- Barreto, C. (2016) Comportamiento de la Alta de Bolivia hacia finales del siglo XXI bajo el escenario de emisión RCP8.5. Tesis Ing. Meteorólogo, Universidad Nacional Agraria La Molina - UNALM. Lima, (p. 18).
- Barry R. G. y R. L. Chorley. (1998). *Atmósfera, Tiempo y Clima* (Séptima Edición). Ediciones Omega, S. A. Plató, 26 - 08006 Barcelona.
- Bonshoms M.; F. J. Álvarez García; J. Úbeda; W. Cabos; K. Quispe; G. Liguori. (2020). Dry season circulation-type classification applied to precipitation and temperature in the Peruvian Andes. *Int J Climatol*. 2020;1-19. DOI: 10.1002/joc.6593.

- Cai, W.; B. Dewite; L. Wu; A. Santoso; K. Takahashi; Y. Yang; A. Carreric; M. J. McPhaden. (2018). Increased variability of eastern Pacific El Niño under greenhouse warming, *Nature*, doi:10.1038/s41586-018-0776-9.
- Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN). (2012). Definición operacional de los eventos el Niño y la Niña y sus magnitudes en la costa del Perú. Disponible en: <http://enfen.gob.pe/download/icen-nota-tecnica-definicion-operacional-de-los-eventos-el-nino-y-la-nina-y-sus-magnitudes-en-la-costa-del-peru/>
- Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN). (2017). Informe Técnico Extraordinario N°001-2017/ENFEN: EL NIÑO COSTERO 2017. Estudio Nacional del Fenómeno “El Niño”.
- La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2016). Los bosques y el cambio climático en el Perú. Documento de trabajo catorce. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Disponible en: www.fao.org/3/i5184s/i5184s.pdf
- Funk, C.C.; P. J. Peterson; M. F. Landsfeld; D. H. Pedreros; J. P. Verdin; J. D. Rowland; B. E. Romero; G. J. Husak; J. C. Michaelsen; A. P. Verdin. (2014). A quasi-global precipitation time series for drought monitoring: U.S. Geological Survey Data Series 832, 4 p., <https://dx.doi.org/10.3133/ds832>.
- Funk, C.C.; P. J. Peterson; M. F. Landsfeld; D. H. Pedreros; J. P. Verdin; J. D. Rowland; S. Shukla; G. J. Husak; J. C. Michaelsen; A. P. Verdin; L. Harrison; A. Hoell. (2015). The Climate hazards infrared precipitation with stations- a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific data*, Climate change impacts.
- Garreaud, R; M. Vuille; A. C. Clement. (2003). The climate of the altiplano: observed current conditions and mechanisms of past changes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 194, 5–22, doi:10.1016/S0031-0182(03)00269-4.

- Garreaud, RD; M. Vuille; R. Compagnucci; J. Marengo. (2009). Present-day south american climate. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 281, 180–195, doi: 10.1016/j.palaeo.2007.10.032.
- Gilford, M. T. et al., (1992). South America South of the Amazon River. A Climatological Study. USAFETAC/TN—92/004.
- Hengl, T.; G. Heuvelink; D. G. Rossiter. (2007). About regression-Kriging: from equations to case studies. *Comput. Geosci.* 33 (10).
- Hengl, T., (2007). A Practical Guide to Geostatistical Mapping of Environmental Variables, Luxembourg: Office for Official Publication of the European Communities.
- Horel, J.D. y A. Cornejo-Garrido. (1986). Convection along the coast of Northern Peru during 1983. Spatial and temporal variation of clouds and rainfall. *Am. Meteorological Society*. Vol 114. 2091-2105.
- Imfeld, N.; C. Barreto Schuler; K. M. Correa Marrou; M. Jacques-Coper; K. Sedlmeier; S. Gubler; A. Huerta; S. Brönnimann. (2019). Summertime precipitation deficits in the southern Peruvian highlands since 1964. *Int J Climatol.* 2019;39:4497–4513. DOI: 10.1002/joc.6087.
- Instituto Geográfico Nacional (IGN). (2015). Historia del Instituto Geográfico Nacional. Disponible en: https://www.ign.gob.pe/wpcontent/themes/pinboard/descargas/LIBROIGN/LIBRO_IGN.pdf
- Instituto Geográfico Nacional (IGN). (1992). Atlas Geográfico del Perú.
- Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA). (1995) Mapa Ecológico del Perú. Guía Explicativa.
- Jiménez-Muñoz, J. C.; C. Matar; J. Barichivich; A. Santamaría-Artigas; K. Takahashi; Y. Malhi; G. Van Der Schrier. (2016). Record-breaking warming and extreme drought

- in the Amazon rainforest during the course of El Niño 2015–2016. *Scientific reports*, 6, 33130.
- Junquas, C; Takahashi, K; Condom, T; Espinoza, JC; Chavez, S; Sicart, J; Lebel, T. (2017). Understanding the influence of orography on the precipitation diurnal cycle and the associated atmospheric processes in the central Andes. *Clim Dyn*, doi:10.1007/s00382-017-3858-8.
 - Kaser, G. (2001). Glacier-climate interaction in low latitudes. *Journal of Glaciology*, 47 (157), 195–204.
 - Kämpf, J. y P. Chapman. (2016) *Upwelling Systems of the World*.
 - Kohler, T.; A. Wehrli; M. Jurek (Eds). (2014). *Mountains and climate change: A global concern*. Sustainable Mountain Development Series. Bern, Switzerland.
 - Lavado – Casimiro, W. S., y J.C. Espinoza (2014) Impactos de El Niño y La Niña en las lluvias del Perú (1965-2007), *Revista Brasileira de Meteorología*, aceptado.
 - Lenters, J. D. y K.H. Cook, KH. (1999). Summertime precipitation variability over South America: role of the large-scale circulation. *Mon. Wea. Rev.*, 127, 409–431.
 - L’Heureux, M. L; K. Takahashi; A. B. Watkins; A. G. Barnston; E. J. Becker; T. E. Di Liberto; A. T. Witenberg. (2017). Observing and predicting the 2015/16 El Niño. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98(7), 1363-1382.
 - Marengo, J. (1983). Estudio Sinóptico-Climático de los Friajes (Friagems) en la Amazonia Peruana (en línea). *Revista Forestal del Perú* 12(1-2):1-26. Disponible en [http://cedinfor.lamolina.edu.pe/Articulos_RFP/Vol12_no1-2_84_\(16\)/vol12_art5.pdf](http://cedinfor.lamolina.edu.pe/Articulos_RFP/Vol12_no1-2_84_(16)/vol12_art5.pdf)
 - Marengo, J. A., y J. C. Espinoza. (2016). Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. *International Journal of Climatology*, 36(3), 1033-1050.

- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2015). *Mapa Nacional de Cobertura Vegetal. Memoria Descriptiva*.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2019). *Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú - Memoria Descriptiva (en línea)*. Ministerio del Ambiente: 1-119. Disponible en <https://sinia.minam.gob.pe/mapas/mapa-nacional-ecosistemas-peru>.
- Ministerio de Defensa. (MINDEF). (2005). *Libro blanco de la defensa nacional*. Disponible en: https://www.files.ethz.ch/isn/157095/Peru%202005_spanish.pdf
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2003). *Guidelines on climate metadata and homogenization*. WMO/TD- No. 1186; WCDMP- No. 53. Disponible en: https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=11635#.XxdISyhKhPY
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2008). *A Case-study/guidance on the development of long-term daily adjusted temperature datasets*. WMO/TD- No. 1425; WCDMP- No. 66. Disponible en: https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=16664#.XxdIhShKhPY
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2011). *Guía de prácticas climatológicas Tiempo-Clima-Agua OMM-N°100*, Disponible en: <https://es.scribd.com/>
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2017). *Directrices de la Organización Meteorológica Mundial sobre el cálculo de las normales climáticas*. Disponible en: <https://library.wmo.int/?lvl=>
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2019). *Reglamento técnico, Documentos fundamentales N° 2 Volumen I- Normas meteorológicas de carácter general y prácticas recomendadas*. Edición de 2019, OMM-N°49. Disponible en: https://library.wmo.int/?lvl=notice_display&id=14146#.YPss6Sa21uQ
- Osborne, J. y E. Waters. (2002). *Four Assumptions of Multiple Regression that Researchers Should Always Test*. ResearchGate in Practical Assessment.

- Oyler, J. W.; A. Ballantyne; K. Jencso; M. Sweet; S. W. Running. (2015). Creating a topoclimatic daily air temperature dataset for the conterminous United States using homogenized station data and remotely sensed land skin temperature. *Int. J. Climatol.*, 35, 2258-2279, doi: <https://doi.org/10.1002/joc.4127>
- Perry, L. B.; A. Seimon; G. M. Kelly. (2013). Precipitation delivery in the tropical high Andes of southern Peru: new findings and paleoclimatic implications. *Int. J. Climatol*, doi:10.1002/joc.3679.
- Perry, L. B.; A. Seimon; M. F. Andrade-Flores; J. L. Endries; S. E. Yuter; F. Velarde; N. Quispe. (2017). Characteristics of precipitating storms in glacierized tropical Andean cordilleras of Peru and Bolivia. *Annals of the American Association of Geographers*, 107 (2), 309-322.
- Poole, M. y P. O'Farrell. (1970) The Assumptions of the Linear Regression Model.
- Quispe, N. (2014). Evaluación climática de la depresión aislada en niveles altos (DANA) sobre Sudamérica y océanos adyacentes y estudio de un caso en el Pacífico Oriental.
- Quispe, K. (2017) Patrones Sinópticos de una DANA asociados a la ocurrencia de nevadas en la sierra central y sur del Perú. Tesis Ing. Meteorología, Universidad Nacional Agraria La Molina - UNALM. Lima. p. 18-19
- Rau Lavado, P y T. Condom. (2010). Análisis espacio temporal de la precipitación en las zonas de montaña de Perú (1998-2007). *Revista Peruana Geo-atmosférica Rpga* (2), 16-29.
- Refaeilzadeh, P.; L. Tang; H. Liu. (2008) Cross-Validation. *Galleys Bvijayalaksh*.
- Sanabria, J.; L. Bourrel; L. Dewitte; F. Frappart; P. Rau; O. Solis; D. Labat. (2017). Rainfall along the coast of Peru during strong El Niño events. *Int. J. Climatol*. DOI: 10.1002/joc.5292.

- Sanabria, J.; C. M. Carrillo; D. Labat. (2019). Unprecedented Rainfall and Moisture Patterns during El Niño 2016 in the Eastern Pacific and Tropical Andes: Northern Perú and Ecuador. *Atmosphere* 2019, 10, 768; doi:10.3390/atmos10120768.
- Rutlland, J. et al., (2003) Climate Dynamic Along the Arid Northern Coast of Chile, *Journal of Geophysical*, Vol. No.n 108.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). (2004). Servicio de Meteorología e Hidrología del Perú. El Evento El Niño Oscilación Sur 1997- 1998: Su impacto en el departamento de Lambayeque.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). (2009). Servicio de Meteorología e Hidrología del Perú. Escenarios climáticos en el Perú para el año 2030. Segunda Comunicación Nacional para el Cambio Climático.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). (2010). Servicio de Meteorología e Hidrología del Perú. Atlas de Heladas.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). (2014). Servicio de Meteorología e Hidrología del Perú. El fenómeno EL NIÑO en el Perú. PREVAED.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). (2017a). Servicio de Meteorología e Hidrología del Perú. Boletín "MONITOREO DE LLUVIAS EN EL NORTE" ENERO - FEBRERO - MARZO 2017".
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). (2017b). Servicio de Meteorología e Hidrología del Perú. El Niño Costero 2017: Condiciones Termo - Pluviométricas a nivel Nacional.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). (2018). Servicio de Meteorología e Hidrología del Perú. Estudio de frecuencia de nevadas en el Perú.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). (2019). Servicio de Meteorología e Hidrología del Perú. Nota Técnica N°001-2019-SENAMHI-DMA

“Orientaciones para el análisis del clima y determinación de los peligros asociados al cambio climático”.

- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). (2020). Servicio de Meteorología e Hidrología del Perú. Sectorización Climática del Territorio Peruano. Nota Técnica N° 001-2020/SENAMHI/DMA/SPC SENAMHI-Perú.
- Snyder, Richard; L. Villar-Mir; M. Josep. (2010). Protección contra Heladas: fundamentos, práctica y economía. VOL 1. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma.
- Stralher, A. (2010) *Introducing Physical Geography*. Boston University. Jhon Willey.
- Sulca, J.; K. Takahashi; J. C. Espinoza; M. Vuille; W. Lavado-Casimiro. (2018). Impacts of different ENSO flavors and tropical Pacific convection variability (ITCZ, SPCZ) on austral summer rainfall in South America, with a focus on Peru. *International Journal of Climatology*, doi:10.1002/joc.5185.
- Takahashi, K. y B. Dewite. (2016). Strong and moderate nonlinear El Niño regimes. *Climate dynamics*, 46(5-6), 1627-1645.
- Takahashi, K.; V. Aliaga-Nestares; G. Avalos; M. Bouchon; A. Castro; L. Cruzado; B. Dewite; D. Gutierrez; W. Lavado-Casimiro; J. Marengo; A. G. Martinez; K. Mosquera-Vasquez; N. Quispe. (2018) The 2017 coastal El Niño [in “State of the Climate in 2017”]. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 99 (8), S210-S211, doi: 10.1175/2018BAMSStateoftheClimate.1.
- Takahashi, K. y A. G. Martinez. (2017) The very strong coastal El Niño in 1925 in the far-eastern Pacific. *Climate Dynamics*, doi:10.1007/s00382-017-3702-1.
- Trasmonte, G.; Y. Silva; G. Trasmonte; L. Giráldez. (2010). Variabilidad de las temperaturas máximas y mínimas en el valle del río Mantaro. Libro Memoria del Subproyecto “Pronóstico estacional de lluvias y temperaturas en la cuenca del río Mantaro para su aplicación en la agricultura 2007-2010”, capítulo 2: El clima y

su variabilidad, pág. 39-54. Editorial IGP. Disponible en <http://met.igp.gob.pe/publicaciones/2010/Libro%20Completo.pdf>

- Úbeda Palenque, J. y D. Palacios Estremera. (2008). El Clima de la Vertiente del Pacífico de los Andes Centrales y sus Implicaciones Geomorfológicas. *Espacio y Desarrollo* N° 20, 2008, pp. 31-56 (ISSN 1016-9148).
- Vallaux. C. (1931) *Oceanografía. El problema de la corriente de Humboldt*. Boletín de la Compañía Administradora del Guano. Vol. VII, N°4, 1931. <http://biblioimarpe.imarpe.gob.pe/bitstream/123456789/2931/1/CAG%207%284%29-1.pdf>
- Vuille, M. (1999). Atmospheric circulation over the bolivian Altiplano during dry and wet periods and extreme phases of the southern oscillation. *Int. J. Climatol.* 19: 1579-1600 (1999).
- Wallace, J. M. y P. V. Hobbs. (2006). *Atmospheric Science: An Introductory Survey (Second Edition)*. ELSEVIER - ISBN 13: 978-0-12-732951-2
- Wan, Z.; Y. Zhang; Y. Q. Zhang; Z. L. Li. (2004). Quality assessment and validation of the global land surface temperature. *International Journal of Remote Sensing*, 25, 261-274. enlace
- Woodman, R. (1997) *El Fenómeno El Niño y el Clima en el Perú*. Ciclo de conferencias. Congreso de la República. 1997.
- Zuta, S y Guillen, O. (1970) *Oceanografía de las Aguas Costeras del Perú*. Instituto del Mar del Perú - IMARPE.



BICENTENARIO
PERÚ 2021

Proyecto de apoyo

**Gestión del
cambio climático**
Fase 2

proyectoapoyocambioclimatico.pe

Con el financiamiento de:



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Embajada de Suiza en el Perú

Agencia Suiza para el Desarrollo
y la Cooperación COSUDE

Implementado por:



libélula
Gestión en Cambio Climático y Comunicación

**SOUTH
SOUTH
NORTH**
TOWARDS CLIMATE RESILIENCE

ISBN: 978-612-48315-5-3



www.gob.pe/senamhi